

Riesgos de degradación hídrica del suelo posterior al fuego en el trópico húmedo

Risks of post-fire soil water degradation in the humid tropics

 **Darling Estefanía López López**¹
darlinglopez1999@gmail.com

 **Elmer Jacinto Laguna López**¹
elmerlagunalopez@gmail.com

 **Tania Ruiz Acevedo**²
taniuskaveru@yahoo.com.mx

 **Juan Asdrúbal Flores-Pacheco**³
asdrubal.flores@do.bicu.edu.ni

Fecha de Recepción: 13/05/2022

Fecha de Aprobación: 16-06-2022

RESUMEN

El suelo es un componente natural de gran importancia en la sostenibilidad de los ecosistemas, su degradación se debe, en la mayoría de los casos, al mal manejo bajo condiciones de ladera, lo que disminuye su productividad y su capacidad para sostener la vida humana. La finalidad del estudio es el análisis de los factores de riesgo en la degradación hídrica del suelo posterior al fuego en condiciones del trópico húmedo de Nicaragua. La investigación se desarrolló en la comarca Sconfran del municipio de Bluefields, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS). Se caracterizó y analizó las condiciones que interfieren la dinámica de degradación del suelo en condiciones de ausencia (Pre) y en posterior (Post) incendio forestal (Fuego). La parcela de monitoreo de erosión (de 20 m²) tuvo tres intensidades de cobertura vegetal (0%, 50% y 100%). La producción de sedimentos y el volumen de escorrentía se correlacionan de forma importante con la precipitación. Se estima que las concentraciones de material combustible oscilan entre 1,000 - 10,300 Kg/Ha. Las concentraciones de materia orgánica (MO%) en todos los tratamientos presentaron disminuciones drásticas. La pérdida de suelo (54.6 Kg/m²) y arrastre de sedimentos (37.9 Kg ha⁻¹) fueron superiores en suelos post incendio. Los resultados obtenidos son importantes para establecer estrategias agrícolas para disminuir la degradación en zonas rurales de la Costa Caribe de Nicaragua.

Palabras claves: Uso de suelo, escorrentía, sedimentos, trampas de erosión.

¹ Bluefields Indian & Caribbean University. Facultad de Recursos Naturales y Medio Ambiente

² ENACAL- PISASH- Bluefields, Coordinadora Ambiental

³ Bluefields Indian & Caribbean University, Director de Investigación y Posgrado, Bluefields, Nicaragua.



ABSTRACT

Soil is a natural component of great importance in the sustainability of ecosystems, its degradation is due, in most cases, to poor management under hillside conditions, which reduces its productivity and its ability to sustain human life. The purpose of the study is the analysis of risk factors in post-fire soil water degradation under humid tropical conditions in Nicaragua. The research was carried out in the Sconfran region of the municipality of Bluefields, Autonomous Region of the South Caribbean Coast (RACCS). The conditions that interfere with the dynamics of soil degradation in conditions of absence (Pre) and in subsequent (Post) forest fire (Fire) were characterized and analyzed. The erosion monitoring plot (20 m²) had three intensities of vegetation cover (0%, 50% and 100%). Sediment production and runoff volume are strongly correlated with precipitation. It is estimated that the concentrations of combustible material range between 1,000 -10,300 Kg / Ha. Organic matter concentrations (MO%) in all treatments showed drastic decreases. Soil loss (54.6 Kg/m²) and sediment carryover (37.9 Kg ha⁻¹) were higher in post-fire soils. The results obtained are important for establishing agricultural strategies to reduce degradation in rural areas of the Caribbean Coast of Nicaragua.

Keywords: Land use, runoff; sediments, erosion traps.

BILA PRAHNIRA

Tasba ba, bak sakanka kulkanka tara kum brisa yamni iwanka brih waia sa kaka, bankra Saura taki ba aima ailal ra aitani kat yus munras taka mihta, baha taka ma nani aila sakras, kan sip aitani kat alki briras upla rayaka ba. Naha stady munan ka ba kau pali laki kaiki sa, tasbara li pat bara ba pauta kainara tanka nahki ba laka, kauhla iwi ba Nicaragua ra. Naha warkka na tanka pliki kaikan Sconfran ra Bluefields baikanka bilara, Klauna waupasa kabu unra iwi nanira (RACCS). Alki daukan bara tanka pliki kaikan dia muni tasba ba aisawi auya yamni impakanka mapara mankira sa (pre wiba) bara ningkara (post) impiara nani (pauta). Laki kaikan bara tasba Saura taki ba (20m²) wina brinsa diara yumpa tara nani dus sirpi pawanka tanka (0%, 50%, 100%). Mankaia tasbaia pain kum ba, bara li aubrika karnika ba wilkanka kum daukisa, lapta kulkanka tara ba wal. Bankra lukisa pauta mukaia dukia ba aipaswisa bankra 1,000- 10,300 kg/ha. Baku sin diara(dus) raya nani aipaswanka ba (MO%) yamnika daukan sut tilara marikisa kasak mayara iwan sa. Tasba lus tiwan ka ba (54.6kg/m²) bara tasba yamnika ka ba raski auya sa (37.9kg ha-1) kau tara sa kainara tasba aman ka ba wal. Naha bal takanka ba brin sa kulkanka tara bri ba mihta, baku natkara lukanka sat sat nani mankaia plun mangkanka dukiara, baku mika sauhkanka laka ba mayara batakaia tawan sirpi nani klauna kabu unra iwi nani mapara Nicaragua bilara.

Bak sakan bila nani: Tasba yus munanka, li bangwi laiwi pliska, li mihta diara plis kumra swin ba, tasba kriwi ba alki takaskaia paskanka.

Para citar este artículo (APA): López López, D.E., Laguna López, E.J., Ruíz Acevedo, T.V. y Flores-Pacheco, J.A. (2022). Riesgos de degradación hídrica del suelo posterior al fuego en el trópico húmedo *Wani* (76), 54-69. <https://doi.org/10.5377/wani.v38i76.14402>



INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los recursos que aportan ingresos económicos a los pobladores para obtención de los alimentos. Cada año los agricultores y ganaderos derriban grandes extensiones de bosque que se queman para realizar actividades agrícolas y de pastoreo. Estas actividades significan la suma de cantidades significativas de material combustible que, al combustionar por acción natural o inducida, degradan el suelo por efecto de las altas temperaturas y la posterior condición de desnudes que sufren en relación con las condiciones climáticas (Blanco Chávez, 2019).

A la fecha, este problema es uno de los principales factores de degradación ambiental que sufren los suelos a nivel nacional y, en especial, en el Caribe Nicaragüense, donde los suelos son de vocación forestal y que, combinados con una topografía accidentada, son especialmente vulnerables a la degradación superficial. A esto se le debe sumar el efecto innegable de las altas precipitaciones que caracterizan a la zona.

Pese a que no se contó con investigaciones que describan y cuantifiquen las condiciones que incrementan la pérdida de suelo y cuál es el volumen total por año, esta investigación pretende atender esta necesidad, brindando una herramienta para la gestión de los suelos en el trópico húmedo de la Costa Caribe de Nicaragua.

Las quemadas agropecuarias y la deforestación se han convertido en un problema medio ambiental a nivel internacional (Ferreira et al., 2015). Se ha necesitado muchos años para hacer conciencia en los productores agrícolas, de que reduzcan la práctica de quema de sus parcelas y adopten otras metodologías y técnicas más amigables con los recursos suelo, y así evitar la degradación en los suelos agrícolas (Alonso et al., 2011).

En Nicaragua, debido a las prácticas agrícolas ancestrales, se queman grandes cantidades de bosques año con año, pero este auge ha tenido mayores efectos a partir del año 2000 hasta la actualidad, contribuyendo a la degradación masiva de los suelos por la pérdida de coberturas de masa forestales (MARENA, 2016). Urbina (2005) demuestra en un estudio que, en Nicaragua, la erosión hídrica es la forma más importante de degradación de los suelos, conduciendo al deterioro de las propiedades fisicoquímicas como acidez, salinidad, así como la fragmentación y meteorización de los suelos.

En la Costa Caribe de Nicaragua se pierden grandes cantidades de suelo, debido a la deforestación masiva que, en los últimos años, ha experimentado el ingreso de la actividad ganadera, que no es propia de nuestro suelo, cuya vocación es eminentemente forestal. La ganadería y la agricultura intensiva no son propicias por su formación geológica. Sin embargo, no existen registros o estudios que reflejen cuanto se pierde de suelo (REPCar – BICU, 2014).

La erosión es un problema ambiental vinculado a la interacción entre el uso de la tierra, las características naturales del suelo y su vegetación, el relieve y las fuerzas erosivas del agua y del viento (Bodí et al., 2012). Se inicia por desequilibrios en el ecosistema al deforestar y establecer cultivos o pastizales sin proteger el suelo. Se estima que la erosión actual ha alcanzado niveles de deterioro alarmantes, ya que de las 7.7 millones de hectáreas no cubiertas de bosques, el 48.3%

presenta erosión moderada a severa con pérdidas de espesor de suelo que varían de 20 hasta 65 cm. de espesor, en los casos más severos. Además de las estimaciones mencionadas, existen diversos resultados experimentales recientes que confirman la magnitud que ha alcanzado la erosión a nivel nacional (Blanco Chávez, 2019).

Adicionalmente, en Nicaragua son causas importantes de la erosión: deforestación indiscriminada, crecimiento desordenado de la agricultura y la ganadería, inadecuado uso y manejo del suelo, predominancia del sistema de producción de monocultivos anuales, uso de los suelos en desacuerdo con sus potencialidades, pastoreo excesivo, laboreo excesivo de la tierra, establecimiento de pastizales en suelos ya erosionados y ausencia de políticas actuales de conservación de suelos. Contribuyen a sí mismo, la indefinición de la tenencia de la tierra, desconocimiento del problema ambiental en general y de las medidas para frenar el deterioro del suelo en particular (Urbina, 2005).

Esta investigación se propuso calcular la pérdida de suelo por degradación hídrica posterior al fuego, en la comarca Sconfran perteneciente al municipio de Bluefields, Región Autónoma Costa Caribe Sur (RACCS). Las mediciones necesarias se realizaron con análisis pre y post evento pirómano, analizando características físicas y químicas por medio de muestras extraídas en trampas de erosión en suelos con distintos grados de cobertura vegetal (Flores-Pacheco & Zavala, 2019). Estas mediciones fueron en época seca y época lluviosa con tres meses de diferencia entre cada muestra.

También se indagó los factores que favorecen este fenómeno. Estudios realizados en otros países, inclusive en Nicaragua, se describen cada uno de los factores que afecta. Sin embargo, en Nicaragua o en la región del Caribe, no existen investigaciones que reflejen la cantidad que se pierde de suelo posterior a una quema, por lo que se consideró muy importante calcular la degradación hídrica del suelo post incendio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de localización del estudio

El área de investigación estuvo ubicada en la comarca Sconfran del municipio de Bluefields, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS), a 5 km del centro de la ciudad. El estudio se llevó a cabo en el año 2020. La zona de estudio se caracterizó por presentar un clima tropical húmedo de selva con temperaturas que oscilan entre 24°C y 30°C. Se le considera una zona húmeda basada en la clasificación de zonas de vida de Holdridge, con precipitaciones anuales de 2,000 mm a 4,000 mm distribuidas de 9 a 10 meses, siendo el mes más lluvioso el de mayo. La región es baja y pantanosa, a lo largo de la costa no excediendo los 30 msnm. Se ubica entre las coordenadas 12° 14' Latitud Norte y 83° 45' de Longitud Oeste (INETER, 2015)

El suelo de la Región Autónoma Costa Caribe Sur (RACCS) cuenta con un área aproximada de 27,260 Km², de los cuales corresponde al municipio de Bluefields un área de 4,774 Km². De este municipio, para realizar la muestra de la investigación, se escogió a la comarca Sconfran, donde se ubica la finca San Eliseo, propiedad del Dr. Julio Delado, quien accedió voluntariamente.

Se realizó un muestreo no probabilístico, debido a que las parcelas de monitoreo fueron ubicadas en locaciones donde se cumplan las condiciones de presencia de material combustible, riesgo de incendio y seguridad que garantice la no intervención de personas externas a las mediciones de las variables. Las frecuencias de muestreos varían de acuerdo con la variable analizada, lo que se detalla en la Tabla de Operacionalización de las variables. Debido a la imposibilidad económica de establecer más réplicas de las parcelas de monitoreo, se realizaron muestreos quincenales dos meses antes del incendio inducido y dos meses después, a fin de obtener ocho mediciones por cada uno de los seis tratamientos evaluados, empleada la metodología de medidas repetidas (García-Pérez, 2005).

Levantamiento de muestras de suelo (sedimento) en parcelas de erosión hídrica para análisis de pérdida de nutrientes del suelo

El levantamiento de muestras de suelo (sedimento) en parcelas de erosión, para el análisis de pérdida de nutrientes por erosión hídrica, se realizaron en dos momentos: pre incendio y post incendio. El levantamiento de la fase pre-incendio se realizó luego de establecer las parcelas de monitoreo, durante los primeros 10 días, y se le dio seguimiento durante todo el periodo definido anteriormente, con visitas semanales a la parcela para medir el volumen total de escorrentía almacenada.

El levantamiento de la fase post incendio se realizó tres meses después del pre incendio. Se tomó una muestra por duplicado de 0.5 litros cada una (Khouri & Prendes, 2005). Para tomar la muestra, primero se agitaron los recipientes para homogenizar la muestra de escorrentía con los sedimentos y, posteriormente, se tomaron dos muestras de volumen determinado en botellas de 0.5 litros. En la etiqueta de la muestra se anotaron las fechas de muestreo, nombre de la finca, el sistema evaluado, el muestreador y la hora. En formato aparte se anotaron el volumen almacenado en cada recipiente. Una muestra de cada parcela de escorrentía se llevará al Centro de Investigaciones Acuáticas de la BICU (CIAB) recinto Bluefields, para determinar el peso seco de los sedimentos de cada una de las botella que será promediado (Alonso et al., 2011).

Se dejaron los envases en recipientes abiertos cuando se sedimentaron después de 72 horas (3 días) de decantación. Posteriormente, se utilizaron en una balanza de 1,000 gramos (gr) con precisión de 0.1 gr para medir el peso. Se pesó el envase de microondas, luego se vertió la escorrentía con los sedimentos, y se lavó el envase para capturar todo los sedimentos, para lo cual se utilizó una pipeta, luego se introdujo al horno microondas hasta secar completamente (Flores-Pacheco et al., 2015). Finalmente, se llenó el formato con la información de peso de sedimentos en la muestra, volumen de escorrentía en la muestra y volumen total de escorrentía de los barriles. Y luego se procedió a calcular la concentración de sedimentos, peso total de suelo perdido en la parcela y volumen de escorrentía perdido en cada parcela. Las muestras se empaquetaron en bolsas de papel y etiquetadas con la información necesaria para el traslado hacia al laboratorio del Centro de Investigaciones Acuáticas de BICU (Ebanks Mongalo et al., 2015).

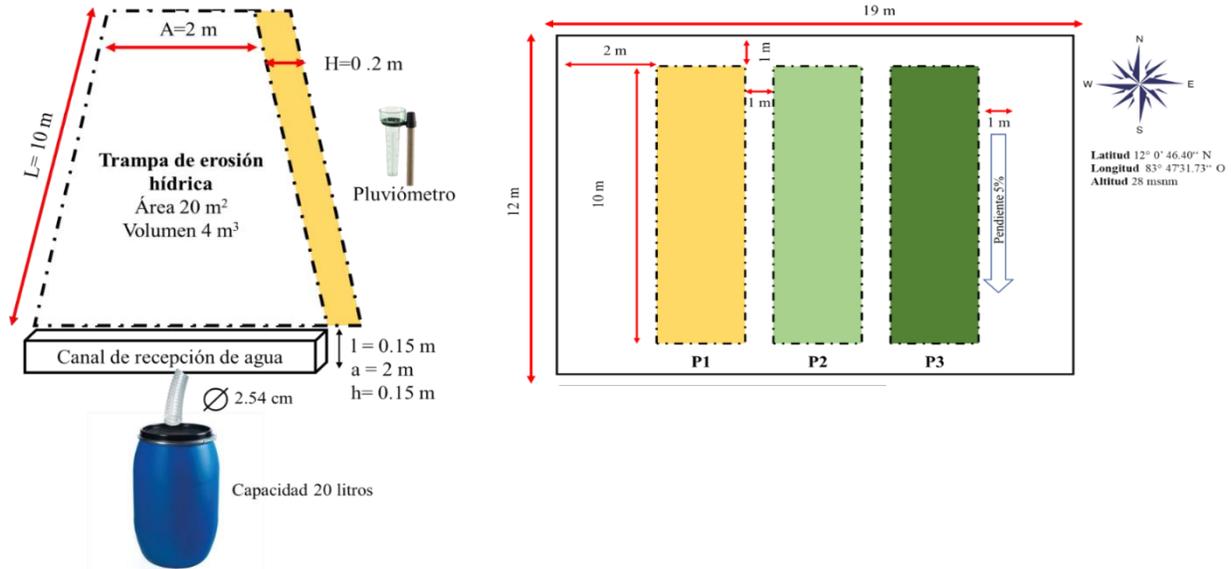


Figura 1: Diseño de la parcela de erosión hídrica. **Figura 1:** Esquema de la parcela de monitoreo.

Tabla 1: Parcelas de monitoreo.

Código	Parcela de monitoreo	Repeticiones
P1	Suelo con 0% de cobertura vegetal	2
P2	Suelo con 50% de cobertura vegetal	2
P3	Suelo con 100% de cobertura vegetal	2
Total		6

Muestreo de erosión hídrica

La parcela de erosión consistió en un área de escorrentía de 20 m² de forma rectangular con 2 m de ancho y de 10 m de largo en dirección de la pendiente principal. Esta parcela estuvo ubicada dentro de las parcelas denominadas como monitoreo y testigo, de manera que se encuentren seis parcelas de erosión dentro de la parcela con el tratamiento y otra dentro de la parcela testigo (Flores-Pacheco & Zavala, 2019). La parcela de erosión estuvo compuesta por: bordos de láminas de metal, canal de intercepción, tubo de conducción y sistema de almacenamiento. Esta área estuvo aislada en la parte superior y lateral por láminas metálicas (zinc liso) de forma rectangular con dimensiones de 0.2 m de alto y 2.4 m de largo, las cuales serán enterradas a 0.1 m en el suelo. La parte baja de la pendiente estuvo delimitada por un canal de colección de sedimentos y escorrentía del área de la parcela. El canal a lo interno tendrá pendiente de sus extremos hacia el centro del canal para promover el desplazamiento de la escorrentía y sedimentos hacia una salida colocada en el centro del canal pendiente abajo, que conectaba con el sistema de almacenamiento de sedimentos y escorrentía. El sistema de almacenamiento consistirá en dos barriles de plástico de una capacidad de ciento ochenta y nueve (189) litros cada uno. Los bidones estarán conectados entre sí para coleccionar la muestra de escorrentía. Posterior a la selección de una parcela agrícola de uso recurrente

en la unidad productiva (finca), se establecieron las trampas para monitoreo de la erosión de acuerdo (Figura 1).

Para el cumplimiento de los objetivos se identificaron los principales tipos de combustibles y fuentes incendiarias de la zona en estudio por medio de la extracción de cada material que responda a esta función, categorizándolas en combustibles vivos y combustibles muertos, expresados en tablas con distribución porcentual. Para relación del efecto de distintos niveles de erosión hídrica con las distintas intensidades de fuego sobre suelos del trópico húmedo, se colocaron las trampas de erosión y de escorrentías complementadas con el método de los clavos para la medición directa de la pérdida de suelo. Posteriormente, los datos se incluyeron en una base de datos en Microsoft® Excel para su extrapolación al área de monitoreo real a las dimensiones y cantidades por hectárea. Con los cálculos de la pérdida y la degradación de los suelos, posterior a la incidencia del incendio en época lluviosa y seca, se inició la caracterización de este fenómeno para la zona del Caribe Sur de Nicaragua, aun teniendo que realizar más acciones en este sentido, logrando la validación de la metodología propuesta.

Monitoreo de precipitación

Se colocó un pluviómetro para medir la lámina de precipitación de los días de muestreo. Se llevó un diario de campo, el cual fue transcrito en la base de datos digital y en formato específico para la pluviosidad. La pluviosidad se midió en milímetros cúbicos (mm^3).

Medición de pH

Las mediciones del pH se hicieron pre y post fuego, para tener la apreciación de la modificación del pH una vez que se haya efectuado el fuego. Estas mediciones se hicieron tomando las muestras del suelo después de cada periodo antes y después del fuego, a estas se le aplicó agua esterilizada para ponerle las cintas de medición de pH que se hace por medio de estimación colorimétrica.

Análisis estadístico

Los datos que se obtuvieron de este estudio fueron procesados en el programa estadístico SPSS versión 25.0 (IBM, 2020). Se identificó distribución no normal de los datos por lo que se empleó la significancia asintótica estadística para cada variable. Se evaluó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Sokal & Rohlf, 1981) y Kolmogórov-Smirnov (Di Rienzo et al., 2005). Con la prueba de Kruskal-Wallis y de Wilcoxon (García-Pérez, 2010), para los cual se analizaron los supuestos de Muestras Relacionadas con Pruebas No Paramétricas desde el programa SPSS versión 26 (IBM, 2020), a posteriori se realizaron comparaciones de U de Mann-Whitney que permitan observar cuales variables presentan diferencias significativas entre ellos

Tabla 2. Operacionalización de las variables

Variable	Concepto	Unidad	Método instrumento	Frecuencia
Combustible	El combustible forestal está constituido por materiales leñosos y ligeros, vivos o muertos, son toda la materia vegetal presente en un ecosistema que posee la capacidad de encenderse y arder al ser expuesto a una fuente de calor.	Peso por área (Kg/Ha – Lbs/Mz)	Muertos (Ramas caídas, Hierbas y hojas secas, Pasto seco). Vivo (Hierbas, Matorrales, Plantaciones)	Única previo al incendio
Cobertura	Definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre,	Porcentaje (%)	Método del metro cuadrado (m ²)	Única previo al incendio
Precipitación	Cantidad de agua de lluvia registra en función de un periodo de tiempo	Milímetros (mm)	Pluviómetro	Diario con promedio mensual
----- Análisis físico ⁴ -----				
Perdida de suelo	Ecuación Universal Revisada de pérdida de suelo	Kg/m ² /año	Método del clavo + Sedimentos en escorrentías	Pre y post incendio
Profundidad del suelo	La profundidad efectiva de un suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrimentos indispensables.	Centímetros (cm)	Barreno de suelo y palín	Pre y post incendio
Infiltración del agua en el suelo	El proceso de entrada del agua en el suelo se denomina infiltración y la tasa a la cual ésta ingresa	Infiltración (cm/min)	Medición directa	Pre y post incendio

⁴ Basado en García-Centeno (2015)



Variable	Concepto	Unidad	Método instrumento	Frecuencia
Materia orgánica del suelo	es función del tipo de suelo, del contenido de agua y su condición física La materia orgánica (MO) es un indicador de la calidad del suelo, ya que incide directamente sobre propiedades edáficas, como estructura y disponibilidad de carbono y nitrógeno	Porcentaje (%)	Medición directa	Pre y post incendio
textural del suelo	El término textura se usa para representar la composición granulométrica del suelo	Porcentaje (%)	Prueba de la mano	Pre y post incendio
pH del suelo	La medición del pH permite conocer el grado de acidez o alcalinidad que tiene el suelo	Adimensional	Cintas colorimétricas	Pre y post incendio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 3 muestra las variaciones en la cantidad y disponibilidad de material combustible en las parcelas, tanto en función de la intensidad de la cobertura y de la ocurrencia del incendio provocado. Una vez extrapolando los registros de metros cuadrados a hectárea los datos estiman variaciones de 1,000, 1,350 y 10,300 Kg/Ha de material combustible con 85% materia seca y 15% materia seca para las intensidades de cobertura 0%. 50% y 100%, respectivamente. Para el caso de la parcela que es de uso agrícola, significó el predominio de herbáceas como zacate estrella (*Cyperus rotundus*) y escasamente vestigios de troncos leñosos de yuca (*Manihot esculenta*) del ciclo agrícola pasado. Al comparar las cantidades disponibles de material combustible en todas las parcelas, el análisis de Kruskal-Wallis demuestra variaciones significativas (K-W: 27.29; gl: 2; P>0.000) coincidiendo con Alleres (2007) al manifestar que existe relación directamente proporcional entre la cantidad de combustible y la degradación de los suelos por incendio agrícola o forestal.

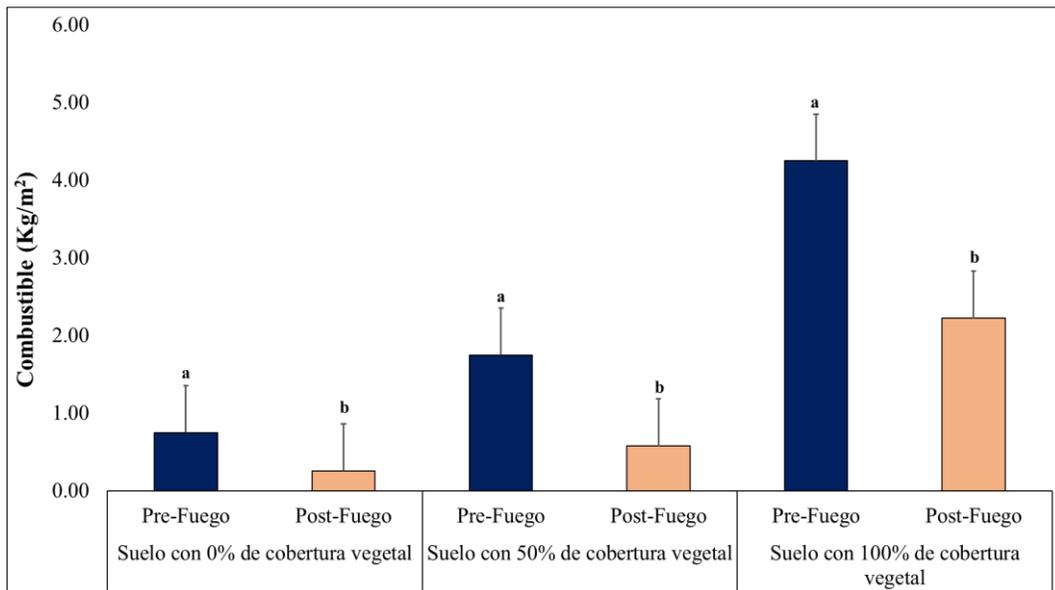


Figura 2. Principales tipos de combustibles y fuentes incendiarias asociados a la degradación del suelo por erosión hídrica posterior al fuego.

Debido a las características del estudio se establecieron parcelas experimentales con cero, cincuenta y el cien por ciento de cobertura vegetal, cuyos resultados se muestran en la figura 4, relativa al estado de la cobertura del suelo en pre y post incendio. En los diferentes tratamientos con los diferentes porcentajes de cobertura vegetal en el pre incendio, las pérdidas son significativas en las tres repeticiones (K-W: 43.53; gl: 2; P>0.000). Las pérdidas de suelos son mayores según aumenta la cobertura vegetal del suelo, debiéndose a la pérdida de toda la materia orgánica no incorporada.

Es importante mencionar que, una vez que se da incidencia del fuego, también se pierden las raíces y el suelo queda totalmente descubierto (Blanco Chávez, 2019) cuando se dan las fuertes precipitaciones que generaran las corrientes que a su vez, hacen el arrastre de partículas de suelo debido a que no existe protección del suelo, recibiendo el impacto directo de las gotas de aguas, lo que de acuerdo a Bodi et al. (2012) hace que se pierdan grandes cantidades de suelos. Además, los suelos de este territorio son muy accidentados, lo que hace más fácil que se den las escorrentías que estas terminan en algún cuerpo hídrico deteriorando su caudal (Varela et al., 2007).

Las pérdidas de suelo están directamente vinculadas con el grado de intensidad recurrencia y duración del incendio forestal. Esto se asocia al tipo de topografía de los suelos, entre más inclinación tengan se facilitan las pérdidas del suelo por el lavado de las partículas de suelo, haciéndose más fácil los deslizamientos de suelo porque están totalmente desnudos (Alonso et al., 2011).

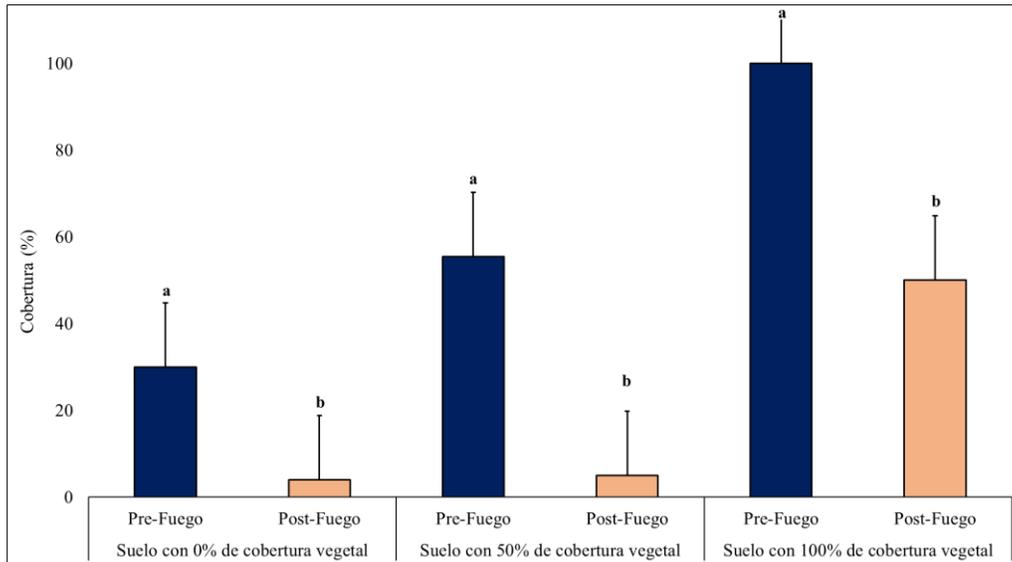


Figura 3. Cobertura de suelo y su relación con la degradación del suelo por erosión hídrica posterior al fuego.

Debido a las condiciones en las que quedan los suelos después de un incendio forestal, donde las intensidades del fuego sean menores o mayores, los restos de la vegetación incineradas evitan la infiltración, de tal manera que forman una ligera capa impermeable que tapa los microporos, volviéndose más compactos los suelos y, por ende, impidiéndose totalmente la infiltración del agua al subsuelo y facilitándose la formación de pequeñas escorrentías que ocasiona el lavado de los suelos, dejándolos muy pobres de los nutrientes que están presentes en los suelos intervenidos por el fuego, ya sea por la acción antropogénica o naturalmente, favoreciendo las evaporaciones. Esta agua se pierde, los procesos de infiltración no se dan y los suelos se vuelven más compactos.

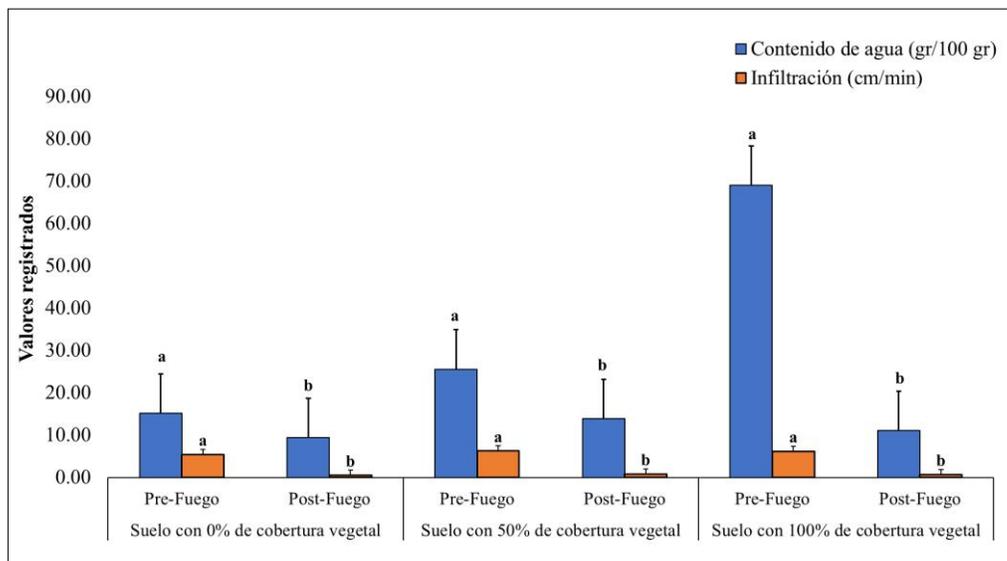


Figura 4: Contenido de agua (gr/100 gr) e infiltración (mm/min) en suelos degradados por erosión hídrica posterior al fuego

Los tipos de suelo que tenemos en la Costa Caribe de Nicaragua son muy arcillosos, es decir, son suelos muy plásticos que con facilidad se saturan del agua que cae en nuestra región, facilitando así los procesos erosivos (Figura 5). Cuando estos suelos se encuentran en una eventualidad de incendios con altas temperaturas, se pierde con facilidad la materia orgánica presente en este, dando origen a lavados excesivos que dejan el suelo de transición con muy poca actividad biológica, limitando así los procesos de infiltración, dado que se forma una capa más densa; como vemos en la figura 5, la infiltración es nula en post fuego, dándose solamente en pre fuego.

El fuego puede provocar cambios que denominamos directos o inmediatos en determinadas propiedades del suelo, como consecuencia del calentamiento producido en los primeros centímetros superficiales del mismo; los cambios que denominamos indirectos, son debido a la nueva situación en que se encuentra el suelo: eliminación de toda o parte de la cubierta vegetal, incorporación de cenizas, reducción de la materia orgánica y reducción de la infiltración del agua en el suelo. Las cenizas de los vegetales atrofian los micro y macroporos y genera el incremento de la escorrentía superficial y el incremento de la erosión del suelo. Por lo tanto, los suelos sufren cambios temporales y espaciales en sus propiedades físicas, químicas y biológicas; estos cambios serán más o menos perjudiciales dependiendo de múltiples factores, entre ellos la severidad e intensidad con la que el fuego afecte al suelo (Cervera Beasse Jean, 2018). También los suelos se vuelven más compactos cuando experimentan incendios de altas temperaturas, porque ahí se pierde en su totalidad la materia orgánica quedando así la mineralización del suelo que lo vuelve un suelo compacto por la pérdida de casi el cien por ciento del humus. Es importante mencionar que la compactación que experimentan los suelos una vez que se da la actividad de un incendio está en dependencia del tipo de suelo que esté presente.

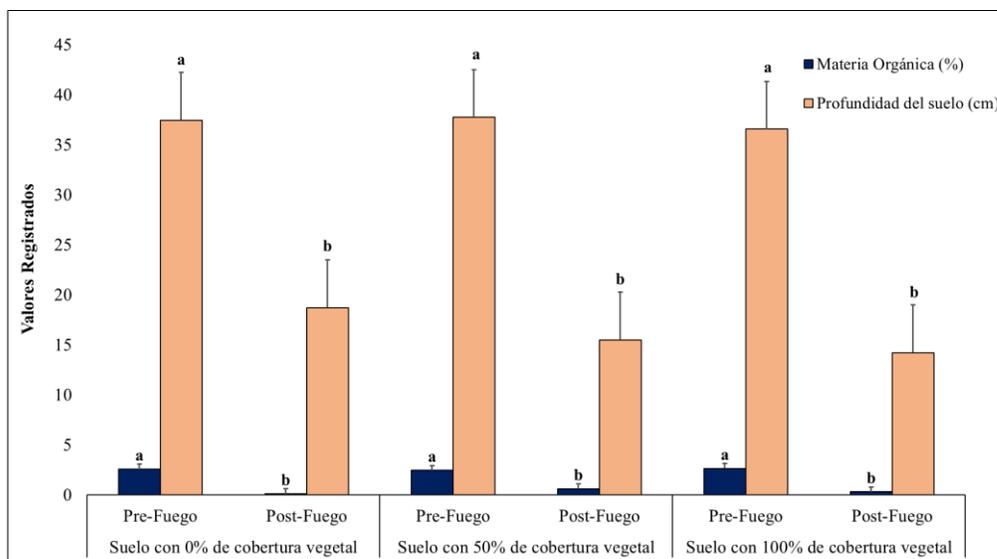


Figura 5. Presencia de materia orgánica (%) y profundidad (cm) de los suelos degradados por erosión hídrica posterior al fuego.

De acuerdo a los datos expresados en la figura 6, las concentraciones de materia orgánica (MO%) en todos los tratamientos, presentaron disminuciones drásticas que van desde 2.5% hasta 0.3% por efecto del fuego, presentando diferencia estadísticamente significativa (K-W: 12.12; gl: 2: P>0.58) de un momento a otro. Pero el fuego no sólo modifica la cantidad de la materia orgánica, también altera su calidad. Actúa como un agente que acelera las tasas de mineralización del carbono orgánico y, además, modifica las tasas de descomposición post incendio, ya que a medida que se incrementa la temperatura, el humus sufre modificaciones que le hacen más resistente a la degradación microbiana (González et al., 2009). Esta materia orgánica carbonizada que se produce en grandes cantidades y se acumula en el suelo, puede contribuir en un 30-40% al carbono del suelo en ecosistemas propensos a incendios forestales y al secuestro de carbono a largo plazo, siendo un componente significativo en el ciclo global del carbono (Forbes et al., 2006).

Al respecto de la profundidad (cm) del suelo, el comportamiento se mantuvo igual que la variable anterior, debido a que las propiedades físicas del suelo también se ven afectadas cuando el fuego destruye parte de la materia orgánica y elimina, temporalmente, la vegetación. Esto hace que se afecte su estabilidad estructural, ya que se debilitan los agregados, los cuales serán destruidos posteriormente por el impacto de las gotas de lluvia; al romperse la estructura del suelo se disminuye su capacidad de absorción de agua, con el consiguiente aumento de escorrentía superficial y la aparición de procesos erosivos (Martínez et al., 1991).

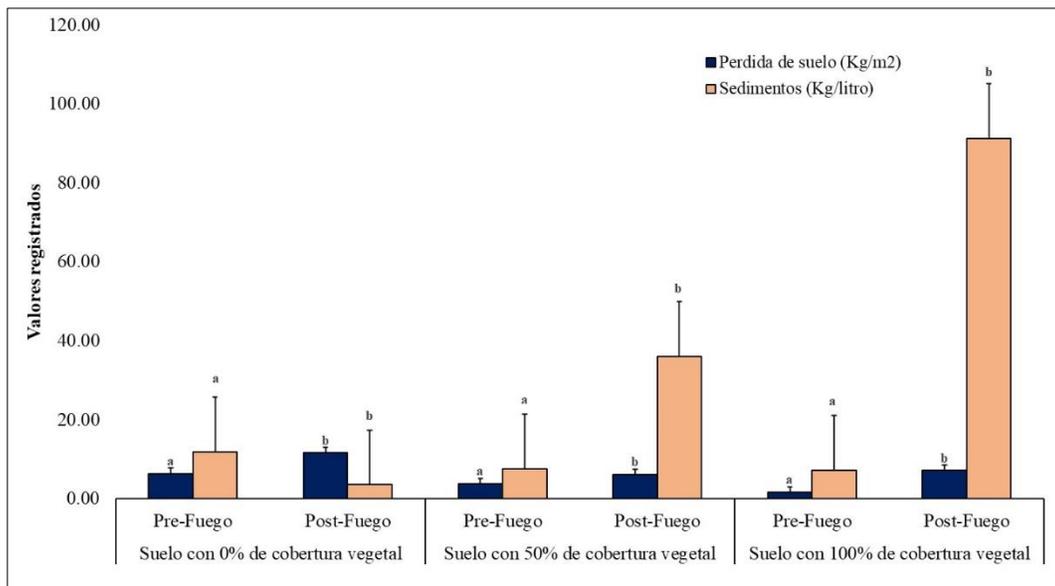


Figura 6: Pérdida (kg/m²) y sedimentación (kg/Litro) de suelo en suelos degradados por erosión hídrica posterior al fuego

La precipitación acumulada durante el período de observación fue de 1,745 mm, con un índice de erosividad de 10,128.51 Mj mm ha⁻¹, considerado como muy alto (Rivera y Gómez, 1991; Lobo y Bonilla, 2015); se registraron un total de 58 precipitaciones, de las cuales el 75% superó los 10 mm de lluvia; el 10% fue mayor a los 20 mm y, sólo el 5% rebasó los 50 mm; las precipitaciones fueron

variables y típicas del clima tropical húmedo de la zona de estudio, con tormentas torrenciales breves, que causaron bajas tasas de infiltración, y alto riesgo de erosión.

La figura 7 presenta los promedios del volumen de producción de sedimentos durante el total de estas precipitaciones (58), hubo diferencias entre los sistemas evaluados ($P \leq 0.05$); la pérdida de suelo (54.6 Kg/m^2) y arrastre de sedimentos (37.9 Kg ha^{-1}) fueron superiores en suelos post incendio y menores previo a ello, con 35.9 mm de escorrentía y 13.9 kg ha^{-1} de sedimentos. Esto demostró que los suelos sin cobertura asociada favorecen el proceso de erosión, ya que al haberlos los efectos fueron menos severos. Los análisis de correlación demostraron que la acumulación de sedimentos estuvo asociada en los tres niveles de cobertura y los dos momentos de análisis a la precipitación, ya que la mayor cantidad de transporte de sedimentos coincide con el mes más lluviosos ($r = 0.80, 0.86$ y 0.88 , respectivamente) ($P \leq 0.05$). La pérdida de nutrientes depende de la cantidad de suelo erosionado y la concentración inicial de nutrientes (Morgan, 1997; Michelena, 2013); al inicio de la experimentación se realizó la caracterización físico de los suelos en los sistemas evaluados, observando que hubo concentración de materia orgánica y presumiblemente también de nitrógeno. La pérdida de materia orgánica fue mayor ($P \leq 0.05$) tras la incidencia de fuego en las parcelas de manera indistinta a la cobertura vegetal previa.

CONCLUSIONES

Se concluye que la producción de sedimentos y el volumen de escorrentía se correlacionan de forma importante con la precipitación. Se estima que las concentraciones de material combustible oscilan entre $1,000\text{-}10,300 \text{ Kg/Ha}$. Las concentraciones de materia orgánica (MO%) en todos los tratamientos presentaron disminuciones drásticas.

En los promedios del volumen de producción de sedimentos durante el total de estas precipitaciones (58), hubo diferencias entre los sistemas evaluados ($P \leq 0.05$); la pérdida de suelo (54.6 Kg/m^2) y arrastre de sedimentos (37.9 Kg ha^{-1}) fueron superiores en suelos post incendio y menores previo a ello, con 35.9 mm de escorrentía y 13.9 kg ha^{-1} de sedimentos. Esto demostró que los suelos sin cobertura asociada favorecen el proceso de erosión, donde existía cobertura los efectos fueron menos severos.

Los resultados obtenidos son importantes para establecer estrategias agrícolas, a fin de disminuir la degradación en zonas rurales de la Costa Caribe de Nicaragua; constituyen una evidencia de que las formas de manejo generan efectos negativos sobre el suelo, razón por la cual se requiere promover manejos agrícolas sostenibles.

La investigación ha permitido cuantificar los niveles de pérdidas de suelos en las condiciones del trópico húmedo, una de las primeras en el área específica, sirviendo como referente y punto de partida para futuras investigaciones que aborden, total o parcialmente, la misma temática. Se recomienda el aumento de puntos y repeticiones de muestreo, así como el tiempo de monitoreo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido posible por el apoyo técnico y la facilitación de espacios de trabajo por el Centro de Investigaciones Acuáticas de BICU (CIAB), adscrito a la Facultad de Recursos Naturales y Medio Ambiente (FARENA); al Comité de Investigación y Posgrado de BICU, por el otorgamiento de fondos de apoyo a la Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i) en la convocatoria 2020.

REFERENCIAS

- Alleres, R. M. (2007). Impacto del fuego en la degradación física de dos suelos forestales en Galicia. *Impact of wildfire on soil physical degradation in two forest soils of Galicia*. 32(1), 103-110.
- Alonso, J., Bermúdez, F., & Rafaelli, S. (2011). La degradación de los suelos por erosión hídrica. *Métodos de estimación*.
- Blanco Chávez, M. E. (2019). Factor erosividad de la lluvia en la subcuenca sur del lago Xolotlán, Managua. *Nexo Revista Científica*, 32(01), 41-51. <https://doi.org/10.5377/nexo.v32i01.7986>
- Bodi, M. B., Cerdd, A., Mataix-Solera, J., & Doerr, S. H. (2012). A review of fire effects on vegetation and soil in the mediterranean basin. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58.
- Cervera Beasse, J. N. (2019). Evolución del incendio forestal de Carcaixent: dos años después (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Gonzales, L., Tablada, E., Diaz, M. del pilar, Robledo, C., & Balzarani, M. (2005). *Estadística para Ciencias Agropecuaria*.
- Ebanks Mongalo, B. F., Suárez Sánchez, J., Siu Estrada, E., Montoya Arguello, J. J., Mairena Valdivia, D. A., Flores-Pacheco, A., Van der Wal, J. C., & Valencia Quintana, P. (2015). Concentración de plaguicidas en agua, sedimentos y ostiones (*Crassostrea rizophorae*) de la Laguna de Bluefields, RAAS, Nicaragua. *Wani*, 67(0), 49-54. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5377/wani.v67i0.1888>
- Ferreira, A., Prats, S., C. F. E. (2015). Los incendios forestales en Portugal. Aportes para la comprensión del impacto en la degradación de suelos y aguas. *researchgate.net*.
- Flores-Pacheco, J. A. & Zavala, E. (2019). Efectos de la cobertura con *Phaseolus vulgaris* en dinámica de nutrientes del suelo en Agroecosistemas de *Elaeis guineensis*. *Revista Universidad y Sociedad del Consejo Nacional de Universidades – Ciencia, Tecnología y Humanidades*, 62, 33-37.
- Flores-Pacheco, J.A., Godoy, S., Rostrán, J., & Bárcenas, M. (2015). Efecto de la poda de guías y dos tipos de fertilización en la producción de Melón (*Cucumis melo*). *Revista Universitas, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León, Nicaragua*, 6(ISSN 2311-6072), 186-198. <http://revista.unanleon.edu.ni/index.php/universitas/article/view/117>

- Forbes, M., Raison, R. & Skjemastad, J. (2006). Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. *Journal Science of the total environment*, Vol. 370, pp. 190-206.
- González, C. (2009). El fuego, la quema de pastos y sus consecuencias. Colegio de ciencias agrícolas. Puerto Rico.
- García-Centeno, L. (2015). Metodología de campo para determinar la profundidad, la densidad aparente, materia orgánica e infiltración del agua en el suelo. *Unión Europea y UNAG - Nicaragua*, 1(32), 18.
- García-Pérez, A. (2005). Métodos avanzados de estadística aplicada. Métodos robustos y de remuestreo. Universidad Nacional a Distancia, 256. <http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:editorial-Educacionpermanente-0186080EP03A01>
- González, C. (2009). El fuego, la quema de pastos y sus consecuencias. Colegio de ciencias agrícolas. Puerto Rico.
- IBM. (2020). IBM SPSS Statistics para Windows (No 26; p. Statistical Package for the Social Sciences).
- INETER. (2015). Los Ecosistemas de Nicaragua y su Estrategia.
- Khoury, E. A., & Prendes, J. A. O. (2005). Efectos de la quema controlada sobre matorral en la erosión hídrica, el valor pastoral y las propiedades del suelo a largo plazo. *Edafología*, 12(2), 91-103.
- MARENA. (2016). *Identificación de las causas de la deforestación y la degradación forestal en Nicaragua*. 34 pp.
- Lobo, G. P. and C. A. Bonilla. 2015. Sensitivity analysis of kinetic energy-intensity relationships and maximum rainfall intensities on rainfall erosivity using a long-term precipitation dataset. *J. Hydrol.* 527: 788-793.
- Martínez, J., De las Heras, J. y Herranz, J. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. La Mancha.
- REPCar - BICU. (2014). Proyecto GEF-REPCar: Reduciendo el escurrimiento de Plaguicidas al mar Caribe: Buenas Prácticas Agrícolas y Monitoreo del Escurrimiento.
- Rivera, J. H. y A. A. Gómez. 1991. Erosividad de las lluvias de la zona cafetalera central colombiana (Caldas, Quindío, Risaralda). *Cenicafé* 42:
- Sokal, R., & Rohlf, F. J. (1981). *Biometry*. Francisco, California, 259 p.
- Urbina, R. (2005). Inventario de política agroambientales en Nicaragua. IICA, 32.
- Varela, M., Alleres, M. R., & Rueda, E. B. (2007). Impacto del fuego en la degradación física de dos suelos forestales en Galicia.