



Vol 17. N° 1
Enero - Marzo 2017

ISSN: 1317-2255 (IMPRESO)
Depósito Legal: pp 20002FA828
ISSN: 2477-9636 (ELECTRÓNICO)
Dep. legal ppi 201502ZU4642

Multiciencias

R M C_s

N_F LUZ

Universidad del Zulia
Revista Arbitrada Multidisciplinaria



LUZ Punto Fijo

Núcleo LUZ-Punto Fijo
Programa de Investigación y Postgrado
Falcón-Venezuela

MULTICIENCIAS, Vol.17, N° 1, 2017 (9-18)

ISSN: 1317-2255 / Dep. legal: pp 200002FA828 (Versión Impresa)

ISSN: 2477-9636/ Dep. legal: ppi 201502ZU4642 (Versión Digital)

Efecto del fuego sobre las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la Sierra de San Luis, estado Falcón, Venezuela

José Pastor Mogollón^{1,2}; Leonellys Chirino³; Génesis Palencia³; Betsy Muñoz²; Wilder Rivas^{1,2}; Francisco Colina²

1. *Unidad de Investigación en Estudios Ambientales y Biodiversidad, UNEFM.*

2. *Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola, UNEFM.*

3. *Programa Académico Licenciatura en Ciencias Ambientales, UNEFM.*

Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto de un incendio ocurrido en el cerro “Corumo”, Municipio Petit del estado Falcón Venezuela, sobre la acidez, bases cambiables y otras propiedades químicas del suelo. Se realizó un muestreo en tres áreas de plantación: a) afectada por el incendio (PA), b) no afectada (PNA) y c) bosque natural (B). Se observó un incremento en el pH, con un valor promedio de 7,03 en la PA, presentando diferencias significativas con PNA y B, con valores de 4,8 y 4,7, respectivamente. Se encontraron mayores valores de conductividad eléctrica (CE) en la PA (0,74 dS m⁻¹), presentando diferencias significativas con respecto a PNA y B con valores de 0,58 y 0,24 dS m⁻¹, respectivamente. La acidez intercambiable mostró diferencias estadísticamente significativas entre las áreas estudiadas; la PA presentó el valor más bajo (0,30 cmol kg⁻¹), con respecto a las áreas de B y PNA (1,87 y 1,84 cmol kg⁻¹, respectivamente). Se encontró que el porcentaje de saturación con bases fue de 99,4% en PA, siendo significativamente superior que en la PNA y el B (con valores de 84,3 y 83,9%, respectivamente). Los más altos valores de pH, CE y la reducción de la acidez en el área afectada se atribuyeron a la incorporación de cationes provenientes de las cenizas.

Palabras clave: Aluminio cambiabile; fertilidad del suelo; incendio forestal; porcentaje de saturación con bases.

Effect of Fire on Acidity and Exchangeable Bases in a Forest Ecosystem of San Luis, Falcon State, Venezuela

Abstract

The objective was to evaluate the effect of a fire that occurred on the “Corumo” hill, Petit municipality of Falcon state, Venezuela, on the acidity, exchangeable bases and other chemical properties of the soils. Sampling was carried out in three plantation areas: a) affected by fire (AP), b) unaffected (PU) and c) natural forest (NF). An increase in pH was observed with an average value of 7.03 in AP, presenting significant differences with PU and NF, with values of 4.7 and 4.8, respectively. Higher values of electrical conductivity (EC) were found in AP (0.74 dS m⁻¹), showing significant differences with respect to PU and NF with values of 0.58 and 0.24 dS m⁻¹, respectively. The interchangeable acidity showed statistically significant differences between the studied areas; The AP had the lowest value (0.30 cmol kg⁻¹), with respect to the areas of NF and PU (1.87 and 1.84 cmol kg⁻¹, respectively). It was found that the percentage of saturation with bases was 99.3% in AP, being significantly higher than in PU and NF (with values of 83.1 and 79.9%, respectively). The highest values of pH, EC and the reduction of acidity in the affected area were attributed to the incorporation of cations from the ashes.

Keywords: exchangeable aluminum; soil fertility; forest fire; base saturation percentage.

Introducción

En los ecosistemas de bosque, el suelo es un elemento fundamental por su carácter dinámico, debido a que regula una gran cantidad de procesos, como por ejemplo los ciclos biogeoquímicos de elementos importantes como el carbono, nitrógeno, fósforo, el reciclado y almacenamiento de nutrientes, la fertilidad del suelo, la formación de materia orgánica (MO), y la fijación de nitrógeno, los cuales son procesos que contribuyen a la sustentabilidad del ecosistema. Todos los estudios realizados sobre suelos quemados ponen de manifiesto que el fuego produce cambios en sus propiedades químicas, y los efectos dependen de la severidad y duración del fuego y de las temperaturas alcanzadas [29]. De tal manera que la sustentabilidad y recuperación de los suelos afectados por incendios forestales dependen de la intensidad del fuego. Los impactos generados por el fuego en el suelo son de dos tipos, directos producto de la combustión de la materia orgánica y las altas temperaturas alcanzadas en el suelo, e indirectos como resultado de los cambios en otros componentes del ecosistema, tales como la reducción de la cobertura vegetal, hojarasca quemada, o la deposición de residuos vegetales parcialmente quemados y cenizas [31].

Las cenizas resultantes de la vegetación quemada contienen cationes básicos los cuales incrementan de manera temporal el pH del suelo, reducen el aluminio intercambiable y aumentan la disponibilidad de

nutrimentos para las plantas. La quema de los residuos implica una oxidación del K, Ca y Mg y la formación de los óxidos correspondientes, que elevan el pH y los contenidos de bases cambiables, resultando en una mayor disponibilidad de los elementos mencionados; que a su vez, son más susceptibles al lavado. La ocurrencia de incendios forestales, usualmente está asociado a una disminución de la acidez del suelo debido a la destrucción de ácidos orgánicos, y aportes de carbonatos, bases y óxidos por las cenizas [14]. Luego de fuegos de alta intensidad y la reducción de la materia orgánica por la combustión, el pH puede mostrar incrementos significativos de 4 o 5 unidades, principalmente debido a la pérdida de grupos OH de las arcillas, la formación de óxidos, la liberación de cationes o el reemplazo de protones en la capacidad de intercambio catiónica [26].

La serranía de Falcón ubicada al norte de Venezuela, se caracteriza por suelos ubicados en ladera, en esta región predominan suelos ácidos, los cuales se originan por las constantes precipitaciones que producen lavados de los cationes básicos, por lo que iones como H⁺ y Al³⁺ predominan en el suelo. Estudios realizados en esta zona reportan suelos distróficos con problemas de acidez, con valores de pH entre 4,7 y 5,5, reportando igualmente valores entre 1,10 y 3,32 cmol kg⁻¹ de aluminio en el suelo; estos suelos han sido clasificados como Typicdistropepts [18].

Desde el punto de vista técnico se diagnóstican potenciales problemas de acidez y de toxicidad por aluminio, cuando el pH del suelo es menor a 5,5; la capacidad de intercambio catiónica efectiva es menor a $5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo; el porcentaje de saturación con aluminio es mayor a 15%; y el aluminio disponible es mayor a $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo [2].

Al mismo tiempo, las prácticas de roza y quema son bastante comunes entre los productores agrícolas de la Sierra Falconiana, las cuales se realizan de manera no controlada, lo que podría ocasionar incendios forestales de cierta magnitud. Tal es el caso de un incendio que se registró en el Cerro “Corumo” en el municipio Petit de la Sierra Falconiana, el 07 de mayo del 2014. Este evento afectó una superficie de diez hectáreas y media (10,5 Ha), causando una pérdida de aproximadamente el 95% de una plantación previamente establecida con fines protectores en la Cuenca Alta del Rio Hueque, siendo ésta una de las cuencas más importantes de la región [22]. Adicionalmente, el área afectada se encuentra dentro de la Zona Protectora de la Sierra de San Luis, lo cual demuestra la importancia de su recuperación. En tal sentido, el objetivo fue evaluar el efecto del incendio forestal sobre la acidez intercambiable del suelo ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) y los cationes cambiabiles ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$) en una parcela de terreno con una plantación forestal. De igual manera se midieron estos parámetros en una parcela adyacente de la plantación que no fue afectada por el fuego, y en un lote boscoso, con la vegetación natural de la zona.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Cerro “Corumo”, el cual se encuentra ubicado en el sector Palmasola, parroquia Cabure, Municipio Petit, en la Serranía del estado Falcón, Venezuela, entre las coordenadas N: 1.231.930 E: 432.167 y N: 1.231.970 E: 432.177. El Municipio Petit, limita por el Norte con los municipios Colina y Miranda, por el Sur con el municipio Federación, hacia el Este el municipio Zamora y por el Oeste con el municipio Bolívar (Figura 1).

Sitios de muestreo

El muestreo se realizó en una plantación forestal existente en la zona, la cual tenía tres años de reforestada para el momento del incendio. Esta plantación tenía una superficie de diez hectáreas y media (10,5 Ha) y la misma consiste de aproximadamente unas 11.110 plantas tanto forestales como frutales, las cuales se establecieron mediante un convenio interinstitucional entre PDVSA Exploración y Producción, la Compañía Nacional de Reforestación (CONARE), la Alcaldía del Municipio Petit y el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, con el propósito de brindarle protección a la Cuenca Alta del Rio Hueque, siendo ésta una de las más importantes de la región por formar parte del sistema Hidrológico “El Falconiano”, además de ser parte de la zona protectora de la Sierra de San Luis [22].

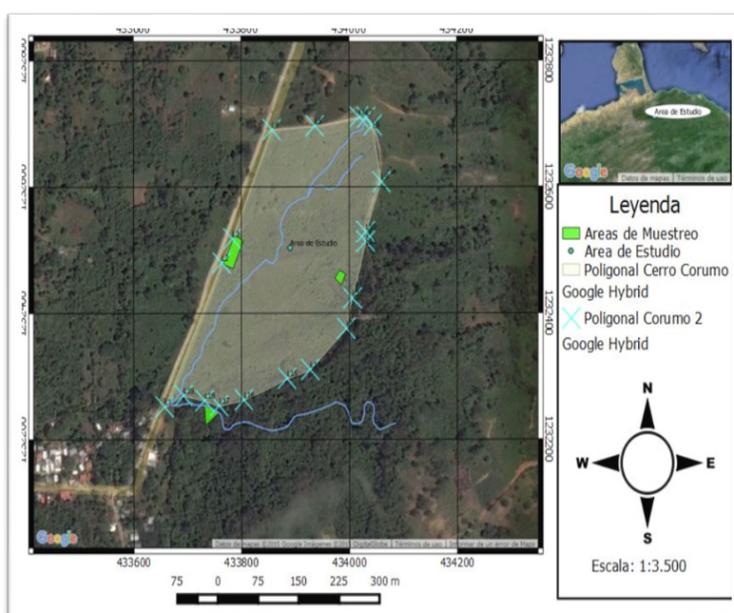


Figura 1. Mapa del área de estudio.
Fuente: Chirino y Palencia [10].

Las principales especies forestales que forman parte de la plantación son: apamate (*Tabebuia rosea*), en (*Moringa oleifera*), caña fistula (*Cassia fistula*), caoba (*Swideniamacrophyla*), caro (*Enterelobium cyclocapum*), ceiba (*Ceiba pentandra*), cepillo de tetero (*Callistemon speciosus*), jabillo (*Hura crepitans*), limón de cerca (*Swiglia glutinosa*), samán (*Pitecellobium saman*) y entre las plantas frutales: almendrón (*Terminaliacatappa*), fruta de pan (*Artocarpusaltilis*), guamo machete (*Inga spectabilis*), guanábana (*Anona muricata*), naranja (*Citrus sinensis*), noni (*Morindacitrifolia*) y pomagas (*Syzyguimmalancece*).

Muestreo del Suelo

El muestreo de suelos se realizó el 15 de Febrero del 2015, es decir, nueve meses después de ocurrido el incendio forestal, el cual afectó al 95% de la plantación forestal. Para evaluar el efecto del fuego sobre el suelo se consideraron tres áreas, las cuales consistieron en: a) plantación afectada (PA) por el fuego, b) plantación no afectada (PNA) y c) bosque natural (B); dichas áreas se delimitaron mediante un levantamiento georeferencial del perímetro correspondiente a cada una. Cabe señalar que el lote de 10,5 Ha que actualmente está bajo sistema de plantación forestal, previamente consistía en una sabana arbolada con una matriz de la especie *Panicum-maximum* (pasto Guinea), con alternancia de un estrato arbóreo-arbustivo de baja cobertura y poca densidad, con predominancia de las especies de cedro (*Cedrelaodorata*), ceiba (*Cedrelapentandra*) y leucaena (*Leucaea-*

naleucocephala); este pastizal era utilizado para el manejo de ganadería bovina bajo pastoreo [10].

Las tres zonas de muestreo estaban ubicadas en laderas, con pendientes entre 15 y 20%. Para el muestreo de suelo se delimitó una parcela de 0,1 hectáreas en cada una de las áreas de manejo consideradas; se tomaron siete muestras de suelo de manera aleatoria en cada parcela, a 20 cm de profundidad.

VARIABLES ESTUDIADAS

Las muestras de suelo fueron transportadas al Laboratorio de Suelos del Área de Ciencias del Agro y del Mar de la UNEFM. Luego del proceso de secado por 72 horas a temperatura ambiente ($28 \pm 2^\circ\text{C}$) y pasadas por el tamiz de 2 mm, se les determinaron por triplicado, las variables señaladas en la Tabla 1.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de los datos, se utilizó un diseño completamente aleatorio, con los tipos de áreas afectadas como la variable de clasificación. Los datos estadísticos se analizaron basados en el programa InfoStat versión 1,1. Los datos tuvieron un comportamiento paramétrico, y por consiguiente se realizaron análisis de la varianza. Para aquellas variables que presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), se realizaron pruebas de medias de Tukey para separar los tratamientos en función de la magnitud de los valores obtenidos.

Tabla 1. Variables estudiadas y métodos empleados en su determinación en el cerro “Corumo”, sector Palma Sola, parroquia Cabure, municipio Petit, estado Falcón, Venezuela.

VARIABLES	Método	Referencias
pH	Potenciométrico en una suspensión suelo: agua de 1:2,5.	[3]
Conductividad eléctrica (CE)	Conductimétrico en una suspensión suelo: agua de 1:2,5.	[11]
Acidez cambiabile (H ⁺ + Al ³⁺)	Extracción con KCl y determinación por titulación.	[17]
Bases cambiabile (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺)	Extracción con acetato de amonio. Determinación de Ca ²⁺ y Mg ²⁺ por complexometría y Na ⁺ y K ⁺ por fotometría de llama.	[27] [1]
Nitrógeno total	Kjeldhal	[4]
Carbono orgánico	Digestión húmeda	[30]
Textura	Hidrómetro	[5]
Porcentaje de saturación con bases (%SB)	Mediante fórmula matemática: $\%SB = [(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}) / CICE] * 100$	-
Porcentaje de saturación con aluminio (%Sat Alum)	Mediante fórmula matemática: $\%SB = [Al^{3+} / (CICE)] * 100$	-
Capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE)	Por sumatoria de bases cambiabile más acidez cambiabile $CICE = \Sigma Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+} + Al^{3+} + H^{+}$	-

Fuente: Propia.

Resultados y Discusión

En la Tabla 2 se muestran los valores de las dife-

rentes variables químicas y físicas analizadas en los tres tipos de áreas evaluadas.

Tabla 2. Características físico-químicas de los suelos evaluados. Letras diferentes dentro de una misma columna indican promedios estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Sitios	COT (%)	Nt (%)	pH	CE (ds m ⁻¹)	Arena (%)	Arcilla (%)	Clase Textual
Bosque Natural	8,75 a	0,36 a	4,86 b	0,24 c	12 a	64 a	A
Parcela quemada	6,63 b	0,15 b	7,03 a	0,74 a	10 a	69 a	A
Parcela no afectada	6,15 b	0,16 b	4,77 b	0,58 b	8 a	66 a	A

Fuente: propia

Para el caso del carbono orgánico total (COT) se observa una reducción significativa ($p < 0,05$) en las parcelas quemadas (6,63%) y no afectada (6,15%) con respecto a los suelos bajo condición de bosque, los cuales presentaron los valores más altos de COT con 8,75%. Igual ocurrió para el nitrógeno total (Nt) donde los valores para los suelos bajo vegetación de bosque fueron de 0,36% mientras que los suelos del área quemada y la plantación no afectada fueron de 0,15y 0,16% respectivamente, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre estas dos condiciones.

Las pérdidas de materia orgánica representan una de las alteraciones más obvias de las propiedades químicas del suelo luego de producido un incendio, lo cual ocurre por procesos de volatilización, oxidación y formación de cenizas [13]. En el caso de las áreas evaluadas, no se encontraron diferencias entre las parcelas con plantación quemada y la no afectada por el incendio; pero si hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) de estas dos parcelas con respecto al bosque natural. De tal manera que el efecto del fuego sobre los niveles de materia orgánica son de la misma magnitud que la conversión del bosque a áreas de pastoreo. En la agricultura de roza, tumba y quema, se incluye en el ciclo un período de descanso con arbustos, el que dependiendo de su duración puede restaurar parte del carbono del suelo y hacer que el sistema sea más o menos sostenible [20].

Si se establecen pasturas, las pérdidas son mucho menores y es probable que en pocos años haya una cierta recuperación de carbono gracias a la materia orgánica de los pastos [8]. Es quizás esta la situación que se presenta en los sitios evaluados, donde la plantación no afectada por el incendio presenta un proceso de franca recuperación de los niveles de carbono orgánico del suelo, pero que aún no llegan a presentar los niveles iniciales presentes en lo suelos bajo vegetación boscosa.

Se ha indicado que la silvicultura representa una alternativa sostenible a la deforestación y a la agricultura de roza, tumba y quema [24]. Esta práctica tiene un gran potencial para la captura de carbono en tierras de cultivos. Sin embargo, en las condiciones evaluadas, el manejo de tierras para pastoreo de ganadería bovina tuvo un efecto detrimental sobre las reservas de carbono orgánico del suelo, lo cual podría estar asociado a la baja cobertura de las especies arbóreas [10]. Además de la pérdida de vegetación, la simplificación de los ecosistemas para ser transformados en potreros para ganado implica una pérdida de la funcionalidad y conectividad en los ecosistemas; así como el sobre pastoreo [22] que propicia una disminución del carbono orgánico asociado a las pérdidas de suelo que ocurren por erosión hídrica, especialmente en suelos de altas pendientes, como los ubicados en la Serranía del estado Falcón.

En el área de la plantación quemada se observó un incremento en el pH, con valores promedio de 7,03 (Tabla 2), presentando diferencias significativas con respecto al área no afectada y al bosque natural, los cuales presentan valores de 4,8 y 4,7 respectivamente, no existiendo diferencias estadísticas entre ambas condiciones.

El incremento del pH en el área afectada, se atribuye a la incorporación de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) provenientes de las cenizas producto del fuego (Tabla 3), debido a que el pH generalmente se incrementa en los suelos quemados porque las cenizas aportan óxidos, cationes básicos y carbonato potásico que es una sal, que por proceder de un ácido débil y de una base fuerte, presenta reacción básica cuando se hidroliza con el consiguiente aumento del pH [14].

Cabe destacar que este incremento de pH no es persistente en el tiempo, debido principalmente a la formación de nuevo humus y el lavado de los iones básicos; aunque en algunos casos se han necesitado 50 años para recuperar el pH inicial [29].

Tabla 3. Cationes intercambiables de los suelos evaluados en el cerro “Corumo”, sector Palmasola, parroquia Cabure, municipio Petít, estado Falcón, Venezuela. Letras diferentes dentro de una misma columna indican promedios estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Cartiones	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	% S Al	%SB
Áreas	cmol _c Kg ⁻¹						
Bosque Natural	4,76 b	2,53 b	0,12 b	0,04 b	1,87 a	14,52 a	79,93 b
Parcela quemada	34,80 a	9,16 a	0,64 a	0,14 a	0,30 b	0,39 c	99,33 a
Parcela no afectada	4,89 b	3,93 b	0,19 b	0,04 b	1,84 a	10,91 b	83,10 b

SB: Saturación con bases

S Al: Saturación con Al

Fuente: propia

En los casos en los que la intensidad del incendio es alta, y se produce una gran combustión de la materia orgánica del suelo, el pH del suelo puede llegar a aumentar bastante, en unas 4 o 5 unidades debido fundamentalmente a la pérdida de grupos OH de los minerales de la arcilla, la formación de óxidos, la liberación de cationes o sustitución de protones en el complejo de cambio por cationes [26]. Para el caso de los suelos bajo plantación afectada por el incendio, los valores de pH se incrementaron en aproximadamente 1,4 veces (alrededor de 2,1 unidades) con respecto al bosque natural y la plantación no afectada.

En el área de plantación afectada se encontraron los mayores valores (0,74 dS m⁻¹) de la conductividad eléctrica (CE), presentando diferencias significativas con respecto al área de plantación no afectada y al bosque natural con valores de 0,58 y 0,24 dS m⁻¹ respectivamente, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre ambas condiciones. Los más altos valores de CE presentes en el área de plantación afectada, pueden estar asociados a la incorporación de los compuestos procedentes de las cenizas. Cuando el suelo es expuesto a altas temperaturas, la CE puede aumentar notablemente por la incorporación de sales solubles, procedentes de la combustión de la materia orgánica [12].

En general, la CE de los suelos aumenta después de un incendio, debido al incremento en la cantidad de iones solubles inorgánicos liberados por la combustión de la MO. En este caso, si no se llegan a alcanzar niveles tóxicos de salinidad, se puede suponer que esto implica un aumento de la fertilidad del suelo. Sin embargo, hay que considerar que existen niveles máximos de nutrientes que pueden ser absorbidos desde la solución del suelo y además que se puede provocar un desequilibrio iónico por un aumento selectivo en unos tipos de iones. De esta manera, el aumento de la salinidad, aún sin llegar a niveles fitotóxicos, no se puede considerar como un indicativo del aumento de fertilidad.

Se encontró además un incremento de la CE en el área no quemada con respecto al B; esto podría atribuirse al constante aporte de estiércol y orina por parte del rebaño bovino bajo condiciones de pastoreo. Tal situación ya ha sido reportada [28], planteándose que la adición de estiércol al suelo de dosis de 40 tn ha⁻¹ hasta por seis años continuos propició el incremento de la CE el suelo hasta 8 dSm⁻¹, lo cual es perjudicial para el desarrollo de los cultivos, por lo que se debe tener un manejo cuidadoso del estiércol monitoreando el suelo al menos cada año.

Al evaluar el efecto del fuego sobre los cationes Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺, se observó un incremento significativo ($p < 0,05$) con respecto a la plantación no afectada por fuego y al bosque natural (Tabla 3). Similares resultados han sido reportados en la literatura [7], los cuales refieren incrementos de fósforo, potasio, calcio y magnesio en plantaciones de *Pinus caribaea* afectadas por fuegos recurrentes, lo cual sería producto de la destrucción térmica de feldespato poco estables.

Se ha indicado además, que durante un evento de fuego, los nutrientes almacenados en el material combustible y la materia orgánica del suelo están sujetos a un calentamiento severo, y sometidos a varias transformaciones irreversibles durante la combustión [31]. La respuesta de cada nutriente a esta condición difiere y es inherente a su umbral de temperatura, siendo definido este como la temperatura a la cual el nutriente es volatilizado [19]. Según este umbral, los nutrientes pueden ser divididos en tres grupos: sensibles, moderadamente sensibles y relativamente insensibles. El nitrógeno y el azufre son considerados sensibles porque tienen umbral bajo, entre 200 y 375 °C, respectivamente. El potasio y el fósforo son moderadamente sensibles, con umbrales de 774 °C, mientras que el magnesio y el calcio son relativamente insensibles, con umbrales altos de 1107 °C y 1484 °C, respectivamente.

Un aspecto importante a considerar son los altos niveles de calcio y magnesio encontrados en la parcela afectada por el fuego (34,8 y 9,16 cmol_c kg⁻¹, respec-

tivamente) con respecto a la parcela no afectada (4,89 y 3,93 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente) y el bosque natural (4,76 y 2,53 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente); esto hace suponer que el incendio ocurrido en la zona propició altas temperaturas en el suelo, debido a que estos dos elementos son considerados como nutrimentos relativamente insensibles al calor.

Tanto el calcio como el magnesio presentan baja disponibilidad en los suelos ácidos y dado que en general la quema eleva el pH del suelo, el Ca^{2+} y el Mg^{2+} pasarían a estar más disponibles para las plantas, como se puede observar en los suelos evaluados (Tabla 3). Tanto en suelos quemados como testigos, los elementos calcio y magnesio fueron los cationes mayoritarios presentes en el complejo de cambio. Como consecuencia del incendio se encontró un incremento apreciable en el contenido de ambos cationes, aumento debido al aporte de la vegetación quemada, a su retención por el complejo de cambio y a la ausencia de precipitaciones en el período anterior al muestreo de suelos que facilitarían el lavado de las bases [10].

El sodio y el potasio siguieron el mismo comportamiento anterior, encontrándose mayores valores de estos dos elementos en la parcela afectada por el fuego (Tabla 3). Se plantea que tanto el Na^+ como el K^+ son constituyentes no volátiles por lo cual se acumulan en la superficie del suelo en forma de cenizas [23]; sin embargo, el incremento del sodio y potasio desaparece rápidamente, y a los cuatro meses de ocurrido el fuego sus valores pueden llegar a ser similares a los iniciales, e incluso a los dos años pueden llegar a ser inferiores, por efecto de las lluvias posteriores al incendio que propician el lixiviado de estos cationes, ya que están presentes como cloruros y carbonatos que son fácilmente movilizados [25].

En la Tabla 3, se observan los valores de acidez intercambiable ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). Para este parámetro se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las áreas estudiadas; el suelo bajo plantación afectada por el incendio presentó los valores más bajos de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ con respecto al suelo de bosque y plantación no afectada, donde no se registraron diferencias estadísticas entre estas dos condiciones. La acidez intercambiable más baja fue encontrada en el suelo bajo plantación quemada, lo cual podría estar relacionado a la conversión del aluminio en óxidos complejos que finalmente propician la reducción de la acidez total [13].

Se plantea además, que cuando se quema la materia orgánica del suelo, las sustancias netas contenidas son liberadas en forma de óxidos o carbonatos que generalmente presentan reacción alcalina. De ese modo, cuando las cenizas son depositadas en el suelo la tendencia es a neutralizar y disminuir la acidez [6].

El aluminio es un componente importante de la corteza terrestre, y se estima que más de un 15% de la misma está compuesta por Al_2O_3 , el cual es tan poco soluble en suelos neutros o alcalinos que no alcanzaría concentraciones tóxicas para los vegetales; sin embargo, con la reducción del pH del suelo se incrementa la solubilidad del aluminio hasta llegar a ocupar más de la mitad de los sitios de intercambio iónico del suelo [9]. El aluminio se reporta como el factor más limitante de la producción agrícola en suelos ácidos, los cuales comprenden alrededor del 40% de la superficie cultivable en el mundo [16]. Los suelos ácidos se caracterizan por tener un pH menor de 5,5 y elevados porcentajes de los iones aluminio (Al^{3+}) en la solución del suelo, generalmente mayores al 15% [2], los cuales ejercen una acción fitotóxica que impide el normal desarrollo radical y la adecuada absorción de nutrimentos disminuyendo el rendimiento potencial de los cultivos.

Para el caso del suelo bajo bosque natural, los valores del porcentaje de saturación con aluminio están alrededor del 15%, mientras que para los suelos de la parcela no afectada por el incendio estuvieron en el orden del 11%, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre estas dos condiciones. Para el caso del suelo afectado por el incendio, los valores del porcentaje de saturación con aluminio se redujeron a valores menores al 1%.

El porcentaje de saturación con bases (%SB) se define como el porcentaje de sitios de intercambio en los coloides del suelo ocupados con bases cambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio), con respecto a la capacidad de intercambio catiónica. El % SB puede llegar a determinar diferentes tipos de suelo, en función de este porcentaje, lo cual se resume de la siguiente manera: a) suelos desaturados: $15\% < \% \text{SB} < 45\%$; b) suelos poco saturados: $45\% < \% \text{SB} < 88\%$; y c) suelos muy saturados: $88\% < \% \text{SB} < 99\%$ [21].

En base a los criterios anteriores, se encontró que con respecto al % SB, los suelos de bosque natural y la parcela no afectada por el fuego se catalogan como poco saturados; mientras que en el suelo afectado por el incendio se produjo un incremento sustancial de las bases cambiables, por lo cual puede ser clasificado como extremadamente saturado. De igual manera, se encontraron diferencias significativas entre los suelos afectados y los no afectados por el incendio forestal ($p < 0,05$) con valores de % SB de 99,3% en la parcela afectada, con respecto a los de las parcelas no afectadas y la del bosque natural, con valores de 83,1% y 79,9% respectivamente, sin diferencias estadísticas entre estas dos últimas.

Por otra parte, se encontró que la capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE) presentó valores significativamente más altos en los suelos de la parcela afectada por el fuego, con valores de 67,8 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$,

con respecto a la parcela no afectada y el bosque natural, con valores de 11,9 y 11,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente, sin diferencias estadísticas para estos dos últimos (Figura 1). Sin embargo, en la literatura se han reportado resultados contrarios a los encontrados en este estudio [13], indicando un descenso significativo en los valores de la CICE, luego de un incendio forestal. Se plantea que la variación en los valores de este parámetro será más o menos importante dependiendo de la severidad del incendio, del contenido previo de materia orgánica, y la cantidad o naturaleza de los minerales de las arcillas. Los suelos arenosos por estas razones sufren una disminución notable de almacenamiento de iones [15].

También se ha señalado que los cationes bivalentes menos móviles y en forma de óxidos o carbonatos insolubles frecuentemente, aumentan en el complejo de cambio [7], tal como ocurrió en el área de estudio, donde se apreció un aumento considerable de los cationes calcio y magnesio, lo cual estaría asociado a los altos niveles de arcilla que presentan los suelos (mayores al 64%) que ayudan a retener en el complejo de cambio cantidades importantes de los cationes liberados en las cenizas.

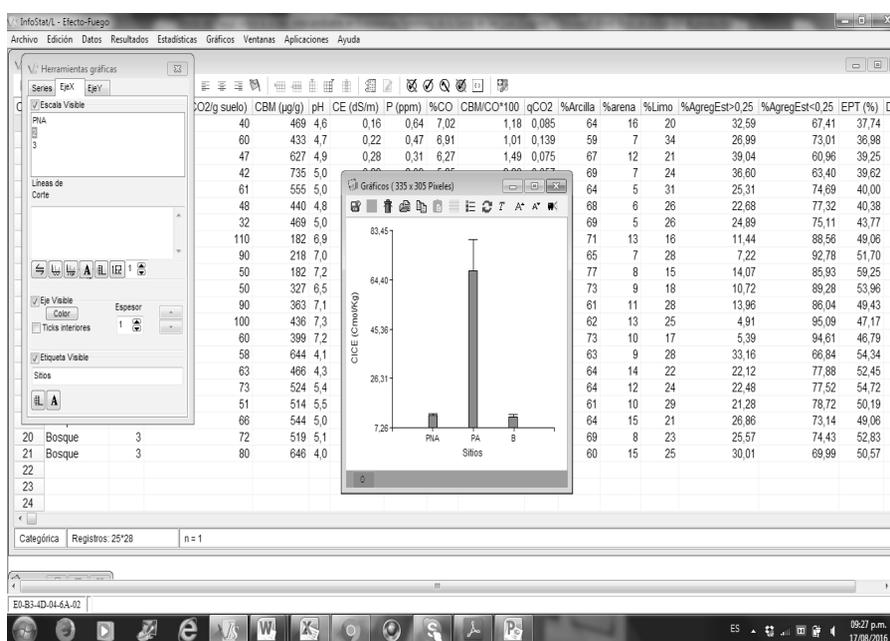


Figura 1. Capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE) en los suelos evaluados en el cerro “Corumo”, sector Palmasola, parroquia Cabure, municipio Petít, estado Falcón, Venezuela. PNA: Parcela no afectada; PA: Parcela afectada por el fuego y B: Bosque natural. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$)

Consideraciones Finales

El pH de los suelos quemados mostró valores significativamente mayores que los de los suelos no quemados; con valores que se desplazaron hacia la neutralidad como un efecto claro post-incendio. Probablemente la combustión de la materia orgánica durante el fuego y la consiguiente liberación de cationes solubles produjeron un incremento del pH porque los cationes básicos son liberados en la combustión y depositados en la superficie del suelo.

Este proceso puede ser importante debido a que se conoce que el pH afecta en gran medida la disponibilidad de nutrientes para las plantas y los nutrientes como el Ca, K y Mg pueden ser limitantes al estar en formas insolubles. En cualquier caso los cambios en el pH suelen ser temporales y dependen del pH original

del suelo, de la cantidad y composición química de las cenizas generadas en el incendio y de las características locales del clima.

Otro efecto importante del incendio ocurrido fue sobre la CE, la cual fue mayor en los suelos afectados por la quema, con respecto al área de plantación no afectada. Los mayores valores de CE encontrados en el área de plantación afectada por el fuego, están asociados a la incorporación de los compuestos procedentes de las cenizas, las cuales contienen cantidades importantes de iones solubles inorgánicos liberados por la combustión de la MO.

Se encontró un incremento significativo de los cationes cambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+}) por efecto del fuego; especialmente se produjeron incrementos considerables de calcio y magnesio, lo cual hace suponer que el incendio ocurrido en la zona ha de haber propiciado

altas temperaturas en el suelo, debido a que estos dos elementos son catalogados como nutrimentos relativamente insensibles al calor. Los mayores niveles en el contenido de ambos cationes, está relacionado al aporte de la vegetación quemada, a su retención por el complejo de cambio y a la ausencia de lluvias en el período anterior al muestreo de suelos que facilitara el lavado de las bases.

El fuego propició la reducción de la acidez intercambiable en el suelo, lo cual puede atribuirse a la conversión del aluminio en óxidos complejos que finalmente propician la reducción de la acidez total. De igual manera, se estima que la quema de la materia orgánica del suelo libera óxidos y carbonatos que presentan reacción alcalina, los cuales quedan contenidos en las cenizas resultantes; una vez depositadas en el suelo, tienden a neutralizar y disminuir la acidez.

Referencias Bibliográficas

- [1] ABADÍA, A; MILLÁN, E; ABADÍA, J (1981). Determinación de calcio y magnesio en extractos de saturación de suelos. **An. Aula Dei**. 15:273-280.
- [2] ATACHO, P; RODRÍGUEZ, N; MOGOLLÓN, J.P; TORRES, D; YENDIS, H; LÓPEZ, M (2017). Uso de soluciones de vermicompost para la biorremediación de un suelo ácido en la Sierra de San Luis-Venezuela. **Revista Agroindustria, Sociedad y Ambiente (ASA)**. Vol. 1 (8): en prensa.
- [3] BATES, R.G (1973). Determination of pH: Theory and practice. 2nd Edition. New York: John Wiley.
- [4] BREMNER, J.M (1996). Nitrogen total. In Sparks, D.L., A.L., Page, P.A., Helmke, and R.H. Loeppert (Eds). Methods of soil analysis, Part 3, Chemical methods. SSSA, American Society of Agronomy, Madison, WI. 1149-1176.
- [5] BOUYOUCOS, G (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. **Agronomy Journal**. 54: 464-465.
- [6] CAMARGO GARCÍA, J; DOSSMAN, M; RODRÍGUEZ, J; ARIAS, L; GALVIS Quintero, J (2012). Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. **Acta Agronómica**. 61(2):151-165.
- [7] CAPULIN GRANDE, J; MOHEDANO CABALLERO, L; RAZO ZARATE, R (2010). Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. **Terra Latinoamericana**. 28(1):79-87.
- [8] CARVALHO, J.L; RAUCCI, G; CERRI, C.E; BERNOUX, M; FEIGL, B; WRUCK, F; CERRI, C.C (2010). Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil Tillage Res**. 110:175-186.
- [9] CASIERRA POSADA, F; AGUILAR AVENDAÑO, O (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**. 1(2):246-257.
- [10] CHIRINOS, L; PALENCIA, G (2016). Plan de recuperación de suelo afectado por un incendio forestal, en el Cerro Corumo, sector Palma Sola, municipio Petit estado Falcón. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Licenciada en Ciencias Ambientales. UNEFM. 135 Pp.
- [11] DELLAVALLE, N.B (1992). Determination of specific conductance in supernatant 1:2 soil:water solution. Athens, USA: Handbook on reference methods for soil analysis.
- [12] ERSHAD, M; HEMMATI, V; ARMIN, S; HOSSEIN, A (2013). The effects of forest fires on the chemical properties of soils in Northern Iran: A case study on *Pinus Taeda* Stands. **Bull. Env.Pharmacol. Life Sci**. 2(9):51-54.
- [13] FATUBARING, A; OLOJUGBA, M (2014). The influences of forest fires on the vegetation and some soil properties of a savanna ecosystem in Nigeria. **J. Soil Sci. Environ. Manage**. 5(2):28-34.
- [14] GRANGED, A; ZAVALA, L; JORDAN, A; BÁRCENAS MORENO, G (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.
- [15] HEPPEL, E; URIOSTE, A; BELMONTE, V; BUSCHIAZZO, D (2008). Temperatura de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la región semiárida pampeana central. **Ciencias del Suelo (Argentina)**. 26(1):29-34.
- [16] MA, J.F (2000). Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plants. **Plant Cell Physiol**. 41(4): 383-390.
- [17] MCLEAN, E.O (1982). Aluminun. In: Black, C.A. (Ed). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Pp: 978-998. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- [18] MOGOLLÓN, J.P, MARTÍNEZ, A (2009). Variación de la actividad biológica del suelo en un transecto altitudinal de la Sierra de San Luis estado Falcón. **Agronomía Tropical**. 59(4):469-479.
- [19] NEARY D.G, RYAN K.C, DEBANO L.F (2008). Wildlandfire in ecosystems: Effects of fire on soils and water. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, USA.
- [20] PONCE HERNÁNDEZ, R (2004). Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO-UN). Rome, Italy. 166 Pp.
- [21] POREBSKA, G; OSTROWSKA, A (2016). Relationships between exchangeable and water soluble cations in the forest soil. **Environmental Protection and Natural Resources** Vol. 27 No 3(69): 1-7.
- [22] RIVERO, J; CONTRERAS, W; OWEN de CONTRERAS, M; MOLINA, Y (2002). Diseño de un programa de desarrollo rural sustentable caso Caritupe Municipio

- Petit, Estado Falcón. **Revista geográfica de Venezuela.** 43(1): 97-112.
- [23] ROSERO, J; OSORIO, I (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. **Cuaderno Activa.** 5:59-67.
- [24] RUÍZ J.P, MURGUEITIO, E, IBRAHIM, M; ZULUAGA, A (2011). Proyecto regional enfoques silvopastorile-sintegrados para el manejo de ecosistemas. En: Chará J., Murgueitio E., Zuluaga A., Giraldo C. (eds). Ganadería Colombiana Sostenible. Fundación CIPAV. 158p.
- [25] SOTO, B; DÍAZ FIERROS, F (1993). Interactions between plant ash leachates and soil. **International Journal of Wildland Fire.** 3(4): 207-216.
- [26] TEREFE, W; MARISCAL, S; GÓMEZ, M; ESPEJO, S (2008). Relationship between soil color and temperature in the surface horizon of Mediterranean soils: a laboratory study. **Soil Science.**170:495-503.
- [27] THOMAS, G (1982). Exchangeable cations. In: A.L. Page (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Pp: 159-165. ASA, SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- [28] TREJO, H; SALAZAR, E; LÓPEZ, J; VÁZQUEZ, C (2013). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.** 4(5): 727-738.
- [29] VERMA, S; JAYAKUMAR, S (2012). Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. **Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences.**2(3):168-176.
- [30] WALKLEY, A; BLACK, I.A (1934). An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science.** 37:29-38.
- [31] ZAVALA, L; DE CELIS, R; JORDAN, A (2014). How wildfires affect soil properties. A briefreview. **Cuadernos de Investigación Geográfica.** 40(2):311-331.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

Multiciencias

Vol 17, N° 1

Edición por el Fondo Editorial Serbiluz.

Publicada en marzo de 2017.

Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela

www.luz.edu.ve

www.serbi.luz.edu.ve

produccioncientifica.luz.edu.ve