

Effect of forest fires on the C/N ratio of the soil

Fiorella Guido Correa¹. Bach, Flor Sangay Cabrera¹. Bach, Marco Sánchez Peña,^{1,2} MSc. Blgo.

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, gc_fiorella@hotmail.com; flordemaria_3791@hotmail.com

² Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, marco.sanchez@upn.pe

Abstract

Forest fires affect the soil with respect to its physical, chemical and biological properties; mainly showing intense degradation, as well as the modification of the concentration values of the essential components for the fertility and productivity of the resource, especially total nitrogen (NT), organic carbon (CO) and the carbon / nitrogen ratio (C / N). The present meta-analysis aimed to analyze the effect of forest fires on the C / N ratio of the soil. In the meta-analysis, 5 areas affected by forest fires were studied: Huacraruco (2018), El Cañón de Sangal (2018) and La Sierra de Cazorla (2005, 2007 and 2008 respectively) with a sampling range of no more than 8 months. The Kjeldahl and Walkley and Black methods were taken into account to determine NT and CO respectively, from organic matter. Significant increases in NT and CO were observed, as well as a non-significant decrease in the carbon / nitrogen ratio in all the burned soils compared to the controls. After forest fires, the C, NT and C / N values may vary depending on the dependence between themselves and the organic matter affected, as well as according to the severity and duration of the fire.

Keywords: chemical properties of soils, forest fires, fire severity, Kjeldahl method, Walkley and Black method.

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.308>
ISBN: 978-958-52071-8-9 **ISSN:** 2414-6390
DO NOT REMOVE

Efecto de los incendios forestales en la relación C/N del suelo

Fiorella Guido Correa¹, Bach, Flor Sangay Cabrera¹, Bach, Marco Sánchez Peña,^{1,2} MSC. Blgo.

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, gc_fiorella@hotmail.com; flordemaria_3791@hotmail.com

² Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, marco.sanchez@upn.pe

Resumen:

Los incendios forestales afectan al suelo con respecto a sus propiedades físicas, químicas y biológicas; evidenciándose principalmente una degradación intensa, así como la modificación de los valores de concentración de los componentes esenciales para la fertilidad y productividad del recurso, especialmente de nitrógeno total (NT), carbono orgánico (CO) y relación carbono/nitrógeno (C/N). El presente meta análisis tuvo como objetivo analizar el efecto de los incendios forestales en la relación C/N del suelo. En el metaanálisis se estudiaron 5 zonas afectadas por incendios forestales: Huacraruco (2018), El Cañón de Sangal (2018) y La Sierra de Cazorla (2005, 2007 y 2008 respectivamente) con un rango de muestreo no mayor a 8 meses. Se tomaron en cuenta el método de Kjeldahl y de Walkley y Black para determinar NT y CO respectivamente, a partir de la materia orgánica. Se observaron incrementos significativos de NT y CO, así como una disminución no significativa en la relación carbono/nitrógeno en todos los suelos quemados en comparación a los controles. Pasados los incendios forestales, los valores de C, NT y C/N pueden variar según la dependencia entre ellos mismos y la materia orgánica afectada, así como según la severidad y duración del fuego.

Palabras clave: propiedades químicas, severidad del fuego, método de Kjeldahl, método de Walkley y Black.

Abstract

Forest fires affect the soil with respect to its physical, chemical and biological properties; mainly showing intense degradation, as well as the modification of the concentration values of the essential components for the fertility and productivity of the resource, especially total nitrogen (NT), organic carbon (CO) and the carbon / nitrogen ratio (C/N). The present meta-analysis aimed to analyze the effect of forest fires on the C / N ratio of the soil. In the meta-analysis, 5 areas affected by forest fires were studied: Huacraruco (2018), El Cañón de Sangal (2018) and La Sierra de Cazorla (2005, 2007 and 2008 respectively) with a sampling range of no more than 8 months. The Kjeldahl and Walkley and Black methods were taken into account to determine NT and CO respectively, from organic matter. Significant increases in NT and CO were

observed, as well as a non-significant decrease in the carbon / nitrogen ratio in all the burned soils compared to the controls. After forest fires, the C, NT and C / N values may vary depending on the dependence between themselves and the organic matter affected, as well as according to the severity and duration of the fire.

Keywords: chemical properties, fire severity, Kjeldahl method, Walkley and Black method.

I. INTRODUCCIÓN

Se define a los incendios forestales como la propagación incontrolada de fuego sobre combustibles forestales, afectando su biodiversidad y condiciones inherentes: la hidrósfera, litósfera y atmósfera, tanto como a los componentes bióticos y abióticos que no estaban destinados a quemarse [1]. Estos siniestros pueden ser producidos por causas naturales o antrópicas [2]; identificándose como el causal preferente de tipo antrópico debido a que, en Latinoamérica principalmente, se practica el cambio de uso de suelo con el fin de obtener terrenos disponibles para la agricultura a través de la quema de la cubierta vegetal forestal, es decir, la amplificación de la frontera agrícola [3], sin embargo también se evidencia malas prácticas agrícolas por causa de la idiosincrasia propia de la zona [4].

El suelo, es el recurso más afectado frente a tales siniestros, sobre todo con respecto a sus propiedades físicas, químicas y biológicas [5]; evidenciándose el proceso de degradación intenso que puede sufrir, así como la modificación y empobrecimiento de la concentración de nitrógeno total, carbono orgánico y fósforo [6].

El nitrógeno total (NT) presente en el suelo es uno de los componentes principales de la materia orgánica (MO) [7], el mismo que se presenta en sus formas orgánicas (equivalente al 85% al 95% del NT) como aminoácidos, aminoazúcares, bases púricas y pirimídicas; asimismo en sus formas inorgánicas, proporcional al 10% del NT, porcentaje de NT que es aprovechable para las plantas a través de las raíces, presente como iones disueltos de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) [8]. Se puede identificar una variación en la cantidad de NT, ya sea como incremento o pérdida, en relación proporcional a la severidad alcanzada durante el incendio [9]. En incendios de intensidad leve, se observaron aumentos en la concentración de nitrógeno orgánico (NO) por la adición de residuos

semipirolizados al suelo; por otro lado, en incendios con mayor severidad lo más habitual es reconocer pérdidas; sin embargo, indistintamente de la intensidad del fuego, se incorpora el nitrógeno inorgánico [10]. El NH_4^+ y NO_3^- , son susceptibles a ser volatilizados en presencia a temperaturas altas próximas a los 200°C , no obstante, a esta temperatura ya han iniciado las etapas de descomposición (mineralización físico-química por combustión) de compuestos orgánicos como la MO del suelo, la flora, los microorganismos, etc. y a la vez, se liberan de complejos minerales del suelo. Dado a esto, percibir incrementos de nitrógeno inorgánico, es frecuente debido a que, por consecuencia del fuego, gran cantidad de nitrógeno es susceptible a ser mineralizado [9].

Los suelos poseen más carbono que la cantidad total presente en la atmósfera y vegetación, este recurso cumple la función de reserva de carbono (C) dependiendo de su manejo y uso [10]. El C puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica en el sustrato; el carbono orgánico (CO) del suelo, conjuntamente con el nitrógeno total (NT), es uno de los principales elementos que conforman la MO, por consiguiente, es común que ambos términos se relacionen entre sí. El CO del suelo, influye en la mayoría de sus propiedades biológicas, físicas y químicas, en relación con su sostenibilidad, capacidad y calidad productiva; así mismo, interviene en las propiedades biológicas, actuando naturalmente como fuente de energía para los organismos heterótrofos del suelo, por lo que, en un manejo sostenible, el CO del suelo debe aumentar o mantenerse. A través de los efectos de las propiedades del suelo, el CO ha resultado ser el determinante primordial de la productividad del recurso [11].

Cuando se produce un incendio forestal, la variabilidad o resistencia de las propiedades químicas en el suelo están influidas por el tipo de ecosistema de la zona; sin embargo, en el caso del carbono total y el carbono orgánico depende de la intensidad del fuego [12]. Los procesos que se ocasionan después de sucedido el siniestro se vuelven más complejos cuando se refieren a la variable de carbono orgánico, ya que puede incrementarse en un corto plazo después del incendio, pero también disminuir a un largo plazo; esto, dependiendo también de las condiciones iniciales del área [13]. Los incendios forestales con una intensidad muy alta generan una fuerte disminución del CO debido a la combustión de la materia orgánica [14]; sin embargo, si la intensidad fuese leve es muy probable que pase lo contrario y se incremente la cantidad de CO por la adición de los materiales parcialmente quemados al suelo [15]. En algunas zonas, incluso después de haber pasado más de 15 años, las condiciones de los sectores afectados nunca llegaron a recuperarse respecto a su estado inicial, independientemente a la severidad del régimen [16]; no obstante, en otras zonas, los niveles de CO no sufrieron cambios significativos [6].

La relación carbono/nitrógeno (C/N) es considerada uno de los índices que señalan la calidad del suelo [7] ya que esta es parte de la caracterización del tipo y cantidad de materia orgánica, factor importante para el desarrollo del mismo. Valores altos de C/N en el suelo refieren una descomposición lenta ($C/N > 25-30$) debido a la inhibición bacteriana por la

presencia de compuestos como ácidos orgánicos, fenoles tóxicos y taninos; por otro lado, los valores en el rango de 10 – 14 de la relación carbono/nitrógeno, son considerados estables ya que la MO del suelo es baja en lignina, lo que beneficia a la actividad bacteriana [17]. Los incendios forestales ocasionan un desequilibrio en el ciclo de nutrientes provocando un desequilibrio de nutrientes [4], tal es el caso de la relación C/N, donde el CO aumenta y el NT disminuye, influyendo en las óptimas condiciones de la fertilidad del suelo.

El CO, NT, así como la relación C/N presentes en el suelo, cumplen un rol fundamental en la productividad y fertilidad existente; las mismas que al verse afectadas también perjudican la calidad, cantidad y descomposición de la materia orgánica. Esta propiedad es importante para la restauración y recuperación del recurso después de un siniestro; por tanto, es necesario conocerla para efectuar una restauración forestal eficaz, convirtiendo un área o zona degradada del bosque a su estado original, es decir, restablecer la productividad, estructura, y diversidad de especies presentes inicialmente en dicho lugar.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. *Diseño metodológico*

Se aplicó un meta-análisis, a través de la búsqueda sistematizada de información correspondiente a estudios o investigaciones propuestas en los últimos 10 años, en general, hallándose un total de 70 investigaciones con relación afín, pero no directa con el objeto de estudio. Se recolectaron investigaciones de tipo cuantitativo-experimental, que presenten datos estadísticos relacionados con las variables propuestas a partir de la medición y cuantificación del fenómeno, además se cuenta con fuentes de investigación cualitativa, pero en menor proporción. De todas las investigaciones encontradas, se seleccionaron 3 en específico debido a que contaban con todos los criterios y datos necesarios relacionados directamente con el objeto de estudio; las mismas que fueron realizadas en Cazorla – España en los años 2005, 2007, 2008 [15], Huacraruco - Cajamarca en el año 2019 [10] y en el Cañón de Sangal en 2019 [17].

Se consideró como la unidad de análisis de esta investigación al suelo afectado por incendios forestales, puesto que, nuestros objetivos se basaron en el estudio de los impactos de estos siniestros en los suelos. Como población y muestra, se consideran a las 3 zonas afectadas por los siniestros, siendo estas: Cazorla – España en los años 2005, 2007, 2008 respectivamente; así como, Huacraruco - Cajamarca en el año 2019 y Cañón de Sangal - Cajamarca en el mismo año.

B. *Proceso estadístico por Epidat 3.1*

En el proceso estadístico para el meta análisis se emplearon estadísticas descriptivas entre las cuales se seleccionaron medidas de tendencia central (media muestral) y de dispersión (desviación estándar, error estándar); de cada estudio

seleccionado se identificaron los datos de error estándar (ee), número de repeticiones (n) y media muestral (m) ya que el programa, Epidat 3.1, los requiere para el procesamiento de datos. No obstante, los estudios no contaban con todos los datos anteriormente mencionados, por lo que, para el caso del error estándar, se procedió a hallar la desviación estándar a partir de las repeticiones para poder obtener dicho valor de cada estudio.

Se evaluaron 3 variables por cada zona, correspondientes al nitrógeno total, el carbono orgánico y la relación carbono/nitrógeno presente en los suelos antes y después de un incendio forestal. A partir de los resultados obtenidos por el software, se analizaron y extrajeron los datos necesarios para evaluar el efecto global a partir de la diferencia estandarizada de medias (SMD por sus siglas en inglés que significan: standardized difference of means) con un índice de confiabilidad (IC) de 95 %, que tienden a seguir la mayoría de los estudios, tal como se visualiza en la tabla 1, 2 y 3; a partir de ellas se obtienen las figuras 1, 2 y 3 respectivamente, gráficos de árbol ("Forest plot"), los cuales nos indican el índice de confiabilidad de los estudios.

C. Cálculo de datos

Se extrajeron los datos correspondientes al nitrógeno total, carbono orgánico y la relación carbono/nitrógeno o en su defecto el porcentaje de materia orgánica y a partir de eso se logró calcular el carbono orgánico y la proporción C/N con la fórmula de Walkley y Black [18].

Ecuación 1. Método de Walkley y Black

$$\% \text{ M. O.} = \% \text{ C. O.} \times 1.724$$

Donde:

M.O: Materia orgánica

C.O: Carbono orgánico

Ecuación 2. Relación Carbono/Nitrógeno

$$C/N = CO/NT$$

Donde:

CO: Carbono orgánico.

NT: Nitrógeno total.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos estudiados corresponden a las zonas del Cañón de Sangal (incendio ocurrido en 2018), Huacraruco (incendio ocurrido en 2018) y la Sierra de Cazorla (en tres periodos diferentes, 2005, 2007 y 2008 respectivamente), teniendo por característica general compartida el estudio de una muestra control, permitiendo analizar el contraste entre la zona no afectada del bosque, con la quemada. Pasados los siniestros, las muestras fueron recolectadas en un periodo no mayor a 8

meses, de tal forma que el periodo de tiempo tomado en cuenta en la investigación se denominó de corto plazo. Se observó una variación en los niveles de CO, NT y relación C/N en las diferentes zonas de estudio.

La diferencia estandarizada de medias de la cantidad de nitrógeno total (NT) fue de 3.15 con un IC 95% de 2.0986 a 4.3492, interpretándose que el suelo afectado por el fuego tuvo una incorporación del 2.15% de NT en comparación con el suelo control. Así mismo, se halla diferencia estadísticamente significativa de NT entre los dos grupos ya que el índice de confiabilidad (IC) del resultado global de efectos fijos, en el gráfico de forest plot, no abarca la línea del no efecto. Ver tabla 1 y figura 1.

TABLA 1

DIFERENCIA ESTANDARIZADA DE MEDIAS PARA EL NITRÓGENO TOTAL

Zona del incendio	Año	Suelo quemado		Suelo Control		Peso %	SMD (95 % IC)
		n	m (%)	n	m (%)		
Cañón de Sangal	2018	4	0.585±0.055	6	0.352±0.048	22.40	0.233 (2.215, 6.9694)
		4	0.368±0.062	4	0.288±0.035	33.52	
Huacraruco	2018	4	0.368±0.062	4	0.288±0.035	32	0.080 (0.8373, 4.7244)
		2	0.585±0.115	2	0.170±0.030	8.142	
Sierra de Cazorla	2008	2	0.485±0.135	2	0.120±0.020	11.82	0.415 (0.9947, 8.8817)
		2	0.485±0.135	2	0.120±0.020	11.82	
Sierra de Cazorla	2007	2	0.485±0.135	2	0.120±0.020	11.82	0.365 (0.5096, 7.0551)
		2	0.485±0.135	2	0.120±0.020	11.82	
Sierra de Cazorla	2005	2	0.265±0.065	2	0.14±0.080	24.10	0.125 (-0.5771, 4.0071)
		5	0.265±0.065	5	0.14±0.080	3	
Subtotal		14		6		100	3.15 (2.0986, 4.3492)

Test de heterogeneidad (Ji-cuadrado 3.9749%; p = 0.4094)

Prueba de Begg: z = 0.7348; p=0.4624

"Donde: n = número de repeticiones; m = media muestral; SMD= diferencia estandarizada de medias; IC = índice de confiabilidad".

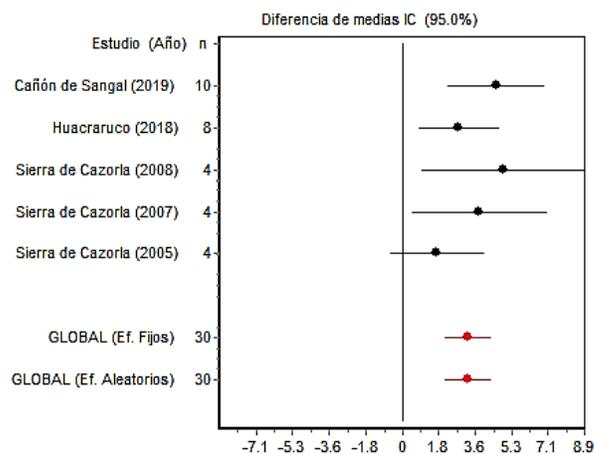


Fig. 1 Forest Plot para Nitrógeno total

En el caso de carbono orgánico (CO) la diferencia estandarizada de medias fue de 1.9 con un IC 95% de 0.9954 a 2.9545. Esto quiere decir que el suelo quemado tuvo un incremento de 0.9% de CO en comparación con el suelo control. Se observó diferencia estadísticamente significativa entre los dos grupos de CO, debido a que el resultado global de efectos fijos con respecto al IC, en el gráfico de forest plot, no abarcó la línea del no efecto. Ver tabla 2 y figura 2.

TABLA 2

DIFERENCIA ESTANDARIZADA DE MEDIAS PARA EL CARBONO ORGÁNICO

Zona del incendio	Año	Suelo quemado		Suelo Control		Peso %	SMD (95 % IC)
		n	m (%)	n	m (%)		
Cañón de Sangal	2018	4	8.501±0.885	6	4.804±0.661	15.39	3.697 (2.4142, 7.4071)
Huacraruco	2018	4	4.661±1.011	4	4.049±0.861	47.44	0.612 (-0.7705, 2.074)
Sierra de Cazorla	2008	2	9.127±1.114	2	3.150±0.680	4.001	5.977 (1.5793, 11.3737)
Sierra de Cazorla	2007	2	3.654±0.686	2	1.930±0.700	14.08	1.724 (-0.1225, 5.0978)
Sierra de Cazorla	2005	2	2.406±0.178	2	1.570±0.730	19.07	0.836 (-0.6694, 3.8163)
Subtotal		14		6		100.0	1.9 (0.9954, 2.9545)

Test de heterogeneidad (Ji-cuadrado 12.1544%; p = 0.0162)

Prueba de Begg: z = 1.2247; p=0.2207

“Donde: n = número de repeticiones; m = media muestral; SMD= diferencia estandarizada de medias; IC = índice de confiabilidad”.

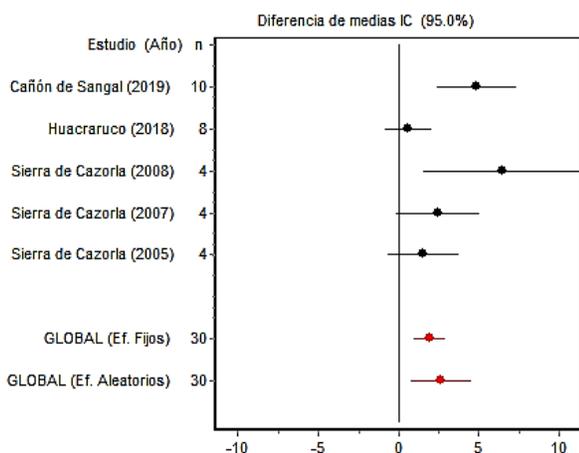


Fig. 2 Forest Plot para el carbono orgánico

Para la relación carbono/nitrógeno (C/N) la diferencia estandarizada de medias fue de -0.5 con un IC 95% de -1.3514 a 0.3167; se interpretó entonces, que el suelo quemado tuvo una disminución de 1.5% de C/N en contraste con el suelo control. Con respecto al gráfico de forest plot, no se halló diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos, debido a que

el resultado global de efectos fijos con respecto al IC, converge con la línea del no efecto. Ver tabla 3 y figura 3.

TABLA 3

DIFERENCIA ESTANDARIZADA DE MEDIAS PARA LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

Zona del incendio	Año	Suelo quemado		Suelo Control		Peso %	SMD (95 % IC)
		n	m (%)	n	m (%)		
Cañón de Sangal	2018	4	14.492±0.2	6	13.694±0.688	34.88	0.798 (0.0192, 2.8434)
Huacraruco	2018	4	12.4±0.633	4	13.609±1.363	31.17	-1.209 (-2.6315, -0.3561)
Sierra de Cazorla	2008	2	15.84±1.210	2	18.395±0.755	10.04	-2.555 (-5.1647, 0.0978)
Sierra de Cazorla	2007	2	7.740±0.740	2	15.54±3.240	7.618	-7.800 (-6.3409, -0.2973)
Sierra de Cazorla	2005	2	9.835±3.085	2	12.225±1.775	16.27	-2.390 (-3.0171, 1.1178)
Subtotal		14		6		100.0	-0.5 (-1.3514, 0.3167)

Test de heterogeneidad (Ji-cuadrado 13.7033%; p = 0.0083)

Prueba de Begg: z = 1.7146; p = 0.0864

“Donde: n = número de repeticiones; m = media muestral; SMD= diferencia estandarizada de medias; IC = índice de confiabilidad”.

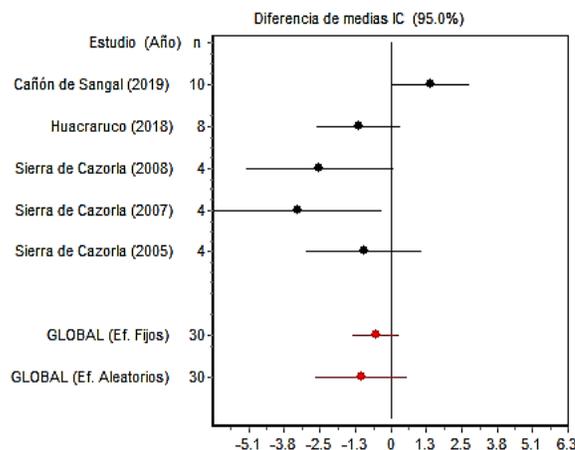


Fig. 3 Forest Plot para la relación C/N

El porcentaje de NT en los suelos forestales quemados, con un tiempo de muestreo no mayor a 8 meses ocurridos los siniestros, se incrementó en 2.15% en el suelo afectado en comparación con el suelo control, según los estudios sometidos al método de diferencia estandarizada de medias. Uno de los causales que afectan la variabilidad del porcentaje de NT es la severidad y duración del fuego, ya que a temperaturas mayores de 200° C se evidencia una disminución, sin embargo, en una intensidad baja del fuego, hay un aumento en el porcentaje de nitrógeno [9]. Otro de los factores, puede ser la relación existente con la cantidad de materia orgánica, ya que el nitrógeno es uno de los componentes principales de la misma; viéndose afectada por la severidad del fuego, por lo que el

contenido de MO disminuye a mayor profundidad en el suelo y, por tanto, el %NT también [17]. Además, se genera la incorporación de productos semipirolizados al suelo, tales como las cenizas, las hojas que mueren por efecto del fuego y caen al suelo; no obstante, se debe considerar en simultáneo algunas características inherentes a la zona: tipos de suelo y vegetación variada, índice pluviométrico, entre otros [15].

Urretavizcaya [19] menciona la controversia existente en cuanto a la cantidad de nitrógeno en el suelo luego de un incendio forestal, pues se han descrito trabajos de disminución, incremento y de no modificación de la concentración. No obstante, Turmero [15] indica que, si bien el NT aumenta rápidamente pasado el siniestro, también se evidencia una pérdida en incendios de elevada intensidad, puesto que, el nitrógeno se pierde a 200°C. Por el contrario, el contenido de nitrógeno inorgánico (NI) tiende a aumentar, en incendios de elevada intensidad; sin embargo, posteriormente se producen pérdidas grandes por lixiviación, que inclusive pueden afectar la calidad de las aguas de ríos y lagos [9].

Los estudios sometidos al meta análisis evidencian un incremento de 0.9 % en el suelo afectado en contraste con el control para el porcentaje de carbono orgánico en el suelo, el mismo que según Turmero [15] y Huerta [12] está directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica presente y la intensidad del fuego. La cantidad o disponibilidad de CO en la mayoría de los casos tiene un patrón con respecto a la severidad del siniestro, notándose que el rango de efectos directos y secundarios es mayor mientras más alta es la intensidad del fuego [20]; por ende, el incremento en esta variable podría deberse a un mayor contenido de MO en el suelo quemado por los materiales no completamente pirolizados incorporados después del incendio [21]. Puesto que se considera que la temperatura necesaria para la combustión completa de la MO debe ser elevada (450°C), no se evidencia una disminución drástica del porcentaje de carbono mientras no se exceda dicha temperatura [2]. Esta postura se reafirma con el estudio realizado por Li [14] en regiones de permafrost en las montañas Da Xing'anling, donde el carbono orgánico, así como el nitrógeno total, disminuyeron con la gravedad del incendio.

En el caso de la relación carbono/nitrógeno, el suelo quemado tuvo una disminución de 1.5% en analogía con el suelo control. Valores altos de C/N en el suelo afectado, hacen referencia a una descomposición lenta por la baja actividad bacteriana, por lo que, en este caso, al evidenciarse una disminución entre la relación C/N es probable que la actividad bacteriana haya aumentado [22]. Asimismo, De la Rosa [23], Almendros [24] y Knicker [25] corroboran que la disminución de la relación C/N se debe a la volatilización más rápida de los compuestos de carbono, así como, a la formación y acumulación de nuevas formas de nitrógeno heterocíclicas recalcitrantes.

Como especificó Turmero [15], los resultados obtenidos con respecto a las tres variables estudiadas: nitrógeno total (NT), carbono orgánico (CO) y relación carbono/nitrógeno (C/N) varían dependiendo de diversos factores externos a las mismas, tales como, el tiempo de duración y reincidencia de los siniestros, ubicación geográfica, condiciones climáticas,

vegetación existente propia de la zona afectada y respuesta inmediata para el control del incendio. Sin embargo, también se tiene en cuenta la interacción existente entre las tres variables, ya que una depende o está en relación directa con la otra, por lo que, si los porcentajes de una variable aumentan o disminuyen, se reflejan en las otras.

IV. CONCLUSIONES

Los valores de la relación C/N en suelos afectados por incendios forestales son irregulares, pues dependen de la severidad y duración del siniestro; no obstante, en la mayoría de investigaciones científicas revisadas se connota una disminución en las muestras afectadas por el fuego en analogía con las muestras control; tras someter dichas investigaciones al método de diferencia estandarizada de medias, se concluyó que, la disminución de la relación C/N no fue significativa. Los causales de esta pérdida son 2 principales, el primero hace referencia a que la actividad bacteriana ha aumentado después del incendio, y el segundo a la volatilización más rápida de los compuestos de carbono, así como a la formación y acumulación de nuevas formas de nitrógeno y carbono. Asimismo, con respecto a las concentraciones de C/N, se puede evidenciar una pérdida o ganancia con el paso de los años dependiendo de las condiciones naturales propias del ecosistema de la zona.

La cantidad de porcentaje de nitrógeno total (NT) en las muestras de suelos quemados incrementó en comparación con las muestras control, evidenciándose en promedio, diferencia significativa en los niveles de NT. Esta variable mantiene una relación directa con la MO, CO y relación C/N presentes en el suelo, y con la intensidad y duración del siniestro. Los estudios descritos en el meta análisis connotaron un patrón de incremento de NT después de los siniestros, debido a la adición de productos semipirolizados, los mismos que incrementan los valores de MO, así como de CO en el suelo, y dado que el NT es uno de los componentes de la MO del suelo, éste también incrementará; sin embargo, pasados periodos largos de tiempo de ocurrido el incendio, el NT tiende a disminuir. Por consiguiente, se concluye que los valores de NT en suelos quemados tienen gran variabilidad.

Los valores de CO en suelos afectados por incendios forestales incrementaron con una diferencia estadísticamente significativa, en analogía con los no afectados. Este incremento se debe a que, al igual que en los valores de nitrógeno total, el CO compone a la MO, siendo ésta el factor común entre ambas variables; por tanto, un cambio en la concentración de MO en suelos quemados reflejará también un cambio en los valores de CO tal como de NT.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Privada del Norte (UPN), en el marco del Proyecto de Investigación.

V. REFERENCIAS

- [1] P. González, «Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna,» Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / BCN, Chile, 2017.
- [2] X. Úbeda y M. Francos, «Incendios forestales, un fenómeno global,» *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, pp. 1-8, 2018.
- [3] N. Urzúa y F. Cáceres, «Incendios forestales: principales consecuencias ambientales y económicas en Chile,» *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, pp. 18-24, 2011.
- [4] D. Pennock, N. McKenzie y L. Montanarella, Estado Mundial del Recurso del Suelo: Resumen Técnico, Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2016.
- [5] J. G. Pausas, Incendios Forestales: Una visión desde la ecología, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas; Los libros de la Catarata, 2012.
- [6] V. Fernández-García, J. Miesel, M. Baeza, E. Marcos y L. Calvo, «Wildfire effects on soil properties in fire-prone pine ecosystems: Indicators of burn severity legacy over the medium term after fire,» *Applied Soil Ecology*, vol. 135, pp. 147-156, 2019.
- [7] C. C. Gamarra, M. I. Díaz, M. Vera de Ortíz, M. Galeano y A. J. Cabrera, «Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo,» *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 9, n° 46, pp. 4-26, 2017.
- [8] M. Benimeli, A. Plasencia, R. Corbella, D. A. Guevara, A. Sanzano, F. Sosa y J. Fernández de Ullivari, «El nitrógeno del suelo,» Cátedra de Edafología, Tucumán, Argentina, 2019.
- [9] J. Mataix-Solera, C. Guerrero, V. Arcenegui, G. Bárcenas, R. Zornoza, A. Pérez-Bejarano, M. B. Bodí, J. Mataix-Beneytol, I. Gómez, F. García-Orenes, J. Navarro-Pedreño, M. Jordán, A. Cerdà, S. Doerr, Ú. X. L. Outeiro y P. Pereira, «Los incendios forestales y el suelo: un resumen de la investigación realizada por el Grupo de Edafología Ambiental de la UMH en colaboración con otros grupos,» España y Reino Unido, Grupo de Edafología Ambiental, 2009, pp. 187-217.
- [10] D. M. Alva y H. I. Manosalva, «Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca,» Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, 2019.
- [11] J. P. Fuentes, E. Acevedo y E. Martínez, «Carbono Orgánico y propiedades del suelo,» *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, pp. 68-96, 2008.
- [12] S. Huerta, V. Fernández-García, L. Calvo y E. Marcos, «Soil resistance to burn severity in different forest ecosystems in the framework of a wildfire,» *Forests*, vol. 11, n° 773, pp. 1-18, 2020.
- [13] M. Muñoz-Rojas, T. Erickson, D. Martini, K. Dixon y D. Merritt, «Soil physicochemical and microbiological indicators of short, medium and long term post-fire recovery in semi-arid ecosystems,» *Ecological Indicators*, vol. 63, pp. 14-22, 2016.
- [14] X. Li, H. Jin, H. Wang, X. Wu, Y. Huang, R. He, D. Luo y H. Jin, «Distributive features of soil carbon and nutrients in permafrost regions affected by forest fires in northern Da Xing'anling (Hinggan) Mountains, NE China,» *Catena*, vol. 185, p. 104304, 2020.
- [15] I. Turmero, «Análisis del efecto del fuego y de la presencia de contaminantes sobre la actividad y biodiversidad microbiana del suelo,» Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España, 2013.
- [16] M. Francos, X. Úbeda, P. Pereira y M. Alcañiz, «Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities. A case study in Cadiretes Massif (NE Iberian Peninsula),» *Science of the Total Environment*, vol. 615, pp. 664-671, 2018.
- [17] M. G. Casas, «Efectos del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en Huacraruco - Cajamarca,» Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2019.
- [18] A. J. Walkley y I. A. Black, «Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method,» *Soil Sci*, vol. 37, pp. 29-38, 1934.
- [19] M. Urretavizcaya, «Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina,» *Bosque*, vol. 31, n° 2, pp. 140-149. , 2010.
- [20] J. Hatten, D. Zabowski, G. Scherer y E. Dolan, «A comparison of soil properties after contemporary wildfire and fire suppression,» *Forest Ecology and Management*, vol. 220, n° 1-3, pp. 227-241, 2005.
- [21] G. Certini, «Effects of fire on properties of forest soils: A review,» *Oecologia*, vol. 143, n° 1, pp. 1-10, 2005.
- [22] J. Porta, M. López-Acevedo y R. Poch, Edafología: Uso y protección de suelos, Cuarta ed., Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa, 2019.
- [23] D. De la Rosa, M. Teutli y M. Ramirez, «Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo,» *Rev. Int. Contaminación Ambiental*, vol. 23, n° 3, pp. 129-138, 2007.
- [24] G. Almendros, H. Knicker y F. González-Vila, «Rearrangement of carbon and nitrogen forms in peat after progressive thermal oxidation as determined by solid-state ¹³C- and ¹⁵N-NMR spectroscopy,» *Organic Geochemistry*, vol. 34, n° 11, pp. 1559-1568, 2003.
- [25] H. Knicker, F. González-Vila, O. Polvillo, J. González y G. Almendros, «Fire-induced transformation of C- and N- forms in different organic soil fractions from a Dystric Cambisol under a Mediterranean pine forest (*Pinus pinaster*).,» *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 37, n° 4, pp. 701-718, 2005.