

Evaluación comparativa de cuatro abonos verdes y estimación de su capacidad de fijación de carbono en dos comunidades del municipio Morochata - Bolivia

Gonzalo Lora Veizaga, Mauricio Azero Alcocer

Universidad Católica Boliviana
Cochabamba, Bolivia
e-mail: loragonzalo@gmail.com
mazer@ucbcba.edu.bo

Resumen

En las comunidades Tuini y Wallata del municipio de Morochata, se identificaron problemas tales como el descenso de la fertilidad, erosión del suelo, uso inadecuado de agroquímicos, falta de rentabilidad económica y emigración. En este contexto de degradación de suelos, los abonos verdes son considerados una medida eficiente para la recuperación de suelos al brindar cobertura vegetal y materia orgánica de fácil descomposición. En vista de esto, para contribuir a la recuperación de los suelos degradados, se propuso la introducción y evaluación comparativa de cuatro especies de leguminosas como abonos verdes en las dos comunidades y la estimación teórica de su capacidad de incrementar el contenido de materia orgánica a través de la fijación de carbono. La especie que mejor se comportó fue *Vicia villosa dasycarpa*. En la comunidad Tuini se obtuvo $10,3 \text{ t ha}^{-1}$ de materia seca de vicia, y en la comunidad Wallata se obtuvo $11,1 \text{ t ha}^{-1}$. Por el contrario el rendimiento más bajo se obtuvo con *Pisum sativum* en la comunidad Tuini ($4,2 \text{ t ha}^{-1}$) y *V. faba* en la comunidad Wallata ($3,3 \text{ t ha}^{-1}$). En cuanto a la humificación, se estimó un incremento de humus de alrededor de $0,05 \%$ por año en ambas comunidades.

Palabras clave: Recuperación de suelos, abonos verdes, *Vicia villosa dasycarpa*, *Vicia faba*, *Pisum sativum*, *Lupinus mutabilis*, fijación de carbono, modelo CESAR, Tuini, Wallata, Bolivia.

1. Introducción

Así como en gran parte de la región andina de Bolivia, el Departamento de Cochabamba presenta graves problemas de degradación y pérdida de fertilidad de suelos. Estos son ocasionados principalmente por la inadecuada gestión agrícola y la fragilidad de los suelos. Como consecuencia, estas regiones sufren un descenso general de la productividad ecológica y económica, y en algunos casos, una pérdida total de terrenos productivos.

El municipio de Morochata, al estar ubicado en una región de ladera, con pendientes que oscilan entre 10 y 50%, una textura franco arenosa y una estructura frágil, es especialmente susceptible a la degradación por erosión. El municipio de Morochata se encuentra en la segunda sección de la Provincia Ayopaya, al noroeste del Departamento de Cochabamba. La temperatura promedio anual en la región oscila alrededor de los 15°C y la precipitación anual media alcanza los 888 mm en la zona de los valles y 460 mm en la zona alta [?].

La estructura económica del municipio está basada en la actividad agropecuaria, caracterizada por el uso de técnicas tradicionales de cultivos, uso intensivo de fuerza de trabajo y un bajo uso de insumos agrícolas, dando lugar a rendimientos bajos de producción agrícola [1]. En lo que respecta a la actividad pecuaria, se tiene la crianza de ganado bovino (especialmente como herramienta de trabajo), ganado ovino y camélido.

En un diagnóstico previo, se identificó que entre los principales problemas del municipio, a nivel ambiental y socioeconómico, se encuentran la erosión de los suelos, la pérdida de fertilidad, los bajos ingresos económicos, la falta de apoyo técnico en la gestión conservacionista de suelos y la migración rural-urbana [15]. En este contexto, se planteó la introducción de cuatro variedades de abonos verdes, como una manera de incrementar el contenido de materia orgánica de los suelos. Con ello, se pretendía incrementar la resistencia de los agregados del suelo a la erosión hídrica, además de mejorar las propiedades físicas y aumentar el contenido de nitrógeno. Posteriormente, a partir de los rendimientos obtenidos, se calculó el aporte teórico de materia orgánica al suelo, estimado a partir de la fijación de carbono. Esto último permitió además tener una primera idea sobre el posible rol de los abonos verdes en el secuestro de carbono.

2. Metodología

En dos asambleas llevadas a cabo en las comunidades de Tuini y Wallata, se identificó a las familias interesadas en trabajar con prácticas de conservación de suelos en sus parcelas en descanso. Se escogió, con participación de toda la comunidad, dos terrenos en Tuini y dos en Wallata, considerando como requisito solamente que la pendiente sea uniforme, tenga un gradiente inferior a 20% y que posea una fertilidad actual moderada y acceso al riego, debido a que se implementó la práctica en época seca.

El diseño experimental elegido fue de bloques completamente al azar en parcelas divididas, con cuatro tratamientos diferentes, correspondientes a las distintas variedades de abonos verdes: vicia (*Vicia villosa ssp. dasycarpa*), haba (*Vicia faba*), arveja forrajera

(*Pisum sativum*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*). Se realizaron además dos repeticiones para cada comunidad, en función al tamaño del terreno.

Las parcelas presentaban una dimensión de 11 m de ancho y 9 m de largo. A su vez, se dividió cada una en cuatro subparcelas de 5 m de ancho y 4 m de largo, separadas 1 m de distancia entre ellas.

Se trabajó con una especie nativa (tarwi), dos introducidas desde la época de la colonia (haba y arveja) y una introducida recientemente (vicia). Las semillas de arveja y vicia fueron provistas por el Centro de Investigación en Forrajes "La Violeta", CIF, mientras que las de tarwi y haba se obtuvieron en las mismas comunidades. La siembra fue realizada siguiendo las densidades de siembra recomendadas por CIF: 100, 80, 80 y 20 kg ha⁻¹, para las parcelas de haba, arveja, tarwi y vicia, respectivamente [16].

La siembra se realizó en época de estiaje. El 8 de agosto de 2003, se sembró la vicia y arveja a chorro continuo sobre surcos. El haba y el tarwi, se sembraron por golpe con una distancia de 0,3 m entre semillas para el tarwi y 0,2 m para la arveja.

Se efectuaron dos aplicaciones de riego: al día siguiente de la siembra y a los 60 días después de la misma. Ambas siguieron la técnica de inundación.

La incorporación de los abonos verdes se realizó el día 15 de diciembre de 2003, es decir 126 días después de la siembra, en una época en que las cuatro especies se encontraban en diferentes niveles de floración.

La incorporación se realizó con machetes y azadones, descartando un metro en cada extremo para reducir el sesgo por efecto de bordura. Posteriormente se repartió toda la materia verde uniformemente en el campo experimental.

El día de la incorporación se recogió de cada tratamiento dos submuestras consistentes en todo el material vegetal desarrollado en un área de 1 m², para su posterior pesaje con una balanza de reloj de 10 kg de capacidad. De esta forma se determinó los rendimientos de materia verde expresados en kg m⁻².

Paralelamente, se realizó la toma de muestras de cada especie para la determinación del contenido de humedad en las plantas. Para esto, se utilizó un horno, a 120 °C por 24 horas, determinando luego la pérdida de peso en una balanza de 0,1 g de precisión. Una vez hallado el porcentaje de humedad presente en los tejidos, se determinó el rendimiento expresado en materia seca.

Para el análisis estadístico se utilizó un análisis de varianza con una variable de respuesta (rendimiento en materia seca) de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

i = 1, 2, repeticiones

j = 1, 2, 3, 4, variedades

y_{ij} = Valor del rendimiento en el i-ésimo bloque donde se aplicó la j-ésima variedad

μ = Media general

α_i = Efecto fijo del i-ésimo bloque

β_j = Efecto fijo de la j-ésima variedad

ϵ_{ij} = Efecto aleatorio de los residuales del i-ésimo bloque con la j-ésima variedad

$$\epsilon_{ij} \sim \text{NIID} (0, \sigma_e^2)$$

$$y_{ij} = \mu + i + j + \epsilon_{ij}$$

Dicho análisis de varianza se efectuó utilizando el software estadístico SPSS. Posteriormente, luego de verificar la existencia de diferencias significativas entre medias, se realizó una prueba de evaluación por pares, a través de la prueba T3 de Dunnett. Se consideró un nivel de confianza de 95 % en todos los casos.

Aproximación a la cantidad de carbono fijado

Para determinar la cantidad de carbono fijado en este ensayo, se utilizó las ecuaciones propuestas por Vleeshouwer y Verhagen [20] en el modelo CESAR (*Carbon Emission and Sequestration by Agricultural land use*). Este modelo calcula la adición de carbono mediante residuos de cosecha y la descomposición de la materia orgánica acumulada en el suelo. La ecuación básica de acumulación de materia orgánica es la siguiente

$$F_c = c h_c \left(\frac{Y_{t-1}}{H} - Y_{t-1} \right) - r_a C_{t-1}$$

Donde:

F_c = flujo anual de carbono,

Y_{t-1} = biomasa cosechada en el año $t - 1$,

H = fracción de la producción primaria neta anual que fue cosechada,

c = fracción de carbono en la materia orgánica del suelo,

h_c = coeficiente de humificación para los residuos vegetales,

C_{t-1} = cantidad de carbono presente en la materia orgánica del suelo en el año $t-1$,

r_a = tasa de descomposición anual de la materia orgánica del suelo.

Tomando en cuenta que en el caso de los abonos verdes, la totalidad de la producción fue incorporada al suelo, la ecuación se reduciría a:

$$F_c = c h_c (Y_{t-1}) - r_a C_{t-1}$$

Posteriormente se realizó una aproximación a la cantidad efectiva de humus aportado al suelo, en base a la cantidad de carbono fijado, tomando en cuenta un contenido promedio de carbono en la materia orgánica del suelo de 58 % [2].

Para la definición de los coeficientes de humificación, se acepta que el valor de estas constantes varían en función al tipo de vegetación (composición, contenido de lignina, relación carbono/nitrógeno) [17, 4] y a las condiciones climáticas de temperatura y humedad [17]. García [8] propuso un coeficiente de humificación anual de 0,2 - 0,3 en España para abonos verdes. Vleeshouwer y Verhagen [21], aunque sin especificar un valor para abonos verdes, proporcionan una lista de siete cultivos extensivos: trigo, papa, remolacha azucarera, arveja, colza, lino y repollo. Los valores para estos cultivos oscilan

entre 0,21 y 0,33 para Europa [21]. El coeficiente que corresponde a la arveja, única leguminosa del grupo, es 0,24 [21]. Por otro lado, Christensen y Olesen [5], calcularon en Dinamarca un coeficiente promedio de 0,27 adicionando diferentes cantidades de pajas durante un período de 23 años, y Kirchman *et al.* [14], en Suecia, estimaron un valor de 0,23 a partir de información recolectada a través de 35 años. Otros valores utilizados en simulaciones de descomposición de residuos son 0,19 y 0,22 en los modelos Roth-C y Socrates, respectivamente. En base a esta información y dada la relativamente baja variabilidad encontrada en la literatura, se definió para el presente trabajo un valor orientativo de 0,25 para los abonos verdes en las comunidades de Morochata. Naturalmente, este valor debe ser ajustado en base a información local empírica, en trabajos posteriores.

Con referencia a la otra variable empírica, el coeficiente de mineralización r_a , Vleeshouwer y Verhagen [21] calcularon valores, para países europeos, que quedan en el rango de 0,024 a 0,032 para suelos agrícolas. Por otro lado, Jenkinson [12] ha encontrado, a partir de trabajos de campo y laboratorio con residuos de cultivo marcados con ^{14}C , un coeficiente de 0,030. Buyanovski y Wagner [3], asimismo, sugieren valores de 0,02 para zonas templadas y 0,04 - 0,05 para zonas húmedas tropicales. Con estos antecedentes, en el presente trabajo se adoptó un valor de 0,025. Nuevamente, el objetivo del presente trabajo es disponer de un valor orientativo que permita evaluar la importancia del aporte de biomasa de los abonos verdes. Será muy importante ajustar luego estas estimaciones en base a información generada localmente.

Producción de biomasa en la comunidad Tuini

En la comunidad Tuini el cultivo de tarwi no emergió, probablemente por problemas en la viabilidad de la semilla. Por otro lado, las condiciones de temperatura y escasez de agua dieron lugar a una floración prematura del cultivo de arveja. En el cuadro 1 se presentan los rendimientos medidos en campo, expresados en términos de materia verde y materia seca.

Repetición	Especie	Rendimiento		Rendimiento		Significancia
		medio de MV —kg ha ⁻¹ —	Humedad —%—	medio de MS —kg ha ⁻¹ —		
1	Vicia	65000	82,4	11440		a
2	Vicia	52500	82,4	9240		a
1	Haba	45000	88,7	5085		b
1	Arveja	25000	81,9	4525		b
2	Haba	37000	88,7	4181		b
2	Arveja	21500	81,9	3891		b

Cuadro 1: Rendimiento de materia verde (MV) y materia seca (MS) en la comunidad Tuini

En el análisis de varianza, para un nivel de confianza de 95%, se observó diferencias

significativas entre medias. Para identificar las diferencias significativas entre pares, se realizó la prueba de comparación por pares, cuyos resultados se presentan en la última columna del cuadro 1. El rendimiento de vicia fue significativamente mayor que los de haba y arveja; sin embargo, entre los dos últimos no se evidenció una diferencia estadísticamente significativa.

Producción de biomasa en la comunidad Wallata

Los rendimientos expresados en términos de materia verde y materia seca, obtenidos en la comunidad Wallata, se muestran en el cuadro 2.

Repetición	Especie	Rendimiento		Significancia
		medio de MV	Humedad	
		—kg ha ⁻¹ —	—%—	
1	Vicia	64000	81,4	a
2	Vicia	55000	81,4	a
2	Arveja	31500	75,4	b
1	Arveja	31000	75,4	b
1	Tarwi	41000	84,6	c
2	Tarwi	34000	84,6	c
2	Haba	17000	81,3	d
1	Haba	16000	81,3	d

Cuadro 2: Rendimiento de materia verde en la comunidad Wallata

En base al análisis de varianza y al análisis de diferencias por pares, se puede concluir que se observaron diferencias significativas, con un nivel de confianza de 95 %, entre todas las especies, en el orden indicado en la tabla.

Comparando los resultados obtenidos en ambas comunidades con otras experiencias similares en el Departamento de Cochabamba y en otros lugares del mundo (ver cuadro 3), se observa que los rendimientos obtenidos en el cultivo de vicia resultan considerablemente elevados.

Como se puede ver, los resultados obtenidos en ambas comunidades, en lo que se refiere al cultivo de vicia, son considerables, ya que solo Torrico [19] obtuvo rendimientos más elevados, con una asociación de vicia peluda y cereales como tutores.

En cuanto a los resultados obtenidos con la arveja forrajera son también elevados, especialmente en la comunidad de Wallata (7,96 t ha⁻¹) donde se obtuvo un rendimiento promedio que duplica a los revisados en la literatura.

En lo referente al cultivo de tarwi y haba, los resultados de biomasa obtenidos se encuentran dentro del promedio de los citados en la literatura revisada, excepto por los resultados obtenidos por Kahnt en el cultivo de haba, cuyos resultados son sumamente elevados en relación a los locales [13].

Localidad o región	Vicia		Arveja		Tarwi	Haba
	Mono-cultivo	Asociada con avena	Mono-cultivo	Asociada con cebada	Mono-cultivo	Mono-cultivo
	----- <i>tha</i> ⁻¹ -----					
Tuini	10,3	-	4,2	-	-	4,6
Wallata	11,1	-	7,7	-	5,8	3,1
Tiraque-Bolivia ¹	-	7	-	-	6-11	2
Tiraque y Ayopaya-Bolivia ²	-	14-20	-	-	2	-
Tarata-Bolivia ³	2,6*	-	4	-	-	4
Tapacarí-Bolivia ⁴	3-4,6	-	-	0,6	-	-
Morochata-Bolivia ⁵	-	8,5	-	-	-	-
Santa Catarina-Brasil ⁶	5	-	3-4	-	-	-
Alemania ⁷	-	-	1	-	-	18-20
Cochabamba-Bolivia ⁸	-	-	-	-	-	3,1-4,9

*Vicia Común

⁴[6], ⁶[7], ¹[9], ⁸[10], ⁷[13], ³[17], ²[19], ⁵[20].

Cuadro 3: Comparación de rendimientos obtenidos por otros autores, expresados en términos de materia seca

Utilizando la ecuación del modelo CESAR, se calculó el flujo anual de carbono para un abonado verde con cada especie. Como los suelos de las parcelas estudiadas tenían un contenido inicial de materia orgánica de alrededor de 2% [20], la cantidad inicial de materia orgánica del suelo estimada fue de 52 t en una hectárea, considerando una profundidad de 0,2 m y una densidad aparente de 1,3 g cm⁻³ (que corresponde, en promedio, a un suelo franco arenoso). Asumiendo que la materia orgánica edáfica tiene un contenido promedio de carbono de 58% [2] la cantidad de materia orgánica calculada corresponde a un contenido de carbono inicial de 30,16 t.

La pérdida anual natural de carbono por el proceso de mineralización, se estimó mediante el producto del contenido inicial de carbono (30,2 t) por una tasa de mineralización anual indicativa (0,025), dando un resultado de 754 kg.

Posteriormente, se calculó el aporte neto de carbono mineralizado por cada abono verde, utilizando un coeficiente de mineralización de 0,25, (754 Kg).

Como se puede ver en el cuadro 4, a partir del modelo CESAR, en la Comunidad Tuini, solamente el abonado verde con vicia da lugar a una fijación importante de carbono. En el caso de los cultivos de haba y arveja, se tiene una pérdida neta de carbono como resultado en el flujo anual.

En la comunidad Wallata (cuadro 5), con el modelo citado, solamente el cultivo de haba da lugar a la pérdida neta de carbono, ya que los otros tres cultivos llegarían, según este cálculo, a fijar este elemento. La cantidad de carbono fijado por el cultivo de vicia es ampliamente superior a los otros dos cultivos (tarwi y arveja).

Posteriormente, se calculó la cantidad de humus aportado al suelo, asumiendo un con-

Especie	Aporte bruto anual	Flujo neto anual
	de carbono	de carbono
	----- <i>kg ha⁻¹</i> -----	
Vicia	1499,5	745,3
Haba	671,8	-82,2
Arveja	610,2	-143,8

Cuadro 4: Aporte neto anual de carbono para un abonado verde en la comunidad de Tuini

Especie	Aporte bruto anual	Flujo neto anual
	de carbono	de carbono
	----- <i>kg ha⁻¹</i> -----	
Vicia	1603,0	849,0
Arveja	1115,9	361,9
Tarwi	839,0	85,0
Haba	448,3	-305,7

Cuadro 5: Aporte neto anual de carbono para un abonado verde en la comunidad de Wallata

tenido de 58% de carbono presente en el humus. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 6.

Especie	Carbono fijado	
	Tuini	Wallata
	----- <i>kg ha⁻¹</i> -----	
Vicia	1284,5	1463,8
Arveja	-247,9	624,0
Tarwi		146,6
Haba	-141,7	-527,1

Cuadro 6: Estimación de la cantidad de humus aportado por cada especie en ambas comunidades

El peso de suelo de una hectárea a una profundidad de 0,2 m (capa arable), tomando en cuenta una densidad aparente de 1,3 g cm⁻³ es de 2 600 t. Asumiendo esto, se obtuvo el incremento porcentual de humus respecto al peso, tal como se muestra en el cuadro 7.

En ambas comunidades, el aporte teórico de humus por parte del abonado verde con vicia supera ampliamente a las otras especies, como se observa en el cuadro 7. El cultivo

Especie	Variación anual	
	Tuini	Wallata
	----- % -----	
Vicia	0,049	0,056
Arveja	-0,010	0,024
Tarwi		0,006
Haba	-0,005	-0,020

Cuadro 7: Balance anual de humus aportado al suelo por cada especie en ambas comunidades

de haba dio lugar a una pérdida de humus en ambas comunidades y el cultivo de arveja, a pesar de haber sido el segundo en importancia en la comunidad Wallata, en la Comunidad de Tuini también dio lugar a una pérdida teórica de humus.

Finalmente, para determinar si este aporte es significativo dentro del sistema productivo de las comunidades, se realizó un balance del flujo anual estimado de carbono con las especies comerciales más importantes utilizadas en la zona. Se tomó en cuenta una pérdida anual de 754 kg ha^{-1} por mineralización y los datos de productividad e índice de cosecha de cada especie para la zona según datos obtenidos en la Fundación PROINPA (Unidad de Agroempresas) para el cultivo de papa [22] y en el Centro de Investigaciones de Fitoecogenética de Pairumani, para el cultivo de maíz [23].

Cultivo	Productividad en tubérculo o grano	Índice de Cosecha	Contenido de MS en tubérculo o grano	Aporte estimado de biomasa al suelo
	----- kg M F ha^{-1} -----		----- % ¹ -----	----- kg M S ha^{-1} -----
Papa	10000 ¹	0,50 ¹	0,16 ¹	3200
Maíz	3500 ²	0,16 ²	0,79 ²	17281

¹[22], ²[23]

Cuadro 8: Productividad, índice de cosecha y aporte de biomasa al suelo para los cultivos de papa y maíz en el municipio de Morochata

Medida	Aporte anual neto	Incremento neto
	de C	anual de humus
	----- kg ha^{-1} -----	----- % -----
Papa	-290,0	-0,019
Maíz	1751,7	0,116

Cuadro 9: Estimación del flujo anual de carbono en el Municipio Morochata para dos cultivos comerciales (papa y maíz)

En los cuadros 8 y 9, un cálculo preliminar muestra el flujo anual de carbono de los cultivos de papa y maíz, bajo un sistema conservacionista, en el que se mantiene el

100 % de los residuos de cosecha en el suelo. El maíz, debido a su gran potencial de producción de rastrojo, aporta alrededor de $1\,751,7\text{ kg C ha}^{-1}$, que expresado en aporte de materia orgánica del suelo implica un incremento de 0,116 % anual. Bajo este ritmo de incremento, el suelo aumentaría su porcentaje de materia orgánica en 1 % en alrededor de 9 años.

Si bien el abonado verde con vicia aporta teóricamente una cantidad importante de materia orgánica, la emisión estimada de carbono de los campos agrícolas en ambas comunidades, teniendo en cuenta el sistema productivo anual, es elevada. Entonces, el aporte del abonado verde con vicia resulta importante, ya que da lugar a un flujo estimado anual de $1,8\text{ t ha}^{-1}$ de fijación de carbono según el modelo CESAR.

Conclusiones

La especie que presentó un mejor comportamiento en ambas comunidades, bajo las condiciones climáticas y edafológicas del ciclo agrícola 2003/04, fue la vicia (*Vicia villosa dasycarpa*). Con ella, se obtuvieron rendimientos elevados en comparación con otros registrados en la literatura: $10,3\text{ t ha}^{-1}$ de materia seca en la comunidad Tuini y $11,1\text{ t ha}^{-1}$ en la comunidad Wallata.

Adicionalmente, la vicia por sus características de elevada densidad radicular y foliar, hábito rastrero y abundante cobertura vegetal, es más eficaz en la protección del suelo contra la erosión y la retención de humedad, comparada con las otras especies incorporadas en el ensayo. De hecho, el beneficio más importante identificado por los agricultores fue la característica de retención de humedad por parte de la vicia, debido al elevado valor del agua en la región.

Las otras especies, en cambio, resultan interesantes debido al doble propósito, ya que pueden ser utilizadas como abonos verdes y/o cultivos de cosecha. En cuanto a la protección del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia, se observó una cobertura vegetal menor, en comparación con la vicia, debido a la menor biomasa y, en el caso del haba y el tarwi, al hábito de crecimiento erecto.

La práctica del abonado verde podría ser también importante para convertir los campos agrícolas de emisores de CO_2 a fijadores de este gas invernadero. Después de aplicar el modelo CESAR, utilizando parámetros de tasas de mineralización y humificación promedios de la literatura, se obtuvo con la vicia una fijación anual neta de 0,8 y $1,6\text{ t ha}^{-1}$ de carbono, en las comunidades Tuini y Wallata respectivamente.

En cuanto a la cantidad de humus formado, se observa que la cantidad aproximada de humus incorporado al suelo por la vicia, calculada con el modelo CESAR, es ampliamente superior en comparación con las otras especies (aproximadamente 0,05 % por año en términos de materia orgánica en ambas comunidades). Este aporte es importante para incrementar el contenido de materia orgánica del suelo con la implementación del abonado verde de vicia en la rotación anual de las comunidades. Sin embargo, este aporte debe ser constante en el tiempo para lograr el impacto deseado.

Las estimaciones anteriores deben tomarse solamente como un intento de aproximación

a los valores reales, a partir de parámetros obtenidos en agroecosistemas europeos. En este sentido, es importante generar información local sobre la dinámica del carbono en los agroecosistemas altoandinos de agricultura tradicional.

Agradecimientos

Se agradece al Centro de Investigación en Forrajes, y a la ONG ASAR por el apoyo prestado en la elaboración de este trabajo.

Referencias

- [1] AGRUCO Y PROMIC, *Propuesta para la formulación del plan de manejo integral de la cuenca Pata Morochata*. Cochabamba - Bolivia. 2000.
- [2] D. BAIZE. *Guide del analyses courantes en pédologie*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, Francia. 1998.
- [3] G.A. BUYANOVSKY Y G.H. WAGNER. *Crop residue input to soil organic matter on Sanborn Field*. En: Soil organic matter in temperate ecosystems: long-term experiments in North America (Ed. por E.A. Paul, K. Paustian, E.T. Elliot y C.V. Cole). CRC Press, Boca Ratón.
- [4] M. CORBEELS. Plant litter and decomposition: general concepts and model approaches. NEE Workshop Proceedings, 18-20. 2001.
- [5] B.T. Christensen y J.E. Olsen. *Nitrogen mineralization potential of organomineral size separates from soils with annual straw incorporation*. European Journal of Soil Science 49, 25-36. 1998.
- [6] R. Espinoza. *Comportamiento de dos especies de leguminosas forraeras (Vicia villosa ssp. dasycarpa y Pisum sativum) en tres comunidades de la provincia Tapacari del departamento de Cochabamba*. Tesis de grado Agronomía. Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba, Bolivia. 2001.
- [7] FAO. *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Roma, Italia. 2000.
- [8] A. García. *Degradación del suelo, degradación química, pérdida de materia orgánica, necesidad de aportes orgánicos*. Universidad de Extremadura, Extremadura, España. 2000.
- [9] G. Heredia. *Evaluación técnica de leguminosas para el mejoramiento y protección del suelo en los valles interandinos de Cochabamba*. Tesis de grado de Agronomía. Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba, Bolivia. 1998.
- [10] C. Hinojosa. *Estudio socioeconómico de cultivos de cobertura para el mejoramiento y conservación de suelos en ladera*. Tesis de grado Agronomía. Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. 1998.

- [11] INE, MDSP, COSUDE Y CID. *Atlas estadístico de Municipios de Bolivia*. Ed. La Razón, Opinión, El Nuevo Día y Bolivia.com. La Paz, Bolivia. 2000.
- [12] D.S. Jenkinson. *Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effect of plant cover and soil type on the loss of carbon from ¹⁴C labelled ryegrass decomposition under field conditions*. J. Soil Sci. 28:424-434. 1997.
- [13] G. Kahnt *Abono verde*. Primera edición. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S.A. Uruguay. 1982.
- [14] H. Kirchmann, J. Persson y K. Carlgren. *The Ultuna long-term soil organic matter experiment, 1956-1991*. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, Reports and Dissertations no. 17. 1994.
- [15] G. Lora, G. Tejada, W. Villegas y M. Azero. *Diagnóstico de la problemática de los suelos en las comunidades de Tuini y Wallata. Documento de trabajo*. Universidad Católica Boliviana San Pablo. Cochabamba, Bolivia. 2003.
- [16] R. Meneses y F. Gutiérrez. *Veza peluda - Las leguminosas en la agricultura boliviana*, Cochabamba, Bolivia. 1996.
- [17] M. Robert. *Soil carbon sequestration for improved land management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Soil Resources Reports 96. 2001.
- [18] F. Rodríguez *Producción de leguminosas para abono verde en el valle alto de Cochabamba - Bolivia*. Tesis de grado de Agronomía. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 2000.
- [19] M. Torrico. *Cereales (avena y cebada) asociados con leguminosa en tres comunidades de Cochabamba*. Tesis de grado de Agronomía. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 2000.
- [20] W. Villegas. *Conservación de suelos mediante la asociación de cereal y leguminosa (avena - vicia) en la comunidad Tuini, municipio Morochata de Cochabamba - Bolivia*. Tesis de grado de Ing. Ambiental. Universidad Católica Boliviana San Pablo. Cochabamba, Bolivia. 2004.
- [21] L. Vleeshouwer y A. Verhagen. *Carbon emission and sequestration by agricultural land use: A model study for Europe*. Global Change Biology, 8: 519-530. 2002.

Entrevistas

- [22] Tec. Pablo Mamani. Técnico de la Unidad Agroempresas. Fundación PROINPA.
- [23] Dr. Gonzalo Ávila. Director del Centro de Investigaciones de Fitoecogenética de Pairumani. Fundación Simón I. Patiño.