CAMBIO CLIMÁTICO

Aproximaciones para el estudio de su efecto en la biodiversidad

Gerardo Sánchez Rojas
Claudia Ballesteros Barrera
Numa P. Pavón

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

FOMIX
Fondos Mixtos

CAMBIO CLIMÁTICO

Aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad

Editores:

Gerardo Sánchez Rojas

Claudia Ballesteros Barrera

Numa P. Pavón

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Humberto Veras Godoy

Rector

Adolfo Pontigo Loyola

Secretario General

Jorge del Castillo Tovar

Coordinadora de la División de Extensión

Octavio Castillo Acosta

Director del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

Alejandro Vizuet Ballesteros

Director de Ediciones y Publicaciones

Jesús M. Castillo Cerón

Jefe del Área Académica de Biología

Primera edición: 2011

© UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

Abasolo 600, Centro, Pachuca, Hidalgo, México. CP 42000

Correo electrónico: editor@uaeh.edu.mx

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra

sin consentimiento escrito de la UAEH

ISBN: 978-607-482-152-9

Capítulo VI

El Niño y los Incendios en Matorrales Semiáridos de México

Numa P. Pavón y Gerardo Sánchez Rojas

Resumen

Se describe el fenómeno océano-atmosférico de El Niño y sus efectos en los regímenes de precipitación y temperatura. Se compiló información del efecto de El Niño sobre patrones ecológicos en diferentes grupos biológicos. Cuando este fenómeno se presenta, particularmente en el hemisferio norte, muchas de las regiones semiáridas con vegetación de matorral sufren sequías severas. Se analizó una secuencia de 40 años de datos (1970 a 2010) para relacionar el índice de Oscilación del Sur (SOI) y el número de incendios, la cantidad de hectáreas afectadas y un índice de intensidad que combina el la cantidad de hectáreas afectadas sobre el número de incendios. Se utilizaron datos a nivel nacional y por estados, en particular de aquellos que tuvieran más del 30% de su territorio ocupado por matorrales. Se encontró una relación positiva significativa entre el índice asociado al fenómeno de El Niño con el índice de intensidad, tanto a nivel nacional (b = -5.47, F= 5.47; P= 0.026) como estatal (b= -30.254, F= 5.153; P= 0.029). Es evidente que el fuego es una de las perturbaciones más importantes que afecta a los sistemas biológicos. El entendimiento de las relaciones de El Niño con los incendios es prioritario en la conservación de la biodiversidad y en particular en los matorrales xerófilos ya que es el ecosistema más extendido en México (con más de 60 millones de hectáreas).

Palabra Clave: Cambio Climático, El Niño, Incendios, México, Matorrales

Abstract

We described the ocean-atmospheric phenomenon El Niño and its consequences in biological systems. Also, we described how this phenomenon affects precipitation and temperature in different regions of the planet. When this phenomenon occurs semi-arid regions suffer severe droughts. In semiarid region of central Mexico the scrubland is a more important ecosystem. I order to relating the South Oscillation Index (SOI) with number of fires, number of hectares affected and with intensity fire index (number of hectares affected per number of fires), we analyzed a period of 40 years (1970 to 2010). We used national data and data for states with more than 30% of its territory occupied by scrubland. We found a positive and significantly relationship between SOI and FI to national level (b = -5.47, F = 5.47, P = 0.026) and states level (b = 30,254, F = 5,153, P = 0.029). It is clear that fire is one of the most important disturbances in semiarid ecosystems. The understanding of relationship between El Niño and fires is priority for biodiversity conservation in general and particularly in scrubland, due this ecosystem occupied more area in Mexico.

Keywords : Climatic Change, El Niño, Fire, Mexico, Shurbland

Introducción.

El Niño es un fenómeno océano-atmosférico que genera alteraciones en los regímenes de temperatura y precipitación a nivel global (Arntz & Fahrbach, 1996). Al parecer El Niño ocurre de manera natural y los registros indirectos permiten datar en más de 13 mil años la historia de estos eventos (Beckage *et al.,* 2003). En las últimas décadas la periodicidad con la que se presenta El Niño se ha incrementado significativamente, siendo cada vez más frecuente, lo que puede deberse al proceso del incremento de la temperatura a nivel global.

El Niño ha sido relacionado con periodos de intensas sequías en diferentes partes del globo, desde Australia, África, Euroasia y Norteamérica (Glantz, 2001; Philander, 2004; Meyn *et al.,* 2009; Van der Kaars *et al.,* 2010). Estas sequías ocurren principalmente durante el verano del hemisferio norte. Por otro lado, en el hemisferio sur las precipitaciones importantes se presentan sobre las zonas cercanas a las costas del Atlántico, en países como Perú y Chile. Sin embargo, durante el mismo periodo en algunas regiones de Brasil y México se presentan severas sequias, pero en otras regiones de los mismos países ocurren precipitaciones extraordinarias (Laurence & Willamson, 2001; Magaña *et al.,* 2003)

En años recientes se han publicado diversos estudios que relacionan los eventos de El Niño con la incidencia de incendios forestales. El interés surgió debido al extremadamente alto número de siniestros ocurridos durante El Niño de 1997 – 1998 (14 445 incendios, cuando el promedio en los últimos 30 años fue de 6942 por año) y por las pérdidas económicas derivadas de

ellos. Por otro lado, la emisión de gases de efecto invernadero como el metano y el dióxido de carbono se incrementó de una manera alarmante durante ese periodo. Las estimaciones al respecto son impresionantes, sólo en Indonesia se estimó entre 0.81 and 2.57 Gt de carbón (que equivale a 1000 millones de toneladas) liberado en 1997 que correspondió entre el 13 y 40% del promedio anual de las emisiones de carbón generados por combustibles fósiles en el mundo (Page *et al.,* 2002).

Previo a 1982 poco se sabía acerca del fenómeno de El Niño, es hasta ahora cuando se ha generado gran cantidad de información al respecto. Sin embargo, en México existen pocos trabajos sobre la influencia del El Niño sobre procesos ecológicos (Roman-Cuesta *et al.,* 2003, Villers & Hernández 2007; Skinner *et al.,* 2008). La relación entre El Niño y el cambio de la frecuencia de los incendios ha sido estadísticamente probada. El Niño provoca un déficit hídrico en varias regiones de México, principalmente en el centro del país. Esto genera una disminución importante de la precipitación, principalmente durante el verano. La acumulación de hojarasca como material inflamable y el déficit hídrico generado por la sequia provoca que cuando ocurre un incendio toda la vegetación se queme. Los incendios en años normales (no- Niño) ocurren sobre todo en vegetaciones que acumulan mayor cantidad de materia inflamable, tal como los bosques de Pino-Encino. Sin embargo, en años de El Niño los incendios se propagan a todo tipo de vegetación, incluyendo aquellos tradicionalmente húmedos como las selvas (Roman-Cuesta *et al.,* 2003).

En este trabajo se describe el fenómeno de El Niño, considerando los aspectos básicos de su desarrollo, sus principales teleconexiones y los efectos naturales y económicos que provoca tanto a nivel global como en México. Además, se muestran evidencias de las sequias registradas en el centro del país en los periodos de El Niño y se relacionan el número y extensión de los incendios con el índice de El Niño. Finalmente, se desarrollan algunas perspectivas en la conservación y el manejo de la biodiversidad, considerando la incidencia de El Niño y los incendios.

El Niño

El nombre de El Niño se debe a que el fenómeno ocurre alrededor de la navidad durante el verano en el hemisferio sur (Glynn, 1988). El Niño y su contraparte La Niña ocurren como consecuencia de alteraciones en las condiciones de temperatura del océano en la zona del Pacífico tropical este. En términos generales se habla de un fenómeno de El Niño cuando la temperatura de la superficie del mar se encuentra medio grado o más por arriba del promedio del periodo 1950-1979. Esta situación debe prevalecer por al menos seis meses consecutivos dentro de la banda llamada "Niño 3" (4°N-4°S, 150°W-90°W) (Magaña & Morales, 1999).

En la literatura especializada es posible encontrar como sinónimo de El Niño el término ENSO (*El Niño Southern Oscillation* por sus siglas en inglés), esto debido a la correlación del fenómeno con la oscilación del sur. La oscilación del sur fue descrita durante la primera mitad del siglo XX como una variación de la presión atmosférica entre el pacífico sudoriental y el sudeste asiático, lo que origina movimientos de masas de aire. La relación con El Niño, se da cuando ocurre una disminución de la presión atmosférica en la zona de presión alta subtropical, que provoca el consiguiente debilitamiento de los vientos alisios en el Pacífico y entonces las aguas más calientes del Pacífico tropical se esparcen a lo largo del Ecuador (Glynn, 1988; Arntz & Fahrbech, 1996; Magaña & Morales, 1999).

Cuando las condiciones son contrarias a lo anterior entonces sucede el fenómeno denomina La Niña, el cual genera intensos afloramientos y por lo tanto temperaturas bajas en la superficie marina frente a las costas sudamericanas (Arntz & Fahrbech, 1996). Se ha considerado que un evento típico de El Niño se mantiene entre 18 y 24 meses, con picos en intensidad principalmente durante el verano del hemisferio sur (diciembre a febrero) (Rasmusson & Carpenter, 1983). Durante el siglo pasado se registró el evento de El Niño más prolongado el cual se mantuvo de 1991 a 1995 (Magaña y Morales, 1999). La aparición de El Niño no es periódica, ni necesariamente un evento de La Niña ocurre después de El Niño o viceversa.

Actualmente, existe un gran debate con posiciones radicales entre aquellos que consideran que El Niño es parte de una oscilación continúa sin comienzo ni fin y por otro lado quienes defienden la hipótesis de que El Niño es un evento independiente. Estas posiciones provocan en parte retrasos en cuanto el desarrollo de modelos para la predictibilidad del fenómeno. Por otro lado, la transición de La Niña a El Niño es generalmente difícil de anticipar, debido a que los ciclos estacionales involucran considerables fluctuaciones en el Oeste pero no en el Este. La transición de El Niño a La Niña puede ocurrir en relativamente poco tiempo (de unos pocos meses) y puede ser afectado por vientos del poniente. Sin embargo, debe considerarse que las fluctuaciones del viento son tanto la causa como la consecuencia de las variaciones en la temperatura de los océanos (Philander, 2004).

Las observaciones y registros de El Niño tienen relativamente poco tiempo, donde el número de eventos es escaso para evaluar la variabilidad del fenómeno. Por lo que, los modelos permiten contar con periodos mucho más largos de varios milenios. Se ha reportado que en los últimos 5 mil años han ocurrido eventos de El Niño más frecuentes e intensos, donde previamente dominaba La Niña (Tsonis, 2009). Recientes aproximaciones paleo-climáticas han sido usadas para estimar señales de eventos de El Niño desde 1525 hasta el 2002. Durante ese periodo se reportan un total de 92 eventos de El Niño y 82 de La Niña (Gergis & Fowler, 2009). Usando los datos reportados en el trabajo antes citado, es evidente que durante los últimos 100 años se observa un incremento importante en el porcentaje de eventos extremos con una disminución de los débiles y moderados (Fig. 1).

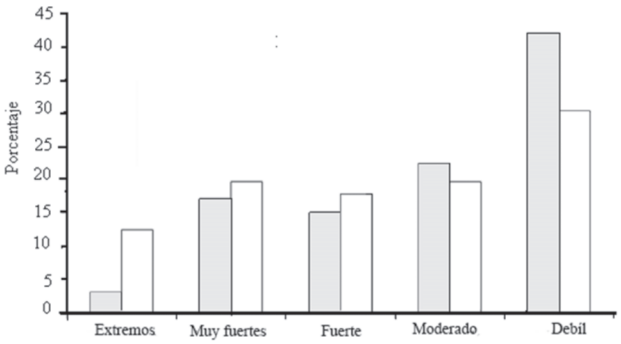

Figura 1. Porcentaje de eventos de El Niño, clasificados de acuerdo a su intensidad. Las barras negras muestran los porcentajes de eventos ocurridos en el periodo de 1525 a 1899, y las blancas el porcentaje de eventos ocurridos entre 1900 y 2002 (modificado de Gergis & Fowler 2009).

A la fecha se desconocen las causas que provocan los eventos de El Niño, sin duda alguna, el aclarar los mecanismos causales del fenómeno permitirá una mayor precisión en los modelos predictivos. Recientemente se ha relacionado la presencia de El Niño con otros fenómenos tales como la liberación de energía del interior del planeta, la actividad volcánica y la variación en la rotación de la Tierra (Handler & Andsager, 1994; Han *et al.,* 2002; Liao *et al.,* 2003). Además, se ha considerado como un factor importante la influencia de factores externos en el origen de los eventos de El Niño, tales como la actividad solar en el clima terrestre (Pérez-Enríquez *et al.,* 1988; Farrar, 2000; Han *et al.,* 2002). Otro factor a considerar, además de la intensidad del evento de El Niño, es que no todos los eventos son iguales en cuanto a la interacción océano-atmosférica.

Recientemente, se han diferenciado dos formas de calentamiento de las masas de agua del Pacífico tropical. El Niño tradicionalmente ocurre cuando el calentamiento sucede en el Pacífico Este, mientras que cuando el calentamiento ocurre en el Pacífico Central el fenómeno recibe el nombre de El Niño Modoki (Weng, 2007; Weng, 2009). El Niño Modoki provoca efectos diferentes sobre los ciclones tropicales del Atlántico, asociado con un incremento en el potencial de que los ciclones toquen tierra en las costas del Golfo de México y Centroamérica (Kim *et al.,* 2009).

En México, se presentan variaciones marcadas de la precipitación durante los eventos de El Niño. Esta variación no es uniforme a lo largo de la República sino que se da por regiones (Magaña, 1998). En las zonas áridas y semiáridas de la región centro-norte se presenta una fuerte disminución de la precipitación durante el invierno y en particular en el verano, mientras que a mayores latitudes ocurre un ligero incremento de la precipitación; lo contrario ocurre durante La Niña (Méndez González *et al.,* 2007). Usando el índice multivariado de ENSO (MEI; como el primer componente principal de la combinación de la presión atmosférica, componentes de la superficie del viento Este-Oeste y Norte-Sur, temperatura de la superficie del mar, temperatura del aire y nubosidad total), se reportó que cuando ocurre un evento de El Niño en México la precipitación se incrementa de enero a marzo, para disminuir de manera importante de junio a septiembre y recuperarse a principios de invierno (Méndez-González *et al.,* 2007). Lo anterior inicia en una pequeña región del centro del país y posteriormente se extiende al sur y a las costas.

El estado de Hidalgo se encuentra ubicado en la parte centro-sur del país, muestra un patrón de precipitación similar al descrito arriba cuando ocurre un evento de El Niño. Por ejemplo, en la ciudad de Pachuca, la cual se encuentra dentro de la zona semiárida del estado, las lluvias ocurren en verano. Sin embargo, el promedio de precipitación de los meses de junio a septiembre desciende de manera importante cuando ocurren eventos de El Niño (Fig. 2) (Pavón & Meza Sánchez 2009). Además, 18 estaciones meteorológicas dentro del estado de Hidalgo tuvieron una pendiente significativa cuando la precipitación anual se ajusto linealmente contra el índice de el niño (promedio trimestral de la variación de temperatura del océano en la región 3 de El Niño) (Pavón & Meza Sánchez 2009). En todos los casos, los análisis indicaron que en los años de El Niño la precipitación disminuye significativamente y aumenta cuando la zona es influenciada por La Niña. Las estaciones ocurren principalmente en la zona sur y centro-oeste del estado, en vegetación de matorral xerófilo y bosque mesófilo de montaña, respectivamente.

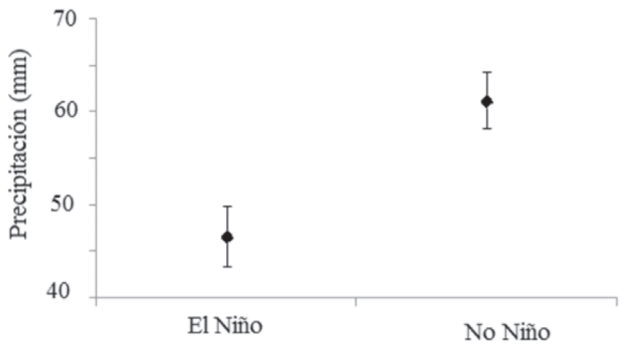

Figura 2. Diferencias en la precipitación promedio (± E.E.) de las lluvias de verano (junio a septiembre) de 1950 a 2006, entre años con evento de El Niño y años Sin Niño en la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

Los efectos de El Niño

El Niño provoca alteraciones en la temperatura y en los regímenes de precipitación a nivel global. Aunque el fenómeno propiamente ocurre a nivel de una faja ecuatorial, sus efectos son notorios en diferentes partes del globo, a esto se la ha denominado teleconexiones de El Niño. Los efectos pueden ser muy contrastantes, provocando sequías en algunas zonas de África, Asia y Oceanía o inundaciones en el Atlántico tropical y las costas Sudamericanas (Glantz, 2001). Las variaciones océano-atmosféricas tienen repercusiones en diferentes ámbitos de la vida humana (social y económica) y sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Un ejemplo del impacto socioeconómico de El Niño se reportó en Kenia uno de los países más pobres de África. Durante el evento de 1997-98 se produjeron enormes deslizamientos de tierra que causaron cientos de muertes. En la mayor parte del país se destruyo el 50% de la infraestructura con pérdidas económicas superiores a los 800 millones de dólares que hicieron caer la economía de Kenia (Ngecu & Mathu, 1999).

Durante el mismo evento de El Niño, considerado el más fuerte del siglo pasado, las perdidas en Sudamérica fueron mucho más severas con 7,544 millones de dólares, siendo Perú el país más afectado contribuyendo con 46.5% de esa pérdida (Santos, 2006). Aunque, las pérdidas económicas en México fueron un poco menores no dejan de ser muy importantes ya que fueron estimadas en 23 mil millones de pesos (incluyendo 6 mil millones por importación de granos) o aproximadamente 2555 millones de dólares si se considera para 1998 un tipo de cambio de 9 pesos por dólar (Delgadillo *et al*., 1999).

Los efectos ecológicos derivados de eventos de El Niño son muy variados e involucran reportes de modificaciones de patrones y procesos en diferentes ambientes y especies. Las interacciones bióticas pueden verse fuertemente afectadas por la desaparición o declinación de poblaciones de especies clave tanto a bajos como altos niveles de la cadena alimenticia. A nivel oceánico se ha realizado diversos reportes sobre los efectos biológicos de El Niño. El efecto sobre la sobrevivencia de diferentes especies de algas marinas o con daños estructurales como en los bosque de kelp (*Macrocystis pyrifera*), es de suma relevancia ya que estas constituyen el alimento de diversas especies cuya demografía se ve afectada, como aves, peces, focas e iguanas marinas (Glynn, 1988). En las costas de Florida, USA, se reportó un incremento de lluvias durante el evento de El Niño 1997-98 que disparó la densidad de fitoplancton provocando alteraciones en la calidad del agua. Esto generó modificaciones morfológicas y demográficas en el pasto marino *Thalassia testudinum* el cual sirve de alimento a una alta diversidad de peces (Carlson *et al.,* 2003).

Aunque faltan muchos estudios para evaluar en toda su magnitud el efecto de El Niño en los ecosistemas acuáticos. La carencia de información en los ecosistemas y especies terrestres es aún mayor. En general se considera que el fenómeno de El Niño tiene una fuerte repercusión a una escala global en cuanto a los flujos de carbón en la biosfera, esto se refleja en variaciones en la productividad primaria en los ecosistemas terrestres (Squeo *et al.,* 2006). Al respecto, se evalúo el flujo de neto de CO_2 en la biosfera en el periodo 1983–1984, cuando ocurrió un evento de El Niño, donde hubo una extraordinaria recuperación de la productividad primaria global en 1985 (Potter & Klooster, 1999). Sin embargo, la productividad primaria difiere de acuerdo a las estrategias de vida de las plantas y a las modificaciones en la disponibilidad de recursos debido a eventos de El Niño (agua para desiertos), como por ejemplo entre herbáceas y pastos (Huxman & Smith, 2001).

Adicionalmente, se han realizado estudios y revisiones evaluando el efecto de El Niño sobre diferentes aspectos ecológicos en diversos niveles de organización, por ejemplo: (i) en el crecimiento poblacional de insectos (Zhang & Li, 1999); en el éxito de establecimiento de cactáceas (Bowers, 1997); en la dinámica del banco de semillas en desiertos (Gutiérrez *et al.,* 2000, Gutiérrez & Meserve, 2003); (iii) en la fenología floral (Walker *et al.,* 1995; Beaubien & Freeland, 2000; Dech & Nosko, 2004); (iv) en la producción de frutos y semillas (Wright & Calderón, 2006); (v) en el crecimiento y mortalidad de árboles (Nishimua *et*

al., 2007); (vi) en interacciones bióticas (Meserve *et al.,* 2003); y en la dinámica de los ecosistemas terrestres (Holmgren *et al.,* 2001; Jaksic, 2001).

En cuanto al último punto, se ha postulado que en las zonas áridas la estructura y dinámica de las comunidades mantienen una estrecha relación con los fenómenos de El Niño y La Niña (Holmgren *et al.,* 2006). En ese sentido en las zonas semiáridas de Chile, se ha considerado que El Niño funciona como una especie de interruptor en el que la estructura de la comunidad pasa de fuerzas "bottom up" a "top down" y viceversa; El Niño produce abundantes lluvias que generan recursos para un incremento en la productividad, así la dinámica ocurre de los niveles tróficos inferiores hacía los superiores (Meserve *et al.,* 2003). Por otro lado, el conocimiento de la relación entre El Niño y los ecosistemas permite establecer oportunidades para la restauración de los ecosistemas degradados, en particular en los ambientes áridos (Holmgren & Scheffer, 2001).

Sequías e Incendios

En el hemisferio norte, las principales afectaciones asociadas con eventos de El Niño son las sequías y los incendios relacionados con éstos. Las regiones del planeta donde las teleconexiones de El Niño están asociadas con un déficit hídrico frecuentemente se producen incendios de diversa magnitud, asociados con las sequías de verano (para el hemisferio norte) que con las oscilaciones climáticas (Meyn *et al.,* 2009). Las zonas tropicales o subtropicales del mundo son las más susceptibles a los incendios (Roman-Cuesta *et al.,* 2004).

Las sequías afectan a más personas que cualquier otro fenómeno climático. Una sequía se define como la carencia de lluvias durante un periodo de tiempo (días a años), que es causada por una "anormalidad" climática (Kallis, 2008). Las sequías provocadas por El Niño en el centro de México han sido de diferente intensidad. En un estudio paleo-limnológico realizado en dos lagos antiguos en el Valle de Santiago, se obtuvo la cronología de las sequías relacionadas con eventos de El Niño, destacándose periodos prolongados de 3 a 7 años en 1850's, 1865, 1880, 1895, 1905, 1915, y en 1920's (Kienel, 2009).

Actualmente, la relación entre las sequías y El Niño, ha subrayado la importancia de la predicción de este último fenómeno en gran parte por las perdidas socio-económicas aunadas. De acuerdo con Kallis (2008), de 1970 a 2007 han sido afectadas por las sequías 1,885,881,000 personas, con pérdidas económicas por $17,574,135,300.00 dólares. Estas cifras son estratosféricas y reflejan la importancia trascendental que tiene el estudio de las sequías y los procesos que las originan. En cuanto a las afectaciones humanas directas el continente más afectado ha sido Asía. Sin embargo, si se considera sólo el aspecto económico entonces los más dañados son Norte América con pérdidas de $ 9,504,800,000. 00 dólares y Oceanía con pérdidas de $8,004,800,000.00 dólares.

Gran parte de las pérdidas provocadas por la sequía es debido a los incendios asociados. El fenómeno de El Niño contribuye de manera importante con esta relación. En años normales los incendios ocurren principalmente durante la época seca y la vegetación con mayor susceptibilidad es aquella con material más flamable como los bosques de pino-encino. Mientras que en años de El Niño la sequía provoca un déficit hídrico en cualquier tipo de vegetación, generando incendios en ecosistemas considerados húmedos como las selvas (Roman-Cuesta *et al.,* 2003). En este sentido, durante El Niño de 1997, en Indonesia ocurrieron extensos incendios sobre ecosistemas boscosos establecidos en humedales ("*forested peatlands*"); en Borneo se quemó 32% del área donde los humedales representaron 91.5%; en total se quemaron 9 millones de hectáreas en 31,500 incendios registrados durante 12 meses, un tercio de ellos sucedieron en la semana del 12 al 18 de octubre de 1997 (Stolle & Tomich, 1999; Page *et al.,* 2002).

La relación El Niño – Sequía – Incendios al parecer es un patrón bajo una escala temporal. Los registros indirectos de incendios de los últimos 250 años relacionados con el índice de Oscilación del Sur (registrados, reconstruidos y con registros históricos de eventos de El Niño) muestran que durante las sequias de ENSO ocurre una mayor incidencia de incendios (Van der Kaars *et al.,* 2010).

Al igual que en Indonesia, en otras partes del planeta se han realizado evaluaciones donde es clara la relación entre El Niño y los incendios, como en Australia, en Centroamérica, en Colombia, en Chile, en la Sierra Nevada (USA), en la Florida y en el sureste de Estados Unidos, en Venezuela y en México (Magaña & Morales, 1999; Beckage *et al.,* 2003; Swetnam & Baison, 2003; Castillo *et al.,* 2003; North *et al.,* 2005; Santos, 2006; Greenville *et al.,* 2009).

En particular en México, la mayoría de los incendios son provocados intencionalmente. Muchos de ellos se generan por prácticas agrícolas como la roza, tumba y quema, por lo que gran parte de las áreas afectadas

son zonas agrícolas y ganaderas. Para el año 1998 se estimó una superficie afectada de 849,632 hectáreas debido a cerca de 14,445 incendios con pérdidas globales de 19 mil millones de pesos (Delgadillo 1999). El patrón ha continuado ya que para 2005 ocurrieron 9,709 incendios que afectaron 276,089 hectáreas y en 2006 se reportaron 8,725 incendios que afectaron 243,864 hectáreas del país (Villers & Hernández, 2007).

Es posible decir que los incendios que cubren mayor extensión y el mayor número de siniestros están asociados con eventos de El Niño o de La Niña (para el noroeste del país), mientras que los más pequeños son atribuidos a manejos agrícolas (Drury & Veblen, 2008; Skinner *et al.,* 2008). Pero el tipo de vegetación y el tiempo de acumulación de hojarasca son factores muy importantes para evaluar la probabilidad de siniestros aun durante ENSO (Skinner *et al.,* 2008: Manzo-Delgado *et al.,* 2009). En Tamaulipas la mayoría de los incendios mayores de mil hectáreas de extensión ocurrieron en bosques templados, mientras que en Oaxaca ocurrieron en selva alta (González-Ramírez *et al.,* 2007). El estado de la república con mayor incidencia de incendios es Chiapas, donde los eventos se incrementan significativamente durante años de El Niño (Roman-Cuesta *et al.,* 2004).

En Australia utilizando imágenes generadas por el satélite Landsat (1972 a 2003) trataron de describir la historia de los incendios como parte fundamental de programas de conservación biológica y evaluar la relación entre el índice de oscilación del sur (SOI por sus siglas en ingles) para predecir áreas incendiadas (Greenville *et al.,* 2009). En el sureste de Asia SOI está fuertemente relacionado con el índice del de El Niño cuando sus valores están en el intervalo de 3 a 4 (r = 0.72) y a su vez se ha establecido que los incendios inician 6 meses antes del máximo valor de SOI (Fuller & Murphy, 2006).

Con los datos del Inventario Forestal Nacional (2000) y mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (Arc View 3.3) se extrajo la información sobre la extensión de los diferentes tipos de vegetación que se distribuyen en cada una de las entidades federativas (en este caso se utilizaron sólo los órdenes jerárquicos de formación y de tipo de vegetación para las estimaciones). A partir de esta información se calculó el porcentaje que los matorrales representan de la extensión para cada estado. Se decidió usar sólo aquellos estados con más del 30% de su área con matorrales. Mediante sumatoria se estimó la cantidad de incendios ocurridos en los matorrales de los estados seleccionados. La razón por la cual utilizar el Inventario Forestal Nacional, fue porque su cartografía se basa en la interpretación visual a escala 1:250 000 de imágenes satelitales Landsat del 2000 (Mas *et al.,* 2002).

Gracias a la nueva política de acceso a la información pública, se solicitó y se obtuvo de la Comisión Nacional Forestal una base de datos desde 1970 hasta el año de 2009, donde se indican para cada una de las entidades federativas el número de incendios, la cantidad de hectáreas (ha^{-1}) afectadas y un índice $\frac{\text{hectáreas afectadas}}{\text{número de fuegos}}$ que refleja la cantidad de hectáreas afectadas por cada fuego al cual denominamos como la intensidad del fuego (Datos obtenidos de la CONAFOR).

De esta base de datos se obtuvo el número de incendios, el número de hectáreas afectadas y el índice de intensidad de estos últimos 29 años para todo el país y una vez que se determinó qué estados estaban dominados por matorrales en su territorio se calculó sólo para ellos la sumatoria de las mismas variables que ya se tenían para el país.

Los valores obtenidos, en cuanto a los incendios, fueron relacionados con el Índice de Oscilación del Sur (SOI), el cual estima las fluctuaciones mensuales o de las estacionales de diferencias de presión atmosférica entre la isla de Tahití y la ciudad de Darwin. SOI se relaciona con varios eventos climáticos y en particular con el fenómeno del El Niño, los valores se obtuvieron de la página "Climate Prediction Center de la National Weather Services de los Estados Unidos (http://www.cpc.noaa.gov/)". Sólo analizamos la serie de datos de 1970 hasta 2009, debido a la carencia de información previa suficiente de incendios en México.

Los estados que tienen más del 30 % de su territorio ocupado con matorrales fueron Baja California Sur, Baja California Norte, Coahuila, Nuevo León, Sonora, San Luis Potosí Chihuahua y Zacatecas (Fig. 3). Estos estados se usaron para calcular los valores de los incendios para las zonas de matorrales.

Existe una gran variación intra-anual en el número de incendios que se presentan en México, con un intervalo entre 2,740 y 14,445 incendios al año. Por otro lado el intervalo de extensión afectada al año varía entre 44,401 y 849,635 ha^{-1}, y en cuanto al índice de intensidad de fuego se registró una variación que va desde 12.90 a 58.81 ha^{-1} afectadas por incendio.

Las regresiones muestran que sólo hay una significancia estadística entre SOI y el índice de intensidad

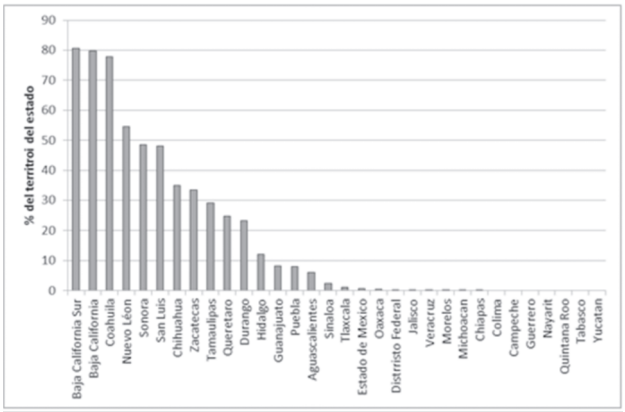

Figura 3. Valores del porcentaje de extensión territorial dentro de los entidades federativas, del tipo de vegetación de los matorrales xerófilos, basándose en la información del Inventario forestal nacional basado en foto interpretación del años 2000.

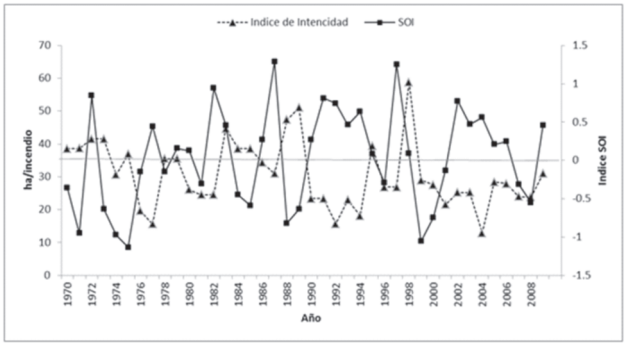

Figura 4. Se presentan los valores para el país (línea solida) y para los estados dominados por matorrales (línea punteada) del número de hectáreas afectadas por incendio durante el periodo que comprenden los años de 1970 a 2009.

de fuego, tanto para los todo el país (b = -5.47, F = 5.47; P = 0.026) como para los estados dominados por matorrales (b = -30.254, F = 5.153; P = 0.029). En ambos casos, la varianza explicada del modelo de regresión fue de solo el 12 %. (Fig. 4)

Estos resultados nos muestran que el índice SOI parece afectar la intensidad de los fuegos en el país y dentro de los estados dominados por los matorrales, que hay una tendencia muy parecía entre los valores del índice de hectáreas afectadas del país y la de los matorrales a lo largo de los años (Fig. 5). Sin embargo, hay un cambio muy importante en la magnitud siendo mucho más sensibles los matorrales a los incendios en los años con valores negativos de SOI (que son los años usualmente donde se presenta el fenómeno del Niño), ya que se incrementa considerablemente el número de hectáreas afectadas de las regiones dominadas por matorrales con respecto al país (Fig. 5).

Figura 5. Se muestran, a lo largo del periodo de 1970 a 2009, los valores del índice SOI ("Southern Oscillation Index") y los valores del índice de intensidad de incendio.

Los matorrales xerófilos representan uno de los tipos de vegetación predominantes en México, se estima en 60 millones de hectáreas que comprende la zona de distribución potencial de esta vegetación (Sánchez *et al.*, 2009). A su vez tienen mayor predisposición a los incendios, debido a las frecuentes sequías asociadas que ocurren en estos ecosistemas semiáridos. Por lo que es de suma importancia considerar la relación entre los fenómenos de El Niño y La Niña en la conservación de la biodiversidad en este tipo de vegetación.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo recibido por el proyecto FOMIX (98122) "Efecto del cambio climático sobre la biodiversidad en el estado de Hidalgo" asi como a la Comision Nacional Forestal por su apoyo al proporcionarnos la información de los incendios.

Literatura citada

Arntz W.E. & Fahrbech E. 1996. El Niño, experiment climatic de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. 312 p.

Beaubien E.G. & Freeland H.J. 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. International Journal of Biometeorology 44: 53–59.

Beckage B., Platt W.J., Slocum M.G. & Pank B. 2003. Influence of the El Niño Southern Oscillation on fire regimes in the Florida everglades. Ecology 84: 3124-3130.

Bowers J.E. 1997. Demographic patterns of *Ferocactus cylindraceus* in relation to substrate age and grazing history. Plant Ecology 133: 37–48.

Carlson Jr P.R., Yarbro L.A., Madley K., Arnold H., Merello M., Vanderbloemen L., Mcrae G. & Dukako M.J. 2003. Effect of El Niño on demographic, morphological, and chemical parameters in turtle-grass (*Thalassia testudinum*): an unexpected test of indicators. Environmental Monitoring and Assessment 81: 393–408.

Castillo M., Pedernera P. & Peña E. 2003. Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. Revista ambiente y desarrollo de CIPMA 29: 44-53.

Dech J.P. & Nosko P. 2004. Rapid growth and early flowering in an invasive plant, purple loosestrife (*Lythrum salicaria* L.) during an El Niño spring. International Journal of Biometeorology 49: 26–31.

Delgadillo M.J., Aguilar O.T. & Rodríguez V.D. 1999. Los aspectos económicos y sociales de El Niño. 181-210 pp. En: Magaña Rueda V. O. (Edit.) Los Impactos de El Niño en México. Dirección de protección civil, Secretaria de Gobernación, México, D.F.

Drury S.A. & Veblen T.T. 2008. Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico 197: 299-316.

Farrar P.D. 2000. Are cosmic rays influencing oceanic cloud coverage or is it only El Niño. Climatic Change 47: 7–15.

Fuller D.O. & Murphy K. 2006. The ENSO-fire dynamic in insular Southeast Asia. Climatic Change 74: 435 – 455.

Gergis J. L. & Fowler A.M. 2009. A history of ENSO events since A.D. 1525: implications for future climate change. Climatic Change 92:343–387.

Glantz M.H. 2001. Currents of change: impacts of El Niño and La Niñaon Climate and Society. Cambridge University Press, 2a edition. 252 p.

Glynn P.W. 1988. El Niño- Southern Oscillation 1982-1983: nearshore population, community, and ecosystem responses. Annual Review in Ecology and Systematic 19: 309 – 345.

González-Ramírez L.M., Galicia L. & Gómez-Mendoza L. 2007. El efecto de El Niño (ENSO) en la presencia de incendios forestales extremos. Resúmenes de las comunicaciones de la IV Conferencia Internacional sobre incendios forestales. 13-17 mayo de 2007, Sevilla España.

Greenville A.C., Dickman C.R., Wardle G.M. & Letnic M. 2009. The fire history of an arid grassland: the influence of antecedent rainfall and ENSO. International Journal of Wildland Fire 18: 631- 639.

Gutiérrez J.R., Arancio G. & Jaksic F.M. 2000. Variation in vegetation and seed bank in a Chilean semi-arid community affected by ENSO 1997. Journal of Vegetation Science 11: 641-648.

Gutiérrez J. R. & Meserve P. L. 2003. El Niño effects on soil seed bank dynamics in north-central Chile Oecologia 134: 511–517.

Han Y., Zhao J. & Li Z. 2002. Inter-annual variation of the earth rotation and El Niño. Chinese Science Bulletin 47:105-107.

Handler P. & Andsager K. 1994. El Niño, volcanismo, and global climate. Human ecology 22: 37-57.

Holmgren M. & Scheffer M. 2001. El Niño as a Window of Opportunity for the Restoration of Degraded Arid Ecosystems. Ecosystems 4: 151–159.

Holmgren M., Scheffer M., Ezcurra E., Gutiérrez J.R. & Mohren G.M.J. 2001. El Niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems. Trends in Ecology & Evolution 16: 89-94.

Holmgren M., Stapp P., Dickman C.R., Gracia C., Graham S., Gutiérrez J.R., Hice C., Jaksic F., Kelt D.A., Letnic M., Lima M., López B.C., Meserve P.L., Milstead W.B., Polis G.A, Previtali M. A., Richter M., Sabaté S. & Squeo F.A. 2006. Extreme climatic events shape arid and semiarid ecosystems. Frontiers in Ecology and the Environment 4: 87–95.

Huxman T.E. & Smith S.D. 2001. Photosynthesis in an invasive grass and native forb at elevated CO2 during an El Niño year in the Mojave Desert. Oecologia 128: 193–201.

Jaksic F.M. 2001. Ecological effects of El Niño in terrestrial ecosystems of western South America. Ecography 24: 241–250.

Kallis G. 2008. Droughts. Annual Review of Environmental and Resources 33: 85-118.

Kienel U., Bowen S.W., Byrne R., Park J., Bo¨hnel H., Dulski P., Luhr J.F., Siebert L., Haug G.H. & Negendank J.F.W. 2009. First lacustrine varve chronologies from Mexico: impact of droughts, ENSO and human activity since AD 1840 as recorded in maar sediments from Valle de Santiago. Journal of Paleolimnology 42: 587–609.

Kim H.-M., Webster P.J. & Curry J.A. 2009. Impact of Shifting Patterns of Pacific Ocean Warming on North Atlantic Tropical Cyclones. Science 325: 77 – 80.

Laurance, W. F. & B. Williamson 2001. Positive feedbacks among forest fragmention, drought, and climate change in the Amazon. Conservation Biology 15: 1529-1535

Liao D., Zhou Y. & Liao X. 2003. A weak El Niño event in 2002 detected by the astronomical observation. Chinese Science Bulletin 48: 1709 – 1713.

Magaña V.O., 1998. Climatología de México. En: Los Impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México.

Magaña V. & Morales C. 1999. Introducción. 1-22 pp. En: Magaña Rueda V. O. (Edit.) Los Impactos de El Niño en México. Dirección de protección civil, Secretaria de Gobernación, México, D.F.

Magaña, V.O., Vazquez, J. L. Pérez, J. L. & Pérez J. B. 2003. Impact of the Niño on precipitacion in Mexico. Geofisica International 42:313-330

Manzo-Delgado L., Sanchez-Colon S. & Alvarez R. 2009. Assessment of seasonal forest fire risk using NOAA-AVHRR: a case study in central Mexico. International Journal of Remote Sensing 30: 4991-5013.

Mas J.-F., A. Velázquez J. L. Palacio-Prieto G., Bocco, A. Peralta & Prado J. 2002. Assessing forest resources in Mexico: Wall-to-wall land use/ cover mapping", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 68: 966-969.

Mendez Gonzalez J., Návar Cháidez J.J., Gonzalez Rodríguez H. & Treviño Garza E.J. 2007. Teleconexiones del fenómeno ENSO a la precipitación mensual en México. Ciencias UANL 10: 290 – 298.

Meserve P.L., Kelt D.A., Milstead W. B., & Gutíerrez J.R. 2003. Thirteen Years of Shifting Top-Down and Bottom-Up Control. BioScience 53: 633 – 646.

Meyn A., Taylor S.W., Flannigan M.D., Thonicke, K. & Cramer W.. 2009. Relationship between fire, climate oscillations, and drought in British Columbia, Canada, 1920–2000. Global Change Biology 16: 977-989.

Nishimua T.B., Suzuki E., Kohyama T. & Tsuyuzaki S. 2007. Mortality and growth of trees in peat-swamp and heath forests in Central Kalimantan after severe drought. Plant Ecology 188: 165–177.

Ngecu W.M. & Mathu E.M.. 1999. The El-Nino-triggered landslides and their socioeconomic impact on Kenya. Environmental Geology 38: 277-284.

North M., Hurteau M., Fiegener R. & Barbour M. 2005. Influence of fire and El Niño on tree recruitment varies by species in Sierran mixed conifer. Forest Science 51: 187-197.

Page S.E., Siegert F., Rieley J.O., Boehm H.D.V., Jaya A. & Limin S. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. Nature 420: 61-65.

Pavón N.P. & Meza-Sánchez M. 2009. Cambio climático en el estado de Hidalgo: clasificación y tendencias climáticas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 168 p.

Pérez-Enríquez R., Mendoza B. & Alvarez-Madrigal M. 1998. Solar activity and El Niño: the auroral connection. Il Nouvo Cimento 12: 223 – 230.

Philander S.G. 2004. Our affair with El Niño. Princeton University Press, New Jercey. 275 pp.

Potter C.S. & Klooster S.A. 1999. Detecting a terrestrial biosphere sink for carbon dioxide: interannual ecosystem modeling for mid-1980s. *Climatic Change* 42: 489–503.

Rasmusson E.M. & Carpenter TH. 1983. The relationship between Eastern equatorial pacific sea surface temperatures and rainfall over India and Sri Lanka. Monthly Weather Review 11. 517 - 528

Roman-Cuesta R.M., Gracia M. & Retana J. 2003. Environmental and human influencing fire in ENSO and non-enso years in tropical Mexico. Ecological applications 13: 1177-1192.

Roman-Cuesta R.M., Retana J. & Gracia M. 2004. Fire trends in tropical Mexico –a case study of Chiapas. Journal of Forestry 102: 26-32.

Sánchez C., A. Flores-Martínez I. Cruz-Leyva & Velázquez A. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En: Capital natural de México. Estado de conservación y tendencias del cambio. CONABIO, México.

Santos J. L. 2006. The Impact of El Niño – Southern Oscillation Events on South America. Advances in Geosciences 6: 221–225.

Skinner C.N., Burk J.H., Barbour M.G., Franco-Vizcaino E. & Stephens S.L. 2008. Influences of climate on fire regimes in montane forests of north-western Mexico. Journal of Biogeography 35: 1436-1451.

Squeo F.A., Tracol Y., López2, D. Gutiérrez J. R., Cordova A.M. & Ehleringer J.R. 2006. ENSO effects on primary productivity in Southern Atacama desert. Advances in Geosciences 6: 273–277.

Stolle F. & Tomich T.P.1999. The 1997-1998 fire event in Indonesia. Nature & Resources 35: 22-30.

Swetnam T.W. & Baison C.H. 2003. Tree-ring reconstructions of fire and climate history in the Sierra Nevada and Southwestern United States. En: Veblen, W. Baker, L., Montenegro, G. & Swetnam, T.W. (eds). Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas. Springer, New York. 158-195 pp.

Tsonis A.A. 2009. Dynamical changes in the ENSO system in the last 11,000 years. Climate Dynamics 33:1069–1074.

Van der Kaars, S., Tapper N. & Cook E.J. 2010. Observed relationships between El Nino-Southern Oscillation, rainfall variability and vegetation and fire history on Halmahera, Maluku, Indonesia Global Change Biology 16: 1705-1714.

Villers R.L. & Hernández LJ. 2007. Incendios forestales y el fenómeno de El Niño en México. Resumenes de las comunicaciones de la IV Conferencia Internacional sobre incendios forestales. 13-17 mayo de 2007, Sevilla España.

Walker M.D., Ingersoll R.C. & Webber P.J. 1995. Effects of interannual climate variation and growth of two alpine forbs. Ecology 76: 1067–1083.

Weng H., Ashok K., Behera, S.K., Rao S.A. & Yamagata T. 2007. Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal summer. Climate Dynamics 29:113–129.

Weng H., Behera S.K. & Yamagata T. 2009. Anomalous winter climate conditions in the Pacific rim during recent El Niño Modoki and El Niño events. Climate Dynamics 32: 663–674.

Wright S.J. & Calderón O. 2006. Seasonal, El Niño and longer term changes in flower and seed production in a moist tropical forest. Ecology Letters, 9: 35–44.

Zhang Z. & Li D. 1999. A posible relationship between outbreaks of the oriental migratory locust (Locusta migratoria manilensis) in China and the El Niño episodes. Ecological research 14: 267 – 270.