

El color como indicador de la intensidad de los incendios en suelos de Galicia: Resultados preliminares

Color as an indicator of fire intensity on soils of Galicia, NW Spain: Preliminary results

Patricia Sanmartín^(*,S), Javier Cancelo-González, María E. Rial, Benita Silva, Francisco Díaz-Fierros, Beatriz Prieto

Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago de Compostela. Campus Vida, 15782 -A Coruña, España.

(*) Email: patricia.sanmartin@usc.es

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Recibido / Received: 13/07/2010. Versión revisada / revised versión: 16/09/2010. Aceptado / Accepted: 17/09/2010

RESUMEN:

Este trabajo pretende ser una primera aproximación al estudio de la relación existente entre las variaciones de color que se producen en los suelos gallegos y la temperatura que éstos alcanzan durante un incendio, con el fin de valorar el uso del color del suelo como indicador de la intensidad de un incendio. Con este fin se realizó una quema controlada de muestras inalteradas del horizonte superficial de un Regosol úmbrico en el laboratorio empleando lámparas de infrarrojos hasta alcanzar una temperatura de 200°C y 400°C a 1 cm de profundidad desde la superficie, utilizando muestras sin quemar como control. Sobre la superficie de cada una de las muestras quemadas y sin quemar se determinó el color en 220 puntos con un colorímetro portátil, trabajando posteriormente con las notaciones de color Munsell y CIELAB. Los resultados obtenidos mostraron cambios significativos en el tono (*Hue* Munsell y h_{ab} CIELAB), entre las muestras que alcanzaron distintas temperaturas, no así en los valores de intensidad (*Croma* Munsell y C_{ab}^* CIELAB) y claridad (*Value* Munsell y L^* CIELAB), que sólo variaron de forma significativa entre las muestras sin quemar y las muestras quemadas. Esto parece indicar que será el tono el parámetro a tener en cuenta en el uso del color como indicador de la intensidad de incendios en suelos de Galicia.

Palabras clave: Color del Suelo, Intensidad del Incendio, Quema Controlada, CIELAB, Notación Munsell.

ABSTRACT:

This work is a preliminary approach to the study of the relationship between soil color changes and the temperature reached as a consequence of fires, in order to assess the applicability of soil color as an indicator of the fire intensity. For this purpose a controlled burn of undisturbed soil samples of the surface horizon of an Umbric Regosol was conducted in the laboratory with infrared lamps until the soil at 1 cm deep reaches a temperature of 200°C or 400°C. Unburned samples were used as control. Soil color of the surface of the burned and unburned samples was determined on 220 points with a portable colorimeter and represented in the CIELAB color space and Munsell notation. The results showed significant changes in the hue of soil (*Hue* Munsell and h_{ab} CIELAB) between samples reaching different temperatures (200°C or 400°C) however significantly change in color intensity (*Croma* Munsell and C_{ab}^* CIELAB) and brightness (*Value* Munsell and L^* CIELAB) only was noticed between the burned and unburned samples. This suggests that the hue of soil is the parameter to take into account in the use of color as an indicator of fire intensity on soils of Galicia.

Key words: Soil Color, Fire Intensity, Controlled Burn, CIELAB Color Space, Munsell Notation.

REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] <http://www.greenpeace.es>
- [2] X. L. Pereiras, *Os Incendios Forestais en Galicia*. Baía Edicións, A Coruña. pp. 3-70. (2001).
- [3] C. G. Wells, R. E. Campbell, L. F. DeBano, C. E. Lewis, R. L. Fredriksen, E. C. Franklin, R. C. Froelich, P. H. Dunn, "Effects of fire on soil". *Gen. Tech. Rep. WO-7*, U.S. For. Serv., Washington, DC. (1979).
- [4] C. Chandler, P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud, D. Willianms, *Fire in Forestry: Forest Fire Behavior and Effects*, Vol. I. Wiley-Interscience, New York (1983).
- [5] B. Soto, F. Díaz-Fierros, "Interactions between plants ash leachates and soil", *Int. J. Wildland Fire* **3**, 207-216 (1993).
- [6] B. Soto, R. Basanta, F. Díaz-Fierros, "Effects of burning on nutrient balance in an area of gorse (*Ulex europaeus* L.)", *Sci. Total Environ.* **204**, 271-281 (1997).
- [7] Munsell Color Company, *Munsell Soil Color Charts*, Munsell Color, GretagMacbeth, New Windsor, NY (2000).
- [8] IUSS Grupo de Trabajo WRB, "Base referencial mundial del recurso suelo. Primera actualización 2007". *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103*. FAO, Roma. (2007).
- [9] A. M. Mouazen, R. Karoui, J. Deckers, J. De Baerdemaeker, H. Ramon, "Potential of visible and near-infrared spectroscopy to derive colour groups utilising the Munsell soil colour charts", *Biosyst. Eng.* **97**, 131-143 (2007).
- [10] G. Wyszecki, W.S. Stiles, *Color Science. Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, John Wiley and Sons, New York (1982).
- [11] CIE Publication 15:2004, 3rd Edition, *Colorimetry (Technical Report)*, CIE Central Bureau, Vienna (2004).
- [12] CIE Publication 116-1995, *Industrial Color-Difference Evaluation*, CIE Central Bureau, Vienna (1995).
- [13] Publication 142-2001, *Improvement to Industrial Color-Difference Evaluation*, CIE Central Bureau, Vienna (2001).
- [14] R.S. Berns, *Bilmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*, 3rd Ed., John Wiley and Sons, New York (2000).
- [15] H.G. Völz, *Industrial Color Testing*, Wiley –VCH, Weinheim (2001).
-

1. Introducción

Más de la mitad de los incendios forestales que tuvieron lugar en España en la última década ocurrieron en Galicia, una de las regiones europeas con mayor densidad de masa forestal, siendo el verano más crítico el de 2006 cuando casi 2000 incendios arrasaron más de 85000 hectáreas de suelo [1].

Los incendios dan lugar a un importante impacto ambiental que afecta a todos los componentes del ecosistema, tanto a las comunidades de seres vivos (fauna, vegetación, microorganismos) como al medio físico (suelo, recursos hídricos, atmósfera, microclima). La magnitud de este impacto depende muy directamente de la intensidad del incendio, la frecuencia y amplitud del mismo, así como de la estación del año en la que se produce.

La intensidad de un incendio se define como la energía liberada por unidad de tiempo y por unidad de longitud del frente del incendio [2] y depende de la temperatura máxima alcanzada y del tiempo de exposición al fuego [3]. Así se pueden clasificar en

función de la temperatura a la cual se ve sometido el suelo, siendo suaves cuando la superficie del suelo alcanza temperaturas comprendidas entre 100 y 250°C y la temperatura a 1-2 cm de profundidad no excede los 100°C; en estos casos el horizonte superficial del suelo presenta cenizas negras formadas por restos vegetales chamuscados. Cuando la temperatura oscila entre 300 y 400°C en superficie, con desaparición de la hojarasca y los restos vegetales al producirse la combustión parcial de la materia orgánica, y alcanza entre 200-300°C a 1cm de profundidad, los incendios son moderados. En el caso de fuegos intensos el suelo presenta cenizas blancas, lo que indica una combustión total de la materia orgánica, alcanzándose en la zona más superficial temperaturas comprendidas entre 500 y 700°C, y a 2 ó 3 cm de profundidad temperaturas de 150-400°C [4].

A pesar de que el impacto de los incendios sobre los suelos forestales gallegos es bien conocido [5,6] y han sido muchos los casos en los que se han descrito variaciones apreciables en el color del

suelo (como el ennegrecimiento debido a carbonización parcial o total de la materia orgánica y el enrojecimiento debido a la deshidratación de los óxidos de Fe), la variación de los parámetros de color y su relación con la intensidad del fuego no han sido hasta ahora determinados en el contexto de los suelos gallegos. Así, el objetivo de este trabajo es analizar qué parámetros colorimétricos pueden ser empleados como indicadores de la intensidad de los incendios a partir de experimentos de laboratorio con muestras de suelo. Se presentan aquí los primeros resultados.

2. Materiales y métodos

Se utilizaron para este estudio un total de 6 muestras de suelo recogidas en campo en cajas de acero inoxidable de 12x20x45 cm, evitando que su estructura fuese alterada. El suelo estudiado presentaba un perfil AC con un epipedon úmbrico y un porcentaje de materia orgánica muy elevado, de aproximadamente 10%. Las muestras se tomaron en un pastizal con gramíneas, en zona abierta arbolada con pinos.

Las muestras, con un contenido de humedad de aproximadamente el 4%, fueron sometidas a choques térmicos en el laboratorio empleando ocho lámparas infrarrojas Philips IR375CH ubicadas a 10cm de la superficie del suelo (Fig. 1). La temperatura fue monitorizada a 1cm de profundidad desde la superficie, hasta alcanzar temperaturas de 200°C y 400°C. Los experimentos se realizaron por duplicado y se utilizaron muestras sin quemar como control.

La monitorización del calentamiento en cada una de las muestras durante los choques térmicos mostró diferencias entre los periodos de calentamiento necesarios para alcanzar la misma temperatura entre las replicas (Fig. 2), lo que puede ser debido a una distinta difusividad térmica de las muestras.

Tras los choques térmicos, cada muestra se dividió en 44 zonas de medida (Fig. 3), en cada una de las cuales se realizaron 5 medidas de color por contacto empleando un colorímetro portátil *Minolta* con cabezal CR-310, de 50 mm de diámetro. Las condiciones de medida fueron: iluminante D65, observador 2°, geometría de medida d/0° con componente especular incluida.



Fig. 1. Quema controlada de las muestras de suelo en el laboratorio.

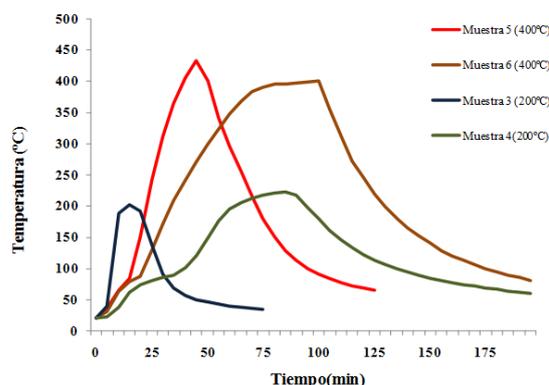


Fig. 2. Curvas de calentamiento de las muestras de suelo sometidas a choques térmicos.

Las medidas de color se analizaron considerando el espacio de color CIELAB, que está basado en el modelo de los colores opuestos. La variable L^* es una medida de la claridad, luminosidad o luminancia que varía de 100 (blanco absoluto) a 0 (negro absoluto), mientras que las componentes a^* y b^* definen las componentes de color rojo-verde y amarillo-azul, respectivamente. Así, un valor negativo de a^* define un color más verde que rojo, mientras que un valor positivo de b^* define un color más amarillo que azul. Además de este grupo de coordenadas escalares ($L^* a^* b^*$) el espacio CIELAB puede ser representado mediante otro sistema de coordenadas cilíndricas o polares que sustituye a^* y b^* por *croma*

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}, \quad (1)$$

y ángulo tono

$$h_{ab} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right). \quad (2)$$

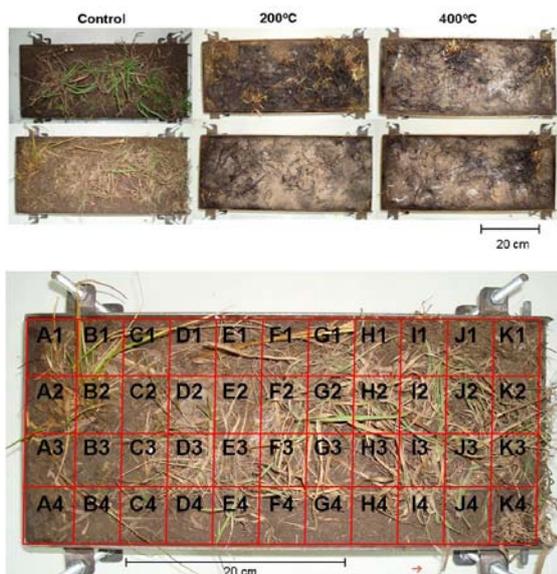


Fig. 3. Aspecto de las seis muestras de suelo al medir su color (arriba). Esquema que muestra las 44 parcelas en las que se dividió la superficie de cada una de las muestras para las medidas de color (abajo).

Considerar las coordenadas cilíndricas ($L^*C_{ab}^*h_{ab}$) en lugar de las escalares ($L^*a^*b^*$) permite cuantificar el color del mismo modo que es percibido, es decir considerando los tres atributos de apreciación visual: claridad o luminosidad (su análogo en CIELAB es L^*), croma o intensidad (su análogo en CIELAB es C_{ab}^*) y tono o matiz, (su análogo en CIELAB es h_{ab}). De la misma forma que $L^*C_{ab}^*h_{ab}$, la notación Munsell tiene en cuenta la percepción humana del color al definir sus parámetros: *Hue*, que representa el tono, *Value*, que representa la claridad, y *Croma* que representa la intensidad. Utilizando el programa de conversión de Munsell (CMC 2, versión 6.5.5) se determinaron los valores del sistema Munsell (*Value*, *Hue* y *Croma*) a partir de los valores de los parámetros CIELAB obtenidos con el colorímetro portátil *Minolta*.

Está internacionalmente aceptado y extendido el uso de las claves de color Munsell en el estudio del color del suelo [7-9] empleando un número limitado de fichas (en los Atlas Munsell para suelos el número de fichas caracterizadas cada una por un *Hue*, *Value* y *Croma* es 175). Sin embargo este criterio de medida depende de una serie de variables como son la luz incidente, el entorno de la muestra y la percepción de la persona que hace la medida. Por estos motivos hemos considerado en este estudio el empleo de un instrumento

(colorímetro) que permite una caracterización objetiva del color del suelo.

Por otra parte, el espacio de color CIELAB permite cuantificar la diferencia de color entre dos muestras mediante la combinación de las diferencias de sus tres coordenadas, tanto escalares como cilíndricas, en un espacio euclidiano. Este es el fundamento de la fórmula clásica de 1976 de diferencia de color CIELAB [10] definida en la Ec. (3), que asume la uniformidad del espacio de color

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta C_{ab}^*)^2 + (\Delta H_{ab}^*)^2} \quad (3)$$

Posteriormente, reconocida la falta de uniformidad de este espacio, la fórmula de distancia euclídea para medir la diferencia de color, ha sido progresivamente revisada y mejorada. La mayoría de las fórmulas de diferencia de color modernas parten de las coordenadas en el sistema CIELAB, introduciendo factores de ponderación apropiados sobre las diferencias CIELAB de claridad, croma y tono [11]. Estos factores de ponderación se introducen para corregir la falta de uniformidad perceptual del sistema, y así surgen, las fórmulas de diferencia de color CIE94 [12] y CIEDE2000 [13], definidas en las Ecs. (4) y (5) respectivamente:

$$\Delta E_{94}^*(k_L : k_C : k_H) = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{k_H S_H}\right)^2} \quad (4)$$

$$\Delta E_{00}(k_L : k_C : k_H) = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C' \Delta H'}{k_C S_C k_H S_H}\right)^{1/2}} \quad (5)$$

donde los valores k_L , k_C , k_H sirven para ajustar las contribuciones relativas de claridad, croma y tono, y así adoptando los valores $k_L=1$, $k_C=1$, $k_H=1$ las fórmulas que se obtienen son CIE94 (1:1:1) y CIEDE2000 (1:1:1); y aumentando la contribución relativa a la diferencia de claridad, $k_L=2$, $k_C=1$, $k_H=1$, las fórmula son CIE94 (2:1:1) y CIEDE2000 (2:1:1). En cuanto a la importancia relativa de estas correcciones (CIE94 y CIEDE2000), los autores destacan que la mejora de CIE94 sobre CIELAB es notablemente superior a la mejora de CIEDE2000 sobre CIE94.

Todos los datos fueron tratados estadísticamente mediante análisis de varianza multivariable (MANOVA) empleando el paquete estadístico SPSS 17.0.

3. Resultados y discusión

En la Tabla I se muestran los valores medios de cada parámetro de color para cada una de las seis muestras del estudio, indicando con superíndices (a-c) los resultados del análisis de varianza multivariable (MANOVA). El análisis estadístico MANOVA realizado entre los tres conjuntos de muestras que habían alcanzado diferente temperatura, i.e. control, 200°C y 400°C, mostró diferencias significativas en todos los parámetros de color estudiados entre las muestras sin quemar (Muestras 1 y 2) y quemadas (Muestras 4 – 6); produciéndose un descenso de la claridad, reflejado en los valores de *Value* y L^* , y un descenso de la intensidad del color, marcado por *Croma* y C_{ab}^* , que probablemente estén debidos a la carbonización de la materia orgánica. Además, se produjo un empardecimiento-enrojecimiento del suelo reflejado en los valores de *Hue*, el descenso de h_{ab} , el aumento de a^* y el descenso de b^* , que debe atribuirse simplemente a la desaparición de los

componentes orgánicos del suelo que enmascaraban el color de los componentes inorgánicos, principalmente óxidos de Fe. Sin embargo ninguno de estos cambios, al ocurrir entre muestras quemadas y sin quemar, informa acerca de la intensidad del incendio.

La comparación entre los valores de los suelos quemados a 200°C y a 400°C muestra que los únicos parámetros que establecen diferencias significativas son aquellos que se refieren a *Hue* Munsell y h_{ab} CIELAB. En este caso, las diferencias pueden ser asignadas principalmente a variaciones en el estado de deshidratación, de los compuestos de hierro como el cambio de goethita de un color anaranjado a hematite de color rojo sangre, ambos eficaces agentes pigmentantes.

Por otra parte, aunque entre los valores de *Value* Munsell y L^* CIELAB a 200°C y 400°C no ocurre una variación que pueda considerarse significativa desde un punto de vista estadístico, debe notarse que el valor de ambos parámetros aumenta, lo cual, sin duda es debido a la aparición en el suelo quemado a 400°C de residuos de ceniza blanca.

Tabla I

Valores medios Munsell de tono (*Hue*), intensidad (*Croma*) y claridad (*Value*) y CIELAB de claridad (L^*), coordenada rojo-verde (a^*), coordenada amarillo-azul (b^*), croma (C_{ab}^*) y ángulo tono (h_{ab}) para las 6 muestras del estudio.

Temperatura alcanzada		<i>Hue</i>	<i>Croma</i>	<i>Value</i>	L^*	a^*	b^*	C_{ab}^*	h_{ab}
Control	Muestra 1	3,50Y ^a	1,30 ^a	3,40 ^a	34,72 ^a	-0,04 ^a	12,80 ^a	13,17 ^a	86,73 ^a
	Muestra 2	0,05Y ^a	1,90 ^a	3,10 ^a	31,77 ^a	2,89 ^a	11,15 ^a	11,59 ^a	75,21 ^a
200°C	Muestra 3	9,00YR ^b	0,99 ^b	2,20 ^b	22,60 ^b	1,79 ^b	5,70 ^b	6,03 ^b	68,92 ^b
	Muestra 4	8,88YR ^b	1,01 ^b	2,69 ^b	27,73 ^b	2,31 ^b	5,80 ^b	6,25 ^b	67,61 ^b
400°C	Muestra 5	7,93YR ^c	0,88 ^b	2,44 ^b	24,32 ^b	2,20 ^b	4,79 ^b	5,30 ^b	63,05 ^c
	Muestra 6	8,20YR ^c	0,99 ^b	2,77 ^b	28,36 ^b	2,59 ^b	5,41 ^b	6,02 ^b	63,41 ^c

Valores medios con distinto superíndice (a-c) para cada parámetro de color en relación a la temperatura alcanzada difieren significativamente ($\alpha : 0,05$)

Tabla II

Diferencia total de color, empleando la fórmula clásica CIELAB [10] y las fórmulas más recientes y mejoradas basadas en CIELAB: CIE94 (1:1:1) y CIE94 (2:1:1) [12], así como CIEDE2000 (1:1:1) y CIEDE2000 (2:1:1) [13].

	CIELAB	CIE94 (1:1:1)	CIE94 (2:1:1)	CIEDE2000 (1:1:1)	CIEDE2000 (2:1:1)
Control - 200°C	10,22	9,31	6,14	7,71	5,53
Control - 400°C	9,79	8,67	6,28	7,44	5,86
200°C - 400°C	1,39	1,34	0,87	1,23	0,95

Finalmente, teniendo en cuenta las diferencias totales de color (Tabla II) cabe destacar que éstas son perceptibles, i.e. son superiores a 3 unidades CIELAB [14,15] entre las muestras sin quemar y las quemadas; en cambio no son perceptibles entre los suelos quemados a dos intensidades diferentes (200°C y 400°C).

4. Conclusiones

En este trabajo se muestran los primeros resultados del empleo del color como indicador de la intensidad de los incendios en suelos de Galicia, concluyéndose que de entre los parámetros de color analizados son *Hue* Munsell y h_{ab} CIELAB los que

marcan la diferencia entre incendios de intensidad ligera (200°C) y moderada (400°C). A este respecto los resultados son muy prometedores y los futuros estudios irán dirigidos al establecimiento de intervalos más estrechos de temperatura que permitan obtener información acerca de los cambios de los compuestos de hierro, que serán completados con datos físicos, químicos y mineralógicos.

Agradecimientos

Al Ministerio de Educación y Ciencia por la concesión de las becas BES-2007-16996 y AP2006-03856.