

El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y otras leguminosas como alternativas para recuperar los suelos y mejorar el sistema de rotación de cultivos de regiones andinas semiáridas de Cochabamba

Pablo Mamani; Juan José Calisaya

Fundación PROINPA

E mail: p.mamani@proinpa.org

Resumen. El estudio se llevó a cabo durante las campañas agrícolas 2014 – 2015 y 2015 – 2016 en comunidades del municipio de Anzaldo, Cochabamba, ubicadas a 3040 msnm. La precipitación del lugar es de 450 mm/año y su temperatura mínima y máxima de 4°C y 23°C, respectivamente. Los suelos son de escasa profundidad, baja fertilidad y escasa materia orgánica (0.9%). Por su ciclo corto y su baja exigencia nutricional, el trigo es el cultivo predominante en la región. Es muy conocido los servicios ecológicos que prestan algunas leguminosas en los suelos, debido a su capacidad de fijar Nitrógeno atmosférico y en el caso del género *Lupinus*, su capacidad para reponer la materia orgánica al suelo, solubilizar el Fósforo y extraer nutrientes de capas profundas. El presente estudio buscó determinar el efecto de las leguminosas tarwi (*L. mutabilis*), veza (*Vicia villosa* ssp. *dasycarpa*) y arveja (*Pisum sativum*), en la mejora de la salud del suelo y del sistema de cultivos. Las leguminosas tarwi y veza generaron mayor hojarasca, biomasa foliar y biomasa radicular que la arveja y las especies nativas (parcelas en descanso), aspecto que muestra su mayor capacidad de aporte a la materia orgánica del suelo, especialmente con tarwi. El número de nódulos de rizobias de tarwi fue superior al de veza (60%) y al de arveja (87%) lo que generó un aporte de N al suelo de 50, 15 y 5 kg/ha, respectivamente. Considerando que la respiración del suelo es una manera indirecta de medir la actividad biológica del mismo, los suelos con mayor respiración fueron aquellos donde se cultivó tarwi y veza respecto a las parcelas con arveja y las parcelas en descanso. El efecto residual de tarwi sobre la productividad de trigo fue similar al de veza y superior al de arveja (32%) y a las parcelas en descanso (25%). Por las bondades encontradas en tarwi y veza, se debe promover su producción en estas regiones andinas semiáridas.

Palabras clave: Leguminosas; Manejo de suelos; FBN; Abono verde

Summary. The tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) and other legumes as alternatives for recovering soils and improving the crop rotation system of semi-arid Andean regions of Cochabamba. The study was carried out during the agricultural campaigns 2014 - 2015 and 2015 - 2016 in communities of the Municipality of Anzaldo, Cochabamba, located at 3040 meters above sea level. In that area, the precipitation is of 450 mm/year and its minimum and maximum temperature of 4°C and 23°C, respectively. The soils are of low depth, low fertility and little organic matter (0.9%). Due to its short cycle and its low nutritional requirement, wheat is the predominant crop in the region. Due to its ability to fix atmospheric nitrogen, it is well known the ecological services that some legumes provide to the soil, and in the case of the genus *Lupinus*, its ability to replenish organic matter in the soil, solubilizing the phosphorus and extract nutrients from deeper soil levels. The present study aimed to determine the effect of the legumes tarwi (*L. mu-*

tabilis), veza (*Vicia villosa* ssp *dasycarpa*) and pea (*Pisum sativum*) in soil health and crops system improvement. The legumes tarwi and veza generated more leaf litter, foliar biomass and root biomass than peas and native species (fallow plots), an aspect that shows its greater capacity to contribute to the soil organic matter, especially with tarwi. The number of rhizobia nodules of tarwi was higher than that of veza (60%) and of pea (87%), generating an N contribution to the soil of 50, 15 and 5 kg/ha, respectively. Considering that, soil respiration is an indirect way to measure its biological activity. Soils with greatest respiration were those where tarwi and veza were cultivated compared with pea and fallow parcels. The residual effect of tarwi on wheat productivity was similar to that of veza and superior to pea (32%) and to fallow parcels (25%). Due to the benefits found in tarwi and veza, their production should be promoted in these semi-arid Andean regions.

Keywords: Legumes; Soil management; FBN; Green manure

Introducción

Estudios de rotación de cultivos han mostrado efectos positivos sobre el mantenimiento de niveles altos de la materia orgánica del suelo (Campbell *et al.* 1996; Omay *et al.* 1997; Espinoza *et al.* 2007).

En la rotación de cultivos, las leguminosas juegan un papel importante en las fracciones de la materia orgánica del suelo, debido a su efecto sobre la relación C/N (Potter *et al.* 1998). Las interacciones entre los efectos de corto y largo plazo entre rotaciones, labranzas y otras prácticas, son tan estrechas y complejas que es generalmente difícil separarlos y analizarlos individualmente. Por esta razón, es preferible analizar los sistemas de cultivo más que las prácticas aisladas (Studdert y Echeverría 2000).

En estudios en regiones tropicales sobre suelos ultisoles ácidos, el uso de residuos de leguminosas con siembra directa, solo contribuyó a incrementar la fracción lábil de C y N (Espinoza 2004). La fracción lábil que está representada por la masa microbiana, el C y el N potencialmente mineralizables (C1 y N1), parece ser la más sensitiva al cambio. Varios estudios han demostrado que tanto el C1 y N1, pueden ser buenos indicadores de cam-

bios por rotación de cultivos, fertilización o prácticas de labranza, ya que ellos representan la fracción más activa de la materia orgánica del suelo (Omay *et al.* 1997, Mollinedo *et al.* 2018).

Desde épocas remotas se reconoce al lupino como mejorador de la fertilidad del suelo, fijador de nitrógeno atmosférico y buen extractor de los nutrientes del suelo debido a sus raíces profundas (Gross 1982, Barrera 2015). El *Lupinus mutabilis* se adapta a condiciones de baja precipitación pluvial, suelos de baja fertilidad y a temperaturas entre -9.5°C y 28°C (Cifuentes *et al.* 2001).

Resulta importante considerar la existencia de especies con la capacidad de fijar N atmosférico, cuyo impacto en la sostenibilidad de los sistemas no se ha dimensionado en toda su magnitud. Dentro de estas especies destaca *L. angustifolius*, cuyos aportes de N a los sistemas, por vía fijación biológica, se han estimado entre 150 kg/ha/año y 222 kg/ha/año en suelos del Sudoeste de Australia (Unkovich *et al.* 1994).

Bajo las condiciones andinas del Ecuador, *Lupinus mutabilis* logra capturar N entre 400 y 900 kg/ha (Caicedo y Peralta 2000).

Vanek (2016), en comunidades del Norte de Potosí en Bolivia, y con la metodología de N¹⁵, encontró que *L. mutabilis*, tanto en suelos de textura ligera como de textura pesada, logra incrementar la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) y la Absorción de Nitrógeno del Suelo (ANS), cuando se fertiliza con superfosfato (140% más en suelos de textura ligera y 60% más en suelos de textura pesada). Mollinedo *et al.* (2018) encontró resultados y tendencias similares.

La roca fosfórica solo tiene su efecto en el incremento de la FBN y la ANS cuando es utilizado en suelos de textura ligera (60% más, respecto al control).

De la misma manera también encontró que en condiciones de temperaturas frías y suelos con bajo fosfato de calcio, existe incremento de la FBN y la ANS, cuando se fertiliza con superfosfato (140% más respecto al control) y también cuando se aplica roca fosfórica (60% más respecto al control).

En condiciones de temperaturas cálidas y suelos con alto fosfato de calcio, no se encontró efecto en la FBN y la ANS cuando se aplica roca fosfórica al suelo. Este efecto solo es perceptible cuando se aplica superfosfato (45% más respecto al control) (en revisión en la revista *Experimental Agriculture*).

Las diferencias en absorción de P por las especies vegetales, pueden estar relacionadas con la capacidad de la planta de modificar el pH de la rizosfera, por medio de diferentes mecanismos como la liberación de protones que la acidifican.

Así, las secreciones de las raíces de *Lupinus* contribuyen a solubilizar el fósforo del suelo y ponerlo a disponibilidad en la rizosfera (Gardner 1983, Alderete 2008).

Lupinus albus, *Lupinus cosentinii* y *Lupinus angustifolius* tienen la capacidad de movilizar y solubilizar fósforo de fuentes normalmente no aprovechables para otros cultivos (Jungk *et al.* 1993), permitiendo autoabastecerse de este nutrimento y favorecer a los cultivos asociados, particularmente durante la fase de floración (Cifuentes *et al.* 2001).

Pese a que *Lupinus albus* está adaptado a suelos ácidos, también puede crecer en suelos ligeramente básicos. Al crecer en suelos calcáreos y deficientes en P, tienen la capacidad de bajar el pH de la rizosfera de 7,5 a 4,8 y la cantidad de citrato liberado por las plantas es de 1 g/planta, lo que representa alrededor del 23% del peso seco, en comparación con la alfalfa, que sólo los secreta en un 0,3% de su peso seco (Alderete 2008).

Entre los mecanismos que estas especies utilizan para solubilizar y absorber nutrientes, están la absorción selectiva de cationes básicos que bajan el pH de la rizósfera, la desorción de fósforo de óxido de aluminio y hierro, por intercambio de aniones, la secreción de ácido cítrico, iones citrato, compuestos carboxilados, fosfatasa ácida e iones H⁺ (Ozawa *et al.* 1995, Johnson *et al.* 1996, Alderete 2008).

Por otra parte, evaluaciones a base de roca fosfórica en Carolina del Norte, demostraron que *L. albus* y *L. angustifolius* pueden disolver más del 70% de roca alrededor de las raíces, debido probablemente a la excreción de protones que provocan un decremento del pH de la rizósfera (Cifuentes *et al.* 2001).

Considerando el potencial benéfico que se podría obtener por el cultivo de *Lupinus*, es necesario considerar que la tasa de acumulación de la materia orgánica

del suelo, es altamente dependiente de las características del suelo (estructura, textura, mineralogía) y de las características climáticas regionales (temperatura, humedad). Por ello, se espera que, en agroecosistemas bajo condiciones climáticas y características de suelo diferentes, respondan de manera diferente a los sistemas de manejo aplicados (Álvarez y Lavado 1998 y Hevia *et al.* 2003).

Los sistemas de producción de las regiones andinas semiáridas de Cochabamba, se tornan cada vez más vulnerables a las presiones que ejercen los mismos productores sobre sus suelos, obligados por la sobrevivencia y los cambios en el clima que están alterando los patrones de manejo de los cultivos y del ganado (Oros, 2018).

La reducción de la diversidad de cultivos, el poco descanso de los suelos y la baja capacidad de reposición de materia orgánica a los suelos, son algunas de estas causas antrópicas (PROINPA 2015).

El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la inserción de leguminosas en la recuperación de los suelos y en el sistema de rotación tradicional, que no incluye este tipo de cultivos, en la región andina semiárida de Cochabamba, Bolivia.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo durante las campañas agrícolas 2014-2015 y 2015-2016. Los ensayos se establecieron en comunidades del municipio de Anzaldo, Cochabamba (Bolivia), ubicado a 62 km de la ciudad de Cochabamba, a una altitud de 3040 msnm, en las coordenadas 17°46'46" de latitud Sud y 65°55'56" de longitud Oeste.

El clima se caracteriza por una precipitación promedio de 450 mm/año y temperaturas que van de una mínima de 4°C a una máxima de 23°C.

Se tiene predominancia de suelos de escasa profundidad y la presencia de una roca dura continua (barrera física) y mucha pedregosidad, ello describe a un tipo de suelo predominantemente del tipo Leptosoles Éútricos con algunos Cambisoles Éútricos y Dístricos en campos con suelos más profundos.

Evaluaciones previas (PROINPA 2012) de la región donde se llevó a cabo el estudio, muestran que los suelos de Anzaldo son semi ácidos (5,7 de pH), de baja Conductividad Eléctrica (0,06 mmhos/cm), es decir no son salinos, tienen muy baja CIC (6,22 meq/100 g) atribuible a su bajo contenido de materia orgánica (0,93%), consecuentemente un pobre contenido de N (0,06%); el P también muestra un bajo nivel (4,92 ppm) y el K está en una proporción moderada (0,91 me/100 g).

En general son suelos Franco Arenosos a Franco Limosos y su densidad aparente es alta (1,51 g/cc), como producto de su compactación.

El primer año (2014-2015) para establecer el efecto de las leguminosas de grano: arveja (*Pisum sativum*), veza (*Vicia villosa* ssp. *dasycarpa*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*), sobre el suelo y la rotación de cultivos, se implantaron dos ensayos como réplicas en dos eco regiones diferentes por su suelo. Estas eco regiones están representadas por las comunidades:

- ⇒ Muña Mayu (Eco región 1)
- ⇒ Tijraska (Eco región 2)

La primera presenta suelos más superficiales y pobres respecto a la segunda. La arveja fue utilizada como testigo porque es la leguminosa más cultivada en la región.

La veza y el tarwi fueron elegidos por sus antecedentes favorables en similares condiciones. Se utilizó el diseño de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. Los tratamientos utilizados fueron:

- ⇒ T1: Parcela en descanso
- ⇒ T2: Arveja
- ⇒ T3: Veza
- ⇒ T4: Tarwi

Las variables de cultivo evaluadas fueron: materia seca foliar, número de panojas, número de vainas/panoja, materia seca de raíz, número de nódulos de rizobias/planta, peso de nódulos de rizobias/planta, hojarasca y rendimiento.

Las variables de suelo evaluadas fueron: respiración del suelo, evaluada con el equipo Vernier LabQuest 2 que es una interfaz autónoma, utilizada para recoger datos de sensores con su aplicación integrada de gráficos y análisis. El sensor de gas que se acopló a este equipo, permite medir los niveles de CO₂, controlando la cantidad de radiación infra roja absorbida por las moléculas de este gas.

Para conocer el K intercambiable, la materia orgánica total, el N total y el P disponible, se tomó muestras compuestas de suelo, las que fueron enviados al *Laboratorio Suelos y Aguas* de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la UMSS.

En el segundo año (2015-2016) y para determinar el efecto residual de estas leguminosas, se sembró trigo (*Triticum aestivum*), como cultivo indicador, siendo además el cultivo más importante de la región.

Las variables de cultivo evaluadas en trigo fueron:

- ⇒ Número de espigas
- ⇒ Número de granos/espiga
- ⇒ Rendimiento

Resultados y discusión

La producción de biomasa seca de leguminosas, en dos eco regiones, como potencial aporte a la materia orgánica del suelo, se muestra en el Cuadro 1.

En general, el desarrollo de las leguminosas en la eco región 1 (representada por la comunidad Muña Mayu) fue inferior al de la eco región 2 (representada por la comunidad Tijraska), atribuible principalmente a la diferencia en la calidad de los suelos entre ambas eco regiones.

Los suelos superficiales de Muña Mayu constituyen una gran limitación para el desarrollo de la raíz del tarwi, lo que repercute en un menor desarrollo del cultivo.

En ambas eco regiones, la producción de biomasa seca de raíz de tarwi y veza son superiores al de la arveja y al de las especies nativas que se desarrollaron en las parcelas en descanso.

Cuadro 1. Producción de materia seca de raíz, follaje y hojarasca por leguminosas, en las eco regiones “planicie alta y seca” (comunidad Muña Mayu) y “ladera media” (comunidad Tijraska) de Anzaldo, en el ciclo 2014-2015

Materia seca de raíces (t/ha)		
Tratamiento	Muña Mayu (2014-2015)	Tijraska (2014-2015)
Descanso	0,25 b	1,75 B
Arveja	0,04 c	0,08 C
Veza	0,89 a	2,30 A
Tarwi	0,77 a	2,07 A
Promedio	0,49	1,55
Materia seca de follaje (t/ha)		
Descanso	1,72 bc	5,05 B
Arveja	1,60 c	3,26 C
Veza	2,70 b	6,14 A
Tarwi	4,77 a	6,19 A
Promedio	2,70	5,16
Materia seca de hojarasca (t/ha)		
Descanso	--	--
Arveja	0,20 c	0,10 C
Veza	0,64 b	0,56 B
Tarwi	1,47 a	4,03 A
Promedio	0,77	1,56

Letras iguales, por columna y variable, son estadísticamente similares al 95% de probabilidad

Esto muestra la importancia del tarwi y la veza en la reposición de materia orgánica al suelo a través de sus raíces. Betancourt *et al.* (1999) indican que la materia orgánica aportada por el sistema de raíces de los pastos, mejora algunas propiedades físicas del suelo como la capacidad de infiltración y la estabilidad estructural.

El aporte de biomasa de raíz por las especies nativas (parcelas en descanso) no deja de ser importante porque es superior al de arveja, que es la leguminosa más cultivada en la región. En condiciones de suelos más pobres como en el caso de la eco región 1 (Muña Mayu), la biomasa seca foliar de tarwi es superior al de veza,

arveja y las especies nativas. En condiciones de suelos menos pobres como en la eco región 2 (Tijraska), la biomasa seca de veza es similar a la de tarwi y superiores a la de las especies nativas (parcelas en descanso) y de arveja. En esta última eco región, el aporte de las especies nativas no deja de ser importante, porque es superior al de arveja.

En las regiones semiáridas andinas de Bolivia, la importancia del residuo de cosecha foliar de los cultivos (rastrojo), radica en el uso forrajero que los productores le dan, especialmente en épocas de estiaje, cuando escasean las pasturas nativas en campo.

El tarwi escapa a esta valoración porque el sabor amargo de su follaje, evita ser apetecido por los animales y su mejor aporte al agro ecosistema está en su incorporación al suelo para mejorar las tasas de materia orgánica.

La hojarasca (hojas maduras que caen al suelo en forma natural) también constituye un aporte a la materia orgánica del suelo. El tarwi genera una hojarasca muy superior al resto de los cultivos, lo que nuevamente la muestra como un buen aportador a la mejora del suelo. Esta variable si bien se registró en el tratamiento T1 (parcela en descanso), los valores alcanzados eran muy bajos, cercanos a cero, por tanto no se los consideró para ser reportados.

De acuerdo a Alegre *et al.* (1998), la velocidad con la que se libera los nutrientes de la hojarasca, depende de la rapidez con que se produce la defoliación y una vez depositada sobre el suelo, de la rapidez con la que se descompone la materia orgánica.

Las especies arbustivas del género *Medicago*, como otras leguminosas, realizan una considerable aportación de nitrógeno al sistema suelo-planta.

La producción de rizobias (en número y peso) y la fijación de nitrógeno por las leguminosas, como aporte a la mejora del suelo, se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Número y peso de nódulos de *Rhizobium* y aporte de N al suelo, por tres leguminosas en las eco regiones “planicie alta y seca” (comunidad Muña Mayu) y “ladera media” (comunidad Tijraska) de Anzaldo, en el ciclo 2014-2015

Número de nódulos por planta		
Tratamiento	Muña Mayu (2014-2015)	Tijraska (2014-2015)
Arveja	3,63 c	1,25 C
Veza	8,46 b	7,00 B
Tarwi	21,45 a	16,70 A
Promedio	11,18	8,32
Peso seco de nódulos por planta (g)		
Arveja	0,13 c	0,10 C
Veza	1,23 b	1,15 B
Tarwi	3,95 a	3,93 A
Promedio	1,77	1,73
Aporte de Nitrógeno (kg/ha)		
Arveja	1,19 c	0,90 C
Veza	15,14 b	10,43 B
Tarwi	37,60 a	37,37 A
Promedio	17,98	16,23

Letras iguales, por columna y variable, son estadísticamente similares al 95% de probabilidad

Claramente destaca el tarwi sobre la veza y ésta sobre la arveja. En las especies nativas (parcelas en descanso) no se pudo identificar la presencia de nódulos de rizobias. El mayor efecto de tarwi podría deberse a la mayor presencia en los suelos de cepas de *Rhizobium* afines al tarwi o posiblemente al transporte de estas rizobias a través de la semilla, aspecto que es necesario estudiar.

El establecimiento de tarwi y veza en los sistemas de cultivo de estas regiones, podría acentuar la presencia de cepas específicas de *Rhizobium* y consecuentemente mejorar su nodulación. En relación a la fijación de N, en el mismo Cuadro 2 se aprecia un mayor aporte de este elemento por el tarwi, seguido de veza.

Este aporte es importante porque repercute directamente en el aprovechamiento por otros cultivos del sistema de rotación, como el trigo y la papa. Kelstrup *et al.* (1996) reportaron 34, 112, 119 y 25 kg/ha de N fijado por arveja verde, arveja seca, tarwi y lenteja, respectivamente.

Según Pino *et al.* (2008), los materiales orgánicos agregados al suelo, generan incrementos en la actividad biológica la cual se mide a través de la respiración, el contenido de carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo. El efecto de las leguminosas sobre la respiración del suelo, medido en dos momentos, durante el desarrollo de estos cultivos (febrero 2015) y durante la rotación con trigo (marzo 2016), se muestra en la Figura 1.

Se aprecia mayor actividad en las parcelas donde se cultivó veza y tarwi, respecto a las parcelas con arveja y con especies nativas (parcelas en descanso). El mayor aporte de materia orgánica y nitrógeno por estas especies, puede ser la

causa para el incremento de la actividad microbiana y consecuentemente para una mayor respiración del suelo.

El efecto residual de estas leguminosas, en términos de mayor aporte en materia orgánica y nitrógeno al suelo (tal como se muestra en los cuadros 1 y 2), generó una mayor respiración del suelo (Figura 1), producto probablemente de una mayor actividad biológica, que se expresó en el trigo, como cultivo siguiente de la rotación (Cuadro 3).

Así, el rendimiento de trigo fue mayor en la eco región 2 (Tijraska) respecto a la eco región 1 (Muña Mayu), atribuible a la calidad de los suelos.

En ambas eco regiones, el efecto residual de la veza y el tarwi, sobre el rendimiento de trigo, es similar pero superior al de arveja y al de las especies nativas. Estudios de rotación de cultivos han mostrado efectos positivos sobre el mantenimiento de niveles altos de la materia orgánica del suelo (Campbell *et al.* 1996, Omay *et al.* 1997; Espinoza, *et al.* 2007).

En la rotación de cultivos, las leguminosas juegan un papel importante en las fracciones de la materia orgánica del suelo, debido a su efecto sobre la relación C/N (Potter *et al.* 1998). Por lo tanto, la rotación con leguminosas se constituye en una alternativa para agricultores de bajos recursos que buscan mantener la fertilidad de sus suelos.

Este efecto residual que se manifiesta de un año al otro, muestra el aprovechamiento de N dejado por estas leguminosas y también la acelerada tasa de mineralización que sufre la materia orgánica de los suelos, la cual se debe al incremento de la temperatura, producto del cambio climático.

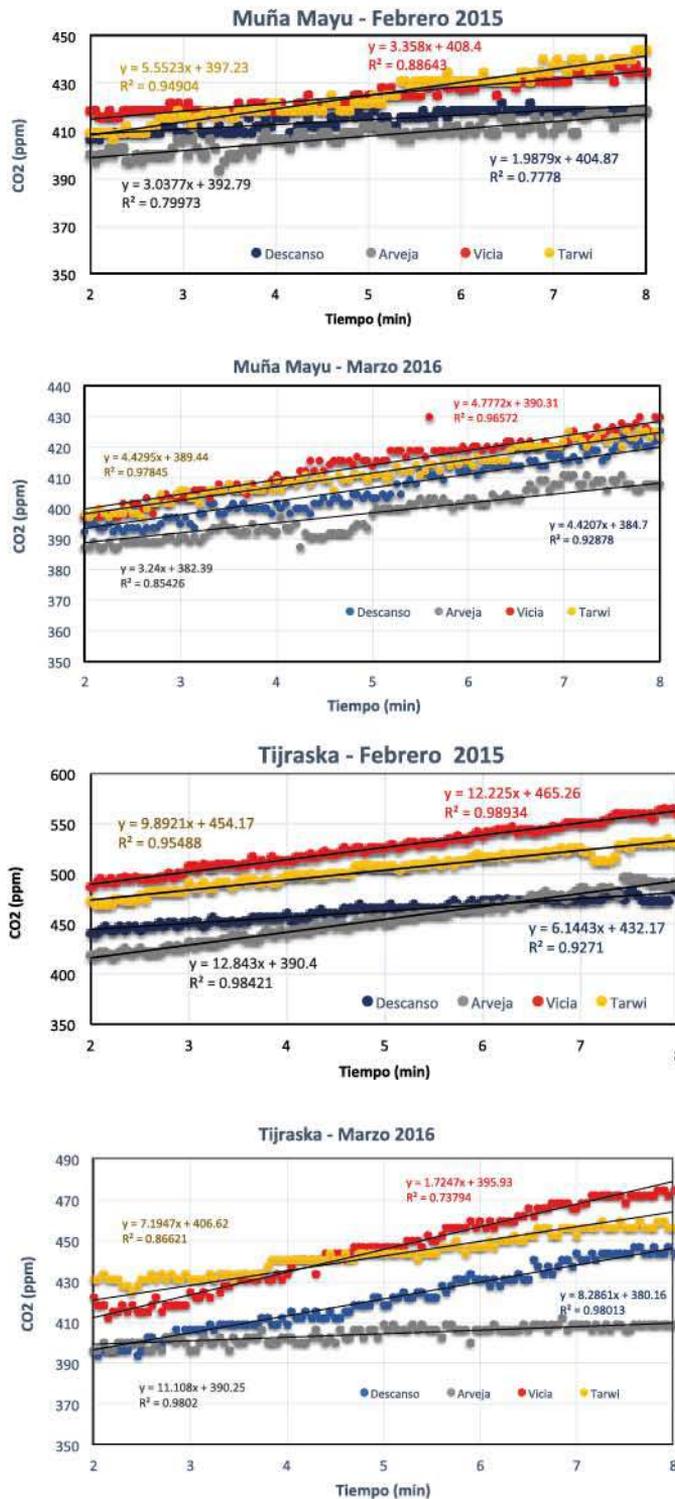


Figura 1. Tasa de respiración del suelo por efecto del cultivo de leguminosas en las eco regiones “planicie alta y seca” (comunidad Muña Mayu) y “ladera media” (comunidad Tijraska) de Anzaldo, evaluada en dos años consecutivos

Cuadro 3. Efecto residual de leguminosas en el rendimiento de trigo (kg/ha) en las eco regiones “planicie alta y seca” (comunidad Muña Mayu) y “ladera media” (comunidad Tijraska) de Anzaldo, ciclo 2015-2016

Tratamiento	Muña Mayu	Tijraska
Descanso	173 b	1913 B
Arveja	158 b	1751 B
Veza	197 b	2592 A
Tarwi	213 a	2298 AB
Promedio	185	2139

Letras iguales, por columna, son estadísticamente similares al 95% de probabilidad

La actividad metabólica de los organismos se inicia cuando se supera un determinado umbral térmico, aumenta a medida que las temperaturas se elevan hasta un cierto valor máximo y finalmente se reduce rápidamente cuando las temperaturas superan este valor (Julca *et al.* 2006). Por tanto, si no se replantea el sistema de rotación local, incluyendo leguminosas y aporte de materia orgánica, la consecuencia será la pérdida gradual de la fertilidad y la productividad del suelo.

Conclusiones

- Existe diferencias en el desarrollo y productividad de las leguminosas tarwi (*Lupinus mutabilis*), veza (*Vicia villosa* ssp. *dasycarpa*) y arveja (*Pisum sativum*) entre eco regiones, atribuible a la calidad de los suelos.
- Las leguminosas tarwi y veza generaron mayor biomasa foliar y radicular que las especies nativas, y por tanto mayor aporte a la reposición de materia orgánica al suelo con estas especies cultivadas, en comparación con la vegetación nativa.
- El tarwi genera mayor hojarasca que el resto de las leguminosas lo que nuevamente muestra su mayor capacidad para mejorar la materia orgánica del suelo.
- Igualmente, el tarwi produce más nódulos de rizobias en relación a las otras leguminosas y aporta con mayor cantidad de nitrógeno al suelo. Este aporte repercute en el aprovechamiento por otros cultivos del sistema de rotación como trigo y papa. La nodulación de veza también es importante. No se evidenció nodulación y por tanto *Fijación Biológica de Nitrógeno* en las parcelas en descanso (vegetación nativa).
- Los suelos con mayor respiración fueron aquellos donde se cultivó tarwi y veza, respecto a las parcelas con arveja y con especies nativas. La respiración del suelo es una manera indirecta de medir la actividad microbiana de éste.
- El efecto residual del tarwi y la veza sobre el rendimiento de trigo, fue superior al de arveja y al de las especies nativas. Este efecto residual que se manifiesta de un año al otro, muestra principalmente el aprovechamiento de nitrógeno dejado por estas leguminosas.

Referencias citadas

- Alderete A. 2008. Distribución altitudinal, tratamientos pre germinativos e influencia de *Lupinus* spp. (Fabaceae: Papilionoideae) en la fertilidad de suelos forestales. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, México. 120 p.
- Alegre J., Sobrino E., Guerrero A., Tenorio J., Andrés E., Ceresuela J., Ayerbe L. 1998. Biomasa foliar aportada al suelo por leguminosas arbustivas del género *Medicago*. Actas del Tercer Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica SEAE. Valencia, España. pp. 357-362.
- Álvarez R., Lavado R. 1998. Climate, organic matter and clay content relationship in the Pampa and Chaco soils. *Geoderma*. 83: 127-141.
- Barrera C. 2015. Evaluación del frijol lupinus (*Lupinus mutabilis*) como abono verde para la producción agroecológica en el municipio de Subachoque Cundinamarca. Tesis para Ingeniero en Agroecología. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 79 p.
- Betancourt P., González J., Figueroa B., González F. 1999. Materia orgánica y caracterización de suelos en proceso de recuperación con coberturas vegetativas en zonas templadas de México. *Terra Latinoamericana*. México. Vol. 17. Nro. 2. pp. 139-148.
- Caicedo C., Peralta E. 2000. Zonificación potencial para el cultivo de chocho. **En:** Zonificación potencial, sistemas de producción y procesamiento artesanal de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) en Ecuador, FUNDACYT, INIAP.
- Campbell C., Conkey B., Zentner R., Sellers F., Curtin D. 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in south western Saskatchewan. *Canada. J. Soil. Sci.* 76: 395-401.
- Cifuentes R., Núñez E., Espinosa H., Alcántar G. 2001. Asociación lupino-maíz en la nutrición fosfatada en un Andosol. *Terra Latinoamericana*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México Vol. 19. Nro. 2. pp. 141-154.
- Espinoza Y., Lozano Z., Velásquez L. 2007. Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. *Asociación Interciencia*. Caracas, Venezuela. Vol. 32. pp. 554-559.
- Espinoza Y. 2004. Calidad de la materia orgánica bajo diferentes prácticas de manejo en un suelo ácido tropical. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 21: 126-140.
- Gardner W. 1983. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. *Plant Soil*. 70: 107-124; 391-402.
- Gross R. 1982. El cultivo y la utilización del tarwi *Lupinus mutabilis* Sweet. *Estudio FAO: Producción y protección vegetal* 36. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Hevia G., Buschiazzo D., Hepper D., Urioste A., Antón E. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma*. 116: 265-277.
- Johnson T., Cecava M., Sheiss E., Cunningham K. 1996. Addition of ruminally degradable crude protein and branched-chain volatile fatty acids to diets containing hydrolyzed feather meal and blood meal for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 77 (12): 3676-3682.

- Julca A., Meneses L., Blas R., Bello B. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. IDESIA. Chile. Vol. 24. Nro. 1. pp. 49-61.
- Jungk A., Seeling B., Gerke J. 1993. Mobilization of different phosphate fractions in the rhizosphere. *Plant and Soil* 155/156: 91-94.
- Kelstrup L., Rowarth J., Willams P., Ronson C. 1996. Nitrogen fixation in peas (*Pisum sativum* L.), lupins (*Lupinus angustifolius* L.) and lentils (*Lens culinaris* Medick.) *Agronomy Society. New Zealand*. 26: 71-74.
- Mollinedo O., Angulo M., Ortuño N. 2018. Respuesta del tarwi a la inoculación con cepas de rizobias aisladas de plantas silvestres y cultivadas de *Lupinus* a nivel de invernadero. *Revista de Agricultura* Nro. 57. FCAyP-CIF-PROINPA. Cochabamba, Bolivia. *En prensa*.
- Oros R., Lazarte M., Alemán A. 2018. Herramientas metodológicas para analizar la incorporación de nuevos cultivos en sistemas sociales y económicos de alta vulnerabilidad. *Revista de Agricultura* Nro. 57. FCAyP-CIF-PROINPA. Cochabamba, Bolivia. *En prensa*.
- Omay A., Rice C., Maddux L., Gordon W. 1997. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1672-1678.
- Ozawa K., Yamamoto M., Shimahara Y., Kishida A., Tabata R. Takahashi M., Terada Y., Iwata S., Kobayashi T. 1995. The redox theory in evolution. *Journal of HBP Surgery*. 2: 205-214.
- Pino A., Repetto C., Mori C., Perdomo C. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana*. Vol. 26 Nro.1. Chapinango, México. pp. 43-52.
- PROINPA. 2012. Informe Anual de Proyectos. Agricultura de conservación como un posible camino hacia una mejor gestión de los recursos, productividad y condiciones socioeconómicas mejoradas en la región andina. Cochabamba, Bolivia. 103 p.
- PROINPA. 2015. Informe compendio 2011-2014. Cochabamba, Bolivia. pp 12-19.
- Potter K., Tolbert H., Jones O., Matocha J., Morrison J., Unger P. 1998. Distribution and amount of soil organic C in long-term management system in Texas. *Soil Till. Res.* 47: 309-321.
- Studdert G., Echeverría H. 2000. Soja, girasol y maíz en los sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. pp. 407-437. **En:** F. Andrade y V. Sadras (eds.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA, Facultad de Ciencias Agrarias. Advanta Semillas SAIC.
- Unkovich M., Armstrong E. 1994. Nitrogen benefits of lupins, field pea, and chickpea to wheat production in South-Eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*. 45 (1): 39-47.
- Vanek S., Drinkwater L. 2016. Integrating scientific and local soils knowledge to examine options by context interactions for phosphorus addition to legumes in an Andean agro ecosystem. Pennsylvania State University Ithaca. New York USA.

Trabajo recibido el 14 de mayo de 2018 - Trabajo aprobado el 19 de junio de 2018