

# INFLUENCIA DEL MANEJO SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO

Moreno, Carla <sup>a</sup>; González, María Isabel<sup>b\*</sup>; Egido, José Antonio <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Agrocalidad (Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro),

<sup>b</sup> Universidad de Salamanca (Salamanca – España)

Ingresado: 12/05/2015

Aceptado: 26/08/2015

## Resumen

Se realizó un estudio para establecer el grado de influencia del manejo sobre la calidad del suelo en un Regosol Dístico en la provincia de Salamanca, España. Para ello, se evaluaron una serie de parámetros físicos, físico-químicos y la respirometría de los microorganismos presentes en los sistemas, así como el índice de fertilidad y el factor de evaluación del suelo, en suelos bajo tres tipos de manejo: cultivados con maíz (*Zea mays*), suelos reforestados en recuperación y suelos cultivados con remolacha (*Beta vulgaris* L.). El patrón predominante de textura fue el arenoso franco para los distintos manejos del suelo. Los valores de los parámetros obtenidos en el suelo recuperado fueron los más altos: pH (7,3), Carbono (1,67%), Nitrógeno (0,10%), Materia Orgánica (2,88%),  $Mg^{2+}$  (1,34 cmol  $kg^{-1}$ ), seguido por el suelo cultivado con remolacha y el suelo cultivado con maíz. Los mayores contenidos de potasio, calcio y magnesio asimilable fueron de 0,232, 0,176 g  $kg^{-1}$  y 0,105 g  $kg^{-1}$ , respectivamente y se encontraron en el suelo en recuperación, sin embargo el P asimilable registró un valor mayor en los suelos con maíz (160 mg  $kg^{-1}$ ). La tasa de respiración microbiana fue más alta en el suelo en recuperación. El índice de fertilidad del suelo fue mayor en el cultivo de maíz (166,2), seguido por la remolacha y el suelo en recuperación. Sin embargo el factor de evaluación de suelos tuvo un valor más alto en el suelo en recuperación (14,1).

**Palabras clave:** Calidad del suelo, Manejo de suelos, Respiración edáfica.

## INFLUENCE OF MANAGEMENT ON SOIL QUALITY

\*Correspondencia a: María Isabel González, email: [mimg@usal.es](mailto:mimg@usal.es)

## Abstract

A study was conducted to establish the influence of management on soil quality in a Dystric Regosol in Calvarrasa de Abajo in the province of Salamanca, Spain. In the systems studied a series of physical and physicochemical parameters and also the microorganisms respirometry, were evaluated, finally it was considered the soil fertility index and soil evaluation factor in soils under three types of management: cultivated with maize (*Zea mays*), reclaimed soils and soil cultivated with sugar beet (*Beta vulgaris* L.). The predominant pattern of texture is loamy sand for different soil management systems. The values obtained in reclaimed soils were the highest: pH (7.3), Carbon (1.67%), N (0.10%), Organic Matter (2.88%),  $Mg^{2+}$  (1.34 cmol  $kg^{-1}$ ), followed by soil planted with beets and then the soil planted with corn. The highest content of available nutrients, K (0.232 g  $kg^{-1}$ ), Ca (0.176 g  $kg^{-1}$ ) and Mg (0.105 g  $kg^{-1}$ ) are also in reclaimed soil. The available P was higher in soils with corn (160 mg  $kg^{-1}$ ). The microbial respiration rate was greater in the reclaimed soil, followed by soil planted with beets and corn, respectively. The soil fertility index used was higher in maize (166.2), followed by beets and reclaimed soils. However the soil evaluation factor was higher in the reclaimed soils (14.1), followed by the beet and corn.

**Keywords:** Soil quality, soil management, soil respiration.

## I. INTRODUCCIÓN

El suelo es considerado como un medio de soporte de las plantas y otros organismos, lo que le convierte en uno de los factores más importantes para el correcto desarrollo de los cultivos agrícolas. El suelo debe ser reconocido como un sistema vivo y dinámico que funciona a través de un equilibrio único y la interacción de sus componentes biológicos, químicos y físicos.

Estimar la calidad de los suelos es importante, puesto que contribuye a establecer la sostenibilidad de los diferentes sistemas de manejo. Los suelos con máxima calidad son capaces de mantener alta productividad y causar el mínimo deterioro ambiental.[1] Existen algunas prácticas que deterioran la calidad de los suelos, entre ellas la conversión de bosques y pastizales en tierras de cultivo, así como, el cambio de uso del mismo, debido a la reducción de la materia orgánica del suelo, el cambio de la distribución y la estabilidad de los agregados [2] y la susceptibilidad a la erosión [3]. Por tanto, se cree que la evaluación de la materia orgánica y las propiedades físicas del suelo tras la conversión de los pastos naturales en zonas de cultivo, es muy importante para conocer las variaciones iniciales en la calidad del suelo.[4]

Larson y Pierce [5] definen la calidad del suelo como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema, y su interacción positiva con el ambiente externo. Por lo tanto, se precisa de una serie de parámetros físicos, químicos y bioquímicos que ayuden a evaluar la calidad del suelo; algunos de estos parámetros son considerados como indicadores ya que permiten conocer las posibles modificaciones efectuadas en el suelo por el cambio de uso o manejo del mismo. Los indicadores de la calidad del suelo deben reflejar los procesos del suelo, integrar las diferentes propiedades del mismo y, por tanto, deben ser sensibles a los cambios ambientales.[6]

Existen diversos parámetros considerados clave para determinar la calidad del suelo, aquellos de tipo físico (textura, etc), fisicoquímicos (pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)) químicos (concentración de elementos asimilables, etc), y de naturaleza bioquímica (respiración microbiana). Muchos estudios concuerdan que la materia orgánica del suelo (MOS) es el indicador que ejerce una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad [7], ya que la MOS tiene un efecto beneficioso sobre las propiedades físicas y fisicoquímicas del suelo al mejorar la estructura, aumentar la capacidad de intercambio catiónico, la retención de agua, el poder tampón, así como, reducir la acción de sustancias tóxicas, y actuar como un fertilizante de acción lenta que favorece los ciclos biológicos de los nutrientes.[8]

Existen índices paramétricos utilizados para evaluar, la alteración o madurez del ecosistema. Algunos de ellos integran sólo dos parámetros pero aportan información suficiente para evaluar la calidad del suelo o el nivel de degradación de los mismos (caso del  $qCO_2$ ). Sin embargo, últimamente se han desarrollado una variedad de índices multiparamétricos que establecen claramente las diferencias entre los sistemas de gestión, la contaminación del suelo o la densidad y el tipo de vegetación. Estos índices integran diferentes

parámetros, entre los cuales los más importantes son los biológicos y químicos, tales como el pH, materia orgánica, C de la biomasa microbiana y la respiración o actividad enzimática [9] que dan una respuesta más certera sobre el estado del suelo.

El objetivo del presente trabajo es establecer el grado de influencia que tiene el manejo sobre la calidad del suelo soportando dos tipos de cultivos: maíz (*Zea mays*) y remolacha (*Beta vulgaris* L.), comparándolo frente a un suelo en recuperación ya que en esa zona no hay suelo con vegetación natural. Para ello se ha utilizado una serie de parámetros físicos, fisicoquímicos y la respirometría de los microorganismos presentes en los sistemas. Finalmente se considera el índice de fertilidad del suelo y el factor de evaluación del suelo de Panwar [10], para cuantificar los criterios considerados en esta evaluación.

## II. METODOLOGÍA

### Localización

La zona de estudio se encuentra localizada al NE de la ciudad de Salamanca (España) sobre materiales detríticos depositados por el río; en la zona de muestreo, en concreto, se trata de materiales propios de la llanura aluvial con un relieve llano. Sus coordenadas de localización son: 40° 56' 57" N y 5° 33' 50" . La altitud oscila entre los 780 m.s.n.m. en el río Tormes, y los 835 m.s.n.m. en la zona más meridional. El tipo de suelo es de desarrollo incipiente y corresponde a Regosol Dístrico según la clasificación FAO 2006. (TypicXerochrepts en la SoilTaxonomy)[11]

El clima es mediterráneo continental, con una temperatura media anual de 11,8°C, tipo templado húmedo, [12] y marcado carácter continental siendo la precipitación media anual de 441 mm.

### Muestreo

Las muestras de suelo se tomaron en Noviembre 2011 y se realizaron en tres sitios diferentes: (M) en un suelo cultivado con maíz (*Zea mayz*), (R) en un suelo cultivado con remolacha (*Beta vulgaris*) y (N) o sitio en recuperación de la vegetación natural que sería tomado como referencia de las posibles modificaciones encontradas en las características del suelo. Las tres zonas consideradas estaban lo suficientemente próximas entre sí para evitar en lo posible la variabilidad espacial. Se tomaron las muestras de suelo con una pala en la parte superficial del perfil (0-20 cm) eligiéndose esta profundidad por ser el lugar donde se producen fundamentalmente los procesos edáficos, la absorción de nutrientes, además de ser la zona de enraizamiento y por tanto la más relacionada con el desarrollo biológico. Para cada sitio se tomaron al azar

cuatro muestras, obteniéndose un total de 12, que se llevaron al laboratorio para sus posteriores determinaciones analíticas.

### Análisis de Laboratorio

Se secaron las muestras en laboratorio a temperatura ambiente y se pasaron a través de un tamiz de 2mm de luz de malla, para obtener la Tierra Fina en donde se realizaron los posteriores análisis para conseguir diversos indicadores físicos, fisicoquímicos y bioquímicos. En los análisis que lo requerían se molió el suelo, en molino con bolas de ágata, hasta obtener un tamaño de partícula <0,05 mm.

Como propiedades físicas del suelo se determinaron en primer lugar la humedad del suelo a 105°C por gravimetría. El Análisis Granulométrico para la determinación de la textura del suelo (arena, limo y arcilla); se realizó mediante el método de la pipeta de Robinson, y la densidad aparente para cada uno de los sistemas considerados mediante el método del cilindro. Dentro de las propiedades fisicoquímicas del suelo se determinó el pH que nos indica el grado de acidez/basicidad de la solución del suelo en la mezcla suelo/agua (1:2.5) mediante medida potenciométrica con electrodo combinado de calomelano. Igualmente se realizó la medida de pH en la mezcla suelo/solución KCl 1N en proporción (1:2.5).

Se estimó la capacidad de intercambio cambio (CIC) mediante el Método del acetato de amonio 1N y pH=7 [13] y los cationes de cambio ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ) se determinaron por Absorción Atómica en un aparato VARIAN 1275.

Los elementos asimilables (Ca, Mg y K) se extrajeron con acetato de amonio 1N pH=7, con agitación horizontal a 120 ciclos/min. y se determinaron igualmente mediante absorción atómica (AA). La determinación del fósforo asimilable en forma de fosfato, se realizó mediante el método de Bray and Kurtz [14] por formación del complejo fosfomolibdico de color azul cuantificado en una espectrofotómetro HITACHI U-1100.

La acidez de cambio ( $H^+$  y  $Al^{3+}$ ) se determinó extrayendo las muestras de suelo con cloruro de potasio (KCl) 1N y valorando con NaOH 0,1 M. Se conoce como acidez potencial y determina si las raíces pueden o no crecer en un suelo ácido.

El carbono, nitrógeno y azufre como propiedades bioquímicas del suelo se determinaron mediante el analizador elemental C,N,S, LECO 2000. El procedimiento es aplicable a muestras homogéneas, sólidas que experimenten combustión a 1200°C o a menor temperatura. Multiplicando el carbono orgánico del suelo por 1,72 se obtiene el valor de la materia orgánica soluble (MOS). [15]

La estimación del  $CO_2$  desprendido por los

microorganismos del suelo o respirometría, como parámetro biológico, se determinó mediante la incubación del suelo en un sistema cerrado a 28°C y al 60% de la humedad a la capacidad de campo; el  $CO_2$  fue atrapado en una disolución de NaOH 0,5 N que se valoró posteriormente con HCl 0,5 N. [16]

Para evaluar la fertilidad del suelo se utilizaron los índices multiparamétricos: SFI (Soil fertility index) y SEF, (Soil Evaluation Factor) de Panwar [10] mediante el uso de variables fisicoquímicas del suelo. Para obtener dichos índices se aplicaron las fórmulas siguientes:

$$SFI = pH + materia\ orgánica\ (\%,\ suelo\ seco) + P\ asimilable\ (mg\ kg^{-1}\ suelo\ seco) + K^+ (cmol\ kg^{-1}\ suelo\ seco) + Ca^{2+} (cmol\ kg^{-1}\ suelo\ seco) + Mg^{2+} (cmol\ kg^{-1}\ suelo\ seco) - Al (cmol\ kg^{-1}\ suelo\ seco)$$

De igual manera, se calculó el factor de evaluación del suelo (SEF) mediante la siguiente expresión:

$$SFE = [K^+ (cmol\ kg^{-1}\ suelo\ seco) + Ca^{2+} (cmol\ kg^{-1}\ suelo\ seco) + Mg^{2+} (cmol\ kg^{-1}\ suelo\ seco) - \log(1 + Al (cmol\ kg^{-1}\ suelo\ seco))] \times materia\ orgánica\ (\%,\ suelo\ seco) + 5$$

### Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos se realizó el tratamiento estadístico con los descriptivos de cada una de las variables, media, desviación típica, y límites de confianza al 95% mediante el programa SPSS Statistics versión 2.0. 2011 para Mac. Se realizó la prueba de homogeneidad de varianzas mediante el estadístico de Levene ( $p < 0.05$ ). Se aceptó la hipótesis de homogeneidad para todos los datos y se realizó la prueba de estadística de Kolmogorov-Smirnov ( $p < 0.05$ ) para comprobar si los datos muestrales procedían de poblaciones normales. Se aceptó la hipótesis de normalidad para todos los datos y se procedió a realizar el análisis de varianza de un factor (ANOVA) utilizando el test de Tukey y Games-Howell para las comparaciones de medias. Las diferencias estadísticamente significativas para todas las variables entre los tratamientos, fueron establecidas a nivel de  $p < 0,05$ . Se realizaron correlaciones entre las variables determinadas en los tres sitios a la vez, a través del coeficiente de correlación de Pearson.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efectos manejo sobre parámetros físicos del suelo

Con los datos obtenidos del análisis granulométrico y la ayuda de un triángulo textural se determinó la textura del suelo en cada una de las muestras tomadas para su análisis. El patrón predominante es el *arenoso franco* para los distintos manejos; solo hay una zona dedicada

a la remolacha que presenta mayor contenido en arcilla, por lo que hay que encuadrarla como textura *franco arcillo arenosa*. Estadísticamente presentan diferencias significativas entre los tres grupos.

El mayor valor obtenido de la densidad aparente se alcanza en el suelo regenerado (1,74). Los valores observados en el presente trabajo no concuerdan con lo esperado, ya que entran en contradicción con los valores de MOS que son mayores en este sitio, lo que correspondería un menor valor de la densidad aparente. Esto nos indica que el suelo en recuperación aún no ha alcanzado las condiciones iniciales en cuanto a la estructura del suelo, aunque si manifiesta una tendencia positiva. La densidad aparente puede ser incluida, como indicador, dentro del grupo mínimo de parámetros físicos útiles para evaluar la calidad de un suelo, junto con la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo.[6] Modificaciones en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo; debido a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total, se originan alteraciones en el desarrollo de las raíces y, por tanto en el desarrollo de las plantas. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y la especie vegetal de que se trate.[17]

### Efectos del uso de la tierra sobre parámetros físico químicos del suelo

Para todas las muestras el contenido de materia orgánica es bajo. El contenido de MOS (Tabla I) fue mayor en el área natural (2,88%), seguido del cultivo de remolacha (1,44%) y en último lugar el cultivo de maíz (0,90%).

Como se observa en la Tabla I, son suelos pobres en MOS como corresponde a los suelos característicos de

la zona; esto se manifiesta con mayor intensidad cuando estos suelos se ponen en cultivo debido a que mucho del material vegetal se retira para la alimentación humana o animal y encuentra pocas vías de regreso a la tierra. También, el laboreo del suelo facilita la aireación y el rompimiento de residuos orgánicos, haciéndolos más accesibles a la descomposición microbiana [18] y favoreciendo su mineralización. La presencia de un mayor contenido de MO en el suelo recuperado indica precisamente esa recuperación, y se produce por la paulatina cobertura vegetal del suelo y la acumulación de biomasa de raíces.[10] En condiciones naturales, toda la vegetación se devuelve al suelo, y además el suelo no se ve perturbado por la labranza.

El COS sigue, como es de esperar análoga trayectoria a la presentada por la MOS, el porcentaje de COS es mayor en el área recuperada, seguido por la remolacha y luego el maíz presentando diferencias significativas entre los grupos considerados. El contenido de C en los suelos en recuperación indica que son suelos con mineralización media mientras que los otros sistemas están más mineralizados (Tabla I).

La disminución del porcentaje de C en las parcelas cultivadas respecto a las situaciones más conservadas, como se ha visto anteriormente con la MOS, se atribuye a la exportación de nutrientes como parte de las cosechas, así como, a la mineralización de la materia orgánica debido al laboreo y un menor aporte de residuos orgánicos al suelo.[1]

Análogamente, el N (Tabla I) sigue, una tendencia similar a la del C, presentando bajos niveles en todos los sistemas considerados, y entre ellos el mayor valor corresponde al sistema natural, y el menor al maíz. Si se considera la relación C/N, hay diferencias significativas estadísticamente en la prueba de Tukey y Games Howell al comparar los sistemas de maíz con remolacha, y suelo en recuperación con cultivo de remolacha.

La mayoría de los cultivos crecen bien en suelos que son ligeramente ácidos a neutros, siendo el mayor grado de asimilación de nutrientes en el intervalo de pH de suelos de 6-7 [18]. Los valores encontrados en este estudio son adecuados para los cultivos realizados, como se puede observar en la Tabla II; el suelo en recuperación mostró un valor medio de pH (7,3) frente al suelo cultivado con maíz (5,8) y el de remolacha (6,6).

**Tabla I.** Valores medios de los parámetros bioquímicos del suelo con las desviaciones estándar.

Muestra	Carbono %	Nitrógeno %	C/N	MOS %	Azufre %
M	0,53 ± 0,08	0,03 ± 0,05	16,6 ± 1,1	0,90 ± 0,1	0,0045 ± 0,0032
N	1,67 ± 0,50	0,10 ± 0,04	17,7 ± 2,0	2,88 ± 0,9	0,0029 ± 0,0028
R	0,84 ± 0,99	0,07 ± 0,01	12,7 ± 0,8	1,45 ± 0,2	0,0040 ± 0,0029

**Tabla II.** Valores medios de los parámetros fisicoquímicos del suelo con sus desviaciones estándar

Muestra	pH (H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	CIC	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> cmol kg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	V %
M	5,83 ± 0,24	4,52 ± 0,21	6,7 ± 1,8	0,33 ± 0,03	0,38 ± 0,06	0,27 ± 0,37	15,4 ± 4,8
N	7,30 ± 0,29	6,49 ± 0,16	14,0 ± 3,8	1,34 ± 0,82	1,15 ± 0,28	0,67 ± 0,11	22,4 ± 3,9
R	6,57 ± 0,48	5,28 ± 0,60	15,6 ± 5,3	1,25 ± 0,10	1,17 ± 0,37	0,75 ± 0,12	19,0 ± 9,0

Sin embargo, se encuentran diferencias significativas entre los tres grupos considerados. Esas diferencias pueden explicarse por la distinta capacidad de extracción de nutrientes por parte de las plantas que corresponden a la distinta vegetación considerada.

La CIC (Tabla II) no es muy alta en la zona de estudio ni varió significativamente para los diferentes usos del suelo, aunque el mayor valor encontrado fue en el suelo con remolacha (15,6). Esto podría deberse al ligero mayor porcentaje de arcilla que presenta la zona con este cultivo.

En cuanto a los cationes de cambio (Tabla II), solamente existen diferencias significativas para el  $Mg^{+2}$  con la prueba de Games Howell entre el cultivo de maíz y remolacha. Para el  $Ca^{+2}$  existen diferencias significativas entre los tres grupos y usando Tukey aparecen para el cultivo de maíz y el suelo en recuperación y el cultivo de maíz con remolacha. Para Games Howell las diferencias significativas aparecen entre el maíz y el suelo en recuperación.

El  $K^+$  presenta diferencias significativas entre los tres grupos considerados, y existen diferencias entre el cultivo de maíz con suelo en recuperación, y cultivo de maíz con remolacha, tanto para Tukey como para Games Howell. Estos resultados son parecidos a los llevados a cabo por Urricariet y Lavado [19], donde no se encontraron diferencias significativas en la CIC ni en los cationes de cambio, al comparar suelos de corta historia agrícola y suelos de larga historia agrícola.

Los resultados de la correlación de Pearson entre la materia orgánica y los cationes de cambio dan una correlación positiva para el  $Ca^{+2}$ (0,05),  $Mg^{+2}$  (0,01) y  $K^+$  (0,05). Uno de los efectos de la materia orgánica sobre el sistema suelo es aumentar la oferta disponible de N, P, S y micronutrientes. Los ácidos húmicos también aceleran la descomposición de los minerales del suelo, liberando nutrientes esenciales como cationes

intercambiables, ácidos orgánicos, y polisacáridos, entre otros.[18]

La Tabla III muestra como el fósforo disponible se vio influenciado significativamente por el uso de la tierra, presentando un valor mayor en el suelo cultivado con maíz (160), seguido por el suelo cultivado con remolacha (48) y el suelo en recuperación que presentó el valor más bajo (41), expresando claramente la influencia de la distinta fertilización realizada en los diferentes cultivos y la ausencia de la misma en este último sitio. Este patrón se observa en el estudio realizado por Ozturkmen and Kavdir [20] donde las prácticas agrícolas aumentaron el contenido de fósforo en zonas cultivadas. El contenido de  $P_2O_5$  de los suelos plantados fue de aproximadamente 20 a 39 veces mayores que las de los suelos no cultivados y en recuperación.

Para P asimilable existen diferencias entre el cultivo de maíz con suelo en recuperación, y cultivo de maíz con remolacha (Tukey y Games Howell  $p<0.05$ ) por las razones antes expuestas.

Los contenidos de Ca, Mg y K (Tabla III), descendieron en el sentido: natural, remolacha, maíz debido a las distintas exigencias de la vegetación que soportan y presentando diferencias significativas al comparar los distintos usos del suelo.

### Efectos del uso de la tierra sobre parámetros biológicos del suelo

Los datos físicos y físicoquímicos obtenidos se corroboran con los datos obtenidos del  $CO_2$  desprendido en la respiración microbiana seguida durante un periodo de 28 días. La actividad microbiana edáfica influye directamente sobre la estabilidad y fertilidad de los ecosistemas y está ampliamente aceptado que un buen nivel de actividad microbiana es esencial para el mantenimiento de la calidad del suelo.[21]

La tendencia en el desprendimiento de  $CO_2$  es la normal para los sistemas edáficos siendo máxima en los primeros días, disminuyendo posteriormente. Esto se puede observar en la Tabla IV. En un estudio llevado a cabo por Sparling [22] se encontró una disminución del 34% en las tasas de flujo de salida de  $CO_2$  en parcelas erosionadas o con daños graves. Parte de la producción de  $CO_2$  en los suelos está relacionada con la actividad

**Tabla III.** Valores medios de los elementos asimilables del suelo con sus desviaciones estándar.

Muestra	K asim	Ca asim g Kg <sup>-1</sup>	Mg asim	P asim mg kg <sup>-1</sup>
M	0,115 ± 0,045	0,079 ± 0,025	0,033 ± 0,008	160 ± 4
N	0,232 ± 0,060	0,176 ± 0,045	0,105 ± 0,030	41 ± 6
R	0,181 ± 0,017	0,132 ± 0,026	0,090 ± 0,020	48 ± 5

**Tabla IV.** Valores medios ( $\mu g CO_2 g^{-1}$  suelo) obtenidos en la respirometría con desviación estándar

	2 días	3 días	6 días	9 días	13 días	15 días	17 días	28 días
M	4,2 ± 0,8	3,19 ± 1,0	4,54 ± 1,1	2,9 ± 0,75	3,2 ± 0,3	2,1 ± 0,5	2,0 ± 0,1	1,1 ± 0,4
N	17,6 ± 9,2	14,9 ± 5,8	20,9 ± 8,3	12,2 ± 4,3	9,5 ± 3,4	4,0 ± 1,3	7,9 ± 3,0	4,4 ± 1,7
R	13,8 ± 5,6	8,823 ± 2,9	10,5 ± 4,2	7,3 ± 2,4	5,8798 ± 0,9	2,2 ± 0,4	3,4 ± 1,7	1,6 ± 1,0

metabólica de las raíces de las plantas y micorrizas asociadas, (respiración autotrófica) [23], mientras que otra fracción importante se asocia con la respiración heterotrófica de las comunidades microbianas. [24] Se encontraron diferencias significativas en la tasa de respiración del suelo en la evolución de los días. La tasa de respiración del suelo es mayor en el suelo en recuperación, seguido por el suelo cultivado con remolacha y luego el cultivo de maíz. La Figura 1 muestra los mg de  $\text{CO}_2 \text{ g}^{-1}$  de suelo consumidos por los microorganismos.

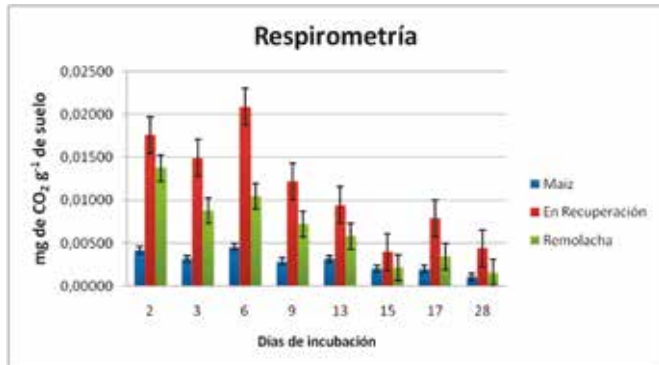


Figura 1. Respirometría del suelo

La curva acumulativa del  $\text{CO}_2$  emitido (Fig.2) evidenció que la mayor actividad biológica aparece en el ecosistema natural y la menor en el cultivo de maíz, revelándose este indicador como el más sensible de los utilizados en el presente estudio.

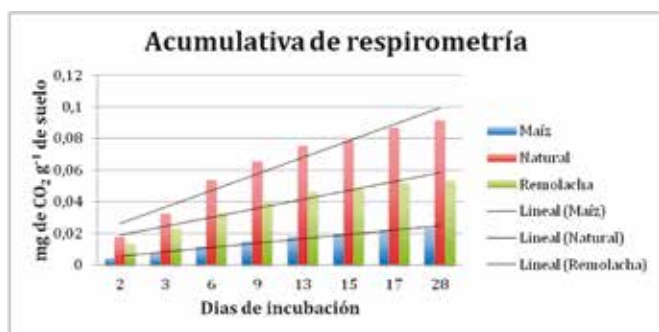


Figura 2: Valores acumulativos del  $\text{CO}_2$  desprendido por los microorganismos

Al realizar la correlación de Pearson todas las tasas de respiración del suelo durante el tiempo incubado muestran significancias positivas al 0.01 al compararlas con la materia orgánica del suelo. La materia orgánica del suelo está fuertemente relacionada con la tasa de respiración y es uno de los factores con más importancia para su control.[25]

Generalmente, la biomasa microbiana edáfica se incrementa con el aumento de la materia orgánica del

suelo, aunque esta relación podría verse afectada por diferentes condiciones macroclimáticas, cambios en la humedad y temperatura del suelo, así como, también puede modificarse en función de las rotaciones de cultivos.[26]

La respiración basal del suelo refleja la actividad total o la energía gastada por la población microbiana. Esto sugiere que la respiración del suelo tiene un gran potencial como un indicador del metabolismo de los ecosistemas.

#### Índice de fertilidad del suelo y factor de evaluación del suelo bajo diferentes usos de la tierra

El Índice de Fertilidad del Suelo (SFI) y el Factor de Evaluación del Suelo (SFE) fueron calculados para encontrar el efecto global de los sistemas de uso de la tierra en la calidad del suelo. Los valores mayores del SFI se dan en el cultivo de maíz (166,2), seguido por la remolacha (57,2) y el suelo en recuperación (54,3).

El presente estudio no concuerda con los resultados obtenidos por Panwar [10], donde el SFI es mayor en las plantaciones naturales que en las cultivadas. Esta distorsión encontrada se debe principalmente a que en las parcelas cultivadas, la fertilización realizada en el cultivo de maíz y de remolacha, da lugar a que el fósforo asimilable encontrado presenta valores más altos que el suelo en recuperación, lo que condiciona el índice de fertilidad del suelo. Los valores encontrados en el SFI para el presente estudio tendrían una mayor relación con el concepto de productividad real que con el de fertilidad del suelo.

Al calcular el SFE se obtuvo un valor mayor para el suelo en recuperación (14,1), seguido por la remolacha (8,5) y el maíz (5,6) lo que concuerda con los datos de Panwar *et al.*, 2011, donde las tierras forestales tuvieron el mayor SEF, seguida de plantación de nuez, jardín de casa, y campos agrícolas.

El suelo en recuperación posee una degradación menor que el suelo cultivado con maíz y remolacha. Estudios realizados por la FAO han demostrado convincentemente que la cantidad de N eliminado por cultivos de cereales fueron dos veces y media más que la cantidad extraída de plantaciones de eucalipto. En el caso de P, era 15 veces más.[27]

#### IV. CONCLUSIONES

Considerando que la calidad del suelo agrupa a las propiedades físicas, químicas y biológicas que contribuyen a que el suelo sea funcional, se puede concluir que el monitoreo del estado de la calidad de un suelo es esencial para tomar apropiadas y oportunas medidas de conservación de suelos. La calidad del suelo integra relaciones y funciones entre los diversos

parámetros que se miden y que son importantes para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y ambientales. El suelo regenerado presenta mayor contenido de materia orgánica, cationes de cambio y, tasa de respiración del suelo, lo que redundará en mejores características físicas, químicas y biológicas y por ende en mejor calidad del suelo que en los otros dos sistemas evaluados.

El suelo cultivado con maíz es más exigente que el de remolacha con más exportación de nutrientes y, por tanto, más propenso a alcanzar problemas de degradación.

La tasa de respiración es el índice más sensible de los parámetros utilizados en el presente estudio para evaluar la calidad del suelo, tiene un gran potencial como indicador del metabolismo de los ecosistemas.

### Agradecimientos

Al Gobierno del Ecuador y la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación como entidad responsable del proceso de becas Convocatoria 2011-2012, a María Isabel González Hernández y José Antonio Egido Rodríguez por el apoyo recibido, a la Universidad de Salamanca y el personal docente del Máster en Biología y Conservación de la Biodiversidad, a AGROCALIDAD, a mi familia y amigos.

### Referencias

- [1] Ferreras, L.; Toresani, S.; Bonel, B.; Fernández, E.; Bacigaluppo, S.; Faggioli, V.; Beltrán, C.: Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del suelo [online]* 2009, 27, 103-114.
- [2] Ross, S. M.: Organic matter in tropical soils: current conditions, concerns and prospects for conservation. *Progress in Physical Geography* 1993, 17: 265-305.
- [3] Elliott, E. T.: Aggregate Structure And Carbon, Nitrogen, And Phosphorus In Native And Cultivated Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1986, 50, 627-633.
- [4] Celik, I.: Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research* 2005, 83, 270-277.
- [5] Larson, W. E.; Pierce, F. J.: The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *Defining soil quality for a sustainable environment* 1994, 37-51.
- [6] Doran, J.; Parkin, T. B.: Defining and assessing soil quality. In: *Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment. Soil Science Society of America. Special Publication 35*. Madison, Wisconsin, USA. pp 3-21 1994.
- [7] Galantini, J.; Rosell, R.: Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil and Tillage Research* 2006, 87, 72-79.
- [8] Buckman, H.; Brady, N.: *Naturaleza y Propiedades de los Suelos*; 5ta ed.: Mexico. U.TE.H.A, 1993.
- [9] Bastida, F.; Zsolnay, A.; Hernández, T.; García, C.: Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma* 2008, 147, 159-171.
- [10] Panwar, P.; Pal, S.; Reza, S. K.; Sharma, B.: Soil Fertility Index, Soil Evaluation Factor, and Microbial Indices under Different Land Uses in Acidic Soil of Humid Subtropical India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2011, 42, 2724-2737.
- [11] Michéli, E.; Schad, P.; Spaargaren, O.; Dent, D.; Nachtergaele, F.: *World reference base for soil resources: 2006: a framework for international classification, correlation and communication*; FAO, 2006.
- [12] Köppen, W.: *Das geographische System der Klimate* (Handbuch der Klimatologie, Bd. 1, Teil C). 1936.
- [13] Soil Survey Staff: *Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph, No. 19. Pocahontas Press, Blacksburg, Virginia* 1992.
- [14] Bray, R.; Kurtz, L.: Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. 1954, 59, 39-45.
- [15] Nelson, D. W.; Sommers, L. E.: Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: *A.L. Page (Ed) Methods of Soil Analysis, Monograph (2nd edn)*, 9, *American Society of Agronomy, Madison* (1982) 1982, 539-579.
- [16] García, C.; Gil, F.; Hernández, T.; Trasar, C.: *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos. Medidas de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana*: España, 2003.
- [17] Yilmaz, E.: Effects of Different Sources of Organic Matter on Some Soil Fertility Properties: A Laboratory Study on a Lithic Rhodoxeralf from Turkey. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2011, 42, 962-970.
- [18] Brady, N. C.; Weil, R. R.: *The Nature and Properties of Soils*; Pearson International Edition ed.: United States of America, 2008.
- [19] Urricariet, S.; Lavado, R.: Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del suelo* 1999, 17, 37-44.
- [20] Öztürkmen, A.; Kavdir, Y.: Comparison of some quality properties of soils around land-mined areas and adjacent agricultural fields. *Environmental Monitoring and Assessment* 2012, 184, 1633-1643.
- [21] Bastida, F.; Moreno, J.; Hernández, T.; García, C.: Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biology and Biochemistry* 2006, 38, 3463-3473.
- [22] Sparling, G. P.: Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. *Biological*

*indicators of soil health. In J.D. Knoop. Biological Indices of soil quality: an ecosystem case of study of their use 1997.*

[23] Hanson, P. J.; Edwards, N. T.; Garten, C. T.; Andrews, J. A.: Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry* 2000, 48, 115-146.

[24] Giardina, C. P.; Binkley, D.; Ryan, M. G.; Fownes, J. H.; Senock, R. S.: Belowground carbon cycling in a humid tropical forest decreases with fertilization. In: C. Oyonarte et al. The use of soil respiration as an ecological indicator in arid ecosystems of the SE of Spain: Spatial variability and controlling factors. *Oecologia* 2004, 139.

[25] Dube, F.; Zagal, E.; Stolpe, N.; Espinoza, M.: The influence of land-use change on the organic carbon distribution and microbial respiration in a volcanic soil of the Chilean Patagonia. *Forest Ecology and Management* 2009, 1696-1704.

[26] Anderson, T.-H.; Domsch, K. H.: Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 1989, 21, 471-479.

[27] FAO: The global outlook for future wood supply from forest plantations (Working Paper GFPOS/WP/03). Rome, Italy: FAO. 2000.