



Efecto del Fuego Sobre las Propiedades de los Suelos Agrícolas en la Zona Kárstica del sur de Quintana Roo

Fragoso-Servón Patricia

Pereira Corona Alberto

Prezas Hernández Benito

Departamento de Recursos Naturales. Universidad de Quintana Roo,
Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, colonia Del Bosque.
Chetumal, Quintana Roo

[Doi: 10.19044/esipreprint.11.2022.p406](https://doi.org/10.19044/esipreprint.11.2022.p406)

Approved: 15 November 2022

Posted: 17 November 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Fragoso-Servón P., Pereira Corona A. & Prezas Hernández B. (2022). *Departamento de Recursos Naturales. Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, colonia Del Bosque. CP 77019 Chetumal, Quintana Roo.* ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.11.2022.p406>

Resumen

Existe una gran controversia dentro de las prácticas de cultivo tradicionales que realizan una o dos quemas. La mayor parte de las investigaciones sobre el efecto que tiene la quema en los cultivos van dirigidas hacia tres aspectos: el efecto sobre los microorganismos del suelo, la pérdida de la materia orgánica y la contaminación del aire y efectos en la salud. El proceso de combustión durante la quema de vegetación contribuye a reducir la materia orgánica depositada sobre el suelo, fuente importante de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio entre otros. Nutrientes que son incorporados en los suelos agrícolas principalmente a través del uso de fertilizantes. Se analizan los cambios físicos y químicos que produce la quema en el suelo sometido a cultivo intensivo de caña en la zona kárstica del sur de Quintana Roo, México. La dinámica de estos suelos kársticos es un poco diferente a otros ya que los altos contenidos de carbonato de calcio interfieren tanto en las propiedades físicas y químicas del suelo como en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Al analizar las propiedades físicas y químicas en los primeros 20 cm de profundidad en un suelo Gleysol antes y después de la quema controlada se encontraron

cambios en la textura y diferencias significativas en las concentraciones de fósforo, pH y sodio. El contenido de carbono orgánico varió poco.

Palabras clave: Quema agrícola, karst, carbono, fósforo, caña

Effect of Fire on the Properties of Agricultural Soils in the Karst Zone of Southern Quintana Roo

Fragoso-Servón Patricia

Pereira Corona Alberto

Prezas Hernández Benito

Departamento de Recursos Naturales. Universidad de Quintana Roo,
Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, colonia Del Bosque.
Chetumal, Quintana Roo

Abstract

There is great controversy within traditional cultivation practices that carry out one or two burns. Most of the research on the effect of burning on crops is directed towards three aspects: the effect on soil microorganisms, the loss of organic matter and air pollution and health effects. The combustion process during the burning of vegetation contributes to reducing the organic matter deposited on the soil, an important source of nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, and magnesium, among others. Nutrients are incorporated into agricultural soils primarily using fertilizers. The physical and chemical changes produced by burning in the soil subjected to intensive sugarcane cultivation in the karstic zone of southern Quintana Roo, Mexico, are analyzed. The dynamics of these karstic soils is a little different from others, because of the high content of calcium carbonate interferes both with the physical and chemical properties of the soil and with the availability of nutrients for plants. Analyzing the physical and chemical properties in the first 20 cm of depth in a Gleysol soil before and after controlled burning, changes in texture and significant differences in phosphorus, pH and sodium concentrations were found. The organic carbon content varied just a little.

Keywords: Agricultural burning, karst, carbon, phosphorus, sugar cane

Introducción

La caña de azúcar es un cultivo perenne característico de las zonas cálidas húmedas y subhúmedas del planeta, de ella se obtienen cuatro productos principalmente azúcar, piloncillo, fruta (caña) y forraje.

La producción a nivel mundial de acuerdo con los datos de la FAO (2010) es de casi 1,700 millones de toneladas y abarca un área de 24 millones de hectáreas siendo los principales países productores Brasil, India, China. En México hay 55 ingenios azucareros distribuidos en 15 estados de la República, para el ciclo 2021-2022 se reportó actividad en 49 de ellos abarcando una superficie cosechada de 799,774 hectáreas, con una producción de 54'680,830 toneladas de caña y 6'185,050 toneladas de azúcar (CONADESUCA, 2022).

Dentro de las prácticas de cultivo tradicionales se realizan una o dos quemas al año, la primera antes de la cosecha y la segunda posterior a la cosecha. La quema es una práctica que se realiza por las características particulares que tiene el cultivo y por el contexto social y económico en que esa agroindustria se desenvuelve (Chaves y Bermúdez, 2006).

Derivado de esta práctica se han realizado diversas investigaciones sobre el efecto que tienen las quemas sobre las poblaciones de microorganismos del suelo (Goberna et al., 2012; Pineda y Lizarazo, 2013), sobre el efecto en los contenidos de carbono en el suelo (Torres et al., 2004; Cabrera y Zuaznábar, 2010; Goberna et al., 2012), los efectos sobre la contaminación atmosférica y emisora de gases de efecto invernadero y daños a la salud de las poblaciones aledañas (Fearmside, 2000, Dávalos, 2007; Silva et al., 2011; Flores, et al., 2016) y sobre cambios en la fertilidad del suelo para calcular dosis de fertilizantes (Salgado et al. 2000, 2003, 2005; Palma et al. 2002; Karlen et al., 2003).

Hay pocos estudios sobre los efectos de la quema sobre las propiedades del suelo, la mayoría desde el punto de vista del efecto de los incendios forestales en zonas templadas como los realizados por Úbeda (2021) y Celis et al., (2013) en España, Coldwel et al. (2002) en Estados Unidos, Valdes (2016) en Cuba y Capulín et al., (2010) en México.

Aún con la información disponible hasta ahora, el uso de la quema controlada para el mantenimiento de los sistemas naturales y agropecuarios sigue siendo un tema conflictivo, el efecto del fuego sobre el suelo es variable, depende de varios factores como las temperaturas alcanzadas, la duración, la frecuencia de quemas, el tipo de vegetación o cultivo y el grado de incorporación de las cenizas (Hepper et al., 2008) trayendo como consecuencia la pérdida de nutrientes o favorecer la mineralización de la materia orgánica.

A pesar del uso frecuente del fuego en la producción de caña en México donde se realiza principalmente la quema precosecha, es escasa la información disponible del efecto que este tiene sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas (Domínguez, 2016) y en especial en los suelos kársticos de la Península de Yucatán.

En esta investigación se busca analizar el efecto que tiene la quema de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en las propiedades tanto físicas como químicas del suelo en la zona cañera del sur de Quintana Roo, para evaluar su efecto sobre las propiedades y la productividad del suelo.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La zona de cultivo de caña en Quintana Roo se encuentra en la porción sur bajo la administración del ingenio de San Rafael de Pucté, el cual trasciende en la actividad económica y social del estado, abarca 13 ejidos a lo largo de la Riviera del río Hondo con una superficie cosechada de 32,676 hectáreas, una producción de 1,774,069 toneladas de caña y un rendimiento de 54 toneladas por hectárea (rendimiento máximo reportado en 2012 es de 114 ton/ha y el mínimo de 46.8 ton/ha) (CONADESUCA, 2022).

En la zona predominan planicies subhorizontales y ligeramente diseccionadas con algunos acolinamientos, el clima es cálido subhúmedo con una temperatura media anual es de 26.7°C y una precipitación anual de 1307 mm, los grupos de suelo dominantes en el área son Gleysol, Vertisol, Luvisol y en menor escala Leptosol (INIFAP, 2012; Fragoso et al., 2016).

El estudio se realizó en el ejido Álvaro Obregón en un predio de 16 hectáreas ubicado en el lugar llamado “El Zapote” con coordenadas 18°18'50" latitud norte y 89° 42'11" longitud oeste (Figura 1), en un cultivo de caña de 10 años en producción con una altura promedio de 3 m y sin plagas sobre un suelo Eutric Gleysol (Clayic, Vertic), el más representativo y abundante en el área, cuyas características distintivas son el alto contenido de arcillas, problemas hidromórficos, predominancia de reacciones de reducción lo que favorece las coloraciones grisáceas.



Figura 1. Localización del área de estudio.

Metodología

Para identificar los efectos de la quema, se realizaron dos muestreos en el intervalo de un ciclo productivo, el primero cuando el cultivo alcanzó su máximo desarrollo y el segundo después de la quema y cosecha de este.

Se siguieron las metodologías de muestreo y análisis de Siebe et al. (1996) y la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000) (SEMARNAT, 2002). Se utilizó el diseño por zigzag para el muestreo, tomando 10 puntos, cada punto fue georreferenciado, se eliminó la hojarasca y el horizonte orgánico; a partir del horizonte mineral, se tomaron muestras cada 2 cm hasta llegar a una profundidad de 20 cm (Figura 2), cada muestra fue secada a la sombra, molida y tamizada con malla de 2mm, para los análisis físicos y químicos.



Figura 2. Muestreo cada 2 cm de profundidad

Se evaluaron las propiedades físicas y químicas previo a la quema y posterior a la quema: estructura, estabilidad de agregados, color por tablas Munsell, textura por hidrómetro de Bouyoucos, pH 1:2 agua, materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO) Walkley-Black, conductividad eléctrica (CE) 1:5 agua, fósforo (P) Bray y cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+}) por extracción con solución de acetato de amonio y posteriormente Ca^{2+} y Mg^{2+} por absorción atómica y K^{+} y Na^{+} con la técnica de emisión atómica.

Para evaluar las temperaturas del suelo durante la quema se utilizaron placas de cerámica cruda (sin vidriado) de 10 por 5 cm con pintura termosensible poniendo en cada una de ellas líneas de registro verticales de 5 cm de altura, teniendo siete indicadores de temperaturas (90-130°C, 130-150°C, 150-180°C, 180-220°C, 230-260°C, 320-340°C, 590-630°C). Cada placa fue enterrada junto al pozo de muestreo de modo tal que las líneas de pintura abarcaran los primeros cinco centímetros de profundidad del suelo. La temperatura superficial durante la quema se midió usando un pirómetro laser portátil.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico de comparación de medias pre y post quema por propiedad y por profundidad considerando el valor de una desviación estándar de los datos como criterio para determinar la diferencia entre valores, en todos los casos los datos comparados son resultante de las medias de dichos parámetros ya sea por perfil o por profundidad.

En cuanto a la posible relación entre los diferentes parámetros medidos, se hizo un análisis de correlación simple entre las condiciones de pre y post quema con un $\alpha=0.05$ como criterio para determinar la aleatoriedad de los datos y para indicar si los resultados de las correlaciones son o no producto del azar.

Resultados y Discusión

Temperatura

Durante la quema en la superficie del suelo, las temperaturas registradas estuvieron por encima de los 200°C con ráfagas de hasta 500°C . En el suelo las temperaturas registradas en los primeros 5 cm de profundidad produjeron cambios en las pinturas térmicas de $90\text{-}130^{\circ}\text{C}$, $130\text{-}150^{\circ}\text{C}$ y $150\text{-}180^{\circ}\text{C}$. (Figura 3).



Figura 3. Placa de cerámica con indicadores de temperatura.

Las temperaturas alcanzadas pueden determinar la influencia del fuego sobre las propiedades tanto físicas como las químicas del suelo, Soto et al. (1991) y Capulín et al., (2010, 2018) coinciden en que por debajo de los 170°C se favorece las pérdidas por volatilización, por encima hay una deshidratación de las partículas y se favorece la degradación de la materia orgánica entre 220 y 460°C además se producen procesos de disolución y

movimiento de materiales y la posible liberación de nutrientes, las temperaturas mayores a 500°C alteran el ciclo de nutrientes.

Propiedades físicas

Color

De acuerdo con las tablas de color Munsell, el suelo antes de la quema tiene un color en seco 10YR 4/2 (café grisáceo muy oscuro) con variaciones de Value de 3,4 y 5 y en húmedo 10YR 3/1 (gris muy oscuro) con variaciones del Chroma entre 1,2 y 3.

Después de la quema y cosecha solo se aprecia cambio por encima de los primeros 10 cm en el Chroma a valores de 1 y 2 indicando un color más oscuro (café oscuro). No hay cambios significativos en el color tanto en seco como en húmedo por debajo de los 10 cm.

Este oscurecimiento de color presente en los primeros centímetros puede ser debido a la quema de la materia orgánica y la presencia de cenizas depositadas en la superficie. Este fenómeno coincide con lo reportado por la mayoría de los autores que estudian el efecto del fuego como Celis et al. (2013)

Estructura y estabilidad de agregados

En toda la profundidad estudiada la estructura dominante en ambos muestreos es de bloques subangulares, teniendo en promedio un diámetro de 1.23 cm (de 0.5 a 2.26 cm) en pre-quema y en pos-quema los bloques tienen un promedio de 1.03 cm en un intervalo de valores que van de 0.6 cm a 1.5 cm.

De acuerdo con la técnica de Siebe et al. (1996) los agregados presentan una estabilidad de mediana a alta en ambos muestreos, en pre-quema domina la estabilidad media y en el caso de pos-quema domina la estabilidad alta.

La diferencia entre el tamaño de pre y pos-quema y la estabilizas de agregados puede estar relacionada con la pérdida de humedad debida al calor y como consecuencia la ruptura de los bloques.

Con la temperatura alcanzada durante la quema los agregados se deshidrataron, se agrietaron y se fragmentaron, dando una mayor estabilidad después de la quema por haber un proceso de cementación interna, el mismo fenómeno fue reportado por Soto et al. (1991) trabajando con Cambisoles (suelos ricos en arcillas) en donde definieron que las temperaturas por debajo de 220°C deshidratan los agregados del suelo, a su vez Celis et al. (2013) en la zona mediterránea encontraron que las arcillas por el calentamiento generaron agregados más estables y la combustión del material orgánico destruye los agregados del suelo, puede inducir a la cementación de los

mismos y dar lugar a la presencia de compuestos hidrofóbicos que favorecen la estabilidad de los agregados.

Los valores de las propiedades físicas y químicas en la pre-quema son relativamente homogéneos a lo largo de los 20 cm del perfil, lo que permite suponer una cierta homogeneidad en el comportamiento de esta capa de suelo respecto a la capacidad de conducción térmica al menos en los 20 cm de profundidad estudiados.

Textura

Dentro de las propiedades físicas es en la textura donde se encontraron mayores cambios, en pre-quema se observa un incremento en el contenido de arcillas de 45 a 52% con la profundidad, los limos se mantienen esencialmente constantes a lo largo del perfil y las arenas disminuyen de 41 a 32% en el mismo intervalo de profundidad (Figura 4).

Es claro que a mayor profundidad hay más arcillas y menos arenas, este es un proceso de arrastre mecánico y acomodo de las partículas que se ve favorecido con las fuertes lluvias típicas de la zona de estudio.

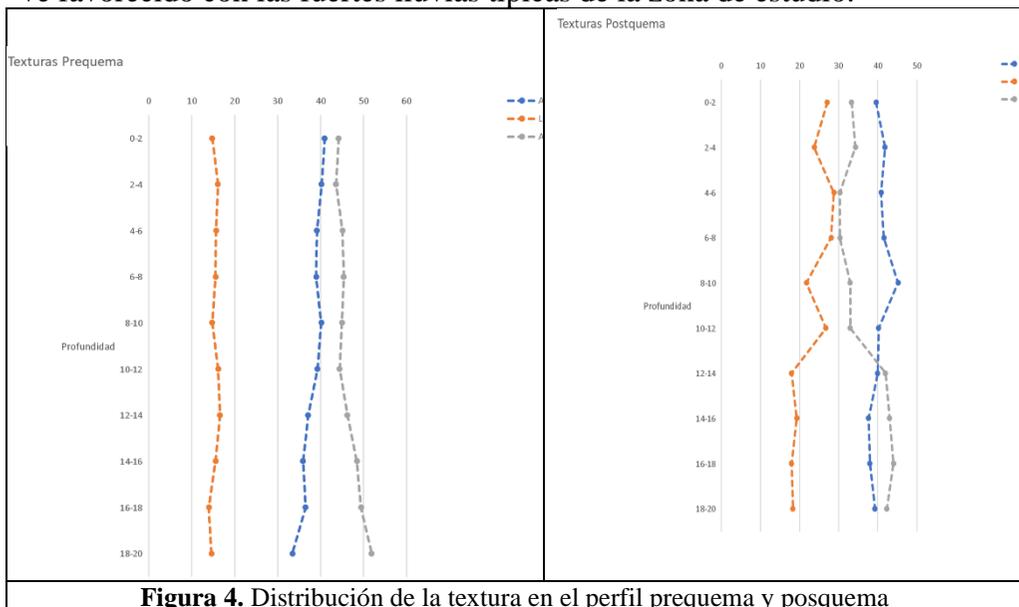


Figura 4. Distribución de la textura en el perfil prequema y posquema

En la pos-quema se observa un aumento en el contenido de limos y disminuye el contenido de arcillas, las arenas se mantienen relativamente en la misma proporción en el perfil, el porcentaje de arcillas es menor (34-42%) pero conserva el mismo comportamiento en profundidad (menor contenido en la superficie y mayor en la profundidad). En cambio, para los limos se observa un mayor contenido (28-18%) y su patrón de distribución respecto a la profundidad va disminuyendo de manera irregular.

Para las tres texturas entre los 4 y 12 cm de profundidad hay una mayor irregularidad en sus contenidos, lo que podría estar asociado con el aumento de temperatura y el desarrollo radicular de la caña de azúcar a dicha profundidad.

Este comportamiento fue igualmente reportado por varios autores como Úbeda (2001); Hepper et al. (2008) y Celis et al. (2013), ellos encontraron que las altas temperaturas favorecen la descomposición térmica de las arcillas, liberando compuestos amorfos de sílice y aluminio y óxidos e hidróxidos de hierro que actúan como cementantes aumentando el tamaño de las partículas.

Propiedades químicas

Las concentraciones de las variables químicas en pre y pos-quema se encuentran en la Figura 5 y 6. En cuanto a la concentración relacionada con la profundidad se observa de manera general que las mayores concentraciones están en la parte superior del perfil y disminuyen conforme se desciende en profundidad (Figura 5).

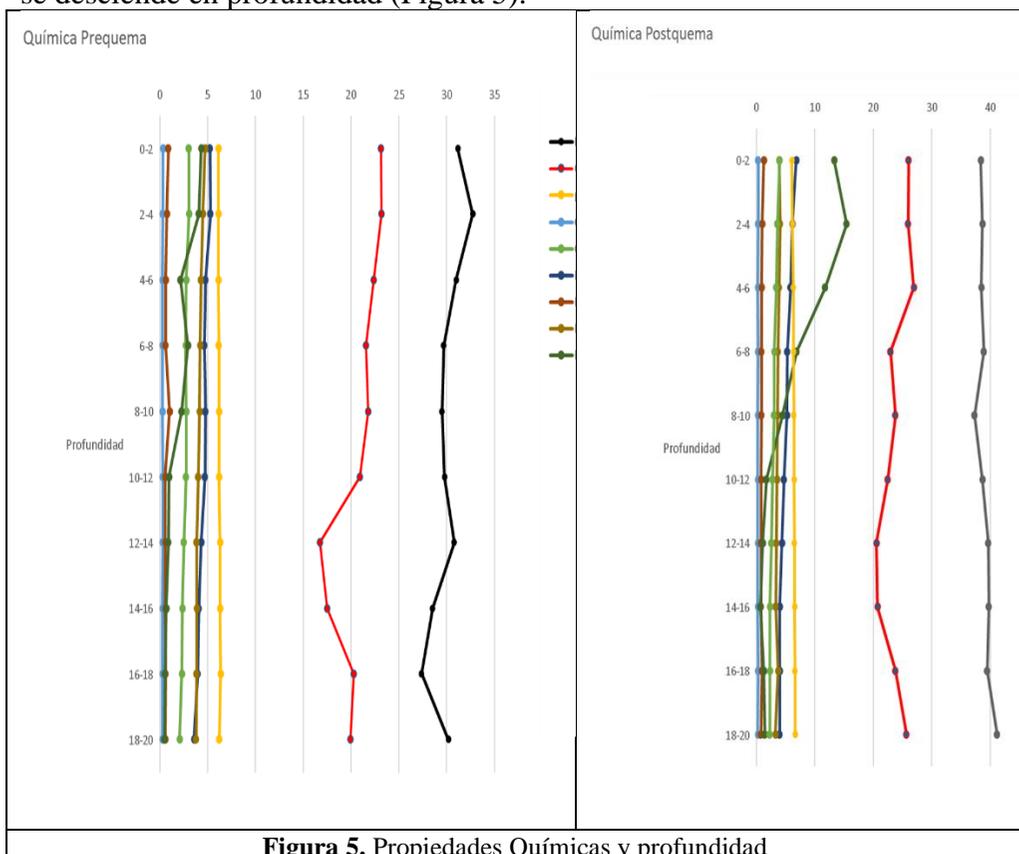


Figura 5. Propiedades Químicas y profundidad

pH

El pH del suelo es ligeramente ácido, los valores menores están en la superficie y a mayor profundidad se acercan a la neutralidad, las variaciones en profundidad son menores en la prequema. En la postquema las variaciones son mayores y el valor de la media de pH aumenta 0.2 décimas. Esto debido a que las cenizas producidas en la quema alcalinizan el suelo al reducir la formación de ácidos orgánicos.

Este comportamiento en mayor o menor grado ha sido reportado por Vega et al. (2000) y Capulín et al. (2010), todos coinciden en que el pH aumenta con las quemas e incluso el cambio puede ser de más de una unidad, a su vez Celis et al. (2013) encontraron que es debida a la pérdida de los grupos OH de las arcillas, la liberación de cationes o la sustitución de protones en el complejo de cambio pueden ser las razones de estos cambios. En la zona estudiada se observa un poco este aumento, Vega et al. (2000) indican que la humedad del suelo puede ser un factor que aminore los cambios del suelo, en el suelo estudiado (Gleysol) con sus problemas de infiltración e hidromorfismo, puede ser el factor por el que el cambio de pH sea menor por el reportado en otras zonas.

CE

No se encontraron problemas de salinidad al obtener valores menores de uno en la conductividad eléctrica

CO y MO

Antes de la quema se encontraba una gran cantidad de hojarasca sobre el suelo producto de la caída de hojas del cultivo. El contenido de materia orgánica y carbono en los estratos minerales estudiados es alto (mayor de 2% de CO) y muestran una mayor concentración en superficie disminuyendo con la profundidad. En la postquema en contenido de MO y CO se incrementó y se observó una mayor variación en la profundidad, se encontraron diferencias significativas en los contenidos de CO solo en los primeros 6 cm de profundidad. Al respecto Úbeda et al (2001) reportan igualmente que el efecto del fuego solo se da en los primeros 10 cm en incendios forestales en la región de Girona, España.

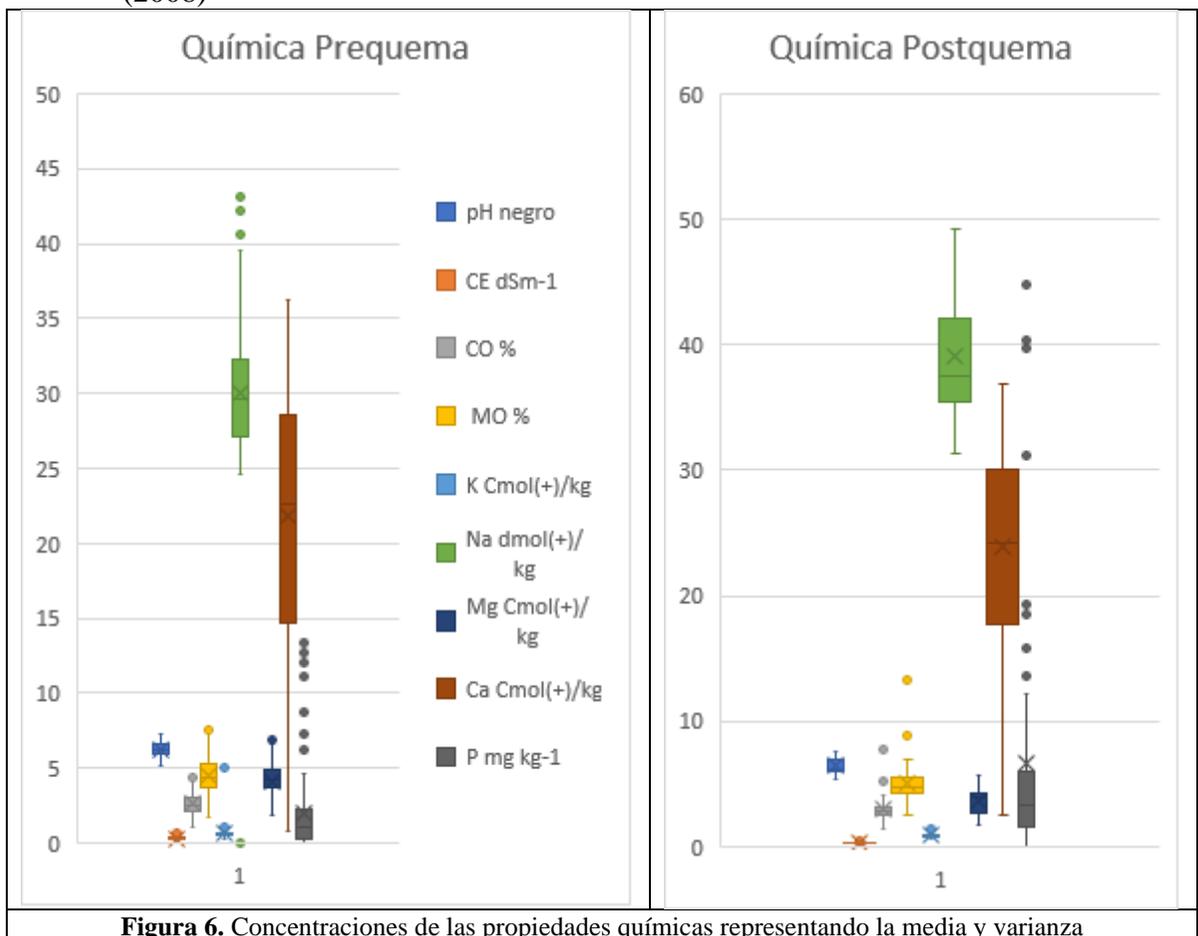
Esto indica que la quema aportó carbono al suelo y las diferencias en los contenidos de carbono pueden estar asociados al comportamiento observado de la temperatura respecto a la profundidad ya que no se alcanzaron temperaturas mayores de 450°C que es cuando se da la combustión casi total de la materia orgánica (Hepper et al., 2008)

En cuanto a los cationes intercambiables, las concentraciones de sodio, potasio, calcio y magnesio tanto en la pre-quema como en la pos-

quema son altas, sin embargo, no hay cambios significativos en los contenidos de potasio, calcio y magnesio.

Llama la atención que el potasio y magnesio no se incrementaron, en la mayoría de los trabajos como los de Sánchez et al. (1991), Rosero y Osorio (2013) y Ebel (2018) señalan un incremento en la concentración de potasio debido a la ceniza que se produce como producto de la combustión en temperaturas por debajo de los 300°C y a la disminución de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, a su vez Vega et al. (2000) señalan que los incrementos o decrementos de estos cationes dependen tanto de la temperatura como del tipo de vegetación quemada.

El sodio aumenta su concentración un 20% después de la quema (Figura 6), posiblemente debido a la formación de sales complejas que aumentan el contenido de sodio del terreno en los primeros 20 cm, este cambio podría ser producto de la destrucción térmica de feldspatos de Na^+ , que son los menos estables entre los feldspatos de acuerdo con Hepper et al. (2008)



Se observa un incremento sustancial en los contenidos de fósforo (Figuras 5 y 6) que van de valores menores de 4 mg Kg⁻¹ de P (contenido bajo) a más de 10 mg Kg⁻¹ en la pos-quema (medio a alto) solo en los primeros 10 cm, estos incrementos se deben probablemente al aporte del material orgánico degradado durante la quema y a que las temperaturas no fueron lo suficientemente altas para su volatilización.

Estos resultados concuerdan con lo observado por Coldwell et al. (2002), Maycotte et al. (2002) y Capulín et al. (2010) al analizar el efecto de los incendios forestales en México y Estados Unidos en zonas templadas e indican que es debido a que el fósforo es un elemento estable por no presentar compuestos inorgánicos que puedan ser volatilizados o lixiviados siendo un elemento de baja solubilidad, lo que en ocasiones puede causar deficiencias en la disponibilidad para las plantas por otra parte Úbeda (2001) justifica el incremento de fósforo a que se alcanza una temperatura en la que se mineraliza el fósforo orgánico.

El análisis de correlación por estratos entre las variables resulta significativo la inversión en el patrón de distribución vertical del sodio (mayor concentración en la superficie) y el comportamiento del fósforo, el carbono y la materia orgánica que tienen correlaciones superiores a 0.9 nos confirman que el incremento de fósforo en la posquema proviene de la materia orgánica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Correlación para las variables físicas y químicas del suelo bajo condiciones de pre y post quema

Arena	Limo	Arcilla	pH	CE	CO	MO	K	Na	Mg	Ca	P
0.592	0.254	0.794	0.777	0.633	0.921	0.921	0.528	-0.201	0.850	0.817	0.916

Se llevó a cabo una comparación de medias entre ambas condiciones (pre-quema y post-quema) encontrándose diferencias estadísticamente significativas mayores a una desviación estándar en las variables porcentaje de limo, arcilla, contenido de sodio y fósforo, confirmando el comportamiento de estas variables y las diferencias descritas anteriormente.

En los estudios realizados sobre el efecto del fuego sobre las propiedades de los suelos se ha analizado la temporalidad de los cambios, Valdés (2016) indican que el suelo tarda tres años en recuperarse, por su lado Celis (2013) concluye que los efectos pueden ser variables a corto (menos de un año), mediano (de 2 a 4 años) o largo plazo (más de 4 años) dependiendo de la relación entre la intensidad del fuego y la hidrología del lugar, Úbeda (2001) incluye el tipo de suelo y tipo de vegetación, finalmente Hepper et al. (2008) concluye que debido a la multiplicidad de factores que pueden afectar a las propiedades del suelo sometido a una quema, la interpretación de los efectos producidos a propiedades y características en campo es difícil si no se tiene conocimiento de cada uno individualmente.

En el caso de la caña de azúcar, la quema controlada se hace cada año a lo largo de 10 a 15 años de producción continua antes de dejar descansar el suelo por un par de años para volver a ser sembrada, no hay forma de recuperación como en el caso de la vegetación natural siniestrada en los incendios forestales.

Hay opiniones tanto a favor como en contra de las quemas, algunos consideran que no son necesarias y que contaminan el aire, otros consideran que es una práctica que solo favorece las condiciones de la mano de obra para la cosecha (Crovetto, 1992; Molina et al., 2002; Ripoli, 2000; Sentiés et al., 2014) y en el suelo la mayor pérdida es de la materia orgánica Hartemik (1998), Molina et al. (2002), Salgado et al. (2000), Hernández y López (2002) indican que la quema de la materia orgánica no permite que se obtengan de esta forma los nutrientes que la planta necesita de manera natural, a cambio de ello en las zonas de cultivo de caña se debe subsidiar a la planta a través del uso de fertilizantes aplicando dosis excesivas generales para toda la zona sin considerar los contenidos de nutrientes del suelo como indican Salgado et al. (2000, 2005) y Palma et al. (2002).

Conclusion

Contrario a lo que se puede llegar a pensar la quema de la caña libera nutrientes al suelo, en esta investigación se encontraron diferencias significativas en el comportamiento vertical (a lo largo del perfil), en la distribución y en la concentración de limos, arcillas, sodio y fósforo.

Las temperaturas alcanzadas menores a 200°C durante la quema afectaron las propiedades físicas en cuanto a la textura (contenidos de limo y arcilla), una mayor estabilidad de agregados, a las propiedades químicas principalmente enfocadas a pequeños cambios de pH y cambios importantes en los contenidos de fósforo y sodio principalmente en los primeros 5 cm del suelo, al menos en el caso del tipo de suelo estudiado, el cultivo específico y las características muy particulares del comportamiento de los suelos en la zona kárstica del sur de Quintana Roo.

El contenido de materia orgánica tiene poco cambio en cuanto a concentración, con la quema no se aporta un incremento de nutrientes para el siguiente ciclo, obligando a los productores a utilizar fertilizantes perdiéndose además, de todos los beneficios derivados de su incorporación directa al suelo (aumento de la porosidad, disminuir la densidad, favorecer la infiltración, etc.).

Los stocks de carbono del suelo no se ven modificados significativamente contrario a lo que sucede en la parte superficial del suelo en donde la parte vegetativa caída del cultivo se acumula (hojarasca) y la quema de esta genera una gran cantidad de cenizas que influyen en el color de la parte superficial del suelo.

Se debe cuidar las dosis de fertilización y no usar de manera indiscriminada sus aportes ya que pueden aumentar en concentraciones peligrosas algunos nutrientes como el sodio.

Los resultados que se muestran ponen de manifiesto que una parte de los nutrientes aportados mediante los fertilizantes son reincorporados durante la quema, específicamente el fósforo y el sodio muestran este comportamiento al aumentar considerablemente su concentración en la parte superior del perfil luego de la quema, mismo que con el laboreo posterior y las precipitaciones muy posiblemente se redistribuyan en todo el perfil.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Ecología y Ordenamiento Territorial de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo por el apoyo en la realización de esta investigación

References:

1. Cabrera, J. A., & Zuaznábar, R. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono. *Cultivos tropicales*, 31(1), 5-13.
2. Capulín, G.J., Mohedano, C.L., & Razo, Z.R. (2010). Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 79-87.
3. Capulin, G. J., Suárez, I. A., Rodríguez, L. R., Mateo, S. J. J., Razo, Z. R., & Islas, S. M. (2018). Influencia del fuego en el suelo y las propiedades de la vegetación en dos sitios forestales contrastantes en el centro de México. *Ciencia e investigación agraria*, 45(2), 128-137.
4. Caldwell, T. G., Johnson, D. W., Miller, W. W., & Qualls, R. G. (2002). Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Science Society of America Journal*, 66(1), 262-267.
5. Celis, R. D., Jordán, L., A., & Martínez, Z. L. M. (2013). Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. En: Bento, G.A., & Vieira, A. (Eds) *Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos*. Universidad do Minho.
6. CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar). (2022). 09 Informe Estadístico del sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar en México, zafras 2012-2013/2021-2022. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural - CONADESUCA.
<https://www.gob.mx/conadesuca/documentos/dieproc-informes->

estadisticos-del-sector-agroindustrial-de-la-cana-de-azucar-en-mexico

7. Crovetto, C. (1992). Rastrojos sobre el suelo una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 301 p.
8. Chaves, M., & Bermúdez, A. (2006). Motivos y Razones para Quemar las Plantaciones de Caña de Azúcar en Costa Rica. Políticas para la Agroindustria Azucarera Costarricense. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria 2006. Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo I, 248- 253.
9. Dávalos, E. (2007). La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad? Desarrollo y Sociedad 59, 117-164.
10. Domínguez, H. (2016). Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo producidas por la quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, departamento del Vichada, 19-21.
11. Ebel, R. (2018). Effects of Slash-and-Burn-Farming and a Fire-Free Management on a Cambisol in a Traditional Maya Farming System. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 25(2).
12. Fearnside, P. M. (2000). Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic change*, 46(1), 115-158.
13. Flores, D., Algara, M., Aguilar, N., Carbajal, N., Aldama, C., Ávila, A., & Álvarez, G. 2016. Influence of sugarcane burning on soil carbon and nitrogen release under drought and evapotranspiration conditions in a Mexican sugarcane supply zone. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(2), 177-189.
14. Fragoso, P., Pereira, A., Bautista, F., & Zapata, G. (2017). Digital soil map of Quintana Roo, Mexico. *Journal of Maps*, 13(2), 49-456.
15. Goberna, M., García, C., Insam, H., Hernández, M. T., & Verdú, M. (2012). Burning fire-prone Mediterranean shrublands: immediate changes in soil microbial community structure and ecosystem functions. *Microbial ecology*, 64(1), 242-255.
16. Hartemink, A. E. (1998). Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. *Geoderma*, 85(4), 283-306.
17. Hernández, I. & López, D. (2002). Pérdida de nutrientes por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*. *Revista de Biología Tropical*, 50(3-4), 1013-1019.
18. Hepper, E., Urioste, A., Belmonte, V., & Buschiazzo, D. (2008). Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de

- la región semiárida pampeana central. *Ciencia del suelo*, 26(1), 29-34.
19. INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias). 2012. Características climáticas y edáficas de las zonas de abastecimiento de ingenios cañeros en México. Gobierno Federal, SAGARPA, INIFAP.
 20. Karlen, D. L., Ditzler, C. A., & Andrews, S. S. (2003). Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114 (3-4), 145-156.
 21. Sánchez, J. J. M., de las Heras Ibáñez, J., & Sanz, J. M. H. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. *Al-Basit: Revista de estudios albacetenses*, (29), 105-117.
 22. Molina, D. E., Molina, C. H., Molina, C., & Molina, J. (2002). Estudio de Caso Sobre el Manejo Convencional y Agroecológico del Cultivo de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. Reserva Natural El Hatigo.
 23. Maycotte, C. C., Martínez, A. V., Hernández, J. V., Santos, A. T., & Vera, G. (2002). Radiación fotosintéticamente activa y propiedades físico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. *Madera y Bosques*, 8(2), 39-55.
 24. Palma, L.D. J. P., García, S. S., Olán, J. J. O., Narcía, A. T., Espinoza, L. D. C. L., Cruz, J. Z., & Martel, M. A. C. (2002). Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra Latinoamericana*, 20(3), 347-358
 25. Pineda, M. E. B., & Lizarazo, L. M. (2013). Grupos funcionales de microorganismos en suelos de páramo perturbados por incendios forestales. *Revista de Ciencias*, 17(2), 121-136.
 26. Ripoli, T. (2000). Energy potencial of sugar cane biomasa in Brazil. *Scientia Agrícola*, 56 (4).
 27. Rosero-Cuesta, J. R., & Osorio, I. O. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno activa*, 5, 59-67.
 28. Salgado, S., Nuñez, R., Peña, J., Etchevers, J., Palma, D., & Soto, M. R. (2000). Respuesta de la soca de caña de azúcar a la fertilización NPK. *Agrociencia*, 34 (6), 689-698.
 29. Salgado, S., Nuñez, R., J Peña, J., Etchevers, J. D., Palma, D. J., & Soto, R. M. (2003). Manejo de la fertilización en el rendimiento, calidad del jugo y actividad de invertasas en caña de azúcar. *Interciencia*, 28(10), 576-580
 30. Salgado, S., Palma, D. J., Lagunes, L. D. C., Ortiz, C. F., & Ascencio, J. M. (2005). Bases para generar un programa sustentable de fertilización en un ingenio de Tabasco, México. *Interciencia*, 30(7), 395-403.

31. Soto, B., Benito, E., & Díaz-Fierros, F. (1991). Heat-induced degradation processes in forest soils. *International Journal of Wildland Fire*, 1(3), 147-152. de Tabasco, México.
32. SEMARNAT (Secretaría de medio Ambiente y recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Diario Oficial de la Federación. México
33. Senties, H., Gómez, F., Valdez, A., Silva, H., & Trejo, L. (2014). The Agro-Industrial Sugarcane System in Mexico: Current Status, Challenges and Opportunities. *Journal of Agricultural Science*, 6 (4), 26-54.
34. Siebe, C., Jahn, R. & Stahr, K. (1996). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Publicación especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo, A.C. Chapingo, México.
35. Silva, J. M. N., Carreiras, J. M. B., Rosa, I., & Pereira, J. M. C. (2011). Greenhouse gas emissions from shifting cultivation in the tropics, including uncertainty and sensitivity analysis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D20).
36. Torres, V. D. L., Quiroz, G. R., & Juscamaita, M. J. (2004). Efecto de una quema controlada sobre la población microbiana en suelos con pasturas en la SAIS Tupac Amaru-Junín, Perú. *Ecología aplicada*, 3(1-2), 139-147.
37. Úbeda, X. (2001). Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Revista de la sociedad española de la ciencia del suelo*, 8, 41-49.
38. Valdes, L. (2016). Efectos del fuego en algunas características de suelos de pinares, Macurije, Pinar del Río, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(2), 60-65.
39. Vega H. J. A. V., Landsberg, J., Bará, S., Paysen, T., & Santos, M. A. (2000). Efectos del fuego prescrito bajo arbolado de P. pinaster en suelos forestales de Galicia y Andalucía. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (9), 123-136.