

Evaluación de la mejora de la calidad biológica de suelos con prácticas de barreras vivas en tres estudios de caso

Evaluation of the improvement of biological quality of soils with hedgerows practices in three case studies

Mauricio Azero A.¹, Isabel Mendoza C.¹, Mario Veizaga C.²

¹ Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana San Pablo, Calle M. Márquez s/n, Cochabamba, Bolivia.

² Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable (PROAGRO/GIZ), Av. Litoral N° 984 esq. Benjamín Blanco, Cochabamba, Bolivia.

mazero@ucbcba.edu.bo

Resumen: En la zona andina de Bolivia, muchas instituciones han promovido la implementación de diversas prácticas de control de la erosión hídrica del suelo. Una de las prácticas de control de erosión más populares es la implementación de barreras vivas. No obstante el amplio uso de estas técnicas, no existe la suficiente información sobre su eficacia y eficiencia en la recuperación de la calidad biológica de los suelos, la cual está vinculada con los principales servicios ambientales que provee. Se compararon 3 pares de parcelas (con barreras vivas y sin ellas), ubicadas a diferente altitud de la cuenca del río Comarapa. Se realizaron observaciones de calicatas y determinaron indicadores de calidad biológica: respiración del suelo, biomasa microbiana, materia orgánica total y carbono orgánico activo, así como temperatura y humedad edáfica. En todos los casos las barreras vivas fueron eficaces en el control de la erosión, pero también en la recuperación de la calidad biológica del suelo, reflejada a través de la acumulación de materia orgánica total, tasa de respiración heterotrófica y biomasa microbiana del suelo. Esto podría sugerir una recuperación también de los servicios más fundamentales que provee el suelo. El carbono orgánico activo en cambio mostró un comportamiento errático y con una relación pobre con los demás indicadores.

Palabras clave: Calidad biológica, tasa de respiración, biomasa microbiana, carbono orgánico activo, servicios ambientales del suelo, barreras vivas, sistemas agroforestales

Abstract: In the Andean region of Bolivia, many institutions have promoted the implementation of various control practices of soil water erosion. One of the most popular techniques of erosion control is the implementation of hedgerows. Despite the widespread use of these techniques, there is insufficient information on its effectiveness and efficiency in the recovery of its biological quality, which is linked to the main environmental services provided by soil. Three pairs of plots

(with hedgerows and without them), located at different altitudes of Comarapa river basin were compared. Soil pit observations and indicators of soil quality: soil respiration rate, soil microbial biomass, total soil organic matter and soil organic carbon, as well as soil temperature and moisture were determined. In all cases hedgerows were effective in controlling erosion but also in the recovery of biological soil quality, reflected by the accumulation of total organic matter, heterotrophic respiration rate and soil microbial biomass. This could suggest a recovery also of the most fundamental services provided by the soil. Active organic carbon instead showed erratic behavior and not in line with other indicators.

Key Words: Soil biological quality, respiration rate, microbial biomass, active organic carbon, soil environmental services, hedgerows, agroforestry systems

1 Introducción

La erosión de los suelos es un proceso de degradación muy extendido en la zona andina de Bolivia. Según el Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación (PRONALDES, 1996), 85,6 % de la superficie de esta región está afectada por esta degradación en algún grado. Sin embargo, por los pocos esfuerzos realizados en los últimos 20 años desde que se publicó el Mapa Preliminar de erosión de suelos en la zona árida, semiárida y subhúmeda de Bolivia (PRONALDES, 1996), este proceso degradativo sin duda se ha agudizado.

El Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego a través del Plan Nacional de Cuencas, en los últimos años está promoviendo medidas de conservación de suelos como parte de los Proyectos de Manejo Integral de Cuencas. Sin embargo, aún se requiere una planificación estratégica más contundente por parte del estado, porque aún diversos esfuerzos han sido llevados a cabo de una manera atomizada, promoviendo la implementación de prácticas de conservación de suelos, tales como barreras vivas, sistemas de terraceo, cultivos de cobertura, abonos verdes, zanjas de infiltración, sistemas agroforestales, control de cárcavas, labranza vertical, entre otras. Algunas experiencias han sido sistematizadas y evaluadas (vg. Salinas, 1995; JALDA, 2005) más que todo en lo referido a su viabilidad económica y técnica. Se conoce que las prácticas de control de erosión son eficaces en controlar las distintas etapas del proceso erosivo. No obstante se ha publicado poco sobre los aspectos de calidad biológica, los cuales suelen tener consecuencias importantes, debido al importante rol de los organismos del suelo en los ciclos biogeoquímicos y en la formación de estructura, además de otras funciones ecosistémicas fundamentales que provee el suelo, tales como los flujos de gases de efecto invernadero, la degradación de compuestos xenobióticos y contaminantes, la producción de antibióticos que regulan los equilibrios biológicos, etc. (Jones *et al.*, 2010; Wander, 2004). Debido a esto último, las propiedades biológicas son fundamentales para el mantenimiento de la calidad del suelo y la productividad de los ecosistemas

terrestres (Roscoe *et al.*, 2006; Nogueira *et al.*, 2006). Finalmente, los indicadores de calidad biológica son parámetros que permiten registrar la dinámica de corto y mediano plazo de los suelos (Doran *et al.*, 1994; Brady y Weil, 2008; Culman *et al.*, 2012), lo cual les brinda una versatilidad para analizar los cambios que ocurren en lapsos de meses o pocos años.

En las últimas décadas, la pérdida de las funciones ecosistémicas asociadas al rol del suelo en la naturaleza, han sido descritas como una pérdida de la “calidad” del suelo. El concepto de calidad del suelo surgió en los años 90 (Karlen *et al.*, 1997). Puede ser interpretada, como la capacidad del suelo de sustentar la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire y soportar la habitabilidad y la salud del hombre (Karlen *et al.*, 1997). Lamentablemente, la calidad no puede ser determinada por un parámetro simple, sino por un conjunto de ellos (Garrigues *et al.*, 2012), o “conjunto mínimo de datos” (MDS, por sus siglas en inglés) según Garrigues *et al.* (2012). Este conjunto es extremadamente variable según las necesidades de información, las características del ecosistema, la escala y los recursos disponibles. Han sido propuestos muchos MDS, compuestos por distintas variables, físicas, químicas y biológicas. Estas últimas tienen la virtud de integrar a los distintos aspectos que hacen a la calidad del suelo. Como el suelo es un sistema de por sí altamente complejo, el análisis parcial de indicadores físicos y químicos difícilmente refleja de una manera suficiente la calidad biológica del ambiente edáfico. Por ello, los indicadores de calidad biológica tienen un potencial importante.

Los indicadores de calidad biológica se dividen en dos tipos: directos (Bohanec *et al.*, 2007; Kaschuk *et al.*, 2010) e indirectos (Kirchmann y Andersson, 2001; Culman *et al.*, 2012). Los indicadores directos son diferentes taxa de organismos (“bioindicadores”), así como procesos resultantes de su actividad (respiración, actividad enzimática, etc.). Los indirectos están dirigidos a la evaluación del entorno en el que los organismos del suelo habitan (p.e., características del edafoclima, contenido de materia orgánica del suelo o sus fracciones, distribución de la materia orgánica en el perfil, contenido de nutrientes, etc.).

Con estos antecedentes, el desarrollo de sistemas de indicación de calidad biológica, para las condiciones de evaluación ambiental y productiva de agroecosistemas de nuestro país es relevante. Debido a esto, el presente trabajo tiene por objeto evaluar el impacto de barreras vivas implementadas por el Gobierno Autónomo Municipal de Comarapa, sobre la calidad biológica de suelos de tres casos de estudio en la localidad de Comarapa, Santa Cruz, Bolivia. Incluye la evaluación de indicadores directos (tasa de respiración y biomasa microbiana) e indirectos (materia orgánica total, carbono orgánico activo, y humedad y temperatura edáfica). Estos indicadores fueron seleccionados en base a su

factibilidad de implementarse en laboratorios de equipamiento mediano disponibles en el país.

2 Metodología

Se definieron tres componentes en la realización del estudio:

2.1 Identificación tres pares de casos de estudio (3 con barreras vivas y 3 sin barreras) y descripción de las prácticas agrícolas.

Se seleccionaron tres pares de parcelas comparables en sus características físicas y de manejo (prácticas e insumos, ubicación en la pendiente, condiciones hidrológicas y condiciones edáficas básicas). Utilizando entrevistas y técnicas de observación directa, se hizo un registro e historización corta (3 años), detallada, de las prácticas de manejo aplicadas en las parcelas, para asegurar la comparabilidad de los pares.

2.2 Evaluación de indicadores de calidad de suelos

2.2.1 Observación directa en campo

Se describió las características de la tierra a campo, utilizando la guía de FAO (FAO, 2009).

2.2.2 Indicadores indirectos de calidad biológica

Se evaluó: (a) Materia Orgánica Total (MO), (b) Carbono Orgánico Activo (COA) y (c) parámetros edafoclimáticos (temperatura y humedad edáficos, T y H). MO se midió a través del método de combustión de Walkley Black. COA se determinó según el procedimiento del carbono oxidable con permanganato (Weil *et al.*, 2003) y el protocolo de Culman (Culman *et al.*, 2012; Culman, 2013). Se tomó 3 muestras simples por vez, en patrón geométrico en sentido del gradiente principal. Las muestras fueron tomadas cuatro veces, cada 20-30 días, entre julio 2013 y enero 2014. Se consideraron para el muestreo solamente los primeros 10 cm de suelo, donde se concentra el 50 % de la actividad microbiana (Murphy *et al.*, 1998).

Los parámetros de humedad y temperatura se obtuvieron in situ, con equipos portátiles (termómetro edáfico y sensor de humedad). Se midieron en la superficie (5 cm), en los mismos 3 puntos de muestreo de una de las 6 parcelas. Las mediciones se realizaron cada 3-4 semanas, entre los meses de julio 2013 y enero 2014.

2.2.3 Indicadores directos de calidad biológica

Se evaluó (1) la tasa de respiración (TR) y (2) la biomasa microbiana (BM).

Se tomaron 3 muestras simples en patrón geométrico en el sentido del gradiente principal, 4 veces, cada 20-30 días entre julio 2013 y enero 2014, con muestreador de suelos, en los primeros 10 cm de profundidad. Luego de ser tomadas las muestras a campo, se guardaron en un conservador con hielo hasta su llegada al laboratorio; allí fueron tamizadas con tamiz de 2 mm y mantenidas refrigeradas a 4°C hasta su análisis.

Para la estimación de la tasa de respiración heterotrófica del suelo, se usó el método de Hopkins (Carter y Gregorich, 2007), el cual consiste en la incubación de la muestra de suelo en cámara cerrada con trampa alcalina (NaOH 1 N) para la captura de CO₂. Se incubó la muestra 6-14 días y tituló con HCl 1 N.

La biomasa microbiana fue determinada a partir del método de la fumigación con cloroformo y extracción (método FE) (Vance *et al.*, 1987). Para esta prueba se puso cada una de las muestras de suelo a capacidad de campo, se incubaron 7 días, se pesó el equivalente a 10 g de suelo seco para fumigar con cloroformo libre de etanol y lo mismo para tener como muestra de contraste. Se trabajó las muestras por triplicado. Las muestras fumigadas se mantuvieron 24 horas en ambiente empapado de cloroformo libre de etanol. Posteriormente se extrajo el carbono existente con K₂SO₄ 0,5 M. Se leyó el extracto con un espectrofotómetro en un espectro UV de 280 nm.

Todos los análisis fueron realizados en los laboratorios de química y biología de la Universidad Católica Boliviana San Pablo, de la regional Cochabamba.

2.3 Análisis estadístico

Los valores de los indicadores de calidad biológica se relacionaron entre ellos mediante análisis de correlación. Se realizaron comparaciones de diferencia de medias a través de análisis de varianza. Los datos fueron procesados mediante el programa estadístico SPSS, versión 23.

3 Resultados y discusión

Se seleccionaron 3 propiedades donde se tenían parcelas con prácticas de conservación, al lado inmediato de parcelas sin ninguna práctica de conservación. Se tomaron muestras de las comunidades de La Jara (Edgar Clauere), Los Pinos (Franklin Andía) y Quiñales (Demetrio Clauere), comunidades marcadas en la figura 1, distribuidas entre la parte alta, media y baja de la cuenca del río Comarapa.

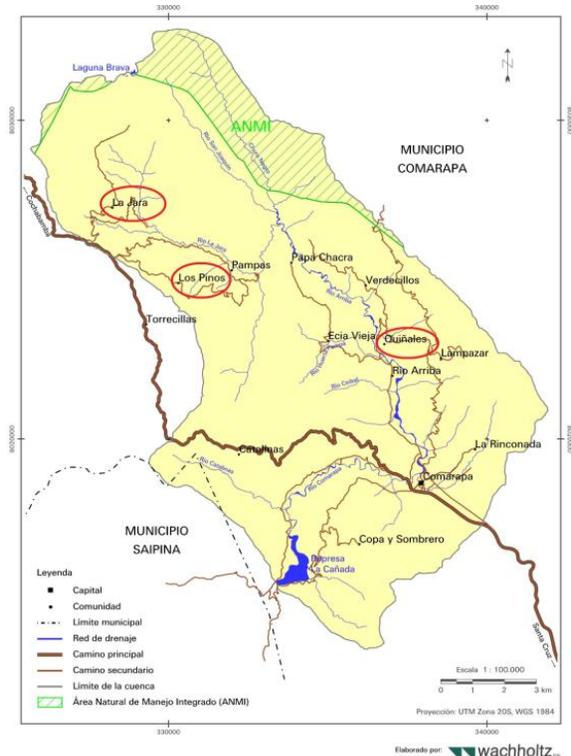


Figura 1: Comunidades de Comarapa en las que se establecieron pares de parcelas de evaluación.

Se realizaron 7 visitas de muestreo a la zona, las cuales se describen en la tabla 1. Las muestras fueron destinadas a los diferentes análisis: MO, TR, COA, BM y T y H.

Tabla 1. Fechas de muestreo de suelos y evaluaciones realizadas.

Destino de la muestra	Muestreos						
	1	2	3	4	5	6	7
	30.07.13	21.08.13	09.09.13	02.10.13	30.10.13	24.11.13	23.01.14
MO	x						
TR	x	x	x	x			
COA				x	x	x	x
BM				x	x	x	x
T y H	x	x	x	x	x	x	x

A continuación, se presentan los resultados en el orden de las diferentes propiedades agrícolas del estudio. Para cada finca se analizan cada uno de los

indicadores mencionados. En cada uno de los casos, se hace una comparación entre las condiciones con barreras vivas (con prácticas de conservación) y sin ellas (testigo).

Al final, se integrarán los resultados con el fin de comparar entre parcelas, con el cuidado de que las condiciones entre ellas son distintas en términos de condiciones ambientales.

CASO 1. Comunidad de Quiñales

La parcela con prácticas de conservación consistió en un sistema agroforestal, con barreras vivas de durazneros, con evidencias marcadas de sedimentación y aterramiento y un gradiente promedio actual de 20° en la zona inter-terrazas. Entre terrazas presentaban un barbecho cubierto con flora adventicia de baja densidad (figura 2). El perfil mostró una profundidad de capa friable de 28 cm. Por debajo se tenía una serie de horizontes con elevada concentración de arcilla y elevada compactación. En estos se observan evidencias de una deficiente oxigenación, expresados por un moteado de compuestos de Hierro en la matriz del suelo.

La parcela testigo era una ladera con pendiente promedio de 23°, con evidencias de erosión laminar sin sedimentación. Consistía en un sistema agroforestal poco denso, sin barreras vivas, y con una baja densidad de cobertura de flora adventicia (figura 3). Tenía una profundidad efectiva de 22 cm, seguida de una capa compactada, con poca presencia de raíces. Por debajo se presentaban horizontes con una alta presencia de rocas, en fuerte contraste con el perfil de la parcela terraceda, la cual no contenía una rocosidad apreciable. Esta observación sugiere una diferente intensidad de proceso erosivo. El suelo de la parcela testigo también exhibía la formación de una costra en la superficie, lo cual no ocurrió en la parcela con práctica de barreras vivas.



Figura 2: Parcela con práctica de conservación consistente en un sistema agroforestal terraceado del Sr. Demetrio Claire (30/07/13, 7:42 am.).



Figura 3: Parcela testigo, con sistema agroforestal no terraceado, del Sr. Demetrio Claire (30/07/13, 7:56 am.).

Tabla 2. Resultados de análisis de calidad biológica: Materia Orgánica (MO), Carbono Orgánico Activo (COA) y Biomasa Microbiana (BM).

	MO (%)	COA1 (g C/kg) nov 14	COA2 (g C/kg) ene 14	BM1 (mg/g) nov 13	BM2 (mg/g) ene 14
Quiñales con conservación	9,9	551,3	1157,3	3,93	0,94
Quiñales testigo	4,3	639,3	1158,2	0,05	0,36

Tabla 3. Resultados de análisis de calidad biológica: Tasa de Respiración (TR), medida en g CO₂×10⁻⁴ / g suelo. Tiempo de incubación de 6 a 14 días.

	TR1		TR2		TR3		TR4		TR5	
	7 d	11 d	6 d	14 d	6 d	14 d	6 d	14 d	6 d	14 d
Quiñales con conservación	2,78	3,06	5,22	5,64	1,17	2,00	5,39	11,00	10,74	9,51
Quiñales testigo	2,76	0,84	5,42	5,39	2,79	5,20	6,42	7,57	8,63	9,75

En las parcelas evaluadas en Quiñales, se observó que el contenido de rastrojos de ambas en superficie era similar, independientemente de la mayor conservación y captación de sedimento de la parcela con barreras vivas.

La tasa de respiración mostró resultados variables en el tiempo durante los 5 muestreos realizados (tabla 3). Sin embargo, muestran una tendencia a los valores bajos en el invierno y en ascenso durante la primavera, lo cual es una tendencia normal para este parámetro (Luo y Zhou, 2006) en climas donde hay estaciones relativamente marcadas. Si se comparan los resultados de la tasa de respiración con aquellos de la temperatura del suelo presentados en la figura 6, es posible observar una relación directamente proporcional, es decir, una mayor temperatura está relacionada con una mayor tasa de respiración, lo que ha sido descrito ampliamente en la literatura (Luo y Zhou, 2006).

La comparación de medias entre pares de valores de tasas de respiración tanto a los 6 como a los 14 días en función de la temperatura, muestra que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la parcela con conservación y la parcela testigo ($p=0,832$ y $p=0,687$ respectivamente), con lo que no se puede afirmar que la tasa de respiración de la parcela con conservación fue superior a la tasa en la parcela testigo, en el período de estudio, con el número de observaciones que se analizó.

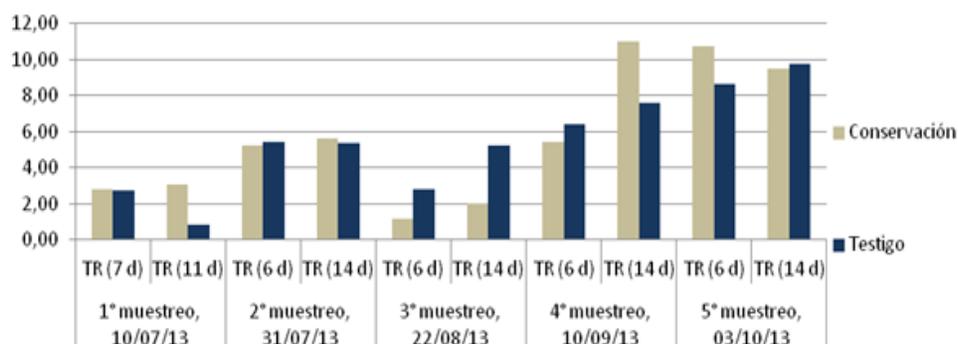


Figura 4: Tendencia de la tasa de respiración heterotrófica de suelos (g CO₂ × 10⁻⁴ / g suelo) de las parcelas agroforestal terraceada (con conservación) y no terraceada (testigo).

El contenido de humedad mostró diferencias importantes, aunque no consistentes, entre ambas parcelas (figura 5), siendo el nivel de significancia de la diferencia de medias de 0,661. La variación de la humedad fue errática en el período.

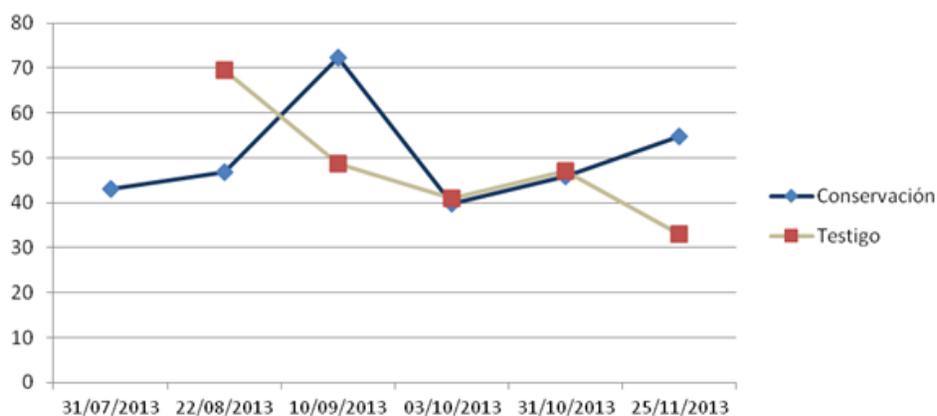


Figura 5: Humedad edáfica (medida como porcentaje de la capacidad de campo) de suelos de las parcelas agroforestal terraceada (con conservación) y no terraceada (testigo) de propiedad del Sr. Demetrio Claire, comunidad de Quiñales.

La temperatura edáfica mostró diferencias significativas entre parcelas a un nivel de 0,85 %. Ambas mostraron una tendencia al incremento desde mediados de septiembre hasta la última medición en el mes de noviembre, como se observa en la figura 6. La tendencia de la temperatura acompaña al incremento de la tasa de respiración en el período.

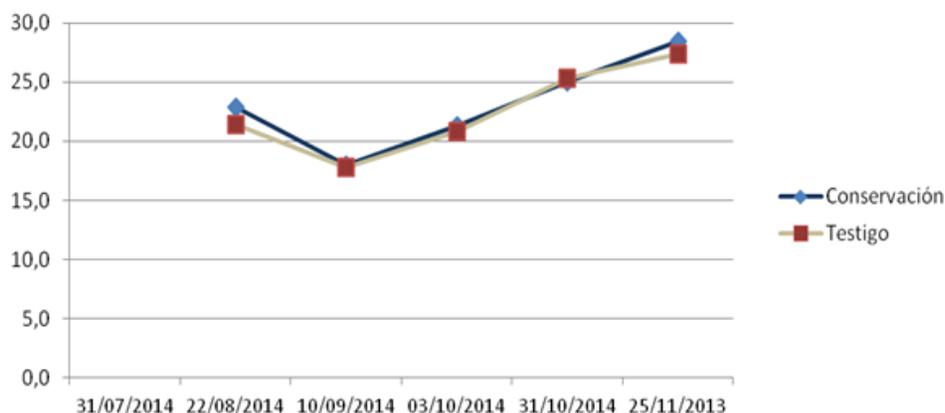


Figura 6: Temperatura edáfica (medida en °C a 5 cm de profundidad) de suelos de las parcelas agroforestal terraceda (con conservación) y no terraceda (testigo) de propiedad del Sr. Demetrio Claire, comunidad de Quiñales.

La BM resultó notablemente más elevada en la muestra de la parcela con conservación de suelos, en las dos muestras de suelos de noviembre y enero (3,93 mg/g suelo seco en noviembre y 0,94 mg/g en enero) en relación a la muestra testigo (0,05 mg/g suelo seco en noviembre y 0,36 en mg/g suelo seco enero) (tabla 2).

El COA no varió de manera apreciable entre tratamientos pero sí con la época del año: en primavera fue significativamente menor que en verano.

Es interesante notar que los resultados no mostraron una relación directa entre la biomasa microbiana y el carbono orgánico activo, sugiriendo la presencia de otros factores más importantes para el desarrollo de la biomasa microbiana que la disponibilidad de fuentes de carbono. Por otro lado, el carbono orgánico activo tampoco mostró una relación directa con la tasa de respiración heterotrófica, lo que refuerza el razonamiento anterior.

CASO 2. Comunidad de La Jara

La parcela con prácticas de conservación consistió en sistemas agroforestales formando barreras vivas, con terracedo en formación. El cultivo leñoso fue duraznero y entre terrazas presenta un barbecho del año (figura 7). La parcela testigo es también un sistema agroforestal, pero sin terracedo (figura 8). Presentaba un cultivo de zanahoria y una cubierta de *mulch* de espesor importante. También muestra el desarrollo de gramíneas adventicias formando manchones de un césped muy denso. La pendiente media de la parcela con prácticas de conservación era de 35° debido al terracedo en formación; en cambio en la parcela testigo, era de 40°.

En comparación con las otras parcelas de las demás comunidades, tanto la parcela con prácticas como la parcela testigo presentaban la mejor cobertura vegetal en la superficie.



Figura 7: Sistema agroforestal terraceado del Sr. Edgar Claire (31/07/13, 4:57 pm.).

La evaluación in situ mostró que la cobertura total en ambos suelos era comparable, si bien la proporción entre cobertura viva y muerta fue muy variable en los dos casos. La parcela con sistemas agroforestales en barreras vivas presentaba mayor proporción de cobertura viva (alrededor de 40 % en contraste a un 15 % del suelo testigo) en tanto que la parcela testigo presentaba un alto porcentaje de cobertura de mulch (cerca de 75% en comparación con el 40 % del suelo agroforestal).

Al igual que ocurrió con las parcelas de Quiñales, la parcela agroforestal mostró también una mayor profundidad efectiva (alrededor de 58 cm) en comparación con la parcela sin terraceo (46 cm). Dos estratos eran notorios: una capa no consolidada de cerca de 28 cm en el suelo agroforestal seguido de capas iluviales compactas. En el suelo testigo, la capa no consolidada presentaba 15-19 cm, seguido de las capas más compactadas. Estos hechos reflejan el grado de erosión que fue disminuido y el sedimento captado por la acción del terraceo.



Figura 8: Parcela testigo, agrícola no terraceado, del Sr. Edgar Cloure (31/07/09, 2:23 pm.). Puede observarse la elevada cobertura de mulch en la superficie.

Con respecto a los indicadores biológicos, durante todos los muestreos, la tasa de respiración de los suelos con prácticas de conservación fue superior a la parcela testigo (tabla 5 y Figura 9). En promedio las parcelas con conservación mostraron una tasa de respiración superior ($9,12 \times 10^{-4}$ g CO₂ / g de suelo) frente a las parcelas testigo ($7,20 \times 10^{-4}$ g CO₂ / g de suelo). Especialmente las tasas de respiración finales (14 días), fueron significativamente superiores en las parcelas con conservación, a un nivel de significancia de $p=0,800$.

Tabla 4. Resultados de análisis de calidad biológica: Materia Organica (MO), Carbono Organico Activo (COA) y Biomasa Microbiana (BM).

	MO (%)	COA1 (g C/kg) nov 14	COA2 (g C/kg) ene 14	BM1 (mg/g) nov 13	BM2 (mg/g) ene 14
La Jara con conservación	11,2	1,58	4,36	1,26	1,12
La Jara testigo	9,2	0,1	1,78	0,88	1,25

Tabla 5. Tabla 5. Resultados de análisis de calidad biológica: Tasa de Respiracion (TR), medida en unidades de $\text{g CO}_2 \times 10^{-4} / \text{g suelo}$. Incubación de 6 a 14 días.

	TR1		TR2		TR3		TR4	
	(31.07.13)		(22.08.13)		(10.09.13)		(03.10.13)	
	7 d	11 d	6 d	14 d	6 d	14 d	6 d	14 d
La Jara con conservación	5,59	6,28	3,38	10,00	2,40	10,00	9,38	10,20
La Jara testigo	5,28	6,27	2,85	5,30	3,94	10,00	6,57	7,23

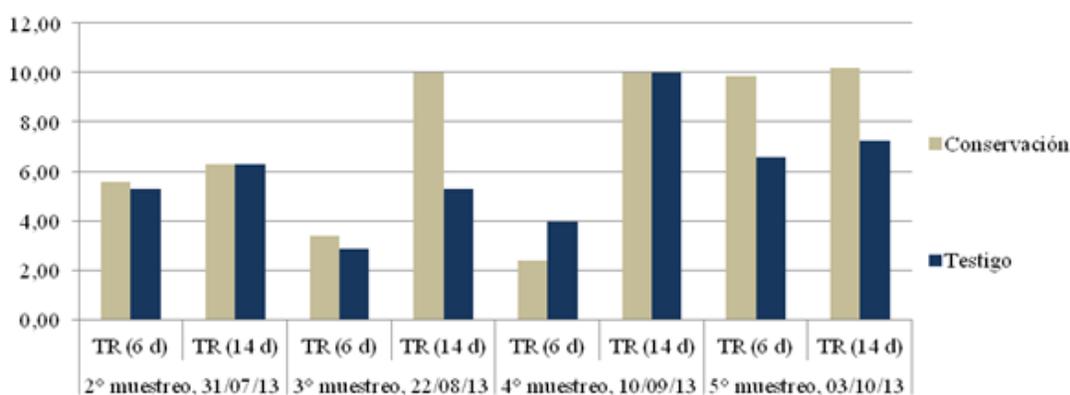


Figura 9: Tasa de respiración de muestras de las parcelas del Sr. Edgar Claure, con barreras vivas de durazneros y sin ellas.

La humedad mostró una dinámica distinta en estas parcelas (figura 10). A fines de julio, la parcela terraceda de conservación se encontraba notoriamente más húmeda, pero la diferencia se fue achicando en agosto y septiembre, llegando incluso la parcela testigo a superar a la parcela terraceda, probablemente por la alta cobertura de *mulch*. Interesante pero no sorprendentemente, la temperatura acompañó esa dinámica (figura 11), sugiriendo el rol del agua edáfica como un factor del comportamiento térmico del suelo. Las diferencias de humedad entre parcelas, en el período de estudio, no fueron significativas.

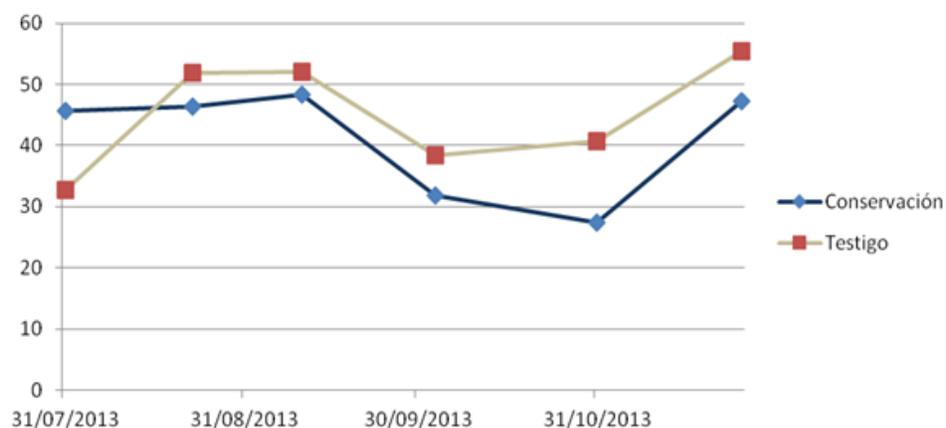


Figura 10: Humedad edáfica (medida como porcentaje de la capacidad de campo) de suelos de las parcelas agroforestal terraceada y no terraceada (testigo) de propiedad del Sr. Edgar Claire, comunidad de La Jara.

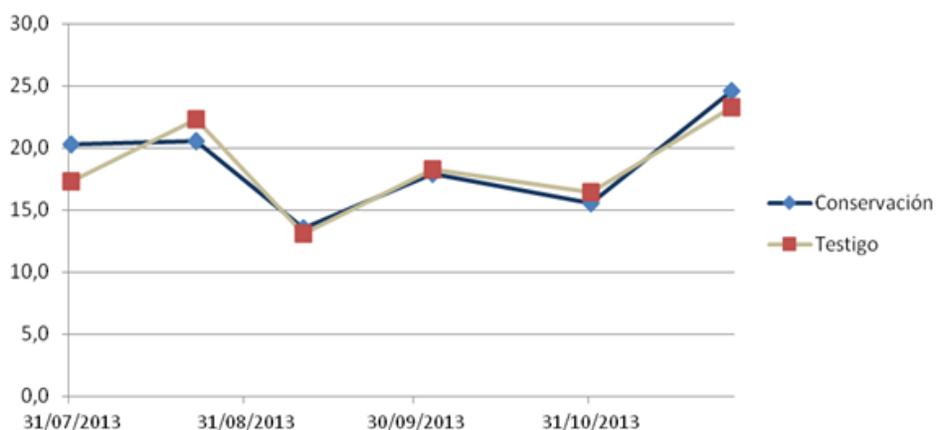


Figura 11: Temperatura edáfica (medida en °C a 5 cm de profundidad) de suelos de las parcelas agroforestal terraceada y no terraceada (testigo) de propiedad del Sr. Edgar Claire, comunidad de La Jara.

En relación a BM, los resultados no muestran una tendencia.

En la comunidad de La Jara, la parcela de conservación tuvo valores de COA apreciablemente superiores a la parcela testigo.

CASO 3. Comunidad de Los Pinos

En la propiedad de Franklin Andia, la parcela con prácticas de conservación consiste en un sistema de barreras vivas de pasto falaris (*Phalaris tuberoarundinacea*), con un terraceado muy significativo (figura 12). La parcela terraceada fue sembrada con papa en surcos en contorno. La parcela testigo es una parcela con alta

inclinación, sin ninguna obra mecánica de control de escurrimiento y sedimentación. Adicionalmente, se encontraba arada y sin ninguna cobertura vegetal (figura 13).



Figura 12: Sistema de surcos en contorno entre barreras vivas, en la propiedad del Sr. Franklin Andia (09/07/13, 3:50 pm.).



Figura 13: Parcela testigo, agrícola no terracedo, del Sr. Franklin Andia (31/07/13, 2:28 pm.).

La inclinación del terreno en la parcela de conservación fue de 18,25 % en promedio, muy similar a los 18,5 % de la parcela testigo. La cobertura vegetal en la parcela de conservación fue de 40 % en tanto que en la parcela testigo fue de 0 %, al momento de la observación. La cobertura de residuos fue nula en ambas parcelas.

Tabla 6. Resultados de análisis de calidad biológica: Materia Orgánica (MO), Carbono Organico Activo (COA) y Biomasa Microbiana (BM).

	MO (%)	COA1 (g C/kg) nov 14	COA2 (g C/kg) ene 14	BM1 (mg/g) nov 13	BM2 (mg/g) ene 14
Los Pinos con conservación	7,8	0,62	1,31	1,41	5,83
Los Pinos testigo	6,0	0,30	1,28	2,88	1,20

Tabla 7. Resultados de análisis de calidad biológica: Tasa de Respiración (TR), medida en unidades de $g\ CO_2 \times 10^{-4} / g\ suelo$. Incubación entre 6 y 14 días.

	TR1 (31.07.13)		TR2 (10.09.13)		TR3 (03.10.13)	
	7 d	11 d	6 d	14 d	6 d	14 d
	Los Pinos con conservación	5,15	5,62	7,08	7,08	7,17
Los Pinos testigo	5,04	6,17	5,11	5,47	8,71	8,31

Las medidas de la tasa de respiración no muestran una tendencia definida entre ambas parcelas. El análisis estadístico no mostró diferencias estadísticamente significativas, debido también a que el número de repeticiones fue pequeño. Sin embargo, los promedios finales (14 días) se mostraron ligeramente superiores en la parcela de conservación ($7,01\ g\ CO_2 \times 10^{-4} / g\ suelo$) que en la testigo (6,65 g).

En cambio sí fue posible observar una tendencia a incrementar la actividad biológica en el tiempo, durante el período de estudio, al pasar entre invierno y primavera, sugiriendo la importancia del edafoclima para la actividad biológica.

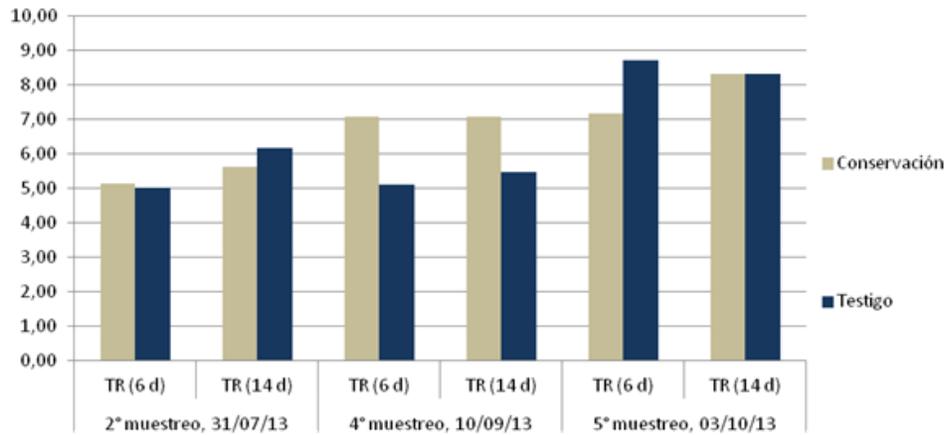


Figura 14: Tasa de respiración de muestras de las parcelas del Sr. Franklin Andia, con barreras vivas de pasto falaris y sin ellas.

Como en el caso de las parcelas de La Jara, de una manera interesante, los datos de humedad y temperatura guardan una relación inversa bastante estrecha.

Comparando entre parcelas, la humedad del suelo no mostró diferencias estadísticamente significativas en el período ($p=0,759$).

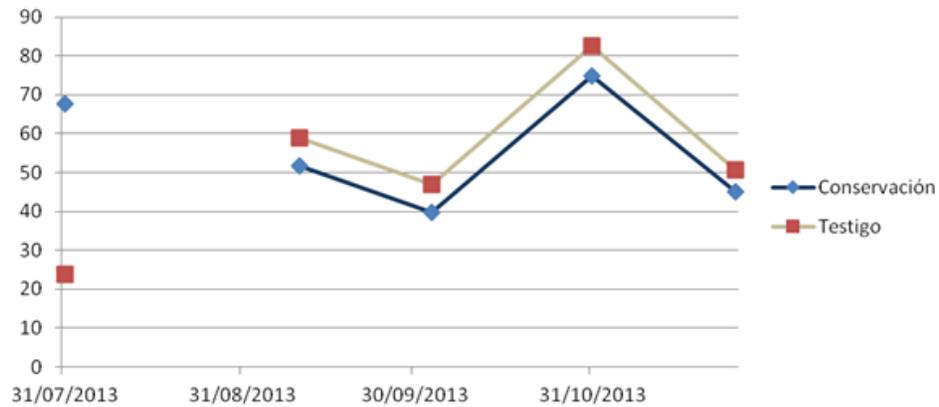


Figura 15: Humedad edáfica (medida como porcentaje de la capacidad de campo) de suelos de las parcelas con barreras vivas de pasto falaris terraceada y sin barreras vivas ni terraceada (testigo) de propiedad del Sr. Franklin Andia, comunidad de Los Pinos.



Figura 16: Temperatura edáfica (medida en °C a 5 cm de profundidad) de suelos de las parcelas con barreras vivas de pasto falaris terraceada y sin barreras vivas ni terraceada (testigo) de propiedad del Sr. Franklin Andía, comunidad de Los Pinos.

En el caso de la biomasa microbiana (tabla 6), contrastando con los anteriores dos casos, la biomasa microbiana tuvo en noviembre un desarrollo ligeramente mayor en el suelo de la parcela testigo (2,88 mg C / g suelo seco) en relación a la parcela con barreras vivas (1,41 mg C / g suelo seco). Sin embargo, en el mes de enero, la biomasa microbiana fue notoriamente superior en la parcela de conservación: 5,83 mg C / g suelo seco, contra 1,20 de la parcela testigo. El resultado de noviembre contrasta también con el resultado global de la tasa de respiración y el contenido de materia orgánica del suelo. Pero en cambio guarda relación con la humedad y la temperatura del suelo en el período de muestreo. En el mes de enero, los resultados de biomasa microbiana vuelven a ser coherentes con los de respiración y materia orgánica del suelo.

Análisis integrado de los indicadores

Se discute a continuación una comparación integrada de los indicadores de calidad biológica de las seis parcelas.

La figura 17 resume los valores promedio encontrados para los 4 indicadores mencionados. Como tendencia, puede observarse que los parámetros de MO, TR y BM son superiores en el caso de parcelas con barreras vivas en relación a las parcelas testigo. En el caso particular del COA, en cambio, esta tendencia no es evidente.

Se destaca la comparación de la biomasa microbiana entre parcelas con conservación y testigo. Este resultado es importante por el papel de los microorganismos para procesos esenciales del suelo. Se ha indicado la relación entre los microorganismos y funciones como la liberación de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica, la construcción de bioestructura y la

degradación de contaminantes (Bauhus y Khanna, 1999; Preston *et al.*, 2001; Bot y Benites, 2005).

La tabla 8 resume resultados del análisis de diferencias apareadas en relación al contenido de materia orgánica del suelo. Se realizaron comparaciones en relación a la materia orgánica dado que es el valor de referencia convencional para evaluar la calidad biológica. En primera instancia puede observarse una elevada y significativa correlación positiva entre el contenido de materia orgánica y la biomasa microbiana, en primer lugar, seguido de la tasa de respiración. En cambio, existe una correlación pobre entre el contenido de materia orgánica y el carbono activo; el contenido orgánico fácilmente descomponible no tiene una relación con el contenido orgánico total.

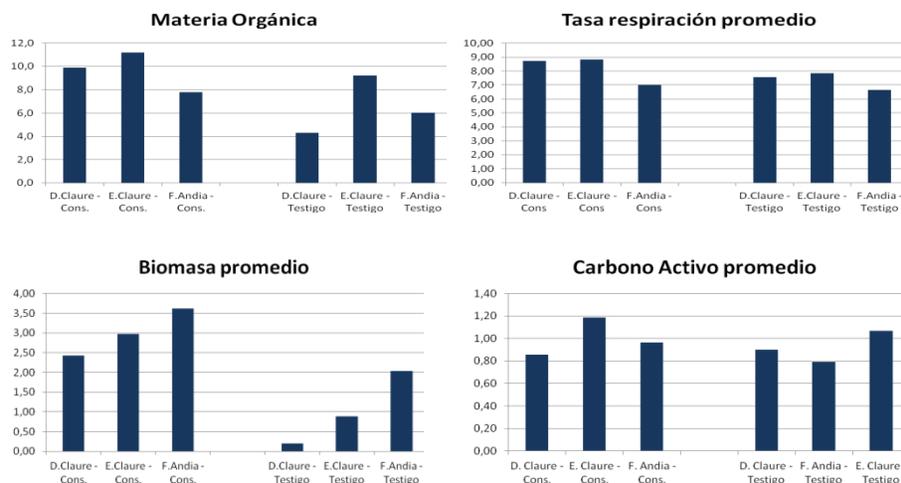


Figura 17: Materia orgánica del suelo, tasa de respiración media, biomasa microbiana y carbono orgánico activo de las 3 propiedades, en las parcelas con conservación y testigo.

El análisis de diferencia de medias de la tabla 9 indica que entre MO-BM y MO-CA las medias son significativamente diferentes, lo que no se puede afirmar entre MO-TR. Esto vincula estrechamente a la tasa de respiración con la materia orgánica. Este resultado muestra que la tasa de respiración reflejaría valores del contenido de materia orgánica pero a la vez también fluctuaría con otras características del entorno, tal como aquellas que afectan de hecho a la actividad microbiana; tal como la aplicación de pesticidas, fertilizantes químicos, el edafoclima y otras cualidades del ambiente relevantes para la actividad biológica.

Tabla 8. Resultados de análisis de correlación entre los indicadores.

Diferencias	N	Correlación Pearson	Sig.
MO & TR	6	0,710	0,114
MO & BM	6	0,906	0,013
MO & CA	6	0,291	0,576

Tabla 9. Resultados de análisis de análisis de diferencia de medias de los indicadores biológicos en relación con la materia orgánica edáfica.

	Diferencias apareadas			t	df	Sig.
	Media	Desv. St.	Prom. Desv. St.			
MO - TR	0,20000	1,96861	0,80368	0,249	5	0,813
MO - BM	5,94167	1,43871	0,58735	10,116	5	0,000
MO - CA	7,00500	2,45472	1,00214	6,990	5	0,001

4 Conclusiones

La observación de los perfiles de suelos muestra con bastante contundencia que el terraceo ocasionado por acción de las barreras vivas ha sido eficiente y ha conducido a una mayor profundidad efectiva de los suelos, en relación con aquellos que no recibieron esta práctica de conservación de suelos.

Sin embargo, el propósito del estudio era determinar si además de este efecto de barrera física también hay un efecto en mejorar las funciones ecosistémicas del suelo, las cuales están centradas en la actividad de los organismos del suelo.

Los datos obtenidos sobre la calidad biológica muestran también la tendencia de una mayor calidad en los suelos de parcelas con barreras vivas. La materia orgánica, la actividad microbiana del suelo (tasa de respiración heterotrófica) y la biomasa microbiana muestran de manera consistente las diferencias entre parcelas con conservación y parcelas sin medidas de conservación de suelos: en todos los casos, existen diferencias observables. En cambio, el carbono activo brindó resultados más erráticos y difíciles de interpretar.

Con esta información es posible concluir de manera preliminar que las prácticas de conservación de suelos implementadas en las parcelas de la cuenca de Comarapa, con barreras vivas de pasto *falaris* y de sistemas agroforestales, sí parecen tener una respuesta positiva en cuanto a la manutención y/o mejora de las propiedades que tienen que ver con la calidad biológica de los suelos.

Este estudio preliminar sobre indicadores de calidad biológica brindó importante información sobre los parámetros más promisorios para establecer la calidad biológica de suelos agrícolas en Comarapa y zonas comparables.

Pudo observarse también que la tasa de respiración basal se relacionó de manera estadísticamente significativa con la materia orgánica del suelo existente en las parcelas de los casos de estudio. Ello sugiere que la mejora en los contenidos de MO estaría vinculada también con una mayor actividad biológica. Sería interesante en este sentido un estudio de respiración de los diferentes componentes de MO (Hanson *et al.*, 2000; Luo y Zhou, 2006), para predecir cuál es la fuente principal de compuestos mineralizables.

La biomasa microbiana fue el segundo indicador promisorio. A pesar de que no dio relaciones estadísticamente significativas, ello ocurrió probablemente por el escaso número de repeticiones del estudio. Sería importante ampliar el estudio con un muestreo más intenso de la biomasa microbiana.

El carbono activo fue en este caso el parámetro más errático al compararse con los demás.

Es importante mencionar además que los parámetros biológicos se midieron sobre la capa superior (10 cm). De esta forma, refleja las características de la capa superficial y no necesariamente de todo el perfil edáfico. Por ejemplo, las barreras mecánicas son altamente eficientes en el control de la erosión, y con ello permiten que los suelos mantengan una mayor profundidad efectiva del perfil. La profundidad efectiva del suelo es un factor vital para un suelo productivo, sin embargo no es reflejado necesariamente por los indicadores de calidad biológica.

Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado en el marco del Programa Nacional de Cuencas Pedagógicas, el cual es ejecutado por entidades facilitadoras como el Gobierno Autónomo Municipal de Comarapa, con el apoyo de PROAGRO/GIZ. Estas instituciones apoyaron con recursos financieros y humanos para la realización del presente estudio, que es parte de uno más completo de evaluación de recursos naturales (agua, suelo y vegetación) de la cuenca del río Comarapa.

Referencias

- [1] **Bauhus, J., Khanna, P.K.** 1999. The significance of microbial biomass in forest soils. In: Rastin, N., Bauhus, J, Eds. *Going Underground – Ecological Studies in Forest Soils*. Research Signpost: Trivandrum, India. pp. 77–110.

- [2] **Bohanc, M.; Cornet, J.; Giffiths, B., Znidarsick, M.: Debeljak, M.; Caul, S., Thompson, J.; Krogh, P.H.** 2007. *A qualitative multi-attribute model for assessing the impact of cropping systems on soil quality* *Pedobiologia*, 51: 239-250.
- [3] **Bot, A., Benites, J.** 2005. *The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food production.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Roma.
- [4] **Brady, N.C., Weil, R.R.** 2008. *The nature and properties of soils. 14th Edition.* Pearson Education Inc.
- [5] **Carter, M.R., Gregorich, E.G.** 2007. *Soil sampling and methods of analysis. 2nd Edition.* Canadian Society of Soil Science.
- [6] **Chang, X., Zhu, X., Wang, Sh., Luo, C., Zhang Z., Duan, J., Bai, L., y Wang, W.** 2012. *Temperature and Moisture Effects on Soil Respiration in Alpine Grasslands.* *Soil Science*, Vol. 177, N° 9: 554-560.
- [7] **Culman, et al.** 2012 *Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management.* *SSSAJ*: Volume 76: Number 2, March–April
- [8] **Culman, S.** 2013. *Procedure for the Determination for Permanganate Oxidizable Carbon.* *Kellogg Biological Station.* En: *lter.kbs.msu.edu/protocols/133*
- [9] **Doran J.W. y Parkin T. B.** 1994. *Defining and assessing soil quality.* In: Doran J. W., Coleman D. C., Bezdicek D. C. y Stewart B. A. (eds). 1994. *Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment.* Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA.
- [10] **FAO,** 2009. *Guía para la descripción de suelos. Cuarta Edición.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Roma.
- [11] **Garrigues, E.; Corson, M.S.; Angers, D.A.; van der Werf, H.M.G.** 2012. *Soil quality in life cycle assessment: towards development of an indicator.* *Ecological Indicators*, 18: 434-442.
- [12] **Hanson, P.J., Edwards, N. T., Garten, C. T. y Andrews, J. A.** (2000) *Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations.* *Biogeochemistry* 48: 115-146.
- [13] **JALDA.** 2005 *Prácticas de conservación de suelos y aguas validadas por el Proyecto JALDA.* Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. La Paz.
- [14] **Jones, A.; Jeffery, S.; Gandi, C.; Montanarella, L.; Marmo, L.; Miko, L.; Ritz, K.; Peres, G.; Römbke, J.; van der Putten, G.; (Eds.)** 2010. *European Atlas of Soil Biodiversity.* JRC Press.

- [15] **Karlen D.L.; Mausbach, M.J.; Doran, J.W.; Cline, R.G.; Harris, R.F.; Schuman, G.E.** 1997. *Soil Quality: a concept, definition and framework for evaluation*. Soil Science Society of America Journal, 61: 4-10.
- [16] **Kaschuk, G.; Alberton, O.; Hungria, M.** 2010. *Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability*. Soil Biology and Biochemistry, 42: 1-13.
- [17] **Kirchmann, H., Andersson, R.** 2001. *The Swedish system for quality assessment of agricultural soils*. Environmental Monitoring and Assessment, 72: 129-139.
- [18] **Luo, Y., Zhou, X.** 2006. *Soil respiration and the environment*. Elsevier Inc.
- [19] **Murphy, D.V., Sparling G.P., Fillery, I.R.P.** 1998. *Stratification of microbial biomass C and N and gross N mineralization with soil depth in two contrasting Western Australian agricultural soils*. Australian Journal of Soil Research, 36: 45-55.
- [20] **Nogueira, M.A., Albino, U.B., Brandao JR O., Braun, G., Crus, M.F., Dias, B.A., Duarte, R.T.D., Gioppo, N.M.R., Menna, P., Orlandi, J.M., Raimam, M.P., Rampazzo, L.G.L., Santos, M.A., Silva, M.E.Z., Vieira, F.P., Torezan, J.M.D., Hungria, M., Andrade, G.** 2006. *Promising indicators for assessment of agro-ecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 115: 237-247.
- [21] **Preston S., Wirth S., Ritz K., Griffiths B.S., Young I.M.** 2001. *The role played by microorganisms in the biogenesis of soil cracks: importance of substrate quantity and quality*. Soil Biology & Biochemistry 33: 1851-1858.
- [22] **PRONALDES.** 1996. *Mapa preliminar de erosión de suelos: región árida, semiárida y subhúmeda de Bolivia*. Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación. CID. La Paz.
- [23] **Roscoe, R., Mercante, F.M., Mendes, I.C., Reis JR, F.B., Santos, J.C., Hungria, M.** 2006. *Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica*. In: Roscoe, R., Mercante, F.m., Salton, J.C. (Eds.) Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas – Modelagem matemática e métodos auxiliares. EMBRAPA. Agropecuaria Oeste, Dourados, MS. pp. 162-200.
- [24] **Salinas, J.G.** 1995. *Manual de prácticas conservacionistas existentes, Tarija, Bolivia*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago.
- [25] **Scholoter, M., Dilly, O., Munch, J.** 2003. *Indicators for evaluating soil quality*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 98: 255-262.

- [26] **Vance, E.D.; Brookes, P.S.; Jenkinson, D.S.** 1987. *An extraction method for measuring soil microbial biomass C*. Soil Biology and Biochemistry 19: 703-707.
- [27] **Wander, M.** 2004. *Soil organic matter fractions and their relevance to soil function*. In Magdoff, F., and Weil, R.R. (ed.) Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, FL.
- [28] **Weil, R.R.; Islam, K.R.; Stine, M.A.; Gruver J.B.; Samson-Liebig, S.E.** 2003. *Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use*. American Journal of Alternative Agriculture. Vol. 18, N°1.