

## **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**

VARELA M.E. <sup>1</sup>, RODRÍGUEZ ALLERES M. <sup>1</sup> & BENITO E. <sup>1</sup>

#### **Abstract**

The purpose of this work was to examine the effect of two forest fires in Galicia on physical degradation in soils and compare it with the changes observed on heating unburnt neighbouring soils to variable temperatures (25, 170, 220, 380 and 460°C) in the laboratory. The soils were analysed for dry aggregate size distribution, water aggregate stability, water repellency, hydraulic conductivity and organic carbon.

Based on the results, changes in the physical properties of burnt soils are directly related to the highest temperatures reached at the soil surface during a fire. Thus, soil in the burnt zone where the temperature never exceeded 220°C exhibited no loss of organic carbon or changes in aggregation other than slight fragmentation of macroaggregates into microaggregates. On the other hand, water repellency remained very high after burning, which accounts for the low hydraulic conductivity of the soil.

In the fire of greater intensity physical degradation of the soil was much more marked and reflected in a substantial loss (44%) of organic carbon, which propitiated disaggregation and diminished soil aggregate stability. Water repellency at the soil surface was also considerably reduced. Therefore, the low hydraulic conductivity of the soil after burning can be ascribed to the strong deaggregating effect of the firecarbon, which propitiated disaggregation and diminished soil aggregate stability.

**Key words:** forest fires, soil physical degradation, soil aggregation, water repellency.

(1) Facultad de Biología. Universidad de Vigo. 36310 Vigo.

## INTRODUCCIÓN

La persistencia de los incendios forestales incontrolados que progresivamente están destruyendo ecosistemas mediterráneos y atlánticos constituye un serio problema medioambiental derivado no solo de la pérdida de masa forestal sino también de los procesos de degradación que induce en el suelo.

La intensidad y duración del incendio son los dos principales factores que condicionan el impacto del fuego sobre el suelo aunque también influyen el tipo de suelo y las condiciones climáticas posteriores al incendio. Generalmente se considera que los incendios de baja intensidad pueden aumentar la fertilidad del suelo, mientras que los de media y alta intensidad provocan efectos negativos (CHANDLER *et al.*, 1983).

Los principales efectos del fuego sobre las propiedades físicas del suelo se deben fundamentalmente a la combustión de la materia orgánica, ya que ésta es esencial para la formación y estabilidad de la estructura del suelo (TISDALL & OADES, 1982; AMÉZKETA, 1999). La degradación de la estructura reduce la porosidad del suelo, favorece el descenso de la capacidad de infiltración del agua en el suelo e incrementa la escorrentía superficial y la erosión del mismo. Además, el fuego puede inducir repelencia al agua en suelos previamente hidrófilos o bien incrementarla o reducirla en suelos previamente hidrófobos dependiendo de la temperatura, cantidad y tipo de materia orgánica consumida y humedad del suelo (DEBANO *et al.*, 1970; SAVAGE, 1974; DOERR *et al.*, 2000).

Debido a la dificultad para conocer la intensidad y duración de los incendios forestales el uso de programas de calentamiento controlado en laboratorio resulta muy útil para medir la influencia de la temperatura en las propiedades del suelo (GIOVANNINI *et al.*, 1988; GIOVANNINI, 1994; SOTO *et al.*, 1991; FERNÁNDEZ *et al.*, 1997).

El objetivo de este trabajo es estudiar los efectos del fuego sobre la degradación física

de dos suelos forestales y comparar las alteraciones causadas por el fuego con los cambios observados al someter suelos adyacentes no quemados a distintas temperaturas en el laboratorio (170, 220, 380 y 460°C). Esta comparación podría ser útil para establecer el rango de temperaturas alcanzadas por el suelo en los incendios estudiados.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron dos zonas afectadas por incendios forestales localizadas en Vilar (Silleda, Pontevedra) y en Estonllo (O Grove, Pontevedra). Se trata de suelos desarrollados sobre granito y con vegetación de *Pinus pinaster*. Aproximadamente un mes después de ocurridos los incendios se recogieron muestras superficiales de los suelos quemados (0-2.5 cm). Simultáneamente se recogieron en las proximidades de las zonas quemadas, muestras de suelo no quemado que se utilizaron como control y también para realizar las experiencias de calentamiento controlado.

Las experiencias de calentamiento controlado en el laboratorio se realizaron sobre la fracción <10 mm en una mufla con programador de tiempo y velocidad de calentamiento. Se seleccionaron las temperaturas de 170°, 220°, 380° y 460°C en función de las reacciones térmicas más características observadas en los suelos mediante análisis térmico diferencial (GIOVANNINI *et al.*, 1988; SOTO *et al.*, 1991). La velocidad de calentamiento fue de 3°C min<sup>-1</sup> y el tiempo de permanencia de la muestra a la temperatura deseada de 30 minutos.

En los suelos no quemados, en los quemados y los sometidos a calentamiento controlado en laboratorio se realizaron los siguientes análisis: la distribución de agregados en seco se realizó tamizando el suelo por tamices de 10, 5, 2, 1, 0.25 y 0.05 mm de malla; los resultados se expresaron como diámetro medio ponderado (DMPs). La estabilidad de los agregados al agua se determinó por el método del test de la gota (LOW, 1954) que

pretende simular el impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados; los resultados se expresaron como % de agregados estables, considerando como estables los agregados que superan los 200 impactos de gota (IMESON & VIS, 1984). La repelencia al agua de las muestras de suelo se determinó por el método de la molaridad de etanol (MED) (LETEY, 1969) que mide el grado de repelencia al agua que tiene un suelo. La conductividad hidráulica se determinó en el laboratorio

con un permeámetro de carga constante. Finalmente el carbono orgánico se determinó según el método descrito por GUITIÁN & CARBALLAS (1976).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación de las propiedades de los suelos quemados y no quemados muestra resultados muy diferentes en las dos zonas estudiadas (Tabla 1).

	Estonllo		Vilar	
	no quemado	quemado	no quemado	quemado
C <sub>org</sub> (g Kg <sup>-1</sup> )	53.06	59.50	101.91	57.19
DMPs (mm)	1.34	1.08	1.12	0.80
Agregados estables (%)	52	52	69	16
repelencia (% etanol)	19.1	19.3	21.8	5.8
Ks (cm h <sup>-1</sup> )	15.23	7.08	19.69	1.19

Tabla 1. Características de los suelos antes y después de los incendios.

Tras el incendio de Vilar se observa una reducción en el tamaño y en la estabilidad de los agregados, disminuyendo el DMP<sub>s</sub> en un 29 % y el % de agregados estables al test de la gota en un 77 %. La repelencia al agua disminuye drásticamente en la superficie del suelo de forma que el suelo que era extremadamente repelente antes del incendio se vuelve ligeramente repelente tras el fuego. En un estudio previo se observó que esta reducción en la repelencia al agua sólo se produce en la superficie del suelo ya que a 2,5 cm el suelo continúa siendo extremadamente repelente al agua (VARELA *et al.*, 2005). También se observa una importante reducción de la conductividad hidráulica pasando de 19.69 cm h<sup>-1</sup> en el suelo no quemado a 1.19 cm h<sup>-1</sup> en el suelo quemado.

Estos cambios se relacionan directamente con la combustión de la materia orgánica durante el incendio, reduciéndose en un 44 %

el contenido de carbono en el suelo quemado respecto al no quemado.

Por el contrario en la zona de Estonllo el contenido en carbono orgánico experimenta un ligero incremento del 12 % tras el incendio y no se observan cambios en la estabilidad de los agregados al agua aunque sí se observa una reducción del 19 % en el DMP<sub>s</sub>. La extrema repelencia al agua que presenta el suelo antes del incendio se mantiene tras el fuego lo que explicaría la fuerte reducción que se observa en su conductividad hidráulica.

Estas diferencias observadas en las propiedades de los dos suelos quemados podrían estar relacionadas con las diferentes temperaturas alcanzadas en la superficie del suelo durante el incendio. Los ensayos de calentamiento controlado en laboratorio permitieron estudiar con detalle los cambios que se producen en las propiedades de los suelos por efecto de la temperatura.

El efecto del calentamiento en la repelencia al agua del suelo se refleja en la Figura 1. Estos suelos presentan inicialmente una repelencia al agua extrema y esta repelencia se mantiene con el calentamiento a 170°C. Entre 170 y 220°C se intensifica la repelencia al agua en los dos suelos mientras que a 380° y 460°C la repelencia al agua desaparece. Estos resultados coinciden con los encontrados por otros

autores en estudios de calentamiento controlado en laboratorio quienes señalaron que la repelencia al agua experimenta pequeños cambios cuando el suelo se calienta por debajo de 175°C, se intensifica generalmente a temperaturas entre 175° y 200°C, y se destruye totalmente por encima de 270-300 °C (SAVAGE, 1974; DEBANO *et al.*, 1976, GARCÍA-CORONA *et al.*, 2004; VARELA *et al.*, 2005).

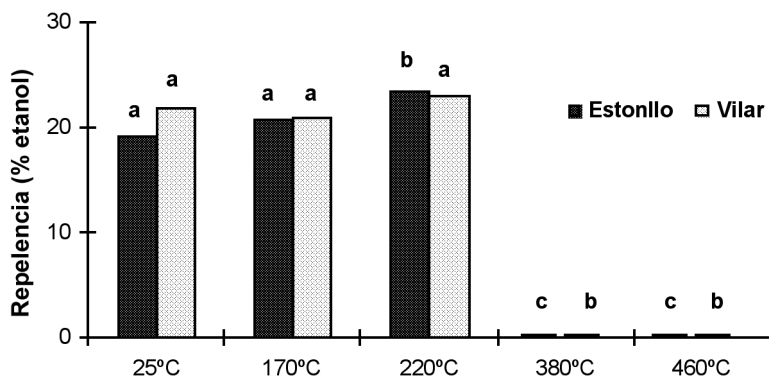


Fig. 1. Repelencia al agua de los suelos calentados a distintas temperaturas. Los valores para un mismo suelo son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) si las letras son diferentes.

Con el calentamiento del suelo no se aprecian cambios significativos en el tamaño de los agregados en el suelo de Estonllo hasta la temperatura de 220°C (Figura 2), sin embargo, en el suelo de Vilar la desagregación comienza a ser significativa a la temperatura de 170°C. Cuando la temperatura es más elevada (380 y 460°C) se produce una fuerte desagregación en los dos suelos. Estos resultados confirman que el incremento de la temperatura favorece la fragmentación de los macroagregados en microagregados.

La estabilidad de los agregados al agua aumenta significativamente a las temperaturas de 170 y 220°C en el suelo de Estonllo pero no sufre variaciones en el suelo de Vilar (Figura 3). El aumento en el % de agregados estables podría explicarse por el hecho de que la estabilidad y madurez de la materia orgánica de los

suelos forestales alcanza un máximo entre 100 y 160°C (ALMENDROS *et al.*, 1984). Otra posible justificación puede ser que los agregados ofrezcan una mayor resistencia al estallido como consecuencia del aumento de la repelencia al agua que se produce al calentar los suelos en el intervalo de temperaturas de 25 a 220°C tal como se indicó anteriormente.

A la temperatura de 380°C se produce en los dos suelos un descenso acusado del porcentaje de agregados estables, siendo esta pérdida de estabilidad del 60 % en el suelo de Estonllo y del 85 % en el de Vilar. A 460°C continúa el descenso con tan sólo un 4 % de agregados estables en el suelo de Estonllo. En el suelo de Vilar ya no se obtuvieron agregados para realizar este test debido a la fuerte desagregación causada por la elevada temperatura.

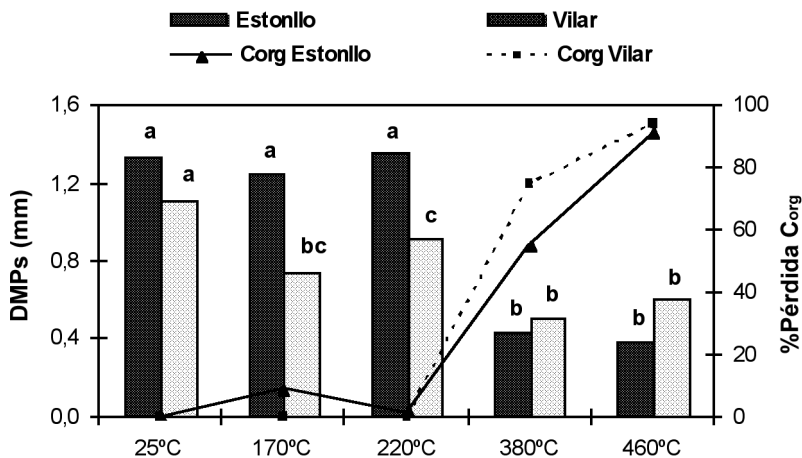


Fig. 2. Diámetro medio ponderado y pérdidas de carbono de los suelos calentados a distintas temperaturas. Los valores para un mismo suelo son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) si las letras son diferentes.

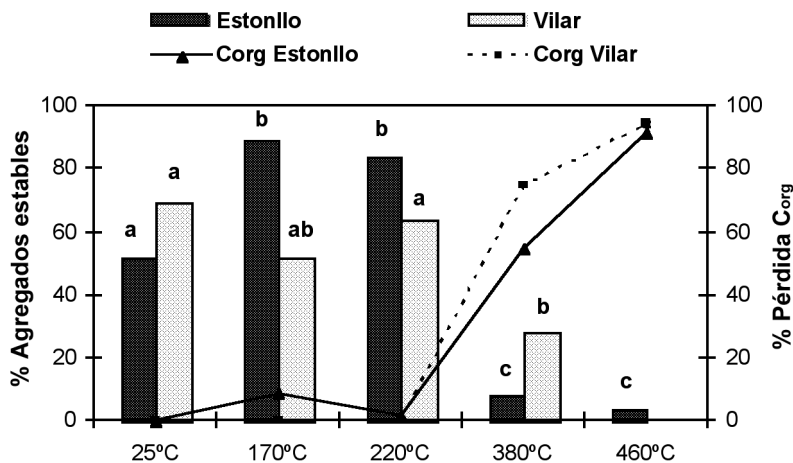


Fig. 3. % de agregados estables y pérdidas de carbono de los suelos calentados a distintas temperaturas. Los valores para un mismo suelo son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) si las letras son diferentes.

Estos cambios observados en la repelencia al agua y en la agregación de los suelos con el aumento de la temperatura están directamente relacionados con las pérdidas de materia orgánica por combustión. Por debajo de 220°C no

se observan cambios significativos en el contenido en C<sub>org</sub> en ninguno de los dos suelos, mientras que a 380°C y a 460°C los contenidos en C<sub>org</sub> de los suelos experimentan una importante disminución con pérdidas de C<sub>org</sub> del 55

% en Estonllo y del 75 % en Vilar a 380°C y del 91 % en Estonllo y del 94 % en Vilar a 460°C (Figuras 2 y 3).

Finalmente la influencia de la temperatura en la conductividad hidráulica de los suelos estaría determinada por los cambios produci-

dos en la agregación y en la repelencia al agua. La conductividad hidráulica disminuye con el incremento de la temperatura hasta alcanzar valores mínimos a 220°C manteniéndose muy baja a temperaturas mayores (Figura 4).

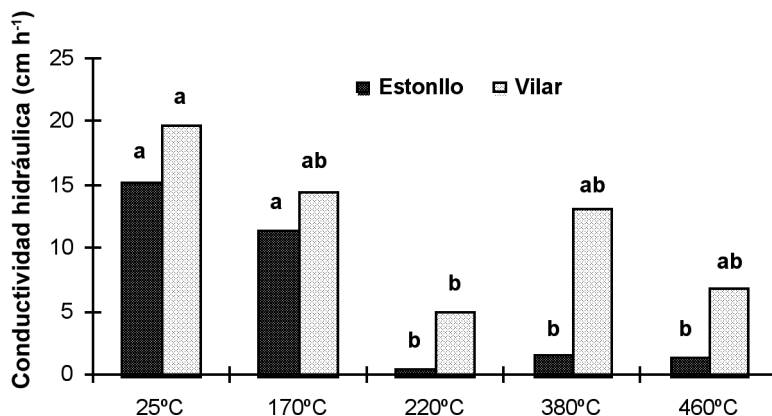


Fig. 4. Conductividad hidráulica de los suelos calentados a distintas temperaturas. Los valores para un mismo suelo son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) si las letras son diferentes.

Debido a que no se observan cambios importantes en la agregación de los suelos a temperaturas inferiores a 220°C, la disminución de la conductividad hidráulica estaría relacionada con el incremento de la repelencia al agua que se observó en este intervalo de temperaturas, coincidiendo los valores mínimos de conductividad con la intensificación de la repelencia en el intervalo de 170-220°C. A temperaturas más elevadas la repelencia al agua desaparece y los bajos valores de conductividad hidráulica se explicarían por la fuerte desagregación observada en los suelos estudiados por encima de 220°C coincidiendo con las pérdidas de materia orgánica por combustión.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos al analizar los efectos de los incendios en las propiedades del

suelo y su comparación con los obtenidos en el calentamiento controlado en el laboratorio nos permiten concluir que la temperatura alcanzada por el suelo durante el incendio condiciona de manera decisiva el comportamiento físico del suelo quemado.

Si tenemos en cuenta que con el calentamiento controlado por debajo de 220°C no se observan cambios importantes en el contenido en carbono ni en la distribución y estabilidad al agua de los agregados, y que la repelencia al agua se intensifica entre 25° y 220°C, se podría suponer que las temperaturas alcanzadas en la superficie del suelo quemado en la zona de Estonllo no habrían superado los 220°C. Por el contrario en la zona de Vilar las propiedades del suelo quemado se aproximan a los valores obtenidos con las temperaturas de 380 y 460°C lo que refleja una mayor intensidad del incendio en esta zona.

En el incendio de Estonllo que puede considerarse de baja intensidad no se observa pérdida de carbono ni cambios en la agregación del suelo, excepto una ligera fragmentación de los macroagregados en microagregados. La estabilidad de los agregados es uno de los factores que más fuertemente influyen sobre la erosionabilidad del suelo, convirtiéndose tras el paso del fuego (debido a la eliminación de la cubierta vegetal y la hojarasca) en factor clave en la gestión del agua y la pérdida de nutrientes y materiales del suelo. Los resultados obtenidos indican que la erosionabilidad del suelo no se vería muy alterada en los incendios de baja intensidad. Sin embargo es importante señalar la fuerte repelencia al agua superficial que manifiesta el suelo cuando las temperaturas no son muy altas, lo cual se traduce en una fuerte reducción de la conductividad hidráulica.

En el incendio de mayor intensidad la degradación física del suelo se manifiesta de

manera más drástica, ya que la pérdida de la materia orgánica, principal agente cementante de los suelos forestales gallegos, favorece una fuerte desagregación del suelo y una pérdida de estabilidad de los agregados por lo que aumenta de forma importante la erosionabilidad del suelo quemado. A ello hay que añadir la presencia de una capa repelente al agua no en la superficie sino a unos cm de profundidad lo que se traduce igualmente en una fuerte reducción de la conductividad hidráulica en el suelo quemado.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Xunta de Galicia, proyectos PGIDT99PXI30101A y PGIDIT02RFO30101PR. Los autores agradecen a Elisa Alonso González y a Araceli Dovalo Pazos su colaboración en las determinaciones analíticas.

*Recibido: 03 / 04 / 2007*

*Aceptado: 02 / 10 / 2007*

**BIBLIOGRAFÍA**

- ALMENDROS, G.; POLO, A.; IBÁÑEZ, J. & LOBO, M.C. (1984). Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. I. Transformaciones del humus por ignición en condiciones controladas de laboratorio. *Révue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 8: 79-86.
- AMÉZQUETA, E. (1999). Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14(2/3): 83-151.
- CHANDLER, C.; CHENEY, P.; THOMAS, P.; TRABAUD, L. & WILLIAMS, D. (1983). *Fire in forestry - Volumen I: Forest Fire Behavior and Effects*. John Wiley & Sons, New York.
- DEBANO, L.F.; MANN, L.D. & HAMILTON, D.A. (1970). Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter. *Soil Science Society of America Journal*, 34: 130-133.
- DEBANO, L.F.; SAVAGE, S.M. & HAMILTON, D.A. (1976). The transfer of heat and hydrophobic substances during burning. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, 40: 779-782.
- DOERR, S.H.; SHAKESBY, R.A. & WALSH, R.P.D. (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth Science Reviews*, 51: 33-65.
- FERNÁNDEZ, I.; CABANEIRO, A. & CARBALLAS, T. (1997). Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 1-11.
- GARCÍA-CORONA, R.; BENITO, E.; DE BLAS, E. & VARELA, M.E. (2004). Effects of heating on some soil physical properties related to its hydrological behaviour in two north-western Spanish soils. *International Journal of Wildland Fire*, 13: 195-199.
- GIOVANNINI, G. (1994). The effect of fire on soil quality. En: SALA, M. & RUBIO, J.L. (Eds). *Soil Erosion as a Consequence of Forest Fires*. Geoforma Ediciones, Logroño. pp.15-27.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. & GIACHETTI, M. (1988). Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, 146: 255-261.
- GUITIÁN, F. & CARBALLAS, T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela. 291pp.
- IMESON, A.C. & VIS, M. (1984). Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion. *Geoderma*, 34: 185-200.
- LETEY, J. (1969). Measurement of contact angle, water drop penetration time, and critical surface tension. Proceedings of the Symposium on Water-Repellent Soils, University of California, 177-187 pp.
- LOW, A.J. (1954). The study of soil structure in the field and the laboratory. *Journal of Soil Science*, 5: 57-74.
- SAVAGE, S.M. (1974). Mechanism of fire-induced water repellency in soil. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, 38: 652-657.
- SOTO, B.; BENITO, E. & DÍAZ-FIERROS, F. (1991). Heat-induced degradation processes in forest soils. *International Journal of Wildland Fire*, 1(3): 147-152.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33: 141-163.
- VARELA, M.E.; BENITO, E. & DE BLAS, E. (2005). Impact of wildfires on surface water repellency in soils of northwest Spain. *Hydrological Processes*, 19: 3649-3657.