

POTENCIAL REDOX DE LA FASE LIQUIDA DEL SUELO Y NIVELES DE CLAREO EN UNA POBLACIÓN NATURAL DE *QUERCUS ROBUR* EN GALICIA (NO ESPAÑA)

Margarita Alonso Santos, M^a Francisca Ignacio Quinteiro, M^a José Rozados Lorenzo, M^a Teresa Fontúrbel Lliteras y Francisco Javier Silva-Pando

Centro de Investigaciones Ambientales. CINAM-Lourizán. Apdo127. 36080-PONTEVEDRA (España). Correo electrónico: malonso.cifal@siam-cma.org

Resumen

La acumulación de restos orgánicos en el suelo después de un clareo, las raíces de los árboles apeados y la modificación del régimen térmico en el suelo superficial podrían alterar las condiciones redox en el suelo. Se evalúan los cambios en el potencial redox (Eh) de la fase líquida del suelo, expresados como rH, originados a corto y medio plazo después de tratamientos de clareo (0, 15, 35 y 55% de reducción del área basimétrica del arbolado), realizados en un bosque natural de *Quercus robur* L. de 30-40 años de edad y establecido sobre suelos tipo *Umbrisol húmico*. Los tratamientos de clareo se hicieron en mayo del 2000, se utilizó un diseño de bloques al azar con 4 niveles de clareo en cada uno de ellos, dejando los árboles apeados en el lugar de corta. Estacionalmente se realizaron muestreos de suelo a dos profundidades, desde marzo de 2001 hasta diciembre de 2002, y posteriormente en diciembre del 2003 y en junio de 2006. Después de 6 años de efectuado el clareo, se observaron incrementos significativos del rH de la solución de suelo (0-20 cm) en las parcelas con clareo intenso (55%) con respecto a las testigo, se discuten algunas correlaciones encontradas con parámetros de hojarasca y lixiviado de nutrientes. En el suelo (20-40 cm) se aprecia una tendencia similar pero no estadísticamente significativa. Estos resultados parecen indicar que un clareo intenso (55%), a medio plazo, tiende a favorecer un ambiente más oxidante en la solución del suelo que en las parcelas control.

Palabras clave: *Quercus robur*, Tratamientos silvícolas, Potencial redox, rH, Suelos

INTRODUCCION

La medida del Eh del suelo ha atraído la atención de algunos investigadores, aunque la literatura sobre el tema no es extensa y a veces es controvertida (ROWELL, 1981; KAURICHEV & ORLOV, 1982). Es difícil obtener resultados reproducibles si la medida es directa sobre el suelo ya que ha de controlarse a la vez la temperatura, el pH y un buen contacto entre los electrodos y el suelo; los resultados son más reproducibles si la

medida es en el laboratorio, en soluciones suelo-agua. No obstante se ha dicho que la interpretación termodinámica del valor del Eh en sistemas biológicos es imposible porque la naturaleza de los procesos en sistemas vivos, y particularmente en los suelos, es compleja, irreversible y no está en equilibrio (MIKHAELIS, 1936; NEKRASOV, 1938, referidos por SNAKIN, 2001). A pesar de ello, algunos autores han determinado el potencial redox del suelo para múltiples propósitos (HAGEDORN et al., 2000; PEZESHKI et al., 1996,

1999; PEZESHKI & DELAUNE, 1998, 2002). El Eh de la solución de suelo, por su dependencia con el pH, no es útil para hacer comparaciones, por lo que se usa el Eh a un pH concreto o bien el valor del rH, definido como $-\log P_{H_2}$, que nos indica el potencial reductor del medio, en nuestro caso de la solución del suelo. El valor del rH se obtiene midiendo pH y Eh a la vez de la solución de suelo, bajo corriente de N_2 y a una temperatura concreta, valores más altos del Eh a un determinado pH y valores más altos del rH indican condiciones más oxidantes, y viceversa, condiciones más reductoras del medio (DUCHAUFOR, 1960). Este estudio se enmarca dentro de otro más amplio para analizar el efecto del nivel de clareo en una población de *Quercus robur* sobre algunos parámetros edáficos y foliares, de los que se tienen resultados en los tres primeros años después del clareo (ALONSO et al., 2005), y tiene como objetivo analizar el efecto del nivel de clareo en esta especie sobre las condiciones de oxidación-reducción en el suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en los montes de A Candeira y O Cordon, en una superficie aproximada de 3 ha en el lugar de Insuela, Vilalén, municipio de Cotobade, provincia de Pontevedra. El clima es atlántico, subtipo fitoclimático Nemoral genuino (ALLUE, 1990), la precipitación media anual es 1600-1800 mm y la temperatura media anual es de 12-13°C (MARTÍNEZ Y PÉREZ, 1999). Los suelos son tipo *Umbrisol húmico* (CALVO Y MACIAS, 2002), con textura franco-arenosa (ISSS system), desarrollados sobre gneises glandulares. La mayoría de las parcelas en la zona de estudio están orientadas al N-NO, con una pendiente de 30-40% y a una altitud de 400m. La comunidad estudiada corresponde a una formación de *Rusco aculeati-Quercetum roboris* (RIVAS, 1987), cuya especie arbórea dominante es *Quercus robur*.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar (3 bloques) con 4 tratamientos de clareo en cada uno de ellos (0, 15, 35 y 55% reducción del área basi-

métrica del arbolado). En cada bloque se delimitaron 4 parcelas de 30x30m, correspondiendo cada una de ellas a un tratamiento de clareo.

Calendario de actividades

El establecimiento de las parcelas se realizó en 1999; en mayo del 2000 se aplicaron los tratamientos de clareo, dejando los árboles apeados en el lugar. Los muestreos de suelo para la determinación del potencial redox (Eh) se hicieron con barrena Riverside, y se recogieron tres muestras compuestas de suelo (procedentes cada una de ellas de 3 submuestras aleatorias) en cada parcela a 0-20 y 20-40 cm de profundidad en las fechas: dic 00, mar, jun, sep y dic 01, mar, jun, sep y dic 02, dic 03 y jun 06. Una vez las muestras han llegado al laboratorio, se congeló una alícuota de cada una de ellas para mantener su condición de suelo fresco.

Métodos analíticos

Los suelos se descongelan en nevera a 4°C, el día anterior a su determinación. Para la obtención de la solución de suelo se hace una pasta saturada del mismo adicionándole agua destilada (RHOADES, 1996). A 15 g de esta pasta saturada se le añaden 30 ml de agua destilada, se homogeniza y se deja 2 horas en contacto, luego se filtra a vacío. La medida del Eh se realizó en un 713pHmeter Metrohm, utilizando un electrodo de platino Metrohm 6.0351.100 Pt y como electrodo de referencia un Metrohm 6.0726.100 Ag, AgCl 3M KCl. A su vez se realizó una medida del pH con un electrodo de vidrio Metrohm 6.0123.100 pH. La medida del Eh en la solución se lleva a cabo a T° 25°C en un baño termostaticado y con burbujeo de N_2 . La calibración del equipo para la medida del Eh se hizo con disolución de ZoBell y se siguió el procedimiento descrito por NORDSTROM (1998). El valor del Eh se corrigió añadiéndole el potencial del electrodo de referencia respecto al electrodo estándar de hidrógeno (209 mV). Debido a la dependencia del Eh con el pH, se calculó el rH ($-\log(P_{H_2})$) (CLARK, 1961). De la ecuación de Nerst se deduce que $rH = Eh/30 + 2.pH$, expresando Eh en mV. El rH expresa un índice del poder reductor del hidrógeno, eliminando la influencia del pH. Para visualizar comparativamente el valor del Eh a un pH determinado, se calculó también el Eh a

pH 7, $Eh_7 = Eh + (pH - 7) \cdot 59$ (MEGONIGAL et al., 1993). Valores más altos del Eh a un pH concreto ó valores más altos del rH indican condiciones más oxidantes del medio.

Análisis estadístico de los datos

Los datos han sido analizados con el paquete estadístico SPSS v.11. Se ha hecho un análisis de varianza de medidas repetidas con dos factores entresujeto: bloque (con 3 niveles) y clareo (con 4 niveles correspondientes a 0, 15, 35 y 55% de reducción del área basimétrica) y un factor intrasujeto: fecha de muestreo, con 11 niveles. Se realizó un análisis de correlación para ver si existía asociación estadística con otros parámetros de hojarasca y mantillo (C, N, Ca, Mg, K, P, Fe, Cu, Zn y Mn), suelo (C, N Ca, Mg y K cambiables, P utilizable, macro y micronutrientes lixiviados en los primeros cm de suelo, temperatura y radiación PAR) y de la masa arbórea (volumen de madera en pie, volumen de madera apeada, altura, área basimétrica, crecimiento en volumen del arbolado).

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del nivel de clareo sobre las condiciones redox en el suelo

A la vista de lo observado en la figura 1, después de 6 años de efectuado el clareo, en la solución de suelo de los primeros 20 cm de profundidad se observan valores significativamente más altos del rH en las parcelas con clareo más intenso (55%) con respecto a las testigo. De esto se deduce que después de este tiempo, la eliminación del 55% del área basimétrica del arbolado tiende a favorecer un ambiente más oxidante en la solución del suelo en los primeros 20 cm. Este cambio en el rH supone una variación en el valor medio del Eh a pH7 de 403mV para las parcelas testigo a 432 mV para las parcelas con clareo intenso. Observando los gráficos Eh-pH (BROOKINS, 1988), esta diferencia no es suficiente para modificar, en líneas generales, la especiación de la mayoría de nutrientes en la solución del suelo, aunque sí podría influir en que el nitrógeno estuviera como nitrito o nitrato en la solución de suelo, ya que el Eh a pH 7 de este par redox es de 421 mV (ROWELL, 1981); DELAUNE et al., 1998,

observaron que el incremento del Eh en el suelo favorecería la absorción de nitrógeno y la actividad fotosintética de plantas de roble (*Quercus falcata*); a este respecto, solo hemos encontrado que el rH del suelo a 0-20 cm, en dic 00 estaba correlacionado positivamente con la cantidad de nitratos lixiviados posteriormente, a partir de jun 01 ($R = 0,621$; $p < 0,05$) y hasta dic 02, fecha en que se desmontaron los lisímetros; así mismo, 3 meses después, en mar 01, este rH se correlacionó también positivamente con los crecimientos en volumen de madera entre 2000 y 2002 ($R = 0,613$; $p < 0,05$). GLINSKI & STEPNIIEWSKA (1986) propusieron la medida de las propiedades buffer redox de un suelo como el tiempo necesario para que un suelo baje su Eh a un T^a dada a 400mV. Este indicador, denominado t_{400} , parece ser de importancia para la estabilidad de los nitratos en el suelo y la iniciación de los procesos de desnitrificación (STEPNIIEWSKA, 1994; STEPNIIEWSKA et al., 2000). El valor promedio del rH en jun 06 en cada parcela se correlacionó positivamente con el contenido promedio de nitrógeno en la hojarasca, en dic 02 ($R = 0,875$; $p < 0,01$) y negativamente con la razón C/N ($R = -0,853$; $p < 0,01$); esto enlaza con el incremento de la concentración de nitrógeno y descenso de la razón C/N encontrados en las parcelas con clareo intenso en los dos primeros años del experimento en relación a las parcelas testigo (ALONSO et al., 2005). El primer cambio significativo, observado en el tiempo, es en junio del 2001 y en la solución de suelo correspondiente a 20-40 cm de profundidad, en la que observamos un descenso significativo del rH en las parcelas con clareo más intenso (55%) con respecto a las testigo. El rH en esta fecha y para este horizonte, no se correlacionó con parámetros de suelo ni de lixiviado de nutrientes, posiblemente pudiera estar relacionado con lixiviado de materia orgánica soluble que aportaría condiciones reductoras y podría inducir un rH más bajo. Después de 6 años del clareo, en junio del 2006, se observa también en este horizonte una tendencia a valores más altos de rH en las parcelas con clareo más intenso, como en el horizonte superior, aunque el efecto aún no es significativo. Este rH de la solución de suelo a 20-40 cm se correlacionó positivamente con la temperatura media diaria en el verano del 2001 ($R = 0,743$; $p < 0,01$).

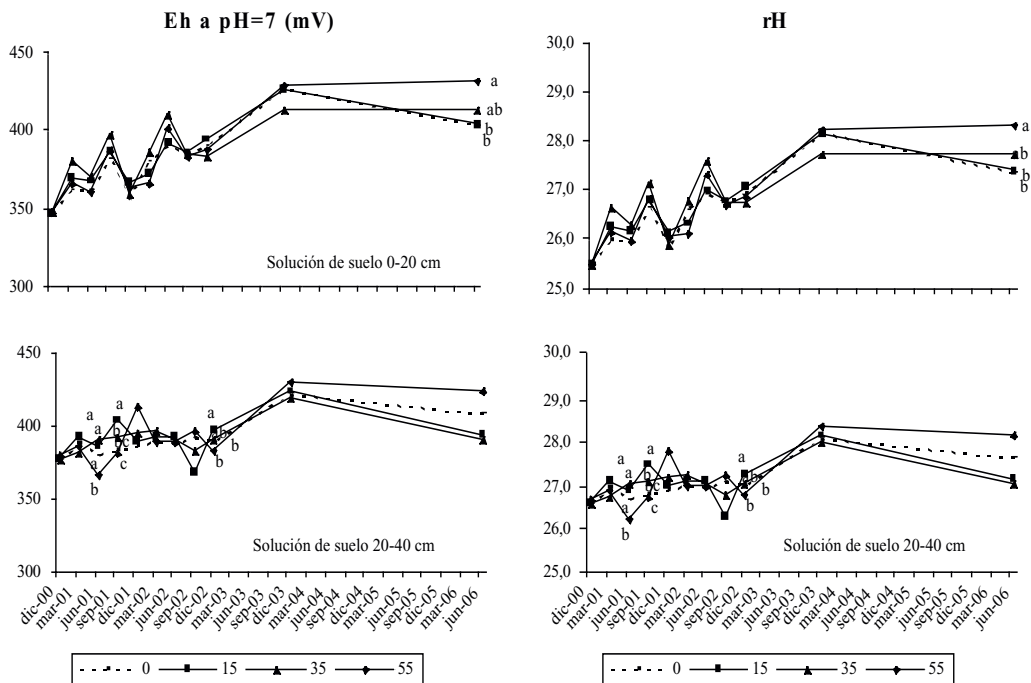


Figura 1. Valores promedio del Eh a pH 7 y el rH en la solución del suelo a 0-20 y 20-40 cm de profundidad. Letras distintas para una misma fecha de muestreo indican diferencias significativas entre los tratamientos de clareo (0, 15, 35 y 55% de reducción del área basimétrica del arbolado) según el test Duncan ($p < 0.05$)

CONCLUSIONES

En una población natural de *Quercus robur* es necesario un período de 6 años y un clareo del 55% de reducción del área basimétrica del arbolado, para observar cambios en las condiciones redox de los primeros 20 cm de suelo. Estas variaciones se traducen en incrementos significativos del rH de la solución del suelo, lo que nos indica un ambiente más oxidante en la misma. En clareos de menor intensidad (15 y 35%) no se observaron cambios en relación a las parcelas testigo.

Agradecimientos

A la Xunta de Galicia, que ha financiado el proyecto PGIDT00MAM5021PR y al INIA, que ha financiado el proyecto SC098-062, gracias a los cuales se ha podido realizar este trabajo. A las auxiliares de laboratorio L. Queimadelos, M. Fernandez y A. Soliño, a los auxiliares de campo

A. Pazos, E. Diz y J. Ríos, y a los estudiantes de Química en prácticas de la USC, así como a los de ciclos superiores de los IES Manuel Antonio y Ricardo Mella de Vigo, por su colaboración.

BIBLIOGRAFIA

- ALLUE, J.L.; 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. I.N.I.A. Madrid.
- ALONSO, M; IGNACIO, M.F; NÚÑEZ, M; ROZADOS, M.J; SILVA, F.J. Y FONTURBEL, M.T.; 2005. Cambios a corto plazo en el nivel de algunos parámetros edáficos y foliares después de una clara en una masa de *Quercus robur* en Galicia, NO de España. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 20: 47-53.
- BROOKINS, D.G.; 1988. *Eh-pH Diagrams for Geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- CALVO, R. Y MACIAS, F.; 2002. *Mapa de suelos de Galicia. Escala 1:50.000. Hoja 186.*

- S.I.A.M. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- CLARK, W.M.; 1961. *Oxidation-reduction Potential of organic systems*. Williams and Wilkins. Baltimore.
- DELAUNE, R.D.; PEZESHKI, S.R.; LINDAU, C.W.; 1998. Influence of soil redox potential on nitrogen uptake and growth of wetland oak seedlings. *J. Plant Nut.* 21 (4): 757-768.
- DUCHAUFOR, P.; 1960. *Precis de Pedologie*. Masson & Cie. Ed. Paris.
- GLINSKI, J. & STEPNIWSKA, Z.; 1986. An evaluation of soil redox resistance to reduction processes. *Pol. J. Soil Sci.* 19: 15-19.
- HAGEDORN, F.; KAISER, K.; FEYEN, H. & SCHLEPPI, P.; 2000. Effects of redox conditions and flow processes on the mobility of dissolved organic carbon and nitrogen in a forest soil. *J. Environ. Qual.* 29 (1): 288-297.
- KAURICHEV, I.S. & ORLOV, D.S.; 1982. *Redox processes and their role in soil genesis and fertility*. Kolos Publ. Moscow.
- MARTÍNEZ, A. Y PÉREZ, A.; 1999. *Atlas climático de Galicia*. Xunta de Galicia. Consellería de Medio Ambiente. Santiago de Compostela
- MEGONIGAL, J.P.; PATRICK, W.H. & FAULKNER, S.P.; 1993. Wetland identification in seasonally flooded forest soil: soil morphology and redox dynamic. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57(1): 140-149.
- MIKHAELIS, L.; 1936. *Redox potentials and their physiological value*. ONTI Publ. Moscow.
- NEKRASOV, N.I.; 1938. The non-equilibrium redox potential. *J. Phys. Chem.* 11: 84-98.
- NORDSTROM, D.K. & WILDE, F.D.; 1998. Reduction-oxidation potential (electrode method). In: F.D. Wilde, D.B. Radtke, J. Gibs & R.T. Iwatsubo (eds.), *National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data, U.S. Geological Survey Techniques in Water-Resources Investigations Book 9*, Handbooks for water-Resources Investigations, A6.5.
- PEZESHKI, S.R.; PARDUE, J.H. & DELAUNE, R.D.; 1996 Leaf gas exchange and growth of flood-tolerant and flood-sensitive tree species under low soil redox conditions. *Tree Physiol.* 16: 453-458.
- PEZESHKI, S.R. & DELAUNE, R.D.; 1998. Responses of seedlings of selected woody species to soil oxidation-reduction conditions. *Environ. Exp. Bot.* 40: 123-133.
- PEZESHKI, S.R.; DELAUNE, R.D. & ANDERSON, P.H.; 1999. Effect of flooding on elemental uptake and biomass allocation in seedlings of three bottomland species. *J. Plant Nut.* 22 9): 1481-1494.
- PEZESHKI, S.R. & DELAUNE, R.D.; 2002. Effects of soil oxidation-reduction conditions on internal oxygen transport, root aeration, and growth of wetland plants. In: *General Technical Report Southern Research Station: 139-145*. USDA Forest Service. (SRS 50)
- RHOADES, J.D.; 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: D.L. Sparks et al., (eds), *Method of soil analysis part 3 Chemical methods* 5:417-435. SSSA book series.
- RIVAS, S.; 1987. *Memoria de series de vegetación de España*. Serie técnica. I.N.I.A. I.C.O.N.A. Madrid.
- ROWELL, D.L.; 1981. Oxidation and reduction. In: D.J. Greeland & M.H.B. Hayes (eds.), *The Chemistry of Soil Processes*. John Wiley & Sons Ltd. London.
- SNAKIN, V.V. & PRISYAZNAYA, A.A.; 2001. *Soil liquid phase composition*. Elsevier. Amsterdam.
- STEPNIWSKA, Z.; 1994. Soil redox resistance as a factor of nitrate stability in the soil. In: *Migration and Fate Pollutants in Soils and Subsoils. Theory and Practice*. CNR, *Quaderni* 96: 9.1-9.7.
- STEPNIWSKA, Z.; BENNICELLI, R.P.; WEISS, U.; WŁODARCZYK, T. & STAHR, K.; 2000. Denitrification rate in soils as affect by their redox conditions. *J. Water Land Develop.* 4: 163-173.