

# Effect of fires on understory vegetation and chemical properties of temperate forest soil

## Efecto de incendios en la vegetación de sotobosque y propiedades químicas de suelo de bosques templados

Cadena-Zamudio, Daniel A.<sup>1</sup>; Flores-Garnica, José German<sup>2\*</sup>; Flores-Rodríguez, Ana G.<sup>2</sup>; Lomelí-Zavala, Mónica E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ecología A.C. Red de Biología Evolutiva, Carretera antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa, Veracruz, México. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Av. Biodiversidad 2470, Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

\*Autor de correspondencia: flores.german@inifap.gob.mx

### ABSTRACT

**Objective:** to assess the severity of a forest fire and its impact on understory vegetation (shrubs, herbs, grasses) and on the chemical properties of the soil.

**Design/methodology/approach:** in an area of 100 m<sup>2</sup>, individuals of shrubs, herbs and grasses were recorded. Soil was also collected in 60x60 cm subsites in all sampling sites in three regions of a temperate forest considering the severity of the fire as intact, intermediate and severe.

**Results:** it was found that the relative abundance of different life forms varied in relation to severity, only herbaceous benefited in intermediate severity, shrubs and grasses decreased. Soil pH and exchangeable cations Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Ca<sup>++</sup> increased as fire severity increased. N, P, K nutrients increased mainly in the intermediate severity, contrary to expectations for N.

**Limitations of the study/implications:** not having more temperate forest zones replicated reduces the ecological patterns of understory vegetation succession and chemical soil changes.

**Findings/conclusions:** the intermediate fire severity presented greater abundance of herbaceous plants. Similarly, the interchangeable cations, nitrogen, phosphorus and potassium increased in the same severity.

**Keywords:** Life forms, forest ecosystems, severity, nutrients, pH.

### RESUMEN

**Objetivo:** evaluar la severidad de un incendio forestal y su impacto en la vegetación de sotobosque (arbustos, hierbas, pastos) y en las propiedades químicas del suelo.

**Diseño/metodología/aproximación:** en un área de 100 m<sup>2</sup> se registraron los individuos de arbustos, herbáceas y pastos. También se recolectó suelo en cuadros de 60x60 cm en todos los sitios de muestreo en tres regiones de un bosque templado considerando la severidad del incendio como intacto, intermedio y severo.

**Resultados:** se encontró que la abundancia relativa de las diferentes formas de vida varió en relación a la severidad, solo las herbáceas se beneficiaron en severidades intermedias, los arbustos y pastos disminuyeron. El pH del suelo y los cationes intercambiables  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  y  $Ca^{++}$  aumentaron conforme aumentó la severidad del incendio. Los nutrientes N, P, K aumentaron principalmente en las severidades intermedias, contrario a lo esperado para N.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** no contar con réplicas de más zonas de bosques templados reduce los patrones ecológicos de la sucesión de la vegetación del sotobosque y los cambios químicos del suelo.

**Hallazgos/conclusiones:** la severidad intermedia del incendio presentó mayor abundancia de herbáceas. De igual manera, los cationes intercambiables, el nitrógeno, fósforo y potasio aumentaron en la misma en severidad.

**Palabras clave:** Formas de vida, ecosistemas forestales, severidad, nutrientes, pH.

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son una de las principales causas que afectan los ecosistemas forestales del mundo (Pausas y Keeley, 2009), impactando por año entre 330 y 431 millones de hectáreas de vegetación (Van der Werf *et al.*, 2010). Específicamente, estos influyen en los patrones espaciales y temporales de la biodiversidad, impactando la composición de la comunidad de plantas y animales, así como la riqueza y abundancia de las mismas. No obstante, el nivel de impacto se encuentra relacionado con la intensidad, tamaño y frecuencia del incendio (Sugihara *et al.*, 2006). De esta forma, el impacto ambiental de los incendios forestales puede ir desde la modificación y modelación de los ecosistemas forestales, de tal manera que se contribuye a la selección de especie y se influye en su densidad, productividad, y estabilidad (González *et al.*, 2008). De igual forma los incendios pueden alterar los procesos ecológicos como el ciclo de nutrientes, la estructura del suelo (Wohlgemuth *et al.*, 2006) y el almacenamiento de carbono (North y Hurteau, 2011), los cuales están determinados por la resiliencia de los ecosistemas en relación al impacto del fuego.

Como consecuencia de lo anterior, se afecta la dinámica de la vegetación, la cual está en función de las diferentes formas de vida y sus características para tolerar el fuego y su nivel de severidad (Lloret y Vila, 2003). De esta forma un incendio puede modificar la estructura y composición de las especies, llegando incluso a alterar el hábitat y el paisaje (Stephens *et al.*, 2009). Sin embargo, los incendios también pueden ser benéficos para ciertos procesos, como el caso de los conos serótinicos (pinos), donde el calor de un incendio les permite liberar su semilla. Además, la disminución de densidad de la vegetación favorece la entrada de luz, haciendo disponibles algunos residuos orgánicos del suelo (Rodríguez, 1996). Las propiedades físicas y químicas del suelo son considerados como los factores con mayores alteraciones después de un incendio forestal (Kay *et al.*, 2008). En las

primeras se registran cambios en el color, textura, temperatura, capacidad de retención de agua y erosión del suelo en condiciones extremas del incendio (Mac Donald y Huffman, 2004). Mientras que, las propiedades químicas se relacionan con la pérdida de nutrimentos y minerales de los combustibles vivos por lixiviación o volatilización. Así mismo la severidad puede generar cambios de mayor magnitud, como el incremento del pH del suelo (alcalinos), además de pérdidas de C, P, Ca, Mg,  $NO_3$  y  $NH_4$  (Knicker, 2007).

Si bien se han documentado los cambios por la severidad de los incendios forestales sobre la vegetación (Rodríguez *et al.*, 2007), la mayoría de los estudios se han enfocado a evaluar la regeneración de la vegetación arbórea (Vera y Rodríguez, 2007), sin considerar los cambios que se dan en la vegetación del sotobosque, donde se encuentran diferentes formas de vida (arbustos, herbáceas y pastos); además de las alteraciones dadas en función a la severidad de los incendios, tales como las propiedades químicas del suelo (pH y componentes químicos). De acuerdo con lo anterior, se evaluó el impacto de la severidad de un incendio forestal en la vegetación no arbórea (arbustos, herbáceas y pastos) así como en las propiedades químicas del suelo de un bosque templado en el estado de Jalisco, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

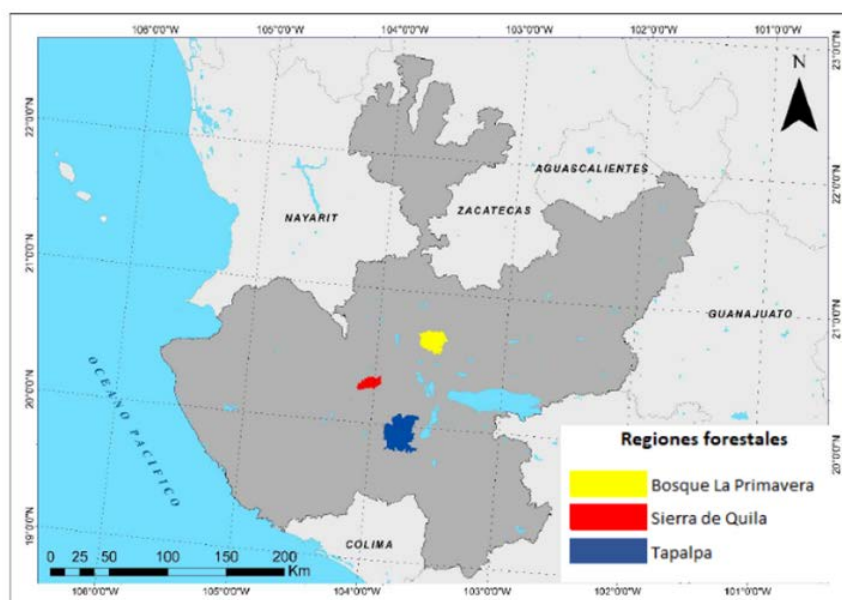
El estudio se desarrolló en el estado de Jalisco, México, el cual cuenta con diversas áreas forestales, dentro de las cuales se seleccionaron de acuerdo al tipo de vegetación, condiciones ambientales y altitud. Con base a lo anterior se eligieron las

siguientes regiones: El bosque La Primavera, Sierra de Quila y Tapalpa (Figura 1).

**Caracterización de Regiones:** El bosque de La Primavera (103° 35' 57.8" N, 20° 36' 30.4" O) registra precipitación media anual de 800 a 1000 mm, y temperatura media anual de 20.6 °C. La vegetación se caracteriza por bosque de encino-pino, pino-encino, bosque de encino y pastizal inducido (CONANP, 2000). La Sierra de Quila (104° 01' 35.7" N, 20°18' 08.5" O), se caracteriza por tener vegetación dominante de bosque de encino y en menor proporción el bosque encino-pino. La temperatura media anual es de 18 °C, con lluvias en verano que se presenta en la mayor parte de la sierra (SEMADES, 2016). La sierra de Tapalpa se localiza al suroeste del estado de Jalisco (19° 36' 49" a 20° 05' 54" N, 103° 36' 20" a 103° 54' 00" O) (INAFED, 2018). Los tipos de vegetación son el bosque de pino-encino, pastizal inducido, matorral subtropical y selva baja caducifolia. La temperatura media anual es de 16.7 °C, con precipitación media anual de 883.1 mm (INAFED, 2018).

El propósito de este estudio fue determinar si existe diferencia de la vegetación de sotobosque y el suelo al ser impactadas por el fuego, considerando diferentes niveles de severidad y su relación con las tres regiones consideradas. De acuerdo con esto, el estudio se basó en un diseño experimental factorial compuesto de dos factores: 1) Regiones (Bosque de la Primavera, Sierra de Quila y Tapalpa); y 2) Condiciones (sin incendio, con incendio intermedio y con incendio extremo). Para determinar la severidad de los incendios se evaluaron las áreas de muestreo mediante recorridos en campo por las áreas forestales y la observación directa de la vegetación local. Una vez ubicadas estas condiciones, se seleccionaron nueve sitios de muestreo en forma de círculos de 400 m<sup>2</sup>, con tres sub sitios en cada uno n=27 unidades experimentales (Flores et al., 2019).

**Evaluación de vegetación de sotobosque:** Para la toma de datos en el sitio de 400 m<sup>2</sup> (Aguirre et al., 1997), se definió un área de 100 m<sup>2</sup> la cual se dividió en tres tercios, en donde se registraron los individuos de arbustos, herbáceas y pastos (Poaceae) con el género, nombre común, porcentaje de cobertura, altura, diámetro de copa menor y copa mayor. Para evaluar las propiedades químicas



**Figura 1.** Ubicación geográfica de las regiones forestales de estudio (Bosque de La Primavera, Sierra de Quila y Tapalpa) en el estado de Jalisco, México (Flores et al., 2019).

del suelo, en los diferentes niveles de severidad del incendio se extrajeron tres muestras de 1 kg suelo. Para esto se usó un cuadro de 60x60 cm, a una profundidad de 0-10 cm quitando la capa de hojarasca (Alcántara et al., 1992) esto debido a que es la capa que está más expuesta a los impactos del fuego y en la que se establece la regeneración vegetal. Las muestras se analizaron mediante la metodología de Jackson (1982) y Tan (1996). El pH se determinó por medio de la relación suelo agua 1:2 Walkley-Black, el nitrógeno inorgánico fue extraído con cloruro de potasio 2N. El fósforo por hidrómetro de Bouyoucos. El potasio fue extraído en acetato de amonio 1,0N. El calcio y magnesio fueron extraídos en acetato de amonio 1,0N pH 7,0 relación 1:20. El hierro, cobre, zinc y manganeso por medio DTPA relación 1:4.

En cuanto a las variables del suelo, cada registro físico-químico se promedió para cada región, y debido a que no se cumplieron los supuestos de normalidad, los datos fueron transformados a base logarítmica (10). Se usó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey para identificar diferencias significativas en los nutrientes del suelo, entre los sitios con respecto a la severidad del incendio y la región.

### Abundancia relativa

A partir de los datos de campo, se calculó la abundancia relativa para cada forma de vida en las diferentes severidades del incendio (Magurran, 2004). Si bien la ecuación usada toma en cuenta el número de individuos por especie, en este estudio se modificó la variable especies



por las formas de vida del sotobosque, obteniendo el número de individuos para arbustos, herbáceas y poáceas. La abundancia relativa se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$A_i = \frac{N_i}{S}$$

$$AR_i = \left( \frac{A_i}{\sum A_i} \right) * 100$$

$$i = 1...n$$

Donde:  $AR_i$  = Abundancia relativa de la especie  $i$  respecto a la abundancia total,  $A_i$  = Abundancia absoluta,  $N_i$  = Número de individuos por forma de vida  $i$ ,  $S$  = Superficie de muestreo (ha).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH del suelo en los sitios de estudio se clasificó para cada región, sin registrar diferencias significativas entre las severidades del incendio para las tres regiones de estudio ( $P > 0.05$ ). Sin embargo, los valores de pH mostraron aumento en las severidades intermedias y extremas en más de una unidad para las regiones de Tapalpa y Quila (Cuadro 2 y 3). Lo anterior se puede atribuir a la incorporación de cenizas, las cuales contienen cationes básicos ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ) y carbonato potásico ( $K_2CO_3$ ), que al proceder de un ácido débil y de una base fuerte, presenta reacción básica cuando se hidroliza con el consiguiente aumento del pH del suelo (Granged *et al.*, 2011). Contrario a las regiones de Tapalpa y Quila, en el bosque de la primavera el pH disminuyó en relación a la severidad del incendio (Cuadro 1) (Martínez *et al.*, 1991).

Al evaluar los cationes intercambiables como el  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$  y  $K^+$  en las áreas con diferentes severidades del incendio, se registró incremento para las condiciones intermedias y extremas en las tres regiones (Cuadro 1, 2 y 3). Lo que concuerda a lo reportado por Capulín *et al.* (2010), con aumentos en  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$  y  $K^+$  en bosques con incendios forestales recurrentes. Estos aumentos se deben principalmente a la disminución del intercambio catiónico del suelo por efecto de la destrucción de la materia orgánica (Cuesta y Giraldo, 2013). Aunque existen incrementos, estos se pueden perder debido al lavado del suelo, lo que lo puede volver a empobrecer a corto plazo (Cuesta y Giraldo, 2013).

**Cuadro 1.** Propiedades químicas del suelo de la región de Bosque de la primavera Jalisco, México.

Propiedad (mg kg <sup>-1</sup> )	Nivel de severidad		
	Intacto	Intermedio	Extremo
Fósforo	0.602	0.954*	0.699*
Potasio	2.140	2.057	2.509*
Calcio	2.401	2.718*	2.316
Magnesio	1.934	2.021*	1.820
Azufre	1.079	0.602	0.845
Boro	0.523	0.523	0.699*
Cobre	1.000	1.000	1.000
Hierro	2.140	2.230*	2.021
Manganeso	1.415	1.415	0.954
Zinc	0.491	0.672*	0.230
Sodio	1.204	1.114	1.279*
K/Mg	0.310	0.481*	0.179
Ca/Mg	0.246	0.474*	0.274*
Nitrógeno-nitrato	0.477	0.954*	0.699*
pH	6.4	5.6	5.4

Los datos fueron transformados a base logarítmica (10), excepto el pH. n=126. \*Incrementos de las propiedades químicas en relación al nivel de severidad.

Un aspecto importante que destaca en este estudio son los altos niveles de calcio (3.67 mg kg<sup>-1</sup>), magnesio (2.24 mg kg<sup>-1</sup>) y fósforo (2.50 mg kg<sup>-1</sup>) para las regiones

**Cuadro 2.** Propiedades químicas del suelo de la región de Tapalpa Jalisco, México.

Propiedad (mg kg <sup>-1</sup> )	Nivel de severidad		
	Intacto	Intermedio	Extremo
Fósforo	0	0.699*	1.079*
Potasio	2.201	2.444*	2.609*
Calcio	3.128	3.670*	3.597*
Magnesio	2.117	2.455*	2.605*
Azufre	1.176	1.342*	1.342
Boro	0.699	0.204	0
Cobre	0.222	0.155	0.301*
Hierro	1.602	1.908*	2.033*
Manganeso	1.041	1.771*	1.362*
Zinc	0.301	0	0.362*
Sodio	1.362	1.176*	1.322
K/Mg	0.432	0.523*	0.509*
Ca/Mg	0.790	0.991*	0.769
Nitrógeno-nitrato	0.845	1.230*	1.322*
pH	6.3	7.4*	7*

Los datos fueron transformados a base logarítmica (10), excepto el pH. n=126. \*Incrementos de las propiedades químicas en relación al nivel de severidad.

Tapalpa, Quila y bosque de La Primavera respectivamente (Cuadro 1, 2 y 3), que se atribuyen a la repuesta de los nutrientes del suelo en función a la temperatura registrada (Zavala et al., 2014). En este sentido, el fósforo se considera moderadamente sensible, con un umbral de 774 °C, mientras que el calcio y el magnesio son considerados como relativamente insensibles, con umbrales que van desde 1107 °C hasta 1484 °C. Lo que podría indicar que los incendios que ocurrieran para las tres regiones probablemente fueron muy intensos generando altas temperaturas (Cuesta y Giraldo, 2013).

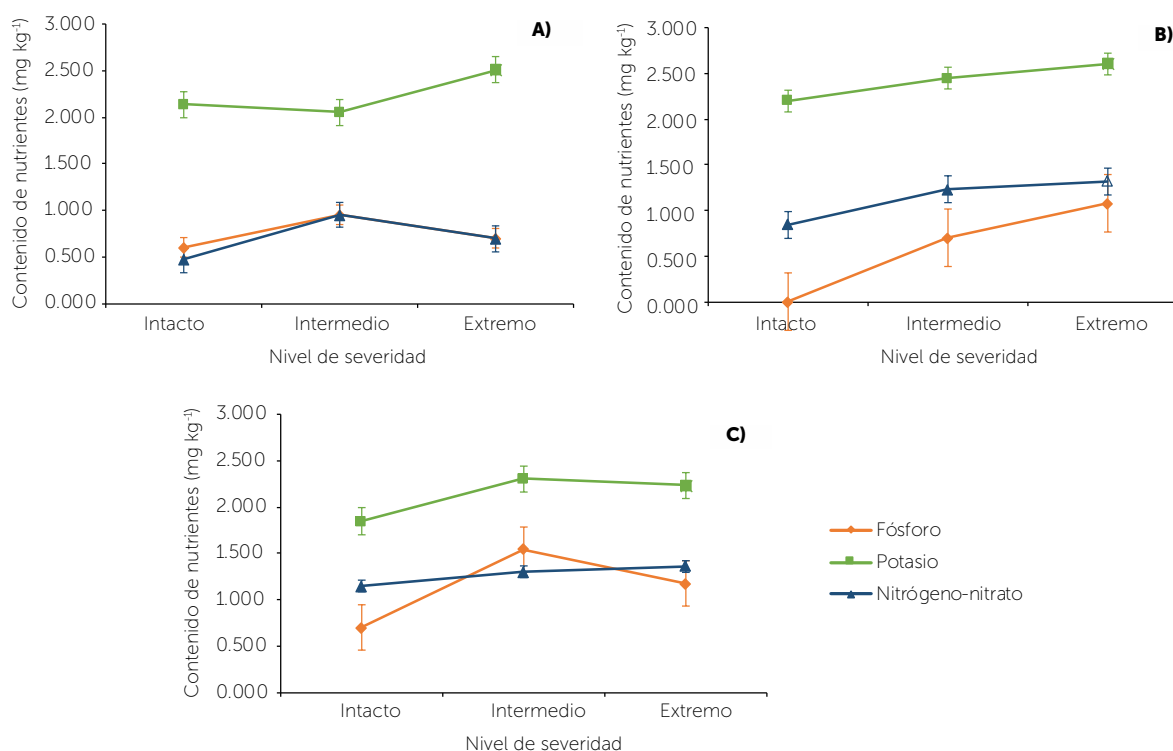
La dinámica de los nutrientes fue similar para las tres regiones de muestreo en áreas sin incendio, como en las que tuvieron impacto del incendio en diferentes severidades; así, por ejemplo, el fósforo (P) registró incremento en áreas con severidad intermedia en el bosque de la primavera con valores de 0.95 mg kg<sup>-1</sup>, y Quila 1.54 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2 A y C), lo cual puede estar relacionado con el aporte de las cenizas de la materia carbonizada, pero también con la temperatura, la cual probablemente no fue suficiente para que el fósforo se volatilizara (Caldwell et al., 2002). Lo anterior es semejante a lo reportado por Maycotte et al. (2002), quienes observaron mayor contenido de P en condiciones de severidad intermedia.

**Cuadro 3.** Propiedades químicas del suelo de la región de Quila Jalisco, México.

Propiedad (mg kg <sup>-1</sup> )	Nivel de severidad		
	Intacto	Intermedio	Extremo
Fósforo	0.699	1.544*	1.176*
Potasio	1.845	2.305*	2.236*
Calcio	3.108	3.258*	3.222*
Magnesio	2.272	2.328*	2.394*
Azufre	1.255	1.255	1.279*
Boro	0.398	0.301	0.301
Cobre	0.699	1.000*	0.699
Hierro	2.049	2.241*	1.924
Manganeso	1.041	1.839*	1.568
Zinc	0.222	0.415*	0.041
Sodio	1.114	1.322*	1.176*
K/Mg	0.921	0.538	0.678
Ca/Mg	0.614	0.706*	0.604
Nitrógeno-nitrato	1.146	1.301*	1.362*
pH	5.5	5.9*	6.3*

Los datos fueron transformados a base logarítmica (10), excepto el pH n=126. \*Incrementos de las propiedades químicas en relación al nivel de severidad.

El Potasio (K) mostro una tendencia con valores más altos en áreas con severidades extremas para el bosque de la primavera con valores de 2.50 mg kg<sup>-1</sup>, Tapalpa



**Figura 2.** Contenido de nutrientes del suelo en relación a la severidad del incendio para las regiones A) Bosque de la primavera, B) Sierra de Tapalpa, C) Sierra de Quila, en Jalisco, México.

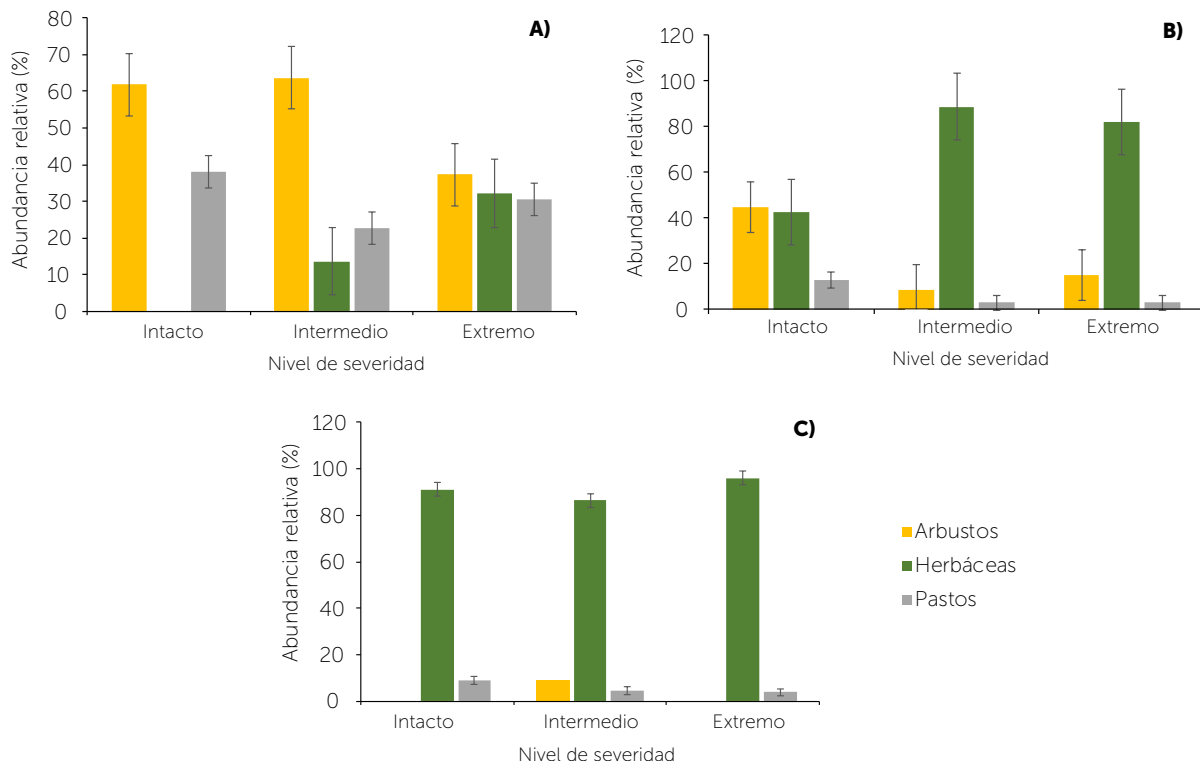
2.60 mg kg<sup>-1</sup>, y Quila 2.26 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 2 A, B y C). El potasio es considerado un constituyente no volátil, lo que significa que puede permanecer en la superficie de las cenizas, aunque la severidad del incendio sea extrema (Rosero y Osorio, 2013). Sin embargo, estos valores pueden disminuir a corto plazo debido a la lixiviación por el efecto de las lluvias post-incendio.

El nitrógeno (N) es uno de los nutrientes del suelo que son considerado sensibles ya que presentan un umbral entre 200 y 375 °C, por lo que fácilmente se volatilizan (Gimeno *et al.*, 2000; Vega *et al.*, 2000). Sin embargo, en este estudio se encontraron valores altos de nitrógeno para las severidades intermedias 0.95 (mg kg<sup>-1</sup>), y extremas 1.32 (mg kg<sup>-1</sup>), 1.36 (mg kg<sup>-1</sup>) (Figura 2 A, B y C). Lo que podría indicar que el nitrógeno disponible en el suelo se encuentra de forma de amonio (NH<sub>4</sub>) (Bodí *et al.*, 2012). De igual manera, en meses posteriores al incendio la concentración de nitrógeno aumenta debido a microorganismos y especies fijadoras (Raison *et al.*, 2009).

Respecto a la dinámica de la vegetación, el incendio para las regiones evaluadas fue de tipo superficial, con severidad de intermedia a extrema, lo que afectó principalmente a la vegetación de sotobosque (arbustos,

herbáceas y pastos) de diferentes formas. En particular, el número de individuos de arbustos y poáceas disminuyó considerablemente respecto a los sitios intactos, observando una tendencia negativa en el aumento de la severidad del incendio y el descenso en su abundancia (Figura 3 B y C). Para el caso de los arbustos se ha reportado que después de un incendio de severidad alta, el crecimiento del estrato arbustivo se incrementa debido a que no hay limitación de luz generada por árboles (Collins y Roller, 2013). Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio demostraron lo contrario, con disminución de especies en áreas con severidad extrema, lo cual podría obedecer a los bajos niveles de nutrientes como nitrógeno y fósforo, así como a cambios en los pH generados por las altas temperaturas registradas (Li *et al.*, 2013).

Al evaluar los pastos en las diferentes severidades del incendio se encontró un patrón similar al de los arbustos (Figura 3 B y C); y si bien, los resultados obtenidos se pueden atribuir a la relación entre la severidad extrema y los nutrientes, también es posible que el tipo de perturbación pueda determinar la asignación relativa de recursos a brotes versus semillas en pastos perennes (Gagnon *et al.*, 2015; Moore *et al.*, 2019). Lo que genera la poca abundancia registrada para las tres regiones.



**Figura 3.** Abundancia relativa de las diferentes formas de vida (arbustos, hierbas y pastos) en relación a la severidad del incendio para las regiones (promedio ± EE). A) Bosque de la primavera, B) Sierra de Tapalpa, C) Sierra de Quila, Jalisco, México.

Aunado a lo anterior, se ha reportado que las poáceas que no brotan a simple vista, tiempo después se recuperan en masa por medio de semillas almacenadas en el suelo (Lindenmayer et al., 2014).

Las herbáceas aumentaron en las severidades intermedias y extremas del incendio forestal (Figura 3 A, B y C). Lo anterior concuerda a los encontrado por Capulin et al. (2010), quienes registraron incremento del estrato herbáceo de hasta un 600% respecto a los sitios no quemados. Una explicación a este patrón puede ser que los espacios abiertos generados post-incendio son más susceptible al establecimiento de nuevos individuos (Spurr y Barnes, 1982). Otra, es que la mayoría de especies registradas en este estudio se reproducen por bulbos o rizomas (Cyperaceae y Pteridaceae), lo cual las beneficia permaneciendo latentes después del disturbio, y susceptibles a factores abióticos que les ayuden a emerger. Aunque la más adecuada a los resultados de este estudio fue lo reportado por Carbone y Aguilar (2016), quienes encontraron aumentos en las concentraciones de nitrógeno y fósforo en severidades intermedias y extremas con mayor abundancia de herbáceas.

## CONCLUSIONES

El pH incremento principalmente en condiciones extremas de incendio alcalinizando el suelo. Los cationes intercambiables, fósforo y potasio aumentaron en severidades intermedias, al igual que el nitrógeno, contrario a lo reportado en la literatura. En las tres regiones de muestreo las herbáceas presentaron aumentos en la abundancia relativa en las severidades intermedias del incendio forestal, los arbustos y pastos disminuyeron en la severidad extrema respecto a la condición intacta e intermedia. En este sentido, se sugiere monitorear en nuevos eventos de incendio en las zonas de estudio los mecanismos de regeneración de la vegetación del sotobosque, así como su relación con los cambios en el suelo generados por los incendios forestales.

## AGREDECIMIENTOS

La presente investigación fue financiada por el proyecto (1-16-14573934545-F-M.2.1) del Dr. German Flores Garnica. Agradecemos al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por darnos todas las facilidades para realizar el presente trabajo, así como a Nancy, Ana y Mónica por su ayuda en el presente estudio.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre, C.O., J.P. Jiménez, E.G. Treviño y A. Meras. (1997). Evaluación de diversos tamaños de sitio de muestreo en inventarios forestales. *Madera y Bosques*, 3 (1), 71-79.
- Alcántara, G.G. (1992). Análisis vegetal. In: G.G. Alcántara; J.D. Etchevers Barra y A. Aguilar, eds. *Los análisis físicos y químicos, su aplicación en agronomía*. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo. México. p:108-124.
- Bodí, M.B., A. Cerdà, J.M. Solera, y S.H. Doerr. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. *Boletín de la asociación de Geógrafos Españoles*, (58), 33-56.
- Caldwell, T.G., D.W. Johnson, W.W. Miller y R.G. Qualls. (2002). Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Science Society of America Journal*. 66:262-267
- Capulin, G.J., C.L. Mohedano y R. Razo-Zarate. (2010). Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, 28(1):79-87.
- Carbone, L.M y R. Aguilar. (2016). Contrasting effects of fire frequency on plant traits of three dominant perennial herbs from Chaco Serrano. *Austral Ecology*, 41:778-790.
- Collins, B.M y G.B. Roller. (2013). Early forest dynamics in stand-replacing fire patches in the northern Sierra Nevada, California, USA. *Landscape Ecology*, 28:1801-1813.
- CONANP. (2000). Programa de manejo del área de protección de flora y fauna La Primavera. 134 p.
- Cuesta, J.R, I.O. Giraldo. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno Activa*, (5), 59-67.
- Flores-Garnica, J.G., E. Ruiz-Guzmán, A.G. Flores-Rodríguez, M.E. Lomelí-Zavala, y J.M. García-Bernal. (2019). Metodología para toma de datos de regeneración natural en áreas afectadas por incendios forestales. Folleto técnico. INIFAP.
- Gagnon, P.R., H.A. Passmore, M. Slocum, J.A. Myers, K.E. Harms, W.J. Platt y C.T. Paine. (2015). Fuels and fires influence vegetation via above -and belowground pathways in a high- diversity plant community. *Journal of Ecology*, 103(4), 1009-1019.
- Gimeno-García, E., V. Andreu y J.L. Rubio. (2000). Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *European Journal of Soil Science*, 51(2), 201-210.
- González, M.A., L. Schwendenmann, J. Jiménez y R. Schulz. (2008). Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine-oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. *Forest Ecology and Management*, 256: 161-167.
- Granged, A., L. Zavala, A. Jordan y M.G. Bárcenas. (2011). Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: a 3-year study. *Geoderma*. 164 (1&2): 85-94.
- INAFED. (2018). Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Jalisco. Tapalpa. Fecha de consulta: 08 de octubre de 2018. Tomado de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/municipios/14086a.html>
- Jackson, L. M. (1982). Análisis químico de suelos. Ed. Omega. Barcelona, España.

- Kay, A.D., J. Mankowski y S.E. Hobbie. (2008). Long-term burning interacts with herbivory to slow decomposition. *Ecology* 89, 1188-1194.
- Knicker, H. (2007). How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry* 85: 91-118.
- Li, Y., F. Yang, Y. Ou, D. Zhang, J. Liu y G. Chu. (2013). Changes in forest soil properties in different successional stages in lower tropical China. *PLoS ONE*, 8(11): e81359
- Lindenmayer, D.B., W. Blanchard, L. McBurney, D. Blair, S. Banks, C., D.A. Driscoll y A.M Gill. (2014). Complex responses of birds to landscape-level fire extent, fire severity and environmental drivers. *Diversity and Distributions*, 20(4), 467-477.
- Lloret, F y F. Vila. (2003). Diversity patterns of plant functional types in relation to fire regime and previous land use in Mediterranean woodlands. *Journal of Vegetation Science*, 14: 387-398.
- Mac Donald, L.H y E.L. Huffman. (2004). Post-fire soil water repellency: persistence and soil moisture thresholds. *Soil Science Society of America Journal*. 68: 1729-1734.
- Magurran, A.E. (2004). Species abundance distributions: pattern or process? *Functional Ecology*, 19(1), 177-181.
- Martínez, J., J. De las Heras y J. Herranz. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. La Mancha.
- Maycotte, M.C.C, A.M. Velásquez, J.J.H. Vargas, A. S. Trinidad, M.A.S. Musálem y G.C. Vera. (2002). Radiación fotosintéticamente activa y propiedades físico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. *Madera y Bosques* 8: 39-55.
- Moore, N. A., J. S. Camac y J.W. Morgan. (2019). Effects of drought and fire on resprouting capacity of 52 temperate Australian perennial native grasses. *New Phytologist*, 221(3), 1424-1433.
- North, M.P., M.D. Hurteau. (2011). High-severity wildfire effects on carbon stocks and emissions in fuels treated and untreated forest. *Forest Ecology and Management* 261: 1115-1120.
- Pausas, J.G., y J.E. Keeley. (2009). A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience* 59: 593-601
- Raison, R. J., P. K. Khanna, K., L. S. Jacobsen, J. Romanya, I. Serrasolses. (2009). «Effect of fire on forest nutrient cycles», en *Fire effects on soils and restoration strategies* (Cerdà, A. y Robichaud, P. R., coord.). Enfield, Edit. Science Publishers, 225-256
- Rodríguez, D.A, U.B. Castro, M. Zepeda y R. Carr. (2007). First year survival of *Pinus hartwegii* following prescribed burns at different intensities and different seasons in Central Mexico. *International Journal of Wildland Fire*, 16: 54- 62.
- Rodríguez, D.A. (1996). Incendios forestales. Universidad Autónoma Chapingo y Editorial Mundi Prensa. México, D. F
- Rosero, J., I. Osorio. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno Activa*, 5, 59-67.
- Secretaría Del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (SEMADES). Sin fecha. BIODIVERSIDAD. Tomado de: <http://sigajalisco.gob.mx/assets/pdf/biodiversidad.pdf> Fecha de consulta: 17 de enero de 2018.
- Spurr, S.H., B.V. Barnes. (1982). *Ecología forestal*. AGT Editor. México, D. F.
- Stephens, S.L., J. J. Moghaddas, C. Edminster, C. Fiedler, S. Haase, M. Harrington, C.N. Skinner. (2009). Fire treatment effects on vegetation structure, fuels, and potential fire severity in western US forests. *Ecological Applications*, 19(2), 305-320.
- Sugihara, N.G., J.W. Van Wagtendonk, J. Fites-Kaufman, K.E. Shaffer, A.E. Thode. (2006). *Fire in California's ecosystems*. University of California Press.
- Tan, K.H. (1996). *Soil sampling, preparation and analysis*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. 408 p.
- Van der Werf, G.R., J.T. Randerson, L. Giglio, G.J. Collatz, M. Mu, P.S. Kasibhatla y T.T. Van Leeuwen. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997-2009). *Atmospheric chemistry and physics*, 10(23), 11707-11735.
- Vega, J., J. Landsberg, S. Bará, T. Paysen, L.M. Fontúrbe, M. Alonso. (2000). Efectos del fuego prescrito bajo arbolado de *P. pinaster* en suelos forestales de Galicia y Andalucía. *Cuadernos de la S.E.C.R.*, N° 9, pp. 123-136.
- Vera, V., D.A. Rodríguez. (2007). Supervivencia y crecimiento en altura de *Pinus hartwegii* a dos años de quemas prescritas e incendios. *Agrociencia*, 41: 219-230
- Wohlgenuth, P. M., K. Hubbert, M.J. Arbaugh. (2006). Fire and physical environment interactions. Pages 75-93 in N. G. Sugihara, J. W. van Wagtendonk, K. E. Shaffer, J. Fites-Kaufman, and A. E. Thode, editors. *Fire in California's ecosystems*. University of California Press, Berkeley, California, USA.
- Zavala, L., R. DE Celis, A. Jordan. (2014). How wildfires affect soil properties. A briefreview. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 40(2):311-331.