

# OCURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES Y SU TELECONEXIÓN CON FENÓMENOS ENSO

## FOREST FIRES OCCURRENCES AND THEIR TELECONNECTION WITH ENSO PHENOMENA

Marín Pompa-García<sup>1\*</sup> y  
Mark Sensibaugh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales.  
Universidad Juárez del Estado de  
Durango, Av. Papaloapan y  
Blvd. Durango, Durango,  
Durango, México, C.P. 34120.

<sup>2</sup>Ecological Restoration Institute,  
Northern Arizona University,  
Flagstaff, Arizona.

\*Autor para correspondencia:  
mpgarcia@ujed.mx

Fecha de recepción: 5 de diciembre de 2013.  
Fecha de aceptación: 12 de marzo de 2014.

### RESUMEN

Los incendios forestales causan grandes daños a los ecosistemas. Las teleconexiones del fenómeno El Niño-Southern Oscillation (ENSO) son una herramienta útil para proveer información oportuna sobre el comportamiento del fuego. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la ocurrencia de incendios forestales y sus teleconexiones con fenómenos ENSO en el estado de Durango, México. Usando un enfoque de correlaciones, se calculó el coeficiente de Pearson para la asociación entre número de incendios (NF) e índices ENSO durante el período 2001 a 2010. Adicionalmente, se utilizó regresión lineal para generar un modelo para NF en función del valor anual del índice ENSO ( $P < 0.1$ ). Los resultados indicaron que el índice multivariado ENSO (MEI) mostró tendencias similares durante el período estudiado ( $r = 0.74$ ,  $P = 0.0138$ ) y explicó el 55 % de la varianza ( $R^2$ ) del modelo de regresión, indicando que NF tuvo correspondencias con MEI en períodos

sincronizados. Se concluye que ENSO tiene conectividad con incendios forestales en el estado de Durango.

**PALABRAS CLAVE:** Incendios forestales, ENSO, coeficiente de Pearson.

### ABSTRACT

Forest fires cause great damages to the ecosystems. El Niño-Southern Oscillation (ENSO) teleconnections are useful tools to provide opportune information on forest fire behavior. The objective of this study was to assess wildfire occurrence and its teleconnections with ENSO indexes in the State of Durango, Mexico. Using a correlation approach, Pearson coefficient was calculated for the relationship between the number of fires (NF) and ENSO indexes in the period 2001 to 2010. Additionally, linear regression was used to develop a model for NF as a function of the annual value of the ENSO index ( $P < 0.1$ ). Results indicated that the Multivariate ENSO Index (MEI) showed similar trends during the period analyzed

( $r = 0.74$ ,  $P = 0.0138$ ) and explained 55 % of the variance ( $R^2$ ) of model regression, indicating that NF had correspondences with MEI in synchronous periods. It was concluded that ENSO has connectivity with forest fires in the state of Durango.

**KEYWORDS:** wildfires, ENSO, Pearson coefficient.

## INTRODUCCIÓN

Aunque el fuego ha sido considerado como un regulador natural en los bosques (Jiménez y Alanís, 2011), la intervención antropogénica ha modificado su estabilidad. El fuego es el factor dominante que cambia el uso de suelo en los ecosistemas forestales (Avila y col., 2010b). Particularmente en Durango, México, los bosques han sufrido serias afectaciones, colocándolo en los primeros lugares a nivel nacional (Pompa y col., 2012b).

Entender la ocurrencia de incendios forestales y sus factores asociados es un factor clave para diseñar estrategias de manejo del fuego (Gollberg y col., 2001). Diversos estudios se han enfocado a estudiar la interacción entre factores físicos del sitio y climáticos (Flasse and Ceccato, 1996; Sepúlveda y col., 2001; Giglio y col., 2003). En Durango, por ejemplo, Drury y Veblen (2008), encontraron que los incendios se han correlacionado con variaciones climáticas extremas y en algunos casos se ha explicado su ocurrencia desde una perspectiva geoespacial (Avila y col., 2010a).

Sin embargo, en dichos análisis se ha omitido su relación con fenómenos circulatorios de gran escala como del Niño ENSO. En primer lugar, estas teleconexiones pueden resultar de gran valía por la estrecha relación que guardan con las condiciones climáticas locales (Pompa y Jurado, 2013). En segundo lugar, estudios recientes (Yocom y col., 2010; Cerano y col., 2011), basan sus análisis en índices ENSO de una sola variable (i. e. índices convencionales) o Niño 3. Sus valores varían con el ciclo estacional (Wolter and Timlin, 1993), provocando baja confiabilidad (Wolter and Timlin, 1998). Recientemente,

Wolter and Timlin (2011), generaron el nuevo MEI reportado como más robusto y confiable que los índices convencionales (ver <http://www.noaa.esrl.noaa.gov/psd/people/klauss.wolter/MEI>).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los índices ENSO Niño 3 y MEI como variables asociadas a la presencia de incendios en Durango, México, durante el período 2001 a 2010.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

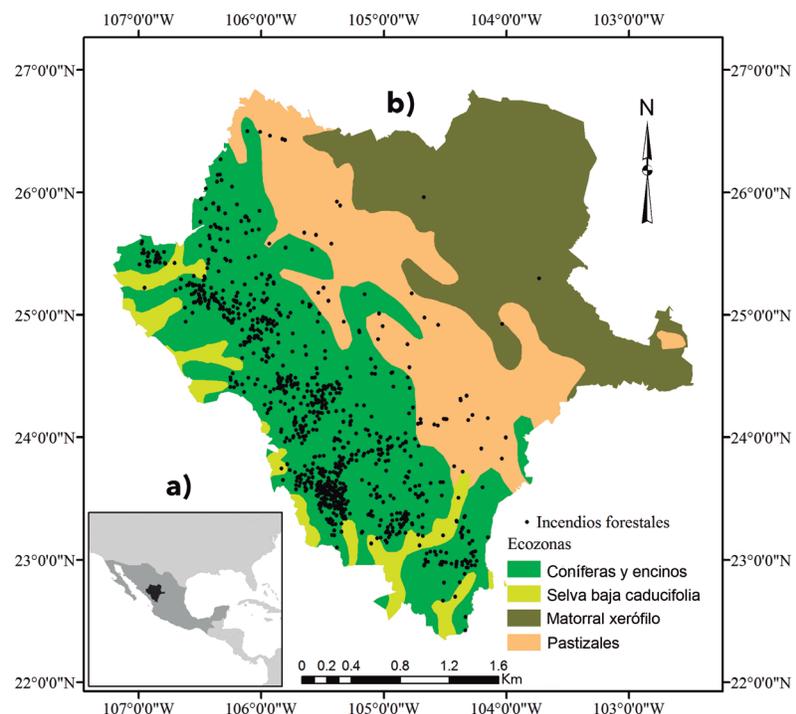
El área de estudio correspondió al estado de Durango, que se encuentra ubicado en el noroeste de México con coordenadas  $22^{\circ}16'-26^{\circ}53'$  N,  $102^{\circ}29'-107^{\circ}16'$  W, y cubre una superficie de 123.181 km<sup>2</sup>, con alta diversidad de ecosistemas. Está dividido en cuatro zonas ecológicas, que son grandes unidades que contienen paisajes

de clima, topografía y vegetación similares (Figura 1). Asimismo, en dicho mapa se presenta la distribución de la incidencia de los incendios durante el período de estudio sobre los diferentes ecosistemas, de acuerdo a la información proporcionada por la delegación estatal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Las coníferas y encinos incluyen diferentes especies de pinos y encinos, que se aprovechan para las actividades comerciales y están situados en la meseta de la Sierra Madre Occidental. La selva baja caducifolia se encuentra en uno de los grandes cañones que atraviesan el irregular terreno y se compone principalmente de especies tropicales y subtropicales. Los matorrales xerófilos tienen una capacidad de adaptación en áreas secas y salinas (Pompa y Hernández, 2012). Además, los pastizales son grandes áreas con diferentes especies de gramíneas y a veces mezclado con

### Figura 1.

Localización del área de estudio: a) Continente americano donde se destaca con gris oscuro a México y con negro al estado de Durango; b) estado de Durango indicando las ecozonas y los incendios forestales de 2001 a 2010.

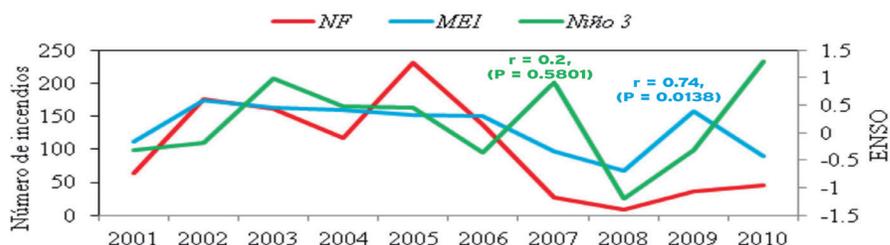
Figure 1. Location of the study area: a) American continent where the country of Mexico is highlighted in dark gray and Durango State in black; b) Durango State showing ecozones and forest fires from 2001 to 2010.



**Figura 2.**

Asociación gráfica entre el número de incendios (NF), y fenómenos ENSO (MEI y Niño 3) de 2001 a 2010;  $r$  es el coeficiente de correlación y  $P$  el nivel de significancia.

Figure 2. Graphic association between number of forest fires (NF) and ENSO phenomena (MEI and Niño 3) from 2001 to 2010;  $r$  means correlation coefficient and  $P$  is significance level.



matorrales en terrenos pedregosos, que se utilizan principalmente para pastoreo de ganado. La mayoría de los ecosistemas son de propiedad comunal, aunque existen algunos de propiedad privada (Pompa y Montiel, 2012).

**Análisis de la información**

Para determinar la influencia detallada de MEI y Niño 3 en NF, se realizó un análisis de correlación utilizando el coeficiente de Pearson, con el software SAS/STAT® (SAS Institute Inc., 2004). Su expresión es:

$$r_{xy} = \frac{Cov(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Donde  $r_{xy}$  es la correlación,  $Cov(x, y)$  es la covarianza, y  $\sigma_x, \sigma_y$  son las desviaciones estándar entre dos variables aleatorias "x" y "y", respectivamente. NF fue obtenido a partir del registro diario de reportes de incendios forestales de la CONAFOR, resultando en 1004 incendios de 2001 a 2010. En adición, se utilizaron dos índices ENSO: El MEI, definido como el primer componente de variación estacional de seis variables atmosféricas-oceánicas de la cuenca del pacífico (Wolter y Timlin 2011); sus datos fueron obtenidos desde <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html> para cada uno de los años bajo estudio. El Niño 3, el cual es calculado como la diferencia estandarizada de la presión atmosférica al nivel del mar entre Tahití en el este del Pacífico y Darwin en el norte de Australia; sus valores fueron obtenidos desde <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/Indices/nino/EXTENDED/>.

Finalmente, se efectuó una regresión lineal con el software SAS/STAT® (SAS, 2004), para construir un modelo que explique a NF en función directa del valor anual promedio del índice ENSO ( $P < 0.1$ ).

**RESULTADOS**

La presencia de incendios varió desde 9 (para el año 2008) hasta los 231 (para el año 2005), mostrando gran diferencia en su ocurrencia. Los coeficientes de Pearson variaron de 0.2 hasta 0.74 para Niño 3 y MEI, respectivamente (Figura 2). Aunque gráficamente se observó consistencia entre NF y los fenómenos ENSO, sólo MEI resultó significativo. Ello indica, que MEI tiene relación directa con la presencia de incendios forestales en el área de estudio. Respecto al procedimiento de regresión, el modelo desarrollado explicó un 55 % ( $P < 0.10$ ) de la variación de NF (Tabla 1), lo que sugiere un adecuado potencial para explicar la ocurrencia de incendios.

**DISCUSIÓN**

Los resultados muestran el potencial de MEI para explicar la presencia de incendios. Los coeficientes de correlación son similares a otros reportados a escala mundial (Chen y col., 2011), como para zonas vecinas en México (Yocom y col., 2010). Estos hallazgos confirman que el ENSO, vía sus efectos en la precipitación (Stahle y col., 2012), es un factor climático de gran escala que tiene una influencia sólida sobre la actividad de los incendios forestales, con sus consecuentes cambios de usos de suelo. Los resultados de la Tabla 1 fueron consistentes con la correlación de la Figura 2, y también

sugieren que el ENSO puede ser un medio para predecir la magnitud de la actividad del fuego antes de su aparición (Barnston y col. 2010; Holz y Veblen, 2011). Incluso se podría reconstruir su conducta histórica con base en registros previos de MEI, al menos desde 1950 (Wolter y Timlin, 2011). Grandes eventos del fuego, como los ocurridos durante el 2005 (Figura 2), pueden atribuirse a las fases cálidas del ENSO, que impactan en los regímenes de precipitación. Sus efectos incluyen la liberación de significativas cantidades de dióxido de carbono, serias amenazas a la fauna y repercusiones en la hidrología de los ecosistemas (Goldammer, 2007).

A pesar de que MEI y Niño 3 muestran tendencias similares en la Figura 2, MEI resultó con mejor ventaja según los resultados de correlación y regresión. Para Wolter y Timlin (2011), esto se debe a que los índices convencionales permanecen fijos en su dominio espacial, mientras que MEI permite variaciones geográficas de sus variables de acuerdo al ciclo estacional. Esto tiene correspondencia con los resultados reportados por Pompa y Montiel (2012), donde la concentración de incendios varía anualmente, como se muestra en la Figura 3.

Aunque el objetivo de este trabajo no fue hacer un análisis entre ecozonas, es evidente que existen variaciones entre ellas bajo un patrón espacial y temporal. Este

**Tabla 1.**

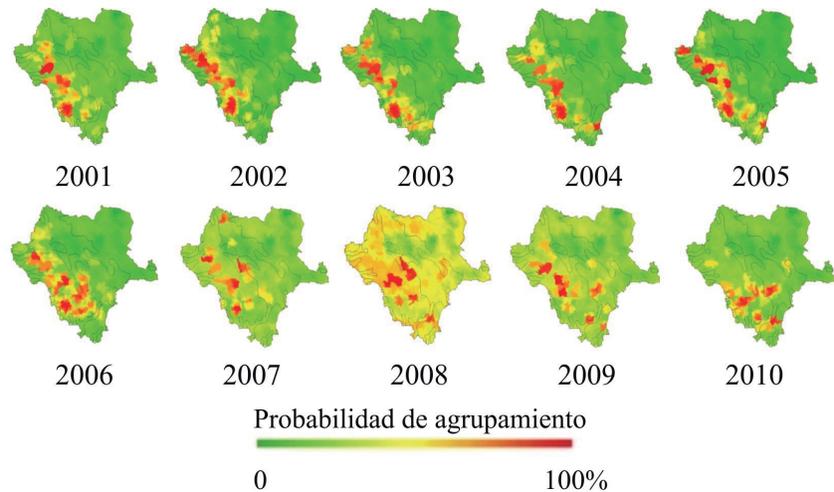
Modelo seleccionado para NF con el procedimiento de regresión ( $P < 0.10$ ).

Table 1. Selected model for NF with regression approach ( $P < 0.10$ ).

Modelo	Variable	Parámetro estimado	Error Estándar	Cuadrado Medio del Error	R <sup>2</sup>	Pr > F
NF	Intercepto	89.475 75	17.119 71	2 810	0.55	0.000 8
	MEI	125.421 93	39.909 62			0.0138

**Figura 3.**

Intensidad espacial estimada de ocurrencia anual de incendios forestales en Durango de 2001 a 2010. Figure 3. Estimated spatial intensity of annual occurrence of forest fires in Durango from 2001 to 2010.



tipo de análisis requiere mayores datos para monitorear la conducta del fuego (Flannigan y col., 2005). Esta diversidad tiene correspondencia con el MEI, dado que su ocurrencia se basa en múltiples variables, más que en un solo campo como lo hace el Niño 3.

Una de las limitaciones del análisis es la temporalidad de los incendios forestales (una década), por lo cual los resultados reafirman la importancia de registrar los incendios históricos desde el mayor tiempo posible. Esto es consistente con lo documentado por Van-Wagner (1988), Rollins y col. (2002) y Podur y col. (2003), quienes observaron que los registros previos han sido de utilidad para conceptualizar donde los incendios pueden aparecer y por ende reducir el impacto potencial que puedan alcanzar. Sin embargo, estos datos por sí solos son limitados para evaluar el riesgo y/o peligro de incendio (Stratton, 2006). Ello exige considerar el papel relativo de otros componentes que tienen influencia en la presencia de incendios forestales (Pompa y col., 2012a).

### CONCLUSIONES

Se encontró que ENSO tiene conectividad con la ocurrencia de incendios en el estado de Durango. Tales conexiones han sido principalmente detectadas por el MEI en sus fases positivas (Episodios el Niño). MEI resultó mejor que los índices convencionales (i.e. Niño 3), debido a que utiliza un conjunto de variables alternativas robustas, como la presión atmosférica, velocidad del viento, temperaturas y nubosidad. También posibilita el pronóstico de la actividad del fuego, así como sus reconstrucciones históricas. Estos resultados constituyen elementos fundamentales para diseñar mejores estrategias del manejo del fuego,

particularmente ante las tendencias de cambios climáticos. Es necesario además investigar el papel asociado que tienen otros factores como combustibles, características del ecosistema y otros elementos del clima. ||

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al apoyo del CONACYT, a través del Programa de

Fortalecimiento Académico, al Posgrado de Alta Calidad del DICAF-UJED. También se expresa gratitud a James Allen por su apoyo hospitalario en la Forestry School de la NAU. Se agradece a la delegación estatal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) por la disposición de datos. Así mismo, se reconocen los comentarios de árbitros y editores que mejoraron el manuscrito.

### REFERENCIAS

- Avila, D., Pompa, M., Antonio, X., Rodríguez, D., Vargas, P., and Santillán P. J. (2010a). Driving factors for forest fire occurrence in Durango State of Mexico: A geospatial perspective. *Chinese Geographical Science*. 20(6): 491-497.
- Avila, D., Pompa, M., and Vargas, E. (2010b). Spatial analysis of fire occurrence in the Durango State. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*. 16(2): 253-260.
- Barnston, A. G., Li, S., Mason, S. J., DeWitt, D. G., Goddard, L., and Gong, X. (2010). Verification of the First 11 Years of IRI's Seasonal Climate Forecasts. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 49: 493-520.
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Avila, J. G., and Constante-García, V. (2011). Effects of The El Niño Southern Oscillation on precipitation in the upper Nazas river watershed. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*. 18: 207-215.
- Chen, Y., Randerson, J. T., Morton, D. C., DeFries, R. S., Collatz, G. J., Kasibhatla, P. S., Giglio, L., Jin, Y., and Malier, M. E. (2011). Forecasting fire season severity in South America using sea surface temperature anomalies. *Science*. 334: 787-791.
- Drury, A. and Veblen, T. (2008). Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico. *Plant Ecology*. 197(2): 299-316.
- Flannigan, D., Logan, A., Amiro, D., Skinner, R., and Stocks, J. (2005). Future area burned in Canada. *Climatic Change*. 72: 1-16.
- Flasse, P. and Ceccato, P. (1996). A contextual algorithm for AVHRR fire detection. *International Journal of Remote Sensing*. 17: 419-424.

- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, O., and Kaufman, J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 87: 273–282.
- Goldammer, J. (2007). History of equatorial vegetation fires and fire research in Southeast Asia before the 1997–1998 episode: a reconstruction of creeping environmental changes. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 12: 13–32.
- Gollberg, E., Neuenschwander, F., and Ryan, C. (2001). Introduction: Integrating spatial technologies and ecological principles for a new age in fire management. *International Journal of Wildland Fire*. 10: 263–265.
- Holz, A. and Veblen, T. T. (2011). Variability in the Southern Annular Mode determines wildfire activity in Patagonia. *Geophysical Research Letters*. 38: 16, L14710.
- Jiménez, J. y Alanís, E. (2011). Análisis de la frecuencia de los incendios forestales en la Sierra Madre Oriental y Occidental del norte de México y sur de Estados Unidos de América. *Ciencia UANL*. 14(3): 255-263.
- Podur, J., Martell, L., and Csillag, F. (2003). Spatial patterns of lightning-caused forest fires in Ontario, 1976–1998. *Ecological Modelling*. 164: 1–20.
- Pompa-García, M., y Hernández, G. P. (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
- Pompa-García, M. and Montiel-Antuna, E. (2012). Fire Ignition Trends In Durango, México. 195-200 Pp. Editor, Dr. Okia Clement Akais. Forestry / Book 2; chapter 11: 191-204. *Intech Open Acces Publisher*. 2 (ISBN: 978-953-308-572-2) Doi: 10.5772/32875.
- Pompa-García, M., Vázquez-Vázquez, L., Zapata-Molina, M. y Solís-Moreno, R. (2012a). Modelo conceptual del potencial de incendios forestales en Durango: avances preliminares. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 3(13): 95-102.
- Pompa-García, M., Zapata-Molina, M., Hernández-Díaz, C., and Rodríguez-Téllez, E. (2012b). Geospatial Model as Strategy to Prevent Forest Fires: A Case Study. *Journal of Environmental Protection*. 3(9): 1034-1038.
- Pompa-García, M. and Jurado, E. (2013). Seasonal precipitation reconstruction and teleconnections with ENSO based on tree ring analysis of *Pinus cooperi*. *Theoretical and Applied Climatology*. 4: 1-2.
- Rollins, G., Morgan, P., and Swetnam, T. (2002). Landscape-scale controls over 20th century fire occurrence in two large Rocky Mountain (USA) wilderness areas. *Landscape Ecology*. 17: 539–557.
- SAS, Statistical Analysis System (2004). *SAS User's Guide Statistics. Release 9.1*. North Carolina, USA: SAS Institute Inc. 2170 Pp.
- Sepúlveda, R., Meza, W., Zúñiga, G., Solís, G. y Olguín, E. (2001). *SIG para determinar riesgo de incendios forestales en el noroeste de México*. Publicación Técnica Núm. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental, Costa de Ensenada. Ensenada, México. 37 Pp.
- Stratton, D. (2006). *Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools, and techniques*. General Technical Report RMRS-GTR-183. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 15 Pp.
- Van-Wagner, E. (1988). The historical pattern of annual burned area in Canada. *Forestry Chronicle*. 64: 182–185.
- Stahle, D. W., Burnette, D. J., Villanueva-Diaz, J., Heim, R. R. Jr., Fye, F. K., Cerano-Paredes, J., Acuna-Soto, R., and Cleaveland, M. K. (2012). Pacific and Atlantic influences on Mesoamerican climate over the past millennium. *Climate Dynamics*. 39(6): 1431–1446.
- Wolter, K. and Timlin, M.S. (1993) *Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index*. Proc. of the 17th Climate Diagnostics Workshop, Norman, OK, NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS ad the School of Meteor., University of Oklahoma. 52-57 Pp.
- Wolter, K. and Timlin, M.S. (1998). Measuring the strength of ENSO events - how does 1997/98 rank? *Weather*. 53: 315-324.
- Wolter, K. and Timlin, M.S. (2011). El Niño/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI. ext), *International Journal of Climatology*. 31: 1074–1087.
- Yocom, L. L., Fule, P. Z., Brown, P. M., Cerano, P. J., Villanueva-Diaz, J., Falk, D. A. and Cornejo, O. E. (2010). El Niño-Southern Oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time. *Ecology*. 91: 1660–1671.