

EFECTO DE QUEMAS PRESCRITAS SOBRE LAS CONCENTRACIONES DE LOS ANIONES Y CATIONES EN LAS AGUAS SUPERFICIALES

PRESCRIBED BURNS EFFECT OVER ANION AND CATIONS CONCENTRATION IN SUPERFICIAL WATERS

M.Sc. BEATRIZ RODRÍGUEZ-ALFARO,¹ DR.C. ISOEL URRUTIA-HERNÁNDEZ,¹ M.Sc. YAUMARA MIÑOSO-BONILLA,¹
ING. JOSÉ A. HERNÁNDEZ-ABREU,² DR.C. JOSÉ G. FLORES-GARNICA,³ DR.C. JOSÉ A. BRAVO-IGLESIAS,⁴
ING. ARSENIO RENDA-SAYOUZ,⁴ ING. LORENZA MARTÍNEZ-GONZÁLEZ¹ Y DR.C. LUIS W. MARTÍNEZ-BECERRA⁵

¹ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. UCTB Estación Experimental Agro-Forestal Viñales
Km 20, Carretera a Viñales, Pinar del Río, Cuba. teléf.: 793123, vinales@forestales.co.cu

² Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. UCTB Estación Experimental Agro-Forestal
Camagüey. Avenida Ignacio Agramonte s/n AP 405, Camagüey, Cuba

³ Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

⁴ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. UCTB de Investigaciones del INAF. Calle 174 no. 1723
e/ 17 B y 17C, Siboney, Playa, La Habana, Cuba

⁵ Universidad de Pinar del Río. Calle Martí Final 270, Pinar del Río, Cuba

RESUMEN

Los incendios forestales modifican los procesos hidrológicos al reducir la infiltración e incrementar los escurrimientos superficiales, propiciando la contaminación de las aguas superficiales por el arrastre de partículas. Es por ello que el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de quemadas prescritas sobre la concentración de los aniones y cationes de las aguas superficiales. Las quemadas se establecieron en parcelas de 10 000 m² y se compararon con un patrón con similares características, teniendo en cuenta los parámetros establecidos de la prescripción. Las muestras de agua se tomaron de las corrientes antes de que estas lleguen al remanso (aguas arriba del vertedor), o sea, próximo a las parcelas quemadas. Por lo que se obtiene que la implementación de las quemadas prescritas posee un impacto mínimo y transitorio sobre los cationes y aniones de las aguas superficiales; tal es así que para ninguno de los parámetros evaluados presentan diferencias significativas, y en todos los análisis establecidos el agua se presenta sin restricciones para su uso.

Palabras claves: quemadas prescritas, escurrimiento superficial, calidad de las aguas, Cuba.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son considerados factores importantes en la destrucción de los

ABSTRACT

Wildfires modify hydrological processes, to reduce infiltration and increase surface runoff promoting pollution of surface waters by particle entrainment. That is why the aim of this study is to evaluate the effect of prescribed burning on the concentration of anions and cations of surface water. Burnings were established in plots of 10,000 m² and compared with a standard with similar characteristics. Given the established parameters of the prescription. Water samples were taken from streams before they reach the backwater (upstream of the weir), that is, next to the burned plots. So you get that implementing prescribed fires have minimal and temporary impact on the cations and anions of surface water, so much so that none of the evaluated parameters showed significant differences and all analyzes established water It has no restrictions for use.

Key words: prescribed burns, water superficial losses, water quality, Cuba.

recursos forestales y en la modificación de procesos naturales que desestabilizan su evolución,

tanto en el sentido positivo como negativo. Sin embargo, el fuego ha contribuido a la formación y evolución de muchos ecosistemas terrestres, específicamente los bosques de coníferas que son dependientes de él [Flores, 2009].

Uno de los efectos más importantes e inmediatos de los incendios es el cambio de régimen de agua del sitio quemado, tal como un aumento en la escorrentía superficial, que puede causar un aumento en la erosión; inundaciones, depósitos de sedimentos, turbiedad y contaminación de los ríos. El fuego propicia efectos profundos en los procesos hidrológicos básicos enfocados al incremento de la susceptibilidad del suelo, a las fuerzas de erosión y reduciendo la estabilidad de la tierra. Esto es manifestado primeramente como un incremento de las escorrentías, un afluente máximo y una descarga total más pronunciada, implicando una fuerza de transporte para los sedimentos [Malchus, 1988].

Por estas razones el siguiente trabajo posee como objetivo evaluar el efecto de quemas prescritas sobre las concentraciones de los aniones y cationes en las aguas superficiales en bosques de coníferas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en áreas de la Estación Hidrológica Amistad, en Galalón, Pinar del Río, específicamente en la subcuenca número uno, con un área de 8,91 ha, y la subcuenca número dos como patrón con características similares, presentando las siguientes características generales: altitud de 122 msnm, pendiente media del 20,4 %, precipitación anual de 1876 mm. El suelo, según Hernández (1999), se clasifica como ferralítico amarillento lixiviado subtipo típico; está dominado por las especies arbóreas *Pinus tropicalis* Morelet y *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari.

Muestreo y toma de datos

Durante el desarrollo del experimento se evaluó el comportamiento del fuego y los efectos del mismo sobre el material combustible disponible. En el caso del comportamiento del fuego, se ubicaron tres parcelas rectangulares de 10 000 m² cada una con una intensidad de muestreo del 33,7 % de la superficie, utilizando la metodología propuesta por Kirkby y Morgan (1984).

Para el comportamiento de la concentración de los aniones y cationes presentes en la disolución acuosa se han obtenido datos de SO₄²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y de pH. Las muestras de agua se tomaron de las corrientes antes que estas lleguen al remanso (aguas arriba del vertedor), o sea, próximo a las parcelas quemadas. El seguimiento analítico se realizó de forma mensual en el Laboratorio Provincial de Suelos de Pinar del Río, para lo cual se utilizaron botellas de cristal con la capacidad de 1 L. Se utilizó la metodología para la determinación de la salinidad en muestras de aguas de Pérez y Moreno (1986).

La estimación de la cantidad de material combustible fue realizada una semana antes de la fecha en que se ejecutaron las quemas, y una semana después de realizadas.

Se utilizó el método de muestreo de las parcelas de 1 m², en transeptos, ubicándose cinco de estas en línea recta al centro de cada parcela de 10 000 m² con una separación de 10 m entre ellas.

Con la ecuación 1, a través de un premuestreo, se determinó el tamaño de la muestra para cada una de las clases en que se clasificó el material combustible. Como el número de parcelas varió de una clase a otra, se trabajó con el tamaño correspondiente a la clase de mayor variabilidad, lo cual implica el mayor número de parcelas obtenido de 24 parcelas.

$$N = \left[\frac{CV \times t}{EM \%} \right]^2$$

donde:

N: Tamaño de la muestra

CV: Coeficiente de variación

EM: Error de muestreo (15 %).

t: Valor obtenido de la tabla de distribución de *t* de student con *n*-1 para un 95 % de probabilidad.

Prescripción

Para la elaboración del plan de quemas prescritas se tuvieron en cuenta trabajos realizados en Centroamérica, sur de Estados Unidos y Brasil, citado por Martínez (2006), entre otros, además de considerar las regulaciones de la Ley Forestal de Cuba (2010).

Se describió la unidad de quema; además, se consideraron los tipos de vegetación, localización, tamaño, topografía, organización y se realizaron las brechas cortafuego para evitar el escape del fuego.

Se determinó que los combustibles fueran como se describieron en el plan de quema para darle inicio al fuego; las variables meteorológicas se monitorearon antes, durante y después de efectuadas las quemas, lo cual permitió asegurar la misma.

En el momento de realizar el plan de quema prescrita y de efectuar las mismas en noviembre, se les explicó a todos los participantes el objetivo de su aplicación, se comprobó el pronóstico del tiempo con los instrumentos manuales en el área, se verificó la humedad de los combustibles y se realizó una quema de prueba para observar el comportamiento del fuego, de acuerdo con lo planteado por Nájera (2000) y TNC (2005). Al terminar las labores se comprobó que el fuego había sido liquidado en el rango admisible para realizar una quema prescrita.

Para el análisis estadístico de los datos se empleó como prueba de comparación una prueba t para muestras independientes para los elementos pH, Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, y K⁺ y para los elementos Ca²⁺, HCO₃⁻ y Mg⁺² la prueba de Wilcoxon (Mann-Whitney U) por no cumplir los supuestos teóricos de normalidad y homogeneidad de varianza. Se utilizó el paquete estadístico Infostat Software versión (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las quemas prescritas sobre el material combustible

Basado en la clasificación del material combustible, se determinó que para el área de estudio las misceláneas fueron las de mayor representatividad. Esto se debe a la gran acumulación de las acículas y otras hojas de varias especies forestales que demoran tiempo en descomponerse, formando una capa gruesa, donde el fuego se puede propagar con facilidad.

Los valores totales del material combustible seco colectado para las parcelas uno, dos y tres

alcanzan (2081,23 g x m⁻² ± 3), (2184,4 g x m⁻² ± 3) y (2013,19 g x m⁻² ± 2), respectivamente.

El peso seco del material combustible después de aplicar las quemas por parcelas y clases de combustibles se redujo en un 87,7 %, atribuyendo la mayor reducción en la clase de material combustible verde con el 100 %, producto de la deshidratación de las hojas causada por el efecto del fuego y las altas temperaturas. Las misceláneas se redujeron en un 96,7 %, por ser el material más fino y de fácil propagación del fuego. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Urrutia *et al.* (2011) en el mismo sitio, que logró una reducción del material combustible de un 88,04 % con la aplicación de quemas prescritas y quemas controladas de baja severidad.

Efecto de las quemas prescritas sobre el comportamiento de la concentración de los iones y cationes en las aguas superficiales

Los valores obtenidos en el laboratorio sobre las concentraciones iónicas presentes en el agua demuestran que después de efectuadas las quemas, en el análisis químico del agua, dan como resultado sin restricciones para su uso. Al respecto, Wade y Lunsford (1989) aseveraron que con la aplicación de quemas prescritas estos efectos son breves y temporales. Por otra parte, Tiedemann *et al.* (1978) indicaron que los cambios causados por el fuego no afectan la composición y productividad del agua, ni a sus macroinvertebrados, aunque señalan que sobre el tema se ha estudiado poco.

Los valores obtenidos de las concentraciones del pH, Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺ y K⁺ al aplicar la prueba t para muestras independientes no manifiestan diferencias significativas, como se observa en la *Tabla 1*, debido a la baja intensidad de las quemas implementadas y la época en que se establecieron, las cuales permitieron mitigar los efectos causados por la ocurrencia de precipitaciones intensas en un período de tres meses después de efectuadas las quemas, permitiendo el restablecimiento paulatino del ecosistema e incidiendo directamente en el escurrimiento superficial.

TABLA 1
Prueba t para muestras independientes para las concentraciones del pH, Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺ y K⁺

Tratamientos	Variable	N	Media	EE	Estadígrafo
Sin quema	pH	53	6,29	±0,01	t: -1,36 p: 0,1884 p (Var. Hom.): 0,1326
Con quema	pH	53	6,36	±0,02	
Sin quema	Cl ⁻	53	0,42	±4,3 E-03	t: -1,45 p: 0,1615 p (Var. Hom.): 0,0777
Con quema	Cl ⁻	53	0,44	±4,6 E-04	
Sin quema	SO ₄ ²⁻	53	0,17	±4,7 E-04	t: -0,89 p: 0,3840 p (Var. Hom.): 0,3816
Con quema	SO ₄ ²⁻	53	0,18	±4,5 E-04	
Sin quema	Na ⁺	53	0,52	±2,6 E-04	t: -0,55 p: 0,5858 p (Var. Hom.): 0,4052
Con quema	Na ⁺	53	0,54	±4,3 E-04	
Sin quema	K ⁺	53	0,01	±4,1 E-05	t: -0,07 p: 0,9461 p (Var. Hom.): 0,3386
Con quema	K ⁺	53	0,02	±5,3 E-06	

El pH tiende a incrementarse y disminuir la acidez; por tanto, la aplicación de las quemas prescritas incorpora al suelo cationes procedentes de las cenizas. Estos resultados coinciden con lo expresado por Vega *et al.* (2000), donde el pH suele aumentar en suelos quemados por fuego prescrito debido al aporte de cationes procedentes de las cenizas; aunque dependiendo de la intensidad de la quema y otras características edáficas, puede no haber cambios apreciables.

Los efectos de las quemas prescritas aplicadas en el comportamiento de las concentraciones iónicas presentes en las aguas superficiales en la subcuenca en estudio son breves y temporales, los que tienden a aumentar ligeramente hasta el año de aplicadas las quemas, donde la suma total de sales solubles resulta igual para las diferentes evaluaciones, y solo se observan variaciones en relación con la cantidad de sulfato (SO₄²⁻), cloruro (Cl⁻), sodio (Na⁺) y potasio (K⁺), propiciado por el aporte de cenizas a causa del fuego y a la rápida mineralización y movilización de nutrientes que se manifiestan en un incremento

no significativo en los niveles de nutrientes en las escorrentías y en forma de solución en el suelo, las cuales se estabilizan y llegan a obtener valores similares a los iniciales transcurrido un año después de efectuadas las quemas.

Las bajas intensidades del fuego y el período transcurrido sin lluvias después de efectuadas las quemas propiciaron que el ecosistema regresara a las condiciones anteriores en un período corto de tiempo. Sin embargo, estudios realizados por Flores (1996) sobre cuencas hidrográficas indican que estos nutrientes adicionales no afectan significativamente la calidad de las aguas superficiales.

En la *Tabla 2* se presentan los valores obtenidos de la prueba Wilcoxon (Mann-Whitney U) para el Ca²⁺, HCO₃⁻ y Mg⁺², donde se obtiene que en ninguno de los casos se presenta diferencias significativas para $\alpha > 0,05$, dado a la baja intensidad de las quemas y al mínimo efecto causado a la masa arbórea, la cual permite proteger al ecosistema de la interacción directa de las lluvias sobre el suelo.

TABLA 2
Prueba de Wilcoxon (Mann-Whitney U) para el Ca²⁺, HCO₃⁻ y Mg⁺²

Tratamientos	Variable	n	Media	Estadígrafo
Sin quema	Ca ²⁺	53	0,85	W: 131,00 p: -0,3586
Con quema	Ca ²⁺	53	0,86	

Sin quema	HCO ₃ ⁻	53	0,50	W: 127,00
Con quema	HCO ₃ ⁻	53	0,55	p: -0,1767
Sin quema	Mg ⁺²	53	0,30	W: 124,50
Con quema	Mg ⁺²	53	0,32	p: -0,1243

De acuerdo con Mac Donald *et al.* (2000), el efecto de los incendios y las quemas prescritas sobre los recursos hídricos depende del tiempo que tarde el ecosistema en regresar a las condiciones anteriores al disturbio. Por otra parte, la mayoría de las investigaciones realizadas indican que los incrementos significativos en escurrimiento y erosión se presentan entre el primer y segundo año después del fuego [Helvey, 1980; Robichaud y Waldrop, 1994; Inbar. *et al.*, 1998], aunque este patrón general puede ser alterado de acuerdo al tiempo en que se presenten tormentas de alta intensidad.

Por otra parte, Renda (2007) indica que en subcuencas mucho más pequeñas (tamaño menor de 1 ha), sometidas a intervención silvícola, dos años después de la misma la suma total de iones resultó de 111 mg/L, casi el doble de lo registrado en la subcuenca sin tratar de igual tamaño, siendo el nivel de HCO₃⁻ el más elevado, y el catión Ca⁺² alcanza un incremento de más de cuatro veces en comparación con la parcela patrón.

Sin embargo, Plasencia (2010) señala que el aumento del arrastre de las subcuencas resulta ser, generalmente, a expensas de los iones de H⁺, HCO₃⁻ y Ca²⁺. En el período 83-88 el arrastre de las partículas de suelo desde la subcuenca C3 (tala rasa) ascendió a 526,7 kg/ha, propiciando un incremento de los iones presentes en el agua, lo que sobrepasó en 1,8 veces los resultados en la subcuenca C2 (patrón). A medida que se cubren las áreas taladas con vegetación arbórea y herbácea, se van reduciendo paulatinamente los procesos de arrastre iónico, llegando a igualarse e incluso a disminuirse. Así, el acumulado promedio del período 89-92 en la subcuenca C3, de partículas de suelo fue de 160,2 kg/ha, y en la patrón fue de 162,5 kg/ha. En los casos de la tala selectiva y la tala rasa, dejando el bosque de galería, se puede apreciar que las variaciones son mínimas, comparada con la tala rasa total, poniendo de manifiesto

la efectividad de estos tipos de tala en relación con la calidad del agua.

CONCLUSIONES

- Las quemas prescritas implementadas permiten reducir la carga del material combustible en un 87,7 %, lo que disminuye el efecto y ocurrencia de incendios forestales.
- El uso del fuego provocó variaciones mínimas y temporales sobre las concentraciones de los aniones y cationes en las aguas superficiales no limitando su uso.
- Con la implementación de las quemas prescritas no se aprecian cambios significativos sobre el comportamiento de las concentraciones de los aniones y cationes en las aguas superficiales debido a su baja intensidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Flores G. J. G.: «Aplicación de sensores remotos y sistemas de información geográfica para el mapeo de riesgo de incendios forestales», INIFAP, SAGAR, Campo Experimental Colomos, Folleto Informativo no. 1, 1996.
- Flores G. J. G.: «El papel del fuego en la dinámica de los ecosistemas forestales. Impacto ambiental incendios forestales», Mundi prensa, 2009.
- Helvey, J. D.: «Effects of a north central Washington wildfire on runoff and sediment production», *Water Resources Bulletin*, 16: 627-634, 1980.
- Hernández, A.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ministerio de la Agricultura, 1999.
- Inbar, M.; M., Tamir; L. Wittenberg: «Runoff and erosion processes after a forest fire in Mounnt Carmel, a Mediterranean area», *Geomorphology* (24): 17-33, 1998.
- InfoStat, versión 2008. Manual del usuario*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Edi. Brujas, Argentina.
- Kirkby, M. J.; C. R. P. Morgan: *Erosión de suelos*, Ed. Limusa, España, 1984.
- Ley Forestal de Cuba, Dirección Estatal Forestal, MINAG, 2010.
- MacDonald, L. H. *et al.* «Predicting pos-fire erosion and sedimentation risk on a landscape scale: a case study from Colorado», *Mapping Wildfire Hazards and Risks*, Haworth Press, New York, 2000.

- Malchus B., B. Jr. *Hidrologic and water quality effects of fire. Effects of fire in Management of Southwestern Natural Resources*. Tucson, Arizona, USA, 1988.
- Martínez B., L. W. Uso de quemas prescritas en bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet en Pinar del Río. 94 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, Universidad de Pinar del Río, 2006.
- Nájera, A.: Curso internacional de protección contra incendios forestales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2000.
- Pérez, J. E.; V. Moreno: NRG. Metodología para la determinación de la salinidad en muestras de aguas, 1986.
- Plasencia, T.: Caracterización hidrológica en los ecosistemas de pinares naturales con y sin manejo en la Estación Hidrológica Forestal Amistad, Alturas de Pizarras, Cuba, 216 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, Universidad de Alicante, España, Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, 2010.
- Renda, A.: Papel de la vegetación forestal y los sistemas agroforestales en la ordenación y manejo integral de cuencas hidrográficas en el ejemplo de Cuba», La Habana, Cuba, Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, Ministerio de la Agricultura, 2007 (inédito).
- Robichaud, P. R.; T. A. Waldrop: «A comparison of surface runoff and sediment yields from low-and-high severity site preparation burns», *Water Resources Bulletin* 30: 27-34, 1994.
- Tiedemann, A. R. *et al.* «Effects of fire on water. General technical Report WO-10», USDA Forst Service, USA, 1978.
- The Nature Conservancy (TNC): «Introducción a quemas prescritas para áreas naturales protegidas», Belice. Iniciativa Global para el Manejo del Fuego, 2005.
- Urrutia, I. *et al.*: *Quemas prescritas una alternativa ecológica para la reducción del material combustible en plantaciones de pino*, 2011.
- Vega, J. A. *et al.*: *Efectos del fuego prescrito sobre los suelos de montes de Pinus pinaster. La defensa contra incendios forestales*, Ed. Mc Graw Hill, Madrid, 2000.
- Wade, D. D.; J. D. Lunsford, *A guide for prescribed fire in southern forests*. Technical Publication, Atlanta, U.S.D.A. Forest Service, R8- TP11, 1989.
- Wade, D. D.; J. D. Lunsford: *A guide for prescribed fire in southern forests*. Technical Publication, Atlanta, U.S.D.A. Forest Service, R8- TP11, 1989.

RESEÑA CURRICULAR

Autora principal: Beatriz Rodríguez Alfaro

Máster en Ciencia Forestal, investigadora agregada de la Estación Experimental Agro-Forestal de Viñales, su labor investigativa ha estado dirigida en las temáticas de protección y rehabilitación de áreas degradadas por el fuego. Impartió docencia en la enseñanza de nivel medio en las temáticas de Protección del bosque y Dendrología. Obtuvo Premio Organismo 2010 y 2013. Dirigió proyectos de investigación desarrollo y uno de innovación tecnológica. Ha participado en eventos nacionales e internacionales.