



Relación espaciotemporal de puntos de calor con superficies agropecuarias y forestales en San Luis Potosí, México

Time-space relationship between hotspots and agricultural and forest surface areas in *San Luis Potosí State, México*

José Germán Flores-Garnica¹, Ana Gisela Reyes-Alvarado² y Oscar Reyes-Cárdenas^{3*}

Abstract

It is important to examine the dynamics between land use coverages in order to understand the existing relationships in the areas where changes occur. Also, sometimes the cover changes are caused by certain human activities, such as the fires used in agriculture. The objective of this study was to spatiotemporally analyze whether a significant relationship exists between the agricultural, livestock (grasslands) and forest surface areas and the incidence of hotspots, in the state of *San Luis Potosí*, Mexico. A great number of authors have used remote sensing and GIS for modelling land use cover, and they have applied several algorithms for that purpose. For estimating the coverages (forest, agriculture and livestock), a supervised classification to Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI scenes was applied. In addition, agricultural, livestock and forest surface areas were incorporated into non-linear models (Polynomial (2nd order), exponential and potential) and multivariate models for estimating hotspots, which resulted in a substantial increase in the coefficients of determination in the latter. As for the results, it is possible to predict the occurrence of hotspots in a variety of agricultural, livestock and forest areas. In this case, the forest areas were the most significant variable, followed by the livestock areas. The results obtained suggest that there is a relationship between the presence of hotspots and the agricultural land in the study area, and it is possible to predict the occurrence of hotspots based on the variations of agricultural, livestock, and forest lands.

Key words: Supervised classification, correlation, Landsat, nonlinear models, trend, land use.

Resumen

Es importante analizar la dinámica entre coberturas de uso de suelo para comprender las relaciones existentes en las superficies donde se presentan los cambios. También, en ocasiones, las modificaciones de cobertura son ocasionados por actividades humanas, como los incendios utilizados en actividades agrícolas. El objetivo de este trabajo fue analizar espaciotemporalmente si existe una relación significativa entre las superficies agrícolas, pecuarias (pastizales) y forestales con la incidencia de puntos de calor, en San Luis Potosí, México. Varios autores han utilizado la percepción remota y los SIG para modelar coberturas de uso de suelo, y han aplicado diversos algoritmos con este propósito. Para estimar las superficies (forestal, agrícola y pecuaria) se aplicó una clasificación supervisada a escenas *Landsat 5 TM* y *Landsat 8 OLI*. Además, se integraron dichas superficies en modelos no lineales: polinomio (2^o orden), exponenciales y potenciales, así como multivariados para estimar puntos de calor; lo que resultó en un aumento sustancial en los coeficientes de determinación en los segundos modelos. En cuanto a los resultados, es posible predecir la ocurrencia de puntos de calor de una variedad de áreas bajo la agricultura, la ganadería y la silvicultura. En este caso, la superficie forestal fue la variable más significativa, seguida de la superficie ganadera. Se concluye que existe una relación entre la presencia de puntos de calor con tierras agrícolas en el área de estudio y se puede predecir la ocurrencia de puntos de calor basados en variaciones de las tierras agrícolas, pecuarias y forestales.

Palabras clave: Clasificación supervisada, correlación, *Landsat*, modelos no lineales, tendencia, uso de suelo.

Fecha de recepción/Reception date: 12 de septiembre de 2020
Fecha de aceptación/Acceptance date: 24 de noviembre de 2020

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. C.E. Centro Altos de Jalisco. México.

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México.

³Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. México.

*Autor por correspondencia; correo-e: oscar.reyes@uaslp.mx

Introducción

Los incendios son uno de los factores más importantes que impactan a los recursos forestales; ya que, por ejemplo, afectan la cobertura vegetal (Gallegos *et al.*, 2014; Bautista y Rodríguez, 2017), la estructura de los ecosistemas forestales (Alanís *et al.*, 2018), así como la regeneración natural del arbolado (Juárez-Martínez y Rodríguez-Trejo, 2003).

Aunque sus causas son diversas, en México son el resultado de la interacción de actividades antropogénicas con factores ambientales que definen su comportamiento (Ibarra-Montoya y Huerta-Martínez, 2016). Más aun, se estima que 97 % de los incendios en México son ocasionados como consecuencia de actividades humanas (Cruz *et al.*, 2017). Entre estas predominan los incendios que se derivan de quemaduras relacionadas con actividades agrícolas y ganaderas, en las cuales se utiliza el fuego para preparar las tierras para el cultivo y el pastoreo (Flores *et al.*, 2016). Ello implica que en la medida que se tengan mayores superficies dedicadas a esas actividades, se tienen más probabilidades de propiciar incendios.

Sin embargo, los modelos para evaluar la incidencia de incendios en México no incluyen a las actividades antrópicas, ya que se enfocan, principalmente, a la carga de combustibles forestales y algunos consideran variables ambientales (Chávez *et al.*, 2016).

No obstante, se han generado modelos que involucran variables agropecuarias, como el número de cabezas de ganado (densidad), para determinar superficies con potencial para el desarrollo de incendios (Ibarra-Montoya y Huerta-Martínez, 2016). Sin embargo, actualmente no se tienen estudios que relacionen la dinámica de las superficies agropecuarias y forestales con la incidencia de incendios. La integración de datos de campo con tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección permitiría modelar esta tendencia (Gollberg *et al.*, 2001).

De acuerdo con lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue analizar si existe una relación espaciotemporal entre las superficies agrícolas, pecuarias (pastizales) y forestales con la incidencia de puntos de calor. Con base en esto, se plantea la hipótesis de que el aumento de la superficie dedicada a las actividades agropecuarias

está relacionado con el incremento del número de puntos de calor y la variación de las áreas forestales en el estado de San Luis Potosí.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en el estado de San Luis Potosí, centro-norte de México, entre las coordenadas 21°10' y 24°32' latitud norte y 98°20' y 102°18' longitud oeste (Figura 1). Donde la superficie forestal, según cifras del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (Conafor, 2014), es de 4 314 6321 ha (71 % de la superficie del estado); cuya vegetación corresponde a tres grandes ecosistemas: bosques, selvas y vegetación de zonas áridas y semiáridas. Por otra parte, se tienen 851 004 ha dedicadas a las actividades agrícolas (INEGI, 2015), que corresponden a 14 % de la superficie total del estado. Mientras que, los pastizales representan 725.9993 ha (12 %).

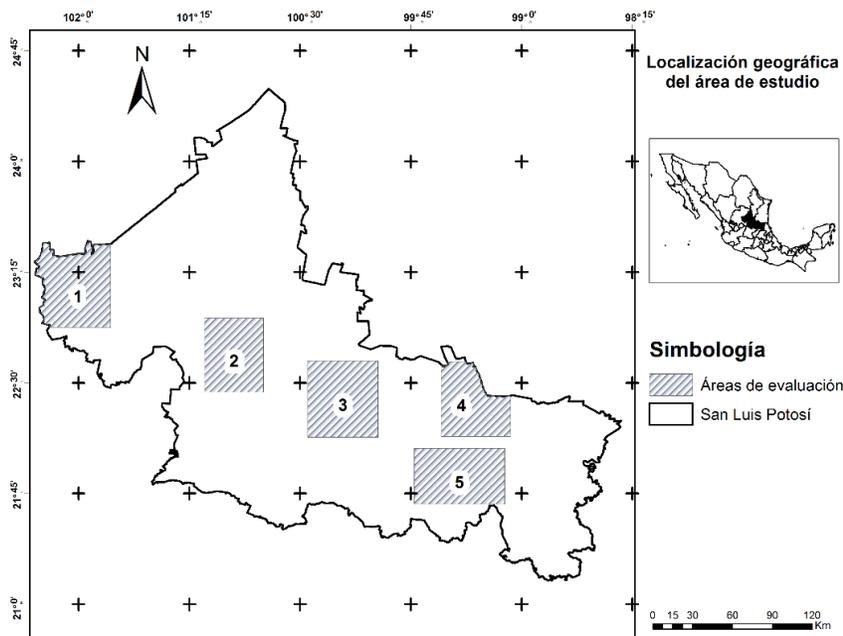
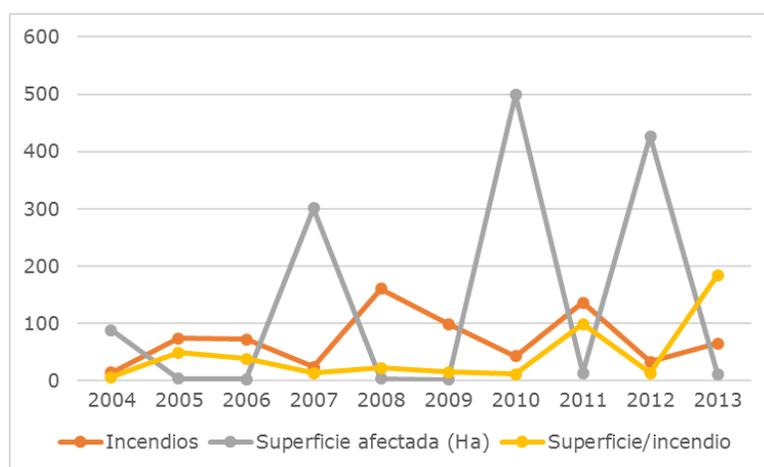


Figura 1. Localización geográfica del estado de San Luis Potosí y ubicación de las áreas de evaluación.

Para el análisis de la relación entre cambios de coberturas e incidencia de puntos de calor, se definieron cinco áreas de evaluación que cumplieran dos aspectos primordiales: 1) que se tengan detectados puntos de calor (PC), y 2) que se ubique vegetación forestal, así como áreas agrícolas o pecuarias (pastizales).

Referente a incendios (Figura 2), San Luis Potosí anualmente registra en promedio 72 eventos, que afectan una superficie de 3 821 ha, con un tamaño promedio por conflagración de 53 ha (Conafor, 2014). La temporada de incendios coincide con la época de estiaje, con periodos prolongados de sequía, que comprende principalmente los meses de enero a junio.



Fuente: Conafor (2014).

Figura 2. Dinámica de los incendios en el estado de San Luis Potosí

Para el período 2010–2017, se obtuvo por área de evaluación la información geográfica de cada uno de los PC del reporte que genera la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio); los cuales se generaron a partir del procesamiento de imágenes AVHRR y MODIS (Muñoz-Robles y Santana-Arias, 2018). De esta forma se determinó la ocurrencia espaciotemporal de los PC y se relacionó con la dinámica en las variaciones de superficies forestales, agrícolas y pecuarias.

Los cambios de uso de suelo en las áreas de evaluación se analizaron determinando los cambios en las superficies forestales, agrícolas y pecuarias, para lo cual se emplearon las imágenes de satélite correspondientes a *row/path*: 27/44, 27/45, 28/44 y 29/44, que se descargaron del servidor del Servicio Geológico de Estados Unidos de América: a) *Landsat* 5TM, para los años 2010 y 2011; y b) *Landsat* 8 OLI, para 2013 a 2018. No se trabajó con la imagen del 2012 debido a que presentó muchas áreas con falta de información. Dado que la diferencia entre áreas forestales, agrícolas y pecuarias se puede apreciar mejor en la época de secas, las imágenes *Landsat* incluidas fueron de los meses de enero a marzo.

Asimismo, la combinación de bandas 5-4-3 fue la que permitió discriminar con más detalle las áreas agrícolas, forestales y pecuarias, lo cual facilitó establecer las áreas de entrenamiento (Cartaya *et al.*, 2015) para aplicar la clasificación supervisada.

Para la definición de áreas de entrenamiento, se utilizó como base la información de coberturas y usos de suelo registrados en la Serie VI de INEGI (2016), y a partir de esos datos se diferenciaron las siguientes coberturas: 1) cuerpos de agua; 2) agricultura; 3) pastizales; 4) zonas urbanas; 5) vegetación o zona forestal; y 6) sin vegetación. Una vez realizada la clasificación supervisada, se determinó la superficie de cada categoría en las áreas de evaluación, y posteriormente se estableció la dinámica anual de las cubiertas examinadas. Las clases "zonas urbanas" y "cuerpos de agua" se eliminaron con el propósito de realizar el análisis solo sobre las coberturas de interés.

Para establecer la dinámica de las tendencias en las variaciones anuales de las superficies de las áreas forestales, agrícolas y pecuarias, se definieron los modelos de regresión simple que mejor se ajustaron, así como las ecuaciones correspondientes. Por ejemplo, se analizó si el incremento de áreas agrícolas repercutía en un decremento de las forestales. Posteriormente, mediante un análisis multivariado se definieron las tendencias de los puntos de calor con respecto a las variaciones de las superficies de las áreas forestales, agrícolas y pecuarias, por medio de modelos de regresión múltiple lineal y no lineal.

Resultados y Discusión

En principio, se analizó la distribución espacial de la incidencia de puntos de calor (Figura 3).

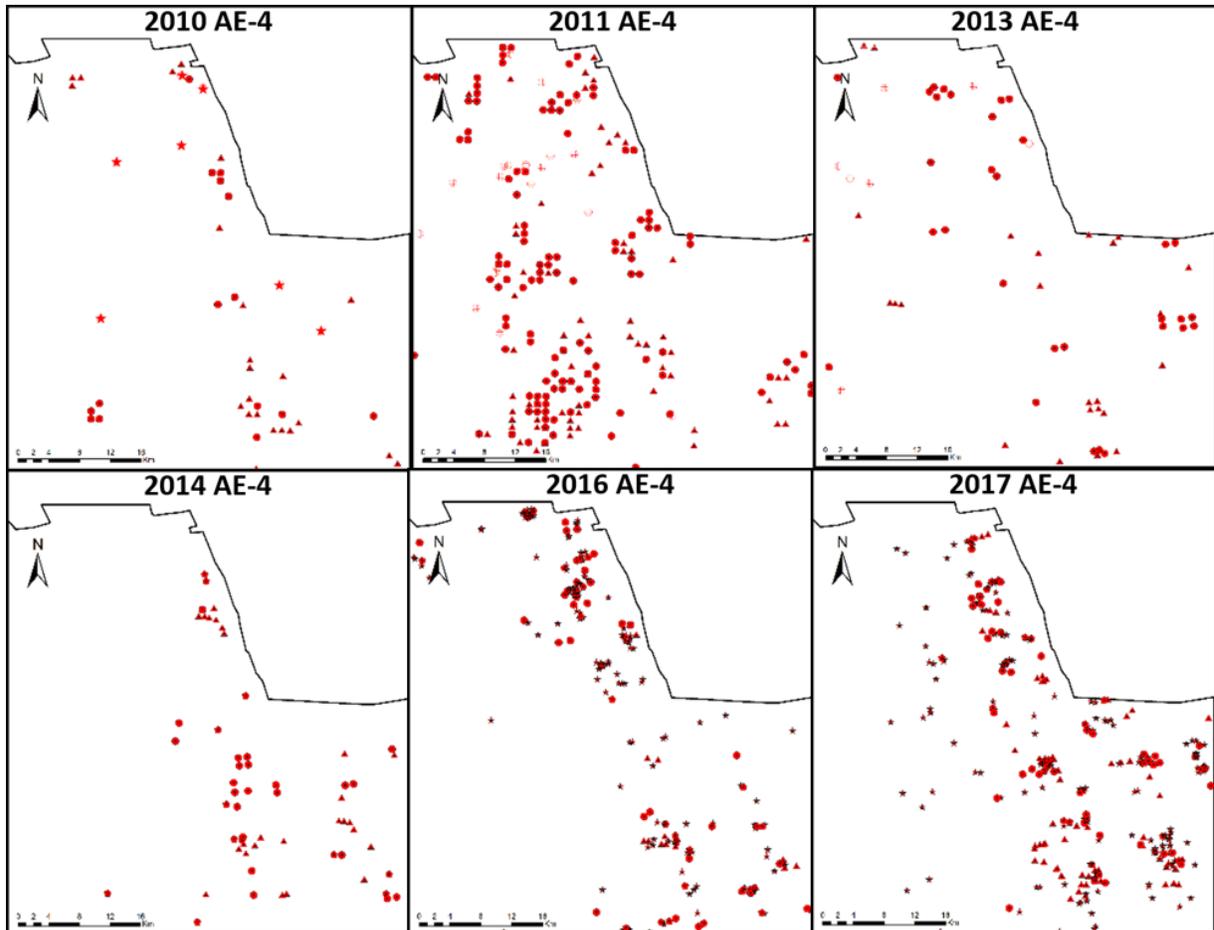


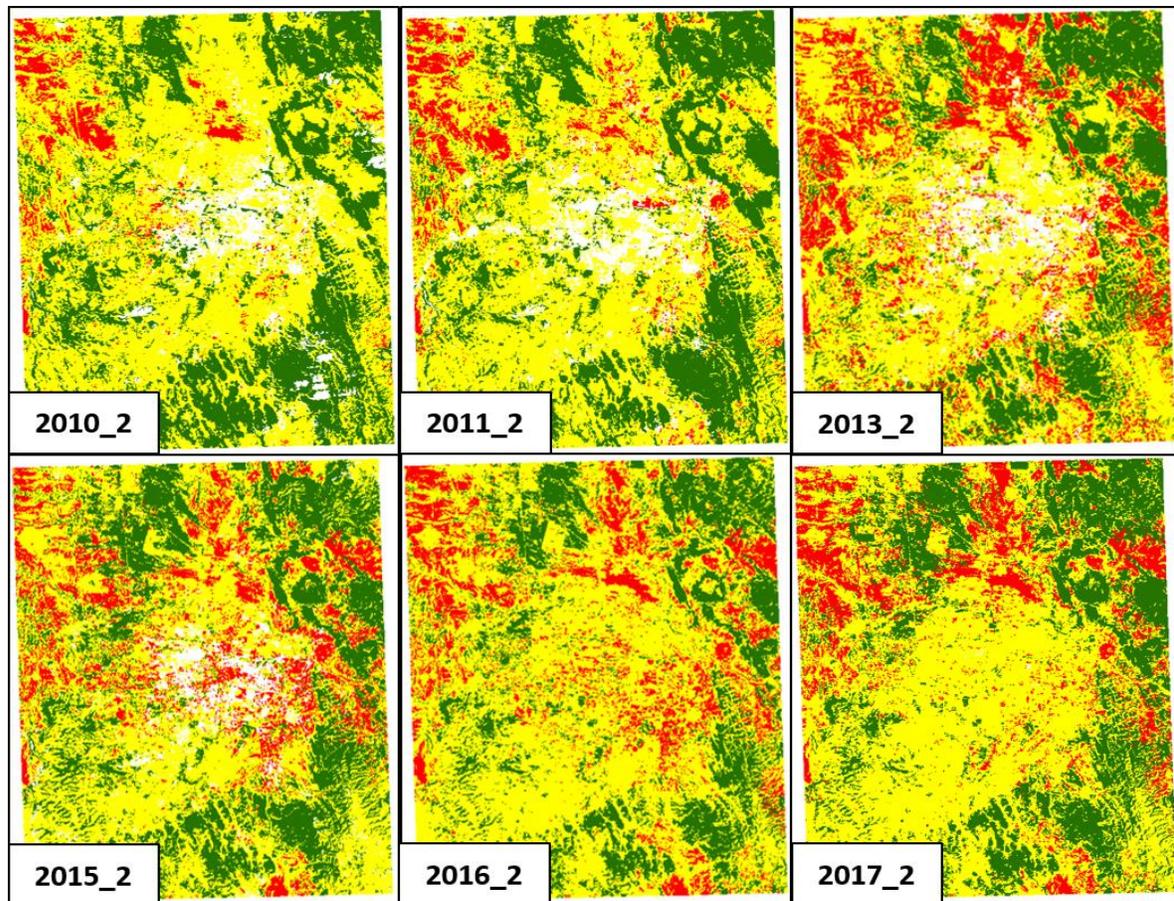
Figura 3. Variación anual de la densidad y distribución de puntos de calor, detectados en AE-4 (adaptado de Conabio, 2018).

Respecto al número de puntos de calor, estos varían anualmente. En cuanto a su distribución espacial en el presente estudio, se determinó que existe una tendencia en su concentración en determinadas zonas.

En México, los incendios son provocados, de manera recurrente, por las actividades desarrolladas por el ser humano (Pérez-Verdín *et al.*, 2013), cuyo riesgo y peligro puede relacionarse con eventos hidrometeorológicos (Gutiérrez *et al.*, 2015), en los cuales la superficie afectada varía anualmente. En el área de estudio, durante 2011, hubo un importante incremento en la superficie afectada por incendios, lo que coincide con lo presentado por Gutiérrez *et al.* (2015), quienes citan un aumento del área afectada por incendios en el Estado de México, para el mismo año. Estos incendios se asocian con la detección de puntos de calor; al respecto en el presente estudio se observó una tendencia en su concentración en determinadas zonas, como lo señalan Zúñiga-Vásquez *et al.* (2017) y Ávila-Flores *et al.* (2010), cuando modelan espacialmente los incendios forestales en México y en el estado de Durango, respectivamente.

En el trabajo que aquí se documenta, no obstante que hubo variaciones, se evidenció la existencia de ciertos patrones en la localización de los puntos de calor, hecho que coincide con lo indicado por Pompa y Hernández (2012) para el estado de Durango.

Por lo que corresponde a la variación espacial de coberturas (Figura 4), en general, las áreas forestales permanecieron relativamente constantes; mientras que, los pastizales (considerados de uso pecuario) resultaron con mayor variación. Como es el caso del área de evaluación 1 (AE-1), que registró un ligero aumento de las áreas de pastizales en el año 2015; en el AE-2 (Figura 4) se observó un ligero aumento, pero constante, de las áreas agrícolas. Sin embargo, es importante señalar que en algunos casos, las áreas con pastizales se incrementaron notablemente de un año a otro. Así en el AE-3 al comparar los años 2011 y 2013, se obtuvo un aumento en la región noreste. Posteriormente, esta región evidenció una tendencia a incrementar las coberturas agrícolas. Por otra parte, las áreas de pastizales en el AE-4 fueron relativamente similares entre los años 2010 y 2015, y en el periodo 2011-2016. Aunque se apreció una disminución de esta cobertura, debido a un aumento de las zonas agrícolas.



Verde = Forestal; Amarillo = Agrícola; Rojo = Pastizal.

Figura 4. Ejemplo de la variación espacio-temporal de las coberturas de suelo en el área de evaluación 2 (AE-2).

Al respecto, los resultados sugieren que el incremento de los puntos de calor se relaciona con el aumento de las superficies agrícolas y ganaderas; aun más, la correspondencia se define mejor con la inclusión de las variables referentes a las superficies pecuarias (pastizales) y las forestales en modelos multivariados, lo que podría asociarse con la ocurrencia de sequías (Núñez-López *et al.*, 2007).

Referente a la dinámica de las extensiones por coberturas, en las gráficas de las relaciones de las áreas por cobertura se observa que las superficies se mantuvieron relativamente constantes (Figura 5); en particular, la cobertura forestal, aunque en los casos de las AE-3 y AE-5 se presentó una disminución. En cuanto a las áreas

agrícolas, en general, se incrementaron; aunque en el caso del AE-4 hubo un ligero descenso. En relación con las áreas de pastizales se observó una ligera reducción, cuando aumentaron las superficies agrícolas.

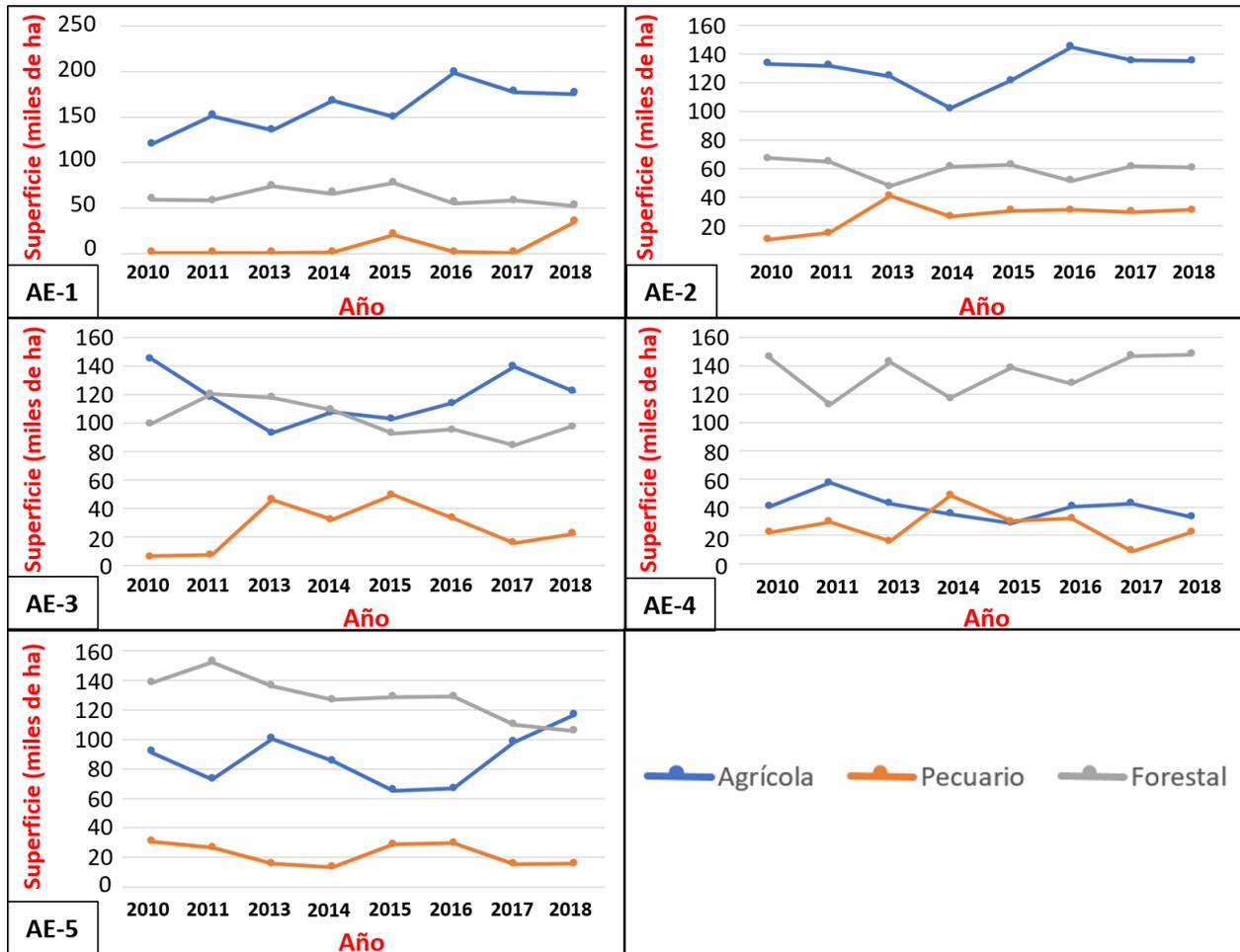


Figura 5. Tendencias de la dinámica de superficies de las coberturas forestales, agrícolas y pecuarias (pastizales), por AE.

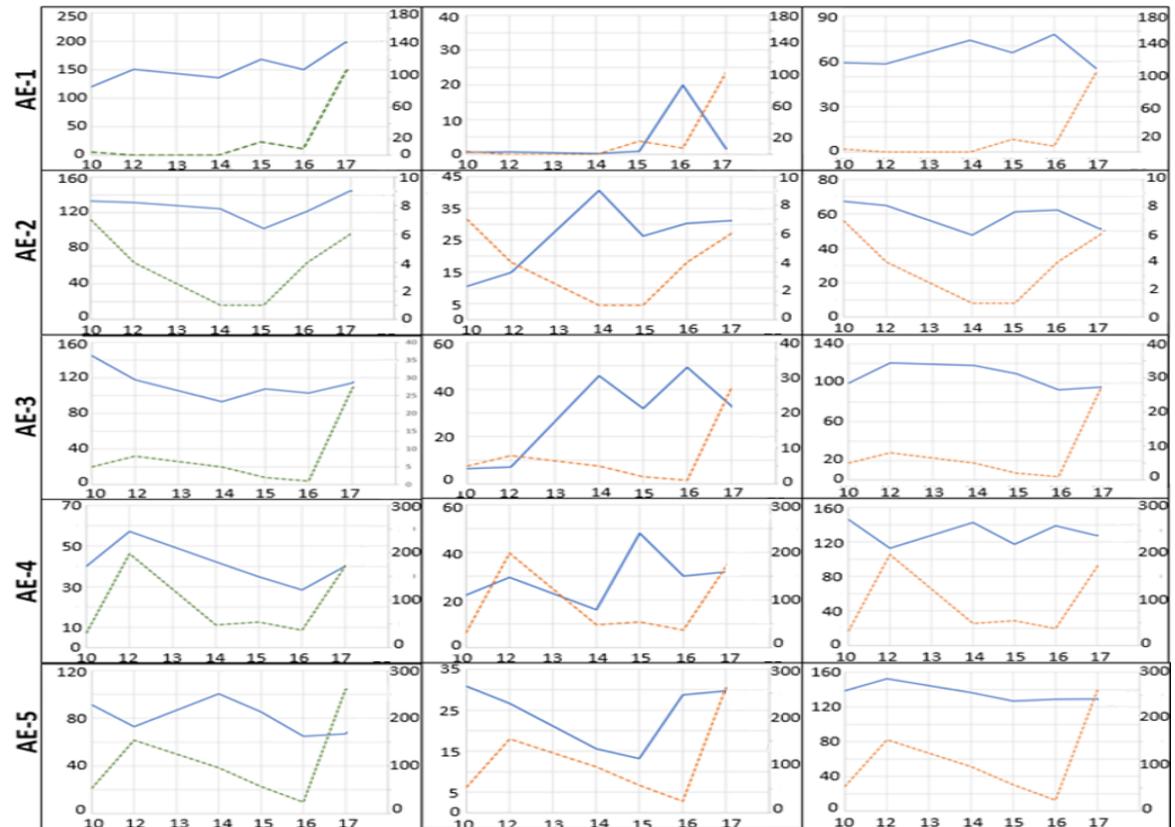
En el Cuadro 2 se muestra la dinámica de las coberturas analizadas.

Cuadro 2. Dinámica anual total de las superficies (en hectáreas) agrícola, forestal y pecuaria.

Categorías	2010	2014	2018
Agrícola	530 054.74	498 003.05	582 480.90
Forestal	510 638.68	480 186.81	464 672.19
Pecuaria	70 448.93	120 304.74	125 689.66

En las áreas evaluadas se registró que al disminuir la superficie forestal, se incrementan las relacionadas con las actividades antropogénicas (pecuarias y agrícolas), lo cual coincide con lo citado por Gordillo-Ruiz y Castillo-Santiago (2017) en un análisis del cambio de uso de suelo en la cuenca del río Sabinal, en el estado de Chiapas, así como con lo documentado por Escandón *et al.* (2018), quienes estudiaron el cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en el estado de Morelos, para lo cual emplearon el método de la clasificación supervisada en imágenes *Landsat*. En particular, en algunas zonas se evidenció una disminución de áreas pecuarias y un incremento en las agrícolas, lo que concuerda con lo presentado por Ramos-Reyes *et al.* (2016), quienes realizaron un análisis de cambio de uso de suelo en Comalcalco, Tabasco.

El análisis de las variaciones temporales de la superficie agrícola y los PC mostró, de forma general, que son similares (Figura 6). Lo anterior implica que al aumentar la superficie agrícola (SA), también se incrementa el número de PC. Sin embargo, la proporción de esas variaciones fue diferente entre las áreas de evaluación; por ejemplo, en el AE-4 se registró mayor similitud, a diferencia de las AE-3 y AE-4, donde la variación temporal de los PC resultó más acentuada.



Eje ordenada izquierda= Superficie en miles de hectáreas; Eje ordenada derecha= Número de puntos de calor; Abcisa= Año, donde 10= 2010, 12= 2012, 13=2013, 14= 2014, 15= 2015, 16= 2016 y 17= 2017.

Figura 6. Relación temporal entre las superficies de las coberturas de suelo (línea continua) y los puntos de calor (línea punteada), correspondientes a cada una de las áreas de evaluación (AE).

La relación entre las superficies pecuarias (SP) y los PC variaron entre áreas de evaluación. Al respecto, en el AE-5 se apreció una alta similitud; mientras que, en el AE-2 las relaciones fueron contrarias (al aumentar la SP disminuyeron los PC). En AE-4 la similitud fue variada, ya que en los primeros años hubo una alta similitud, pero posteriormente fueron opuestas. Es importante remarcar que en el 2017, las correspondencias resultaron contrarias; es decir, al disminuir la SP, aumentó el valor de PC. En cuanto a la superficie

forestal (SF) se tuvo una ligera similitud con la tendencia de PC; asimismo en el 2017, se observó el mismo comportamiento que en el caso de las SP.

Los porcentajes de la variación de PC con relación a la superficie agrícola (SA) fueron, en general, bajos (R^2) (Cuadro 3). No obstante, a excepción del AE-5, en la mayoría de las áreas de evaluación (AE) se identificó un efecto significativo (F) de la relación lineal entre la superficie agrícola (SA) y los PC.

Cuadro 3. Modelos correspondientes a la correlación lineal de los PC con SA, para cada AE*.

AE	Ecuación	R²	F	Valor crítico de F
1	PC = 0.0018 SA - 241.84	0.5731459	6.71360423	0.048774081
2	PC = 0.0002 SA - 15.87	0.5295004	5.62700282	0.063783976
3	PC = 0.0003 SA - 27.677	0.2100746	1.32971236	0.300984936
4	PC = 0.0062 SA - 134.12	0.3031113	2.17474675	0.200303440
5	PC = 0.0001 SA + 120.53	0.0002547	0.00127385	0.972909821

Con base en lo anterior, la prueba de modelos no lineales de la correlación entre SA y PC se mejoró, aunque solo ligeramente (Cuadro 4).



Cuadro 4. Modelos no lineales de la correlación de los PC con SA, para cada una de las AE*.

AE	Modelo	Ecuación	R ²
1	Polinómico (2º orden)	$PC = 2E-08SA^2 - 0.004SA + 212.95$	0.6107
2	Exponencial	$PC = 0.0052e^{5E-05SA}$	0.5948
3	Exponencial	$PC = 0.1309e^{3E-05SA}$	0.2330
4	Potencial	$PC = 2E-10SA^{2.5303}$	0.3564
5	Exponencial	$PC = 41.205e^{1E-05SA}$	0.0279

Sin embargo, la integración de la SA con la de pastizales (SP) y la forestal (SF), en modelos multivariados para estimar PC resultó en un incremento sustancial de los coeficientes de determinación correspondientes (Cuadro 5).

Cuadro 5. Modelos multivariados de la correlación de los PC con las variables independientes SA, SP y SF, para cada AE*.

AE	Ecuación	R ²	F	Valor crítico de F
1	$PC = -79.5174 + 0.0015SA + 0.0001SP - 0.0019SF$	0.6294	1.6986	0.3370
2	$PC = -51.5896 + 0.0002SA + 0.0002SP + 0.00043SF$	0.8533	5.8177	0.0910
3	$PC = 339.1597 - 0.0012SA - 0.0013SP - 0.0015SF$	0.5490	1.2175	0.4376
4	$PC = 2\ 745.0835 - 0.0082SA - 0.0163SP - 0.0140SF$	0.6402	1.7799	0.3237
5	$PC = 525.0944 - 0.0002SA + 0.0014SP - 0.0031SF$	0.1386	0.1609	0.9161

En todos los casos, la variable SF fue la más significativa, a excepción de la AE-5 donde la probabilidad de que no ser significativa fue de 54.3 %. En cuanto a la SA y la SP, ambas fueron significativas en las AE-1 y AE-1, y contrariamente no tuvieron significancia en la AE-5. Mientras que, en las AE-3 la significancia fue baja, tanto para SA como para SP, $P= 0.44$ y $P= 0.38$ respectivamente. En AE-4, la significancia fue baja solo para el caso de SA ($P= 0.47$).

Respecto a los valores de R^2 obtenidos en el presente análisis resultaron superiores a los consignados por Bucini y Lambin (2002), quienes emplearon modelos multivariados para determinar el impacto de los incendios en la vegetación en África Central. Por otra parte, los valores de R^2 se comportaron de manera similar a los que registran Vega-Nieva *et al.* (2018), autores que desarrollaron modelos para predecir puntos de calor, a partir de la cantidad de combustibles. Estos autores señalan que los valores de este indicador se consideran buenos e indican que los modelos predicen satisfactoriamente los puntos de calor con las variables empleadas.

Conclusiones

Los resultados sugieren la existencia de una relación entre la presencia de los PC con la variación de las superficies agrícolas, pecuaria y forestales en el estado de San Luis Potosí; por lo que se acepta la hipótesis planteada, ya que a excepción de la AE-2, la cantidad de PC se incrementa de manera considerable de 2010 a 2018 y se observa un incremento de las superficies agrícolas y pecuarias. Mientras que la tendencia a la baja se presenta en la cobertura forestal. De esta forma, se recomienda que en la generación de modelos de peligro de incendios forestales se incluyan los puntos de calor asociados a quemas agropecuarias. También, se puede predecir la ocurrencia de los PC con base en las variaciones de las superficies agrícolas, pecuarias y forestales. Si se asume que existe una correlación entre los y la ocurrencia de incendios forestales, los resultados del presente trabajo pueden usarse para estimar la tendencia del número de incendios. Las cantidades de PC en la zona de estudio varían año con año, aunque, su distribución espacial se presenta principalmente en

áreas dedicadas a actividades agrícolas, seguida de áreas pecuarias (pastizales). Fue posible establecer una correlación lineal significativa entre las superficies agrícolas y los puntos de calor; sin embargo, esto no fue constante en todas las áreas estudiadas. Finalmente, los análisis multivariados resultan en un mejor modelaje de la tendencia de los puntos de calor, dado que los valores R^2 son significativos.

Con el conocimiento de las áreas de concentración de incendios se apoyaría la regulación del uso del fuego, e incluso se justificaría la implementación de programas de capacitación sobre estrategias alternativas para reemplazar estas quemadas.

Conflicto de intereses

Los autores del presente trabajo hacen constar que no existe conflicto de intereses con los datos utilizados y los resultados obtenidos en el presente análisis.

Contribución por autor

José Germán Flores-Garnica: recopilación de la información, generación de los modelos, análisis de los resultados y escritura del documento; Ana Gisela Reyes-Alvarado: análisis de los resultados y escritura del documento; Oscar Reyes-Cárdenas: procesamiento de las imágenes de satélite, escritura del documento, análisis de los resultados.

Referencias

Alanís R., E., J. Jiménez P., M. A. González T., E. J. Treviño G., O. A. Aguirre C., J. I. Yerena Y. y J. M. Mata B. 2018. Efecto de los incendios en la estructura del sotobosque de un ecosistema templado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(22): 74-85. Doi: 10.29298/rmcf.v5i22.351.

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

Bautista, M. y G. Rodríguez A. 2017. Cambio de uso del suelo y deforestación. *In: Gómez H., V., J. Valero P., E. D. Melgarejo., K. C. Nájera C. y J. Cruz M. (Eds.). La biodiversidad en Jalisco: Estudio de estado Volumen I. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. México, CDMX., México. pp. 263-267.*

Bucini, G. and E. F. Lambin. 2002. Fire impacts on vegetation in Central Africa: a remote-sensing-based statistical analysis. *Applied Geography* 22: 27-48.
Doi:10.1016/S0143-6228(01)00020-0.

Cartaya, S., S. Zurita y E. Rodríguez. 2015. Clasificación supervisada para la selección de zonas de muestreo de especies cinegéticas en el Refugio de Vida Silvestre, Marino y Costero Pacoche, provincia de Manabí, Ecuador. *Revista de Investigación* 39 (85):51-62.

Chávez D., A. A., J. Xelhuantzi C., E. A. Rubio C., J. Villanueva D., H. E. Flores L. y C. de la Mora O. 2016. Caracterización de cargas de combustibles forestales para el manejo de reservorios de carbono y la contribución al cambio climático. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 13: 2589-2600.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7nspe13/2007-0934-remexca-7-spe13-2589.pdf> (25 de septiembre de 2020).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2014. *Inventario Estatal Forestal y de Suelos - San Luis Potosí*. Comisión Forestal Nacional. San Luis Potosí, SLP., México. 187p.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2018. *Sistema de Alerta de Incendios*. <http://incendios.conabio.gob.mx/>. v. 2014. (14 noviembre de 2018).

Cruz E., M. A., D. A. Rodríguez T., A. Villanueva M. y J. Santillán P. 2017. Factores sociales de uso del suelo y vegetación asociados a los incendios forestales en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(41): 139-163.

Doi:10.29298/rmcf.v8i41.29.

Escandón C., J., J. A. B. Ordóñez D., C. del C. Nieto de P. P. y M. de J. Ordóñez D. 2018. Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(46): 27–53.

Doi:10.29298/rmcf.v9i46.135.

Flores G., J. G., J. de D. Benavides S., C. Valdez R., D. G. Vega M. de O. y U. D. Casillas D. 2016. Descripción de variables para definición de riesgo de incendios forestales en México. Folleto Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. Guadalajara, Jal., México. 61p.

Gallegos R., A., G. A. González C., R. G. Cabrera O., C. Marcelli S. y E. Hernández A. 2014. Efecto de la recurrencia de incendios forestales en la diversidad arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(24): 110-125.

Doi:10.29298/rmcf.v5i24.324.

Gollberg, G. E., L. F. Neuenschwander and K. Ryan. 2001. Introduction: Integrating Spatial technologies and ecological principles for a new age in fire management. *International Journal of Wild Land Fire* 10(4): 263-265. Doi: 10.1071/WF01047.

Gordillo-Ruiz, M. C. y M. A. Castillo-Santiago. 2017. Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 4(10): 39–49. Doi: 10.19136/era.a4n10.803.

Gutiérrez M., G., M. E. Orozco H., J. A. B. Ordóñez D. y J. M. Camacho S. 2015. Régimen y distribución de los incendios forestales en el Estado de México (2000 a 2011). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(29): 92–107.

Doi:10.29298/rmcf.v6i29.219.

Ibarra-Montoya, J. L. y F. M. Huerta-Martínez. 2016. Modelado espacial de incendios: una herramienta predictiva para el Bosque La Primavera, Jalisco México. *Ambiente & Agua* 11(1): 35-49. Doi: 10.4136/ambi-agua.1536.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2015. Anuario estadístico y geográfico de San Luis Potosí 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México. 548 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie VI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags, México. s/p.

Juárez-Martínez A. y D. A. Rodríguez-Trejo. 2003. Efecto de los incendios forestales en la regeneración de *Pinus oocarpa* var. *ochoterenae*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2): 125-130.

<https://revistas.chapingo.mx/forestales/?section=articles&subsec=issues&numero=28&articulo=395> (4 de julio de 2020).

Núñez-López, D., C. A. Muñoz-Robles, V. M. Reyes-Gómez, I. Velasco-Velasco y H. Gadsden-Esparza. 2007. Caracterización de la sequía a diversas escalas de tiempo en Chihuahua, México. *Agrociencia* 41 (3): 253-262. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/535/535> (14 de julio de 2020).

Pérez-Verdín, G., M. A. Márquez-Linares, A. Cortés-Ortiz y M. Salmerón D. 2013. Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosques* 19(2):37-58. Doi: 10.21829/myb.2013.192339.

Pompa, M. y P. Hernández. 2012. Determinación de la tendencia espacial de los puntos de calor como estrategia para monitorear los incendios forestales en Durango, México. *Bosque*. 33(1): 63-68. Doi:10.4067/S0717-92002012000100007.

Ramos-Reyes, R., R. Sánchez-Hernández y L. M. Gama-Campillo. 2016. Análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(8): 151–160. Doi:10.19136/era.a3n8.746.

Muñoz-Robles, C. y R. Santana-Arias. 2018. Puntos de calor en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí: patrones espaciales y factores asociados. *Madera y Bosques* 24(1):e2411565. Doi: 10.21829/myb.2018.2411565.

Vega-Nieva, D. J., J. Briseño-Reyes, M. G. Nava-Miranda, E. Calleros-Flores, P. M. López-Serrano, J. J. Corral-Rivas, E. Montiel-Antuna, M. I. Cruz-López, M. Cuahutle, R. Ressler, E. Alvarado-Celestino, A. González-Cabán, E. Jiménez, J. G. Álvarez-González, A. D. Ruiz-González, R. E. Burgan and H. K. Preisler. 2018. Developing Models to Predict the Number of Fire Hotspots from an Accumulated Fuel Dryness Index by Vegetation Type and Region in Mexico. *Forests* 9(4):190. Doi:10.3390/f9040190.

Zúñiga-Vásquez, J. M., D. Cisneros-González, M. Pompa-García, D. A. Rodríguez-Trejo and G. Pérez-Verdín. 2017. Spatial modeling of forest fires in Mexico: an integration of two data sources. *Bosque* 38(3): 563–574. Doi: 10.4067/S0717-92002017000300014.



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