

Actividad deshidrogenasa en dos posiciones topográficas de un suelo de cultivo

Soil dehydrogenase activity on two topographical positions of a cultivated soil

MIRÁS AVALOS, J.M.¹; SANDE FOUZ, P.¹& VIDAL VÁZQUEZ, E.¹

Abstract

Soil dehydrogenase activity is considered a good indicator of the changes in soil fertility and soil microbial activity. In this study, the seasonal evolution of the dehydrogenase activity was assessed on two different topographical positions of a hillslope thought to be representative of erosion and deposition conditions. From April 2004 to April 2005, a total of 152 soil samples was taken, at two different depths, both on the erosion and deposition areas. Furthermore, general soil properties, i.e. pH, water content, organic carbon and nitrogen contents were analyzed. Soil dehydrogenase activity ranged from 0.914 to 3.416 ml H g⁻¹ soil in the erosion area and from 0.735 to 3.189 ml H g⁻¹ soil in the deposition one. Significant differences among topographical positions were found; higher values of dehydrogenase activity were observed in the erosion area. Nevertheless, non-significant differences were observed among depths. As expected, soil dehydrogenase activity was found to be dependent on soil basal respiration and soil pH. Unexpectedly, higher values of dehydrogenase activity were found during winter which should be attributed to soil pH and soil water contents. No significant correlation between soil dehydrogenase activity and temperature was found.

Key words: basal respiration, dehydrogenase activity, erosion, seasonal oscillation, soil water content.

(1) Facultad de Ciencias. Universidade da Coruña. Campus de A Zapateira, s/n. 15071 A Coruña.

INTRODUCCIÓN

La oxidación microbiana de sustancias orgánicas bajo condiciones aeróbicas está ligada a una cadena de transporte de electrones, acoplada a la síntesis de ATP, que tiene al oxígeno como aceptor final y que se conoce como fosforilación oxidativa (LEHNINGER, 1978; ALEF, 1995). En la ruta principal del transporte electrónico, desde los sustratos orgánicos hasta el oxígeno molecular, participan cuatro tipos de enzimas de óxido-reducción, entre las que se encuentran las deshidrogenasas (LEHNINGER, 1978). Así, la actividad deshidrogenasa total de los microorganismos depende de las actividades de diferentes deshidrogenasas (VON MERSI & SCHINNER, 1991) y tiene un papel fundamental en las etapas iniciales de oxidación de la materia orgánica (ROSS, 1971).

El estudio de la actividad deshidrogenasa se considera un parámetro clave para determinar de una manera rápida los cambios que se producen en la fertilidad del suelo. La actividad deshidrogenasa es un indicador del sistema redox microbiano, por lo que se suele considerar un buen exponente de las actividades oxidativas del suelo y un indicador general de la actividad microbiana del mismo (NANNIPIERI *et al.*, 1990; CHANDER & BROOKES, 1991). Apoya esta idea el hecho de que diversos autores (AGUILERA *et al.*, 1988; VON MERSI & SCHINNER, 1991; LEIRÓS *et al.*, 2000) hayan encontrado una buena correlación entre esta actividad y la respiración del suelo, si bien esto no implica que dicha actividad constituya una estimación del número de microorganismos (CASIDA *et al.*, 1964).

La determinación de la actividad deshidrogenasa del suelo se basa en el uso de sales solubles de tetrazolio como aceptores artificiales de electrones (LENHARD, 1956; CASIDA *et al.*, 1964). Este receptor final de electrones se reduce por la acción de las enzimas deshidrogenasas formando un precipitado insoluble en agua, rojo y soluble en solventes

orgánicos que se mide colorimétricamente. Se han desarrollado diferentes ensayos de laboratorio para cuantificar esta actividad; cada uno de ellos presenta ventajas e inconvenientes (TRASAR CEPEDA *et al.*, 2003).

La erosión del suelo es un proceso degradativo. Las funciones del suelo, especialmente el almacenamiento y la infiltración, se ven dañadas por la pérdida de la capa superficial del mismo. Cuando un suelo está expuesto a degradación, su estado biológico es el primero en verse afectado, disminuyendo su capacidad productiva.

La actividad deshidrogenasa del suelo ha sido propuesta como indicador bioquímico de la degradación del suelo (GARCÍA & HERNÁNDEZ, 1997) debido, fundamentalmente a que los microorganismos que llevan a cabo esta actividad son los más activos dentro de la comunidad microbiana del suelo y, por consiguiente, esta actividad es una de las primeras en verse afectadas cuando el suelo sufre un proceso erosivo.

El objetivo de este trabajo es evaluar la incidencia de la erosión hídrica sobre la actividad deshidrogenasa del suelo en las zonas superior e inferior de una ladera cultivada de modo convencional, así como analizar su variación estacional.

MATERIAL Y MÉTODOS

La ladera estudiada se localiza en A Zapateira, un área periurbana de A Coruña (España). El campo experimental (Figura 1), sobre un lecho granítico, posee una pendiente importante (16,81%) y se encuentra cultivado de manera convencional, siguiendo el sistema de rotación común de la región. La erosión concentrada en esta ladera se ha monitorizado desde 1997 (VALCÁRCEL *et al.*, 2003). Las medias anuales de temperatura y precipitación para la zona estudiada son 14,4 °C y 1008 mm respectivamente, existiendo un déficit de agua durante el verano.

Se recogió un total de 152 muestras duplicadas en 19 fechas sucesivas entre abril de

2004 y abril de 2005. Se muestrearon dos profundidades diferentes (0-5 y 5-10 cm) en las zonas superior e inferior de la ladera que presentaban condiciones de erosión y deposición, respectivamente.

Las muestras de suelo se tamizaron a través de una luz de malla de 2 mm. Se determinaron propiedades generales del suelo tales como pH (H_2O), pH (KCl), contenido en carbono, contenido en nitrógeno y textura de acuerdo con GUITIÁN OJEA & CARBA-

LLAS FERNÁNDEZ (1976) y MAPA (1994). El pH del suelo se midió tanto en agua (1:2,5 p:v) como en una solución 0,1N de KCl (1:2,5 p:v). La distribución del tamaño de partículas se determinó mediante el método de la pipeta. El contenido en carbono orgánico se midió utilizando el método del analizador elemental que se basa en la combustión del carbono orgánico del suelo mediante una fuente de calor. El contenido de humedad del suelo se determinó gravimétricamente.



Fig. 1. Vista de la ladera estudiada.

La respiración basal del suelo se estimó en condiciones de laboratorio tal y como se describe en GUITIÁN OJEA & CARBALLAS FERNÁNDEZ (1976) y HERNÁNDEZ & GARCÍA (2003). Tras el tamizado, se introdujeron 50 g de suelo en un frasco con cierre hermético junto con un matraz con 10 ml de NaOH 0,1N que reacciona con el CO_2 produ-

cido por la respiración microbiana; una vez cerrados los frascos, se colocaron en una cámara de cultivo y se incubaron durante 4 días a 28 °C. Un frasco sin suelo se utilizó como control. Una vez finalizada la incubación, se llevó a cabo un análisis volumétrico con HCl 0,1N. Se realizaron tres repeticiones por muestra.

Por otra parte, la determinación de la actividad deshidrogenasa del suelo se basa en el uso de sales solubles de tetrazolio como aceptores artificiales de electrones. En este caso se ha utilizado el cloruro de trifentiltetrazolio (TTC) que, una vez reducido, se transforma en el trifentiltetrazolio formazán (TTF) de color rojo, cuya concentración se puede cuantificar por colorimetría tras la extracción de este formazano con metanol.

Tras el tamizado, se introdujeron 5 g de suelo en un tubo de ensayo de vidrio con cierre. Seguidamente, se añadieron a cada tubo 5 ml de una solución de TTC al 1% en agua. Se agitaron los tubos hasta la homogeneización y se incubaron al baño maría a 37 °C durante 24 horas, agitando los tubos esporádicamente. Tras este periodo se extrajo el TTF con 10 ml de metanol agitando y dejando decantar, el sobrenadante se centrifugó a 3400 rpm durante 10 minutos; la concentración de TTF se midió a una longitud de onda de 485 nm utilizando un espectrofotómetro. La actividad deshidrogenasa se determinó por duplicado.

Se analizaron las posibles diferencias significativas de la actividad deshidrogenasa del suelo en función de la posición topográfica, la estación del año y la profundidad mediante el test ANOVA utilizando el programa SPSS (PÉREZ LÓPEZ, 2005) en su versión 14.0; de este modo se agruparon los resultados dependiendo de las diferencias que presentaron. Por otra parte, se llevó a cabo un análisis de regresión lineal y correlación mediante el coeficiente de correlación r de Pearson para evaluar la significación de las correlaciones entre variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis granulométrico mostraron que la capa superficial del suelo

estudiado presenta una textura franco-limosa; el contenido en arena varió entre 56,33% y 64,72%, el contenido en limo osciló entre 17,30% y 21,01% y el contenido en arcilla lo hizo entre 15,44% y 21,91%.

En la Tabla 1 se muestra un resumen estadístico de las variables estudiadas en la zona con evidencias de erosión, teniendo en cuenta ambas profundidades muestreadas. Cuando se tuvieron en cuenta todas las muestras, el pH (H_2O) osciló entre 4,42 y 5,27 mientras que el pH (KCl) varió entre 3,66 y 4,37. Se midió un amplio rango de contenido en humedad del suelo, entre 3,17 y 24,12 g/100g, durante el período de estudio. Los contenidos en carbono y nitrógeno así como la relación carbono/nitrógeno también mostraron oscilaciones importantes cuando se consideraron las 38 muestras de suelo de la zona con evidencias de erosión. En la zona superior de la ladera, el contenido medio en carbono orgánico fue de 2,09% oscilando entre 1,21% y 3,34%.

En la Tabla 2 se presenta un resumen estadístico de las variables estudiadas en la zona con evidencias de deposición, teniendo en cuenta ambas profundidades muestreadas. Se observa que el pH (H_2O) osciló entre 4,39 y 5,43 mientras que el pH (KCl) varió entre 3,90 y 4,84. Al igual que en el caso de la zona de erosión, el contenido en humedad del suelo fluctuó ampliamente, entre 6,06 y 32,45 g/100g, durante el período de estudio. Los contenidos en carbono y nitrógeno así como la relación carbono-nitrógeno también mostraron oscilaciones importantes cuando se consideraron las 38 muestras de suelo de la zona con evidencias de deposición. En la zona inferior de la ladera, el contenido en carbono orgánico osciló entre 1,69% y 4,51%.

	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Respiración (mg C-CO ₂ g ⁻¹ suelo día ⁻¹)	Humedad (g/100g)	N (%)	C (%)	Actividad deshidrogenasa (μ l H g ⁻¹ suelo)	C/N
N	38	38	38	38	38	38	38	38
Media	4,82	4,06	0,07	14,91	0,18	2,09	2,02	12,00
Mediana	4,85	4,07	0,07	15,46	0,18	2,08	1,96	11,67
Desviación típica	0,22	0,17	0,03	5,33	0,06	0,67	0,62	0,85
Varianza muestral	0,05	0,03	0,001	28,39	0,003	0,45	0,39	0,72
Coefficiente variación	0,05	0,04	0,39	0,36	0,32	0,321	0,31	0,07
Curtosis	-0,72	-0,02	-0,43	-0,57	-1,30	-1,30	-0,42	0,27
Asimetría	-0,001	-0,40	-0,34	-0,34	0,27	0,25	0,27	0,81
Mínimo	4,42	3,66	0,01	3,17	0,10	1,21	0,91	10,79
Máximo	5,27	4,37	0,12	24,12	0,28	3,34	3,42	14,25

Tabla 1. Resumen estadístico de las diferentes variables analizadas en la zona con evidencias de erosión.

	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Respiración (mg C-CO ₂ g ⁻¹ suelo día ⁻¹)	Humedad (g/100g)	N (%)	C (%)	Actividad deshidrogenasa (μ l H g ⁻¹ suelo)	C/N
N	38	38	38	38	38	38	38	38
Media	4,89	4,31	0,06	15,62	0,22	2,60	1,73	12,03
Mediana	4,89	4,30	0,06	15,66	0,21	2,55	1,66	11,88
Desviación típica	0,27	0,21	0,03	5,40	0,05	0,58	0,61	0,99
Varianza muestral	0,07	0,04	0,001	29,16	0,003	0,34	0,38	0,97
Coefficiente variación	0,05	0,05	0,42	0,35	0,25	0,22	0,35	0,08
Curtosis	-0,62	0,24	-0,26	1,34	2,07	2,45	-0,44	8,15
Asimetría	0,09	0,31	0,51	0,54	1,24	1,24	0,47	2,28
Mínimo	4,39	3,90	0,02	6,06	0,14	1,69	0,73	10,83
Máximo	5,43	4,84	0,12	32,45	0,38	4,51	3,19	16,25

Tabla 2. Resumen estadístico de las diferentes variables analizadas en la zona con evidencias de deposición.

A la vista de las Tablas 1 y 2, podemos comprobar que la media de pH(H₂O) fue superior en la zona con evidencias de deposición (4,89) que en la zona con evidencias de erosión (4,82), sucediendo lo mismo para el pH (KCl), siendo 4,31 en la zona de sedimentación y 4,06 en la de erosión. Otras variables que presentaron el mismo comportamiento, es decir, con valores medios superiores en la zona de sedimentación que en la zona de erosión fueron el contenido hídrico del suelo (15,62 g/100g y 14,91 g/100g, respectivamente), el contenido en nitrógeno (0,22% y 0,18%, respectivamente), el contenido en carbono (2,6% y 2,09%, respectivamente) y la relación carbono-nitrógeno (12,03 y 12,00, respectivamente).

Por el contrario, la respiración basal del suelo y la actividad deshidrogenasa presentan

el efecto inverso, es decir, sus valores medios son superiores en la zona con evidencias de erosión que en la zona con evidencias de sedimentación.

En el caso de la respiración basal del suelo, se observó un valor medio superior en la zona de erosión que en la de deposición (0,07 y 0,06 mg C-CO₂ g⁻¹ suelo día⁻¹, respectivamente). En las Tablas 1 y 2 también se puede observar que el valor del coeficiente de variación para la respiración basal del suelo fue similar en ambas zonas estudiadas, 0,39 en la zona de erosión y 0,42 en la de deposición.

La actividad deshidrogenasa del suelo fue superior en la zona de erosión que en la de deposición por término medio, 2,025 y 1,735 ml H g⁻¹ suelo, respectivamente. Los coeficientes de variación para esta variable también

han sido similares en ambas zonas, 0,31 en la de erosión y 0,35 en la de deposición.

La significación de estas diferencias se evaluó mediante una prueba ANOVA, siendo la localización en la ladera, la profundidad y la estación del año los factores de los que se supuso que dependía la actividad deshidrogenasa

del suelo; los resultados obtenidos mediante este test se muestran en la tabla 3. Se estableció la actividad deshidrogenasa como variable dependiente frente a factores como la estación del año, el punto de muestreo y la profundidad. Conviene aclarar que los datos se refieren al conjunto total de las muestras recogidas.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Estación	8,917	3	2,972	7,458	0,000 *
Localización	3,010	1	3,010	7,552	0,007 *
Profundidad	0,000	1	0,000	0,001	0,974
Estación – Localización	0,653	3	0,218	0,546	0,651
Estación – Profundidad	0,348	3	0,116	0,291	0,832
Localización - Profundidad	0,065	1	0,065	0,164	0,686
Estación – Localización - Profundidad	0,045	3	0,015	0,038	0,990
Error	54,203	136	0,399		
Total	604,716	152			
Total Corregido	67,495	151			

Tabla 3. Resultados del test ANOVA para la actividad deshidrogenasa del suelo estudiado (gl = grados de libertad; * = significativo para $p > 0,99$).

No se observaron diferencias significativas en los valores de actividad deshidrogenasa del suelo estudiado en cuanto a las profundidades muestreadas (Tabla 3). Tampoco se han encontrado diferencias significativas en cuanto a las interacciones entre los factores estación del año, localización topográfica y profundidad.

Sin embargo, el test ANOVA mostró la existencia de diferencias significativas en los valores de actividad deshidrogenasa del suelo en cuanto a estaciones del año y a localización topográfica (Tabla 3). Del mismo modo, otras

variables que presentan el mismo comportamiento con respecto a los factores considerados han sido el pH (KCl) y los contenidos en nitrógeno y carbono (datos no mostrados).

En la Tabla 4 se muestran los valores medios de actividad deshidrogenasa del suelo en función de la estación del año y de la posición topográfica; se observaron diferencias entre los valores de actividad deshidrogenasa del suelo medidos en la zona superior de la ladera y los medidos en la zona inferior de la misma.

Estación del año	Zona Superior	Zona Inferior
Primavera	1,747	1,443
Verano	2,078	1,621
Otoño	2,043	1,945
Invierno	2,464	2,158

Tabla 4. Valores medios anuales de actividad deshidrogenasa del suelo para cada estación del año y posición topográfica (ml H g⁻¹ suelo).

La actividad deshidrogenasa del suelo fue ligeramente mayor en la zona superior de la ladera que en la inferior (Tabla 4). Estas diferencias según la localización topográfica han resultado ser significativas ($p = 99\%$) de acuerdo con la prueba ANOVA (Tabla 3). Además, se encontraron diferencias significativas entre los valores medios de respiración basal del suelo a lo largo de las estaciones del año (MIRÁS AVALOS *et al.*, 2005).

Por otro lado, las pruebas ANOVA realizadas a variables íntimamente relacionadas con

la actividad deshidrogenasa como son la respiración del suelo, el contenido en carbono y la relación carbono/nitrógeno ofrecieron resultados similares a los obtenidos para la actividad deshidrogenasa, es decir, se encontraron diferencias significativas para posiciones topográficas y estaciones del año pero no para profundidades (datos no mostrados, MIRÁS AVALOS *et al.*, 2005).

En la Figura 2 se muestra la evolución anual de la actividad deshidrogenasa del suelo estudiado.

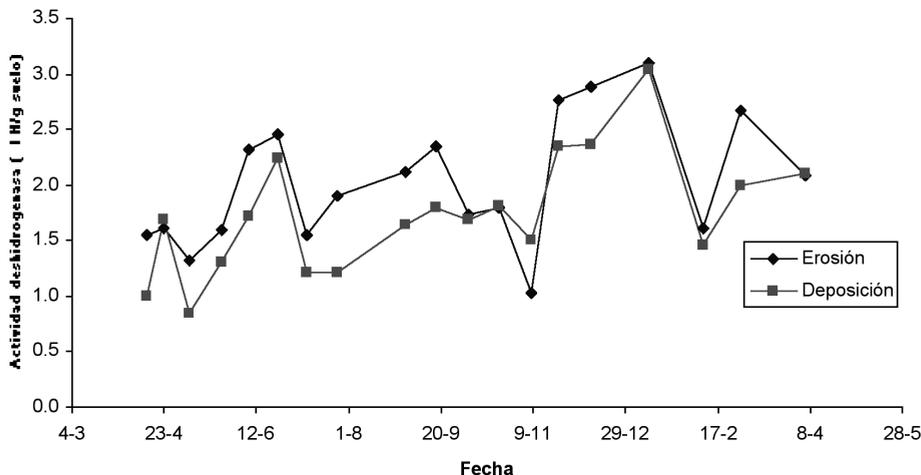


Fig. 2. Evolución de la actividad deshidrogenasa del suelo en la ladera estudiada.

En la Figura 2 se puede apreciar que los valores de actividad deshidrogenasa fueron mayores en la zona con evidencias de erosión que en la zona con evidencias de deposición en casi todos los casos. Se observa también una tendencia al aumento de esta actividad en verano e invierno.

En la Tabla 5 se muestran los resultados del análisis de correlación entre la actividad deshidrogenasa y el resto de variables analizadas para el conjunto total de datos. Se observó

que la actividad deshidrogenasa está correlacionada significativamente con la respiración basal y el pH del suelo.

Estas relaciones no se observan en datos agrupados por localización topográfica y estación del año de tal modo que, teniendo en cuenta el factor posición, se observa una relación muy significativa entre actividad deshidrogenasa y pH (H₂O) del suelo ($r = 0,66$) para la zona con evidencias de erosión y, en la zona con evidencias de sedimentación, una relación

muy significativa entre actividad deshidrogenasa y respiración basal del suelo ($r = 0,33$), pH (H₂O) ($r = 0,74$) y pH (KCl) ($r = 0,52$).

Teniendo en cuenta también la estación del año, se observan relaciones significativas entre la actividad deshidrogenasa y pH (H₂O) en primavera ($r = 0,65$), verano ($r = 0,66$) y otoño ($r = 0,75$) para la zona con evidencias de erosión y en primavera ($r = 0,79$), otoño ($r = 0,63$) e invierno ($r = 0,82$) para la zona con

evidencias de deposición. La relación significativa observada entre respiración basal del suelo y la actividad deshidrogenasa sólo se aprecia en la zona con evidencias de deposición en primavera ($r = 0,63$). Por otra parte, durante el verano se observaron relaciones significativas de la actividad deshidrogenasa con los contenidos en carbono ($r = 0,79$) y nitrógeno ($r = 0,83$) en la zona con evidencias de deposición.

pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Respiración basal del suelo	Humedad	C	N	C / N
0,60 **	0,18 *	0,25 **	-0,09 NS	-0,05 NS	-0,10 NS	0,15 NS

NS = no significativa

* = significativa ($p < 0,05$)

** = muy significativa ($p < 0,01$)

Tabla 5. Coeficientes de correlación entre la actividad deshidrogenasa del suelo y otras variables obtenidos para el conjunto total de datos estudiados.

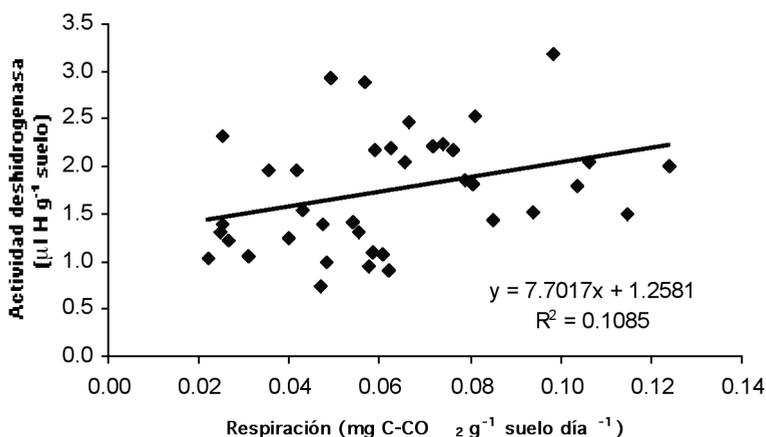


Fig. 3. Relación entre la actividad deshidrogenasa del suelo y la respiración basal del mismo en la zona con evidencias de deposición ($r = 0,33$).

En la Figura 3 se muestra, a modo de ejemplo, la relación entre la actividad deshidrogenasa del suelo y la respiración basal del mismo. En esta figura se observa, como era de esperar, un incremento de la actividad deshidrogenasa del suelo en función de la respiración basal. La correlación entre ambas variables no ha sido determinada en ambas posiciones topográficas,

simplemente en la zona con evidencias de deposición y sólo es muy significativa en primavera.

Las Figuras 4 y 5 presentan las oscilaciones temporales de la actividad deshidrogenasa tanto en la zona de erosión como en la zona de deposición frente a las oscilaciones de los contenidos hídricos del suelo y a los valores de respiración basal del mismo.

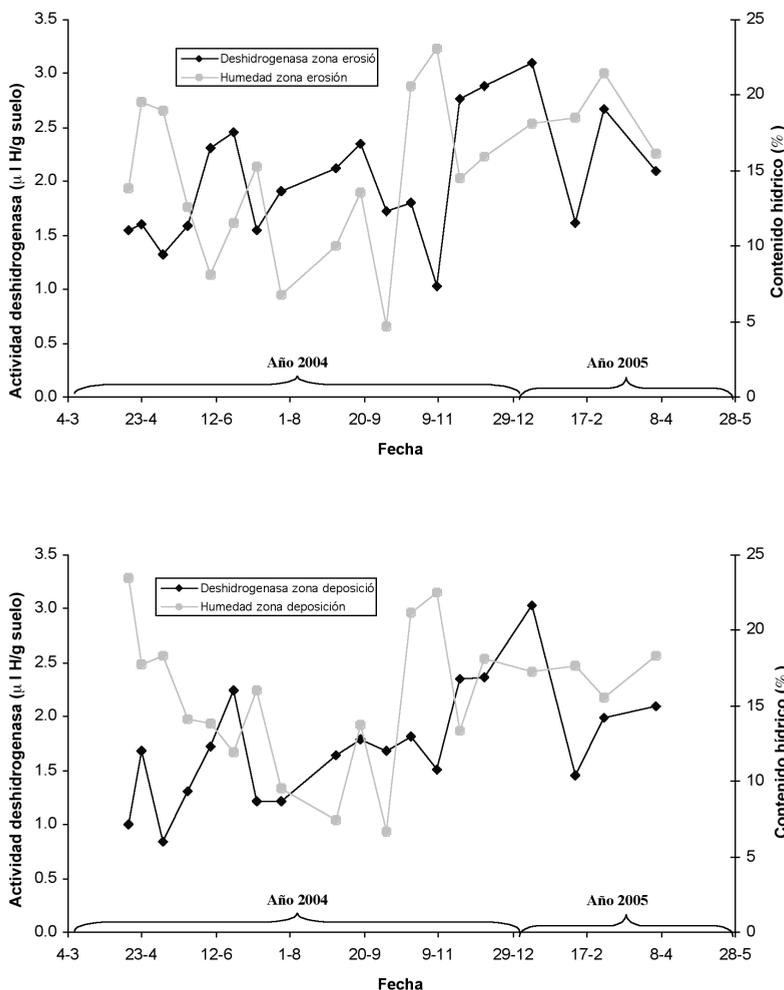


Fig. 4. Evolución de la actividad deshidrogenasa y el contenido hídrico del suelo en las zonas de erosión (superior) y deposición (inferior) de la ladera estudiada.

Como se aprecia en estas figuras, existe un marcado paralelismo entre la actividad deshidrogenasa del suelo y el contenido en humedad del mismo (Figura 4) mientras que este paralelismo no es tan claro en el caso de la respiración basal del suelo (Figura 5).

Estos resultados parecen indicar que las variables actividad deshidrogenasa, respiración basal del suelo y contenido hídrico del mismo están relacionadas entre sí pero que existe algún otro factor que interviene en su comportamiento estacional.

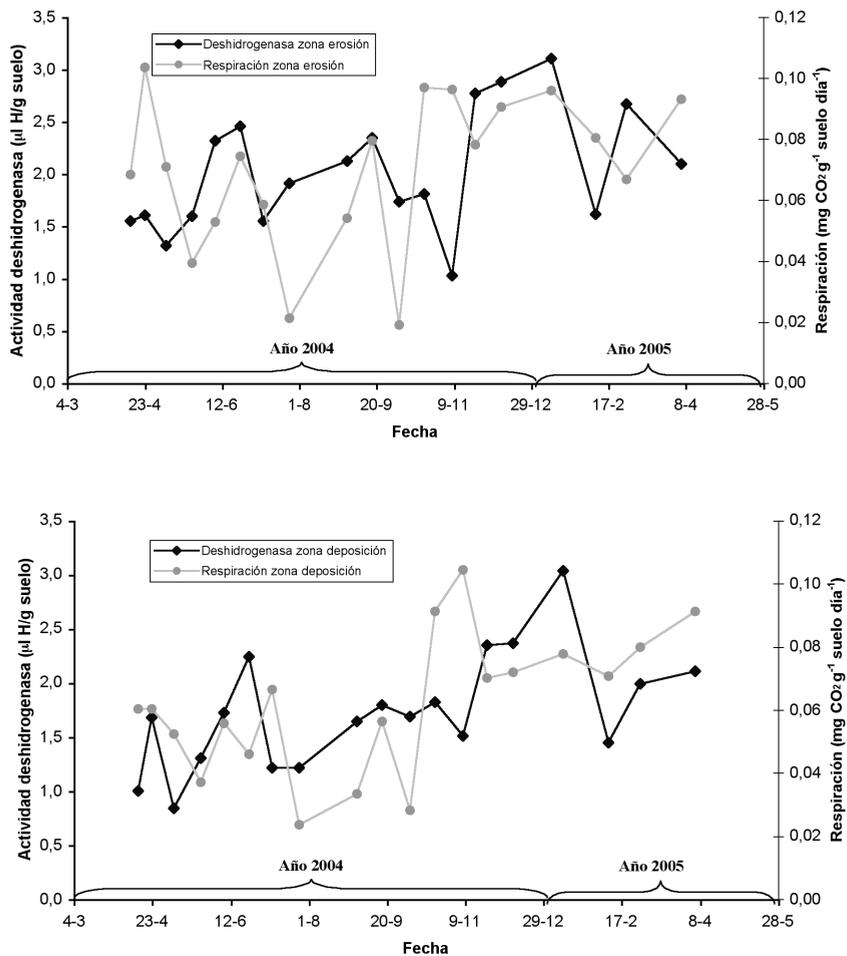


Fig. 5. Evolución de la actividad deshidrogenasa y la respiración basal del suelo en las zonas de erosión (superior) y deposición (inferior) de la ladera estudiada.

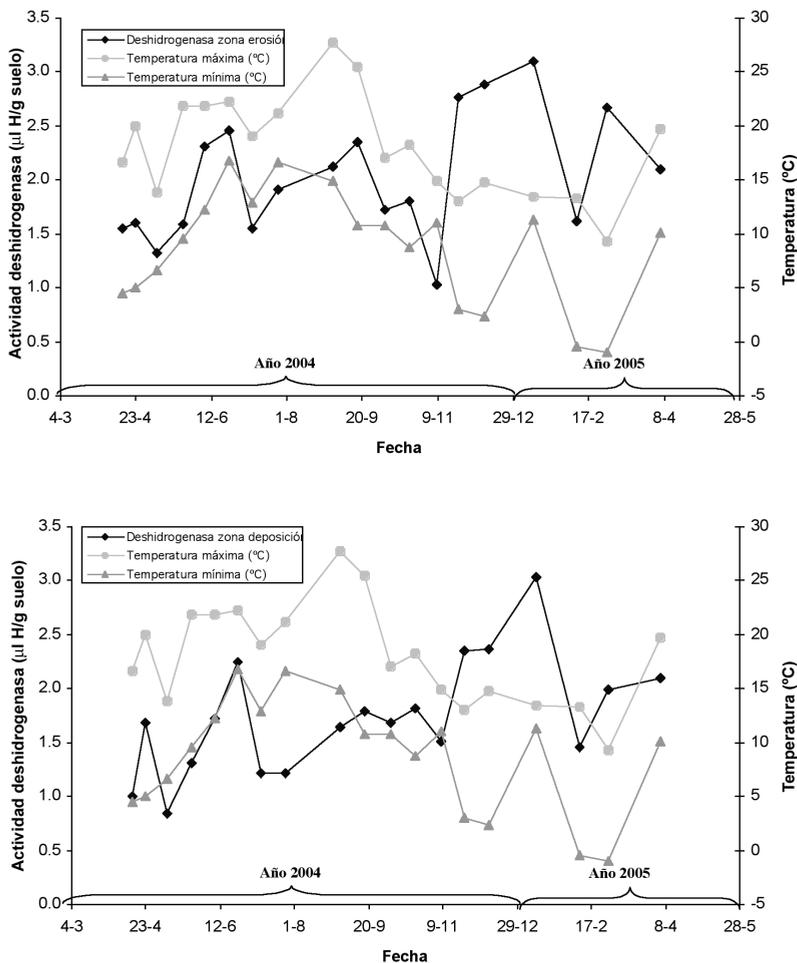


Fig. 6. Evolución de la actividad deshidrogenasa y las temperaturas máximas y mínimas en las zonas de erosión (superior) y deposición (inferior) de la ladera estudiada.

En la Figura 6 se muestra la evolución de la actividad deshidrogenasa del suelo durante el período estudiado en relación con los valores de temperatura máximos y mínimos. Se comprobó que no existe una correlación significativa entre los valores de actividad deshidrogenasa y la temperatura. Sin embargo, se puede observar que, en general, los mayores valores de actividad deshidrogenasa se midie-

ron cuando las temperaturas mínimas se mantuvieron por encima de los 10 °C.

CONCLUSIONES

La actividad deshidrogenasa del suelo fue mayor en la zona de erosión que en la de deposición, siendo esta diferencia estadísticamente significativa. La ausencia de diferen-

cias significativas en el contenido de carbono orgánico y de nitrógeno, así como de humedad, entre las dos profundidades estudiadas determina que los valores de actividad deshidrogenasa del suelo sean similares en ambas profundidades.

La actividad deshidrogenasa estuvo fuertemente influida por el pH del suelo y ambos parámetros se correlacionaron positivamente. Se encontraron diferencias significativas en los valores de actividad deshidrogenasa del suelo a lo largo de las estaciones del año, aunque la diferenciación entre estaciones parece estar debida a variaciones de pH y contenidos en nitrógeno y carbono más que a diferencias

climáticas entre las estaciones ya que no se observó una variación significativa de esta variable con los valores de temperatura ni humedad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue llevado a cabo en el marco de los proyectos de investigación de referencia AGL 2003-09284-C02-01 financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) y PGIDT01AGR10302PR financiado por la Xunta de Galicia. Los autores agradecen a D. Carlos Carballeira Díaz su colaboración en las determinaciones analíticas.

Recibido: 02 / 04 / 2007

Aceptado: 10 / 10 / 2007

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA, M.; BORIE, G.; ROKOV, P. & PEIRANO, P. (1988). Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas. VII Determinación de deshidrogenasas. *Agricultura Técnica (Chile)* 48: 147-151.
- ALEF, K. (1995). Estimation of microbial activities: Dehydrogenase activity. En: ALEF, K. & NANNIPIERI, P. (Eds.). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, Londres, pp. 228-231.
- CASIDA, Jr., L.E.; KLEIN, P.A. & SANTORO, T. (1964). Soil dehydrogenase activity. *Soil Science*, 98: 371-376.
- CHANDER, K. & BROOKES, P.C. (1991). Is the dehydrogenase assay invalid as a method to estimate microbial activity in copper contaminated soils?. *Soil Biology & Biochemistry*, 23: 909-915.
- GARCÍA, C. & HERNÁNDEZ T. (1997). Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion. *Soil Biology & Biochemistry*, 29: 171-177.
- GUITIÁN OJEA, F. & CARBALLAS FERNÁNDEZ T. (1976). *Técnicas de Análisis de Suelos*. Pico Sacro, Santiago de Compostela, 288 pp.
- HERNÁNDEZ, T. & GARCÍA, C. (2003). Estimación de la respiración microbiana. En: GARCÍA, C.; GIL, F.; HERNÁNDEZ, T. & TRASAR T. (Eds.). *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos de Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana*. Mundi-Prensa, pp. 311-346.
- LEHNINGER, A.L. (1978). Enzimas de oxidación-reducción y transporte electrónico. En: LEHNINGER, A.L. (Ed.). *Bioquímica*. 2ª edición. Editorial Omega S.A. Barcelona, pp. 487-518.
- LEIRÓS, M.C.; TRASAR CEPEDA, C.; SEOA-NE, S. & GIL SOTRES, F. (2000). Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of the European temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): general parameters. *Soil Biology & Biochemistry*, 32: 733-745.
- LENHARD, G. (1956). Die dehydrogenaseaktivität des bodens als maß für die mikroorganismen-tätigkeit im boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 73: 1-11.
- MAPA (1994). *Métodos oficiales de análisis. Tomo III: Métodos oficiales de análisis de suelos y aguas para el riego*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Servicio de Publicaciones. Madrid, pp. 205-285.
- MIRÁS AVALOS, J.M.; PAZ GONZÁLEZ, A.; BERTOL, I. & VIDAL VÁZQUEZ, E. (2005). Relación entre la actividad microbiana del suelo y la erosión. En: JIMÉNEZ BALLESTA, R. & ÁLVAREZ GONZÁLEZ, A.M. (Eds.) *II Simposio Nacional Control de la Degradación de Suelos, Comunicaciones*, pp. 743-746.
- NANNIPIERI, P.; GREGO, S. & CERCANTI, B. (1990). Ecological significance of the biological activity in soil. En: BULLAG, J.M. & STOTZKY, G. (Eds.). *Soil Biochemistry*, vol. 6. Marcel Dekker, New York: 293-355.
- PÉREZ LÓPEZ, C. (2005). *Métodos estadísticos avanzados con SPSS*. Thomson, Madrid, 776 pp.
- ROSS, D.J. (1971). Some factors affecting the estimation of dehydrogenase activities of some soils under pasture. *Soil Biology & Biochemistry*, 3: 97-110.
- TRASAR CEPEDA, C.; GIL SOTRES, F. & LEIRÓS DE LA PEÑA, M.C. (2003). Determinación de la actividad deshidrogenasa del suelo. En: GARCÍA, C.; GIL, F.; HERNÁNDEZ, T. & TRASAR, C. (Eds.). *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana*. Ed. Mundi-Prensa, pp. 211-227.
- VALCÁRCEL, M.; TABOADA, M.T.; PAZ, A. & DAFONTE, J. (2003). Ephemeral gully erosion in northwestern Spain. *Catena*, 50: 199-216.
- VON MERSI, W. & SCHINNER, F. (1991). An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodinitrotetrazolium chloride. *Biology and Fertility of Soils*, 11: 216-220.