

Evaluación de propiedades químicas en suelos de suka kollus cultivados con asociaciones de forrajeras y alfa-alfa, localidad Batallas-Departamento de La Paz

Soil chemical properties in "suka kollus" agricultural system cultivated with association of fodder plants, Batallas. La Paz - Bolivia

Isabel Morales-Belpaire* & Patricia Amurrio-Ordoñez

Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés,
Calle 27 s/n Cota Cota. Casilla 10077, Correo Central, La Paz-Bolivia
email: usuelos@unete.com
*autor de correspondencia

Resumen

Se estudiaron los parámetros físico-químicos iniciales y su evolución a lo largo de tres años de cultivo, en suelos de suka kollus en la localidad de Batallas cultivados con distintas asociaciones de plantas forrajeras. Los camellones considerados tenían seis años desde su construcción y se llevó a cabo la incorporación de residuos provenientes de los canales antes de realizar la siembra. Se observaron altos contenidos iniciales en materia orgánica, nitrógeno y fósforo así como una moderada presencia de sales, siendo las sales de calcio y magnesio predominantes en la solución de suelo. Al cabo de un primer año de cultivo, se observó una disminución en cuanto a contenido en materia orgánica y nitrógeno total. Estos parámetros vuelven a aumentar para los muestreos que corresponden a cosecha, presentándose un comportamiento no lineal con el tiempo de cultivo. El contenido en materia orgánica aumenta más fuertemente que el de nitrógeno, elevándose la relación C/N. El fósforo sufre fuertes disminuciones luego de tres años de cosecha. Las variaciones en cuanto a parámetros químicos y físicos muestran independencia respecto a las asociaciones de forrajeras cultivadas.

Palabras clave: Altiplano, fertilidad de suelos, química de suelos, suka kollus, forrajeras.

Abstract

Initial physico-chemical properties of soils in raised field agricultural system or suka kollus in the community of Batallas and their evolution were studied under cultivation with different association of fodder plants. The considered suka kollus were constructed six years before and residual material from adjacent canals was incorporated to soil before seeding was done. High initial contents in organic matter, nitrogen and phosphorus were observed. There were also moderate salt levels with calcium and magnesium as predominant soluble cations. After one year of cultivation, a decrease in organic matter and nitrogen content was observed. These parameters increased again for samples taken after harvest each year, a non linear behavior was observed with time of cultivation. Available phosphorus decreased along the three years studied. The variations in physical and chemical properties were independent of the association of forrajeras cultivated.

Key words: Altiplano, soil fertility, soil chemistry, suka kollus, fodder plants.

Introducción

El sistema agrícola precolombino denominado, en idioma aymara, *suka kollus* o, en idioma quecha, *waru warus* ha dado lugar desde hace una veintena de años a una serie de estudios, tanto en Perú como en Bolivia, debido a que se constituye en una posible alternativa para la recuperación de tierras altiplánicas. En este sistema, que consiste en tierras elevadas o camellones rodeados por canales de agua (Erickson 1988), se ha observado la generación de microclimas que permiten disminuir la intensidad y duración de las heladas (Aguilar et al. 1994) así como altos rendimientos de los cultivos para el caso de los camellones de reciente construcción (Aguilar & Canahua 1992, Canahua et al. 1992, Ruiz et al. 1999).

No se disponen de estudios a largo plazo sobre la fertilidad de suelos en *suka kollus*. Debe considerarse que el proceso de construcción de los camellones confiere a los suelos características muy particulares como ser: inversión de horizontes, mayor exposición a la evapotranspiración y régimen hídrico muy distinto al que se observa en el sistema tradicional de pampa. En Perú, Izquierdo (1992) afirma que los camellones con más de ocho años de uso intensivo, se hacen fuertemente improductivos. Es por tanto fundamental, estudiar alternativas de manejo de suelos en este sistema que permitan una producción en forma sostenida.

Dentro del manejo tradicional de los suelos en la zona andina, luego de darse la rotación de los cultivos, se dan procesos de descanso o barbecho de diferente duración. El conocimiento que se tiene, sobre los efectos reales de este descanso, en el restablecimiento de la fertilidad química es muy escaso y no se conocen cuáles son los tiempos óptimos en que el suelo debe permanecer sin cultivo (Hervé 1994). Dado que, en muchas zonas, la presión sobre los suelos para su utilización agrícola se hace cada vez más fuerte, es importante establecer alternativas en cuanto a duración y forma de manejo de los terrenos en descanso.

En el presente trabajo, se estudian las respuestas en algunos parámetros físicos y

químicos del suelo para *suka kollus* en descanso, bajo cultivo de diferentes asociaciones de plantas forrajeras con la leguminosa alfa alfa (*Medicago sativa*). El trabajo se realiza dentro del Proyecto Interinstitucional *Suka Kollus* (PROSUKO), institución que fomenta la investigación multidisciplinaria sobre manejo agrícola en camellones y otros sistemas agrícolas en el Altiplano Boliviano.

Material y métodos

El estudio se realizó en *suka kollus* pertenecientes a la granja experimental de Batallas de la Universidad Católica Boliviana; en la comunidad de Igachi, cantón Batallas de la provincia Los Andes (Depto. La Paz), aproximadamente a 70 km de la ciudad de La Paz, a 3.825 m. Sus coordenadas geográficas son: 16° 19' Latitud sur y 68° 36' Longitud Oeste. Fueron tomados en consideración cuatro camellones adyacentes, con seis años desde su construcción, numerados de 13 a 16.

El diagnóstico inicial de suelos se realizó en octubre 1997 mediante la descripción del perfil de suelo utilizando la metodología recomendada por la FAO (1977) y el análisis de la capa arable. Para el análisis de la capa arable se subdividió cada camellón en 3 parcelas. De cada parcela se tomaron aproximadamente 16 muestras con profundidad de 0 a 30 cm, las cuales fueron mezcladas para dar lugar a una muestra compuesta.

Los análisis químicos para el diagnóstico inicial fueron realizados en la Unidad de Suelos y el Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología. Los análisis realizados fueron:

- Reacción de suelo o pH en solución acuosa (relación 1:2,5): se agregan 50 ml de agua destilada a 20 g de suelo y se deja en reposo 30 min, leyendose el valor de pH mediante pH metro en sobrenadante.
- Conductividad eléctrica en extracto de pasta saturada, como se describe en Richards (1994).
- Cationes solubles como se describe en Richards (1994).

Evaluación de propiedades químicas en suelos de suka kollus

- Aniones para las muestras provenientes del perfil; método por titulación para cloruros y carbonatos, como se describe en Cochrane & Barber 1993; sulfatos por turbidimetría (según Greenberg 1992).
- Fósforo disponible: método de Olsen modificado (Cochrane & Barber 1993)
- Carbono y materia orgánica: método de la combustión húmeda por Walkley Black (Black 1965)
- Nitrógeno total: método semimicro Kjeldhal (Black 1965).
- Textura: método de la pipeta (según Dewis & Freitas 1984)

Para el sembrado de las diferentes asociaciones de plantas forrajeras, cada camellón fue dividido en cuatro parcelas de 30 m². Las asociaciones de forrajeras, denominadas tratamientos, corresponden a gramíneas asociadas con alfa alfa (*Medicago sativa*) según el siguiente orden:

Tratamiento 1 (T1): pasto alto (*Festuca arundinacea*)

Tratamiento 2 (T2): pasto llorón (*Eragrostis curvulea*)

Tratamiento 3 (T3): pasto ovillo (*Dactylis glomerata*)

Tratamiento 4 (T4): avena (*Avena sativa*)

En todos los casos, las densidades de siembra para alfa alfa fueron de 30 kg/ha, mientras que pasto alto y pasto ovillo se sembraron con una densidad de 15 kg/ha, pasto llorón con 10 kg/ha y avena 60 kg/ha.

Las distintas asociaciones de forrajeras se disponen en forma de "cuadrado latino", como puede verse en la tabla 1 (el número entre paréntesis corresponde a la numeración asignada a la muestra de suelo, proveniente de la parcela correspondiente).

Las distintas asociaciones fueron sembradas en octubre 97, previa incorporación de materia orgánica proveniente de los canales a los suelos. La preparación del suelo consistió en roturación, rastreado y mullido hasta una profundidad de 20 a 25 cm. La cantidad de materia orgánica incorporada fue aproximadamente de 10 Tn/ha. Para el seguimiento de los parámetros químicos de mayor relevancia, se realizaron muestreos de capa arable una vez establecidos los cultivos. Se realizó muestreo de la capa arable de las parcelas sembradas con diferentes asociaciones de cultivos en octubre 1998, mayo 1999, octubre 1999 y mayo 2000. Se tomó una muestra compuesta, formada de 16 submuestras con barreno (0-30 cm).

Los parámetros analizados para el seguimiento son :

- Reacción de suelo: pH acuoso relación 1:2.5
- Fósforo disponible: método de Olsen modificado (Cochrane & Barber 1993)
- Carbono y materia orgánica: método de la combustión húmeda por Walkley Black (Black 1965)
- Nitrógeno total: método semimicro Kjeldhal (Black 1965)
- Densidad aparente (Cochrane & Barber 1993)

Tabla 1: Disposición de los tratamientos

Norte			
Bloque 1 (Camellón 13)	Bloque 2 (Camellón 14)	Bloque 3 (Camellón 15)	Bloque 1 (Camellón 16)
T4 (60)	T2(64)	T3 (68)	T1 (72)
T3 (61)	T4(65)	T1 (69)	T2 (73)
T2 (62)	T1(66)	T4 (70)	T3 (74)
T1 (63)	T3(67)	T2 (71)	T4 (75)

Sur

El análisis de los datos obtenidos se llevó a cabo mediante la prueba t de student, que permite evaluar la existencia de diferencias significativas entre los valores obtenidos para cada parámetro químico entre octubre 98 y mayo 2000. Se realizó además un análisis de varianza para evaluar la presencia de diferencias significativas en cuanto a variaciones en los parámetros químicos (diferencia entre valores registrados en mayo 2000 y octubre 1998) y en el rendimiento de las diferentes asociaciones en función al tratamiento aplicado.

Los datos correspondientes al análisis estadístico se reportan en anexo.

Resultados

Caracterización inicial del suelo

En la descripción morfológica del perfil resulta pertinente utilizar los términos estrato o capa, antes que hablar de horizontes genéticos, debido a la perturbación de los horizontes originales durante el proceso de construcción de los camellones.

El estudio de la calicata evidencia la presencia de cinco capas (ver tablas 2 y 3). La capa superficial (0-12 cm), que podría denominarse Ap, es de color amarillo opaco y de textura arcillo-limosa. Es la capa que presenta el mayor enriquecimiento en elementos alcalinotérreos solubles (Ca y Mg), así como de aniones solubles, aspecto relacionado con la conductividad eléctrica que también es la más alta del perfil. En este estrato los niveles de fósforo y capacidad de intercambio catiónico son bajos (Villarroel 1988). La materia orgánica se encuentra en niveles moderados, pero es ligeramente menor que el horizonte subyacente, observándose que aún se mantiene el efecto de inversión de horizontes producido durante la construcción del camellón.

Debajo se encuentra una capa de 6 cm de espesor que constituye el antiguo horizonte A enterrado. Presenta características físicas (color y textura) similares a la capa superficial y los mayores contenidos de poros. Los contenidos de materia orgánica son los mayores de todo el perfil. El nivel de fósforo reportado para esta capa es bajo.

Una tercera capa de 40 cm de espesor, situada entre los 18 a 58 cm de profundidad, se caracteriza por presentar manchas de color pardo debido a procesos de oxidación-reducción por el nivel del agua fluctuante, en los canales del camellón. Siendo ésta de textura franco-limosa presenta niveles bajos de materia orgánica y fósforo.

Los estratos más profundos (58-74 y 74-98 cm) se caracterizan por presentar los niveles más bajos de materia orgánica y poros, así como los mayores contenidos de limo. El contenido de fósforo es muy bajo.

Características químicas iniciales de la capa arable

En la tabla 4 pueden observarse los valores promedio obtenidos para cada camellón a partir de tres submuestras, respecto a los análisis químicos realizados.

La reacción de suelo o pH muestra una distribución muy homogénea con valores cercanos a 8, siendo por tanto suelos ligeramente alcalinos. Para la materia orgánica, se observan promedios entre 4.6 y 6.5%; en este caso es notorio que los camellones 14 y 16 tienen menor cantidad de materia orgánica. La existencia de valores altos y diferentes entre camellones para el contenido en materia orgánica puede corresponder a una incorporación desigual de residuos provenientes de los canales.

Los valores de nitrógeno total se encuentran entre 0.3 y 0.4% y presentan el mismo patrón de distribución que la materia orgánica, es decir que los camellones 14 y 16 presentan menor cantidad de nitrógeno que los camellones 13 y 15. Puede observarse una tendencia similar en el caso del fósforo disponible, cuyos valores se encuentran entre 12.0 y 17.6 ppm. Los valores más altos se registran nuevamente para los camellones 13 y 15.

En cuanto al grado de salinidad, puede verse que los niveles de conductividad eléctrica, medidos en extracto de pasta saturada varían entre 1 y 1.5 mS/cm. Los camellones 14 y 16 presentan mayor conductividad respecto a los otros dos.

Evaluación de propiedades químicas en suelos de suka kollus

Tabla 2: Parámetros físicos del perfil de suelos.

Estrato (cm)	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase textural
I 0-12	1.19	55.21	7	59	34	Franco arcillo limoso
II 12-18	0.94	64.65	7	58	35	Franco arcillo limoso
III 18-58	1.01	61.96	15	59	26	Franco limoso
IV 58-74	1.44	45.68	6	70	24	Franco arcillo limoso
V 74-98	1.51	43.17	20	68	12	Franco limoso

Tabla 3: Parámetros químicos del perfil de suelos (C.E.= conductividad eléctrica; %M.O. = porcentaje materia orgánica; P = fósforo disponible; %N = porcentaje nitrógeno total).

Estrato	C.E.				Cationes solubles (meq/L)				Aniones solubles (meq/L)		
	Pasta mS/cm	%M.O.	%N	P ppm	Na	K	Ca	Mg	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	CO ₃ ⁻
I 0-12	2.35	4.4	0.1	11.6	8.70	1.54	20.25	11.67	26.2	4.1	6.2
II 12-18	0.92	5.2	0.3	9.18	6.09	2.05	7.75	2.08	13.8	2.0	5.0
III 18-58	0.36	3.5	0.3	4.44	2.17	1.03	3.00	0.42	-	2.0	3.4
IV 58-74	0.34	0.7	0.2	2.08	3.04	1.28	5.25	0.42	0.7	2.0	4.3
V 74-98	0.26		0.1	2.57	9.57	2.05	2.50	0.42	-	4.1	0.7

Tabla 4: Datos químicos iniciales de capa arable (C.E.= conductividad eléctrica; %M.O. = porcentaje materia orgánica; P = fósforo disponible; %N = porcentaje nitrógeno total).

Camellón	pH	%M.O.	%N	P(ppm)	C.E.
13	8.0	6.5	0.4	13.4	1.14
14	8.1	4.6	0.3	12.0	1.49
15	8.1	6.1	0.4	17.6	1.22
16	8.1	4.9	0.3	12.0	1.36

Evolución de los parámetros químicos y densidad aparente de la capa arable

Los datos de la tabla 5 muestran la evolución de los valores de pH a lo largo de las campañas agrícolas 98-99 y 99-2000. Se evidencia una ligera alcalinización al final de la campaña 99-2000.

En la tabla 6 y en la figura 1 puede observarse la evolución de la materia orgánica durante tres campañas agrícolas. Una comparación de los valores iniciales obtenidos con los valores

de octubre 98, muestran un decrecimiento de este parámetro. En campañas posteriores, se observa un aumento de la materia orgánica, no se tiene un comportamiento lineal y puede evidenciarse que los valores de las muestras tomadas en diciembre son siempre menores que aquellas correspondientes a mayo. Las pruebas de varianza realizadas para el incremento del porcentaje de materia orgánica, muestran que no existen diferencias significativas para las diferentes asociaciones de forrajeras.

Respecto al nitrógeno total, pueden observarse las características de su evolución en la tabla 7 y en la figura 2. Los valores en diciembre 98 son, al igual que en el caso de la materia orgánica menores a los valores determinados inicialmente en octubre 1997. En el caso del nitrógeno, la variación es baja a lo largo de las campañas agrícolas estudiadas, sin embargo puede observarse para algunos casos una tendencia similar al caso de la materia orgánica, con un incremento leve en abril 99 y nuevamente en abril 2000.

El fósforo disponible, como se observa en la tabla 8 y en la figura 3, es un parámetro que sufre fluctuaciones muy importantes en el transcurso de las campañas agrícolas, siendo que los factores tales como presencia de calcio, magnesio, humedad y forma de muestreo influyen fuertemente sobre sus valores. Debe notarse, sin embargo que la disponibilidad de fósforo se reduce, en términos generales, respecto a los valores iniciales. La comparación

mediante prueba t de los valores de octubre 98 con mayo 2000 permite observar una disminución estadísticamente significativa. El análisis de varianza muestra que no existe influencia del tratamiento sobre este parámetro.

Los valores correspondientes a densidad aparente se reportan en la tabla 9. Pueden observarse valores promedio alrededor de 1,25 g/cm³ para todas las fechas de muestreo. Por tanto puede decirse que no se tiene tendencia hacia la compactación de los camellones.

Rendimiento de los cultivos

En la tabla 10 pueden observarse los rendimientos obtenidos durante el transcurso de tres campañas agrícolas. En la campaña agrícola 97-98, se realizó un solo corte, mientras que las campañas 98-99 y 99-2000 dieron lugar a dos cortes. Puede verse que los rendimientos aumentan fuertemente para las

Tabla 5: Evolución del pH.

TRATAMIENTO	MUESTRA	Oct-98	May-99	Dic-99	May-00
1	63	8.1	8.1	8.1	8.4
	66	8.1	8.1	8.1	8.3
	69	8.2	8.2	8.0	8.3
	72	8.0	8.2	8.1	8.3
PROMEDIO		8.1	8.1	8.1	8.3
2	62	8.2	8.0	8.1	8.2
	64	7.9	8.1	8.1	8.3
	71	8.2	8.2	8.1	8.3
	73	8.1	8.0	8.0	8.3
PROMEDIO		8.1	8.1	8.1	8.3
3	61	7.9	8.0	8.0	8.1
	67	8.1	8.2	8.1	8.3
	68	8.0	8.2	7.9	8.2
	74	8.0	8.2	8.1	7.9
PROMEDIO		8.0	8.1	8.0	8.2
4	60	8.2	8.1	8.1	8.3
	65	8.0	8.1	7.9	8.3
	70	8.1	8.1	8.0	8.2
	75	8.1	8.2	8.0	7.8
PROMEDIO		8.1	8.1	8.0	8.2

Evaluación de propiedades químicas en suelos de suka kollus

Tabla 6: Variación del porcentaje de materia orgánica.

TRATAMIENTO	MUESTRA	Oct-98	May-99	Dic-99	May-00
1	63	4.65	5.6	5.32	5.83
	66		4.48	4.76	6.39
	69	5.72	6.28	5.55	6.39
	72	4.59	4.71	4.54	4.93
PROMEDIO		4.99	5.27	5.04	5.89
2	62	5.38	5.6	5.43	6.16
	64	4.26	5.59	4.31	4.82
	71	4.93	5.38	5.1	6.05
	73	4.93	4.82	5.1	5.94
PROMEDIO		4.88	5.35	4.99	5.74
3	61	5.27	5.83	5.66	6.28
	67	4.15	4.48	4.75	5.59
	68	5.15	5.38	4.09	6.28
	74	4.37	4.59	4.65	5.49
PROMEDIO		4.74	5.07	4.79	5.91
4	60	5.15	5.83	5.55	6.24
	65	4.37	4.71	4.87	4.48
	70	4.48	5.27	4.65	5.72
	75	4.26	4.48	4.76	5.27
PROMEDIO		4.57	5.07	4.96	5.43

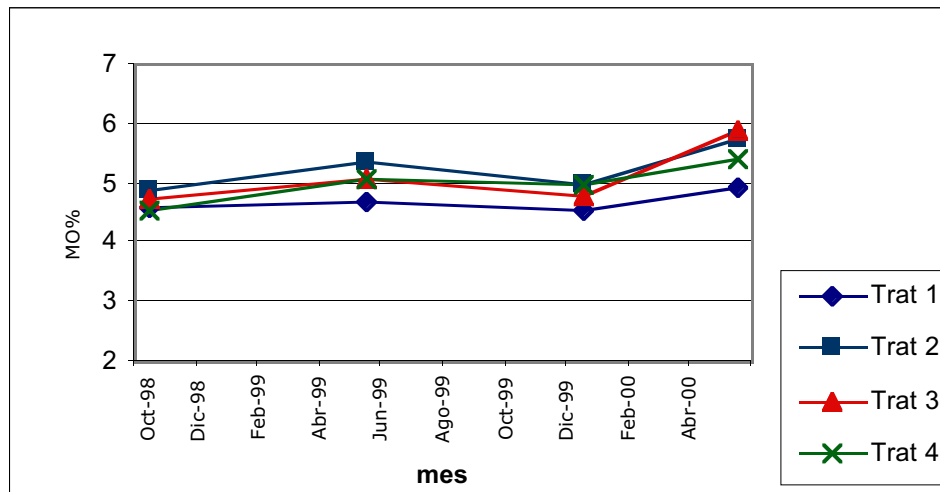


Fig. 1: Evolución del porcentaje de materia orgánica (%MO).

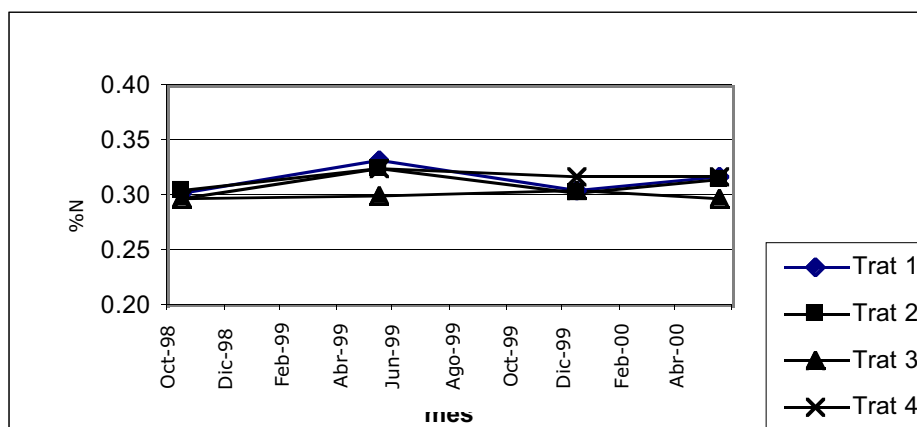


Fig. 2: Evolución del porcentaje de nitrógeno total (%N).

Tabla 7: Evolución de nitrógeno total.

TRATAMIENTO	MUESTRA	Oct-98	May-99	Dic-99	May-00
1	63	0.28	0.35	0.32	0.31
	66	0.3	0.3	0.3	0.29
	69	0.35	0.38	0.35	0.35
	72	0.28	0.3	0.25	0.32
PROMEDIO		0.30	0.33	0.31	0.32
2	62	0.33	0.34	0.34	0.33
	64	0.3	0.3	0.26	0.29
	71	0.29	0.33	0.3	0.34
	73	0.3	0.33	0.31	0.3
PROMEDIO		0.31	0.325	0.30	0.32
3	61	0.33	0.24	0.34	0.34
	67	0.28	0.34	0.27	0.28
	68	0.3	0.33	0.29	0.32
	74	0.28	0.29	0.32	0.25
PROMEDIO		0.30	0.30	0.31	0.30
4	60	0.35	0.36	0.37	0.34
	65	0.28	0.32	0.3	0.32
	70	0.28	0.33	0.31	0.32
	75	0.28	0.29	0.29	0.29
PROMEDIO		0.30	0.33	0.32	0.32

Evaluación de propiedades químicas en suelos de suka kollus

Tabla 8: Evolución del fósforo disponible.

TRATAMIENTO	MUESTRA	Oct-98	May-99	Dic-99	May-00
1	63	8.46	8.48		9.6
	66	7.31	6.06	6.6	6.53
	69	9.6	8.09	8.0	8.83
	72	9.58	7.13	9.3	4.75
PROMEDIO		8.74	7.44	7.97	7.43
2	62	7.55	9.08	8.1	7.08
	64	9.49	7.53	8.3	4.34
	71	9.37	8.34	9.2	8.84
	73	9.84	8.4	9.3	7.44
PROMEDIO		9.06	8.33	8.73	6.93
3	61	8.16	8.18	8.5	7.65
	67	7.93	7.93	7.2	6.06
	68	7.67	7.83	10.1	7.07
	74	8.19	8.27	10.5	6.77
PROMEDIO		7.99	8.05	9.08	6.89
4	60	7.46	9.12	8.5	12.4
	65	6.62	7.26	7.2	5.23
	70	12.79	8.26	10.1	9.65
	75	8.28	8.0	10.5	6.98
PROMEDIO		8.79	8.16	9.08	8.57

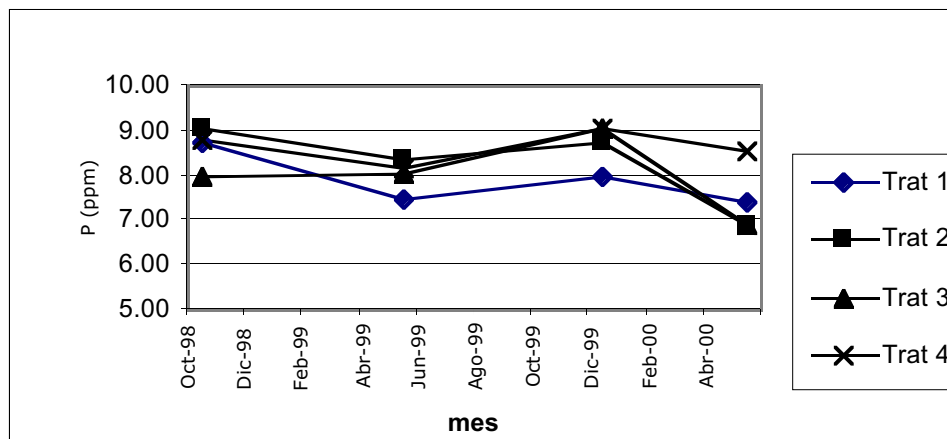


Fig. 3: Evolución del fósforo disponible (P (ppm)).

Tabla 9: Evolución de la densidad aparente.

TRATAMIENTO	MUESTRA	May-99	Dic-99	May-00
1	63	1.36	1.51	1.28
	66	1.27	1.24	1.23
	69	1.20	1.16	1.27
	72	1.32	1.23	1.40
PROMEDIO		1.29	1.29	1.29
2	62	1.07	1.25	1.28
	64	1.26	1.28	1.27
	71	1.30	1.26	1.18
	73	1.28	1.23	1.20
PROMEDIO		1.23	1.25	1.23
3	61	1.24	1.35	1.22
	67	1.32	1.26	1.31
	68	1.18	1.21	1.30
	74	1.18	1.18	1.32
PROMEDIO		1.23	1.25	1.29
4	60	1.19	1.20	1.14
	65	1.28	1.31	1.30
	70	1.36	1.28	1.34
	75	1.21	1.24	1.35
PROMEDIO		1.26	1.27	1.28

campañas 98-99 y vuelven a disminuir en las campañas 99-2000. El análisis de varianza para los datos correspondientes a la cosecha 98, nos muestra diferencias altamente significativas entre asociaciones, siendo la asociación de alfa más avena la que da mayores rendimientos. Para las siguientes dos campañas, el análisis de varianza no indica existencia de diferencias significativas entre rendimientos. Por tanto, las demás asociaciones empiezan a mostrar una estabilización en cuanto a su producción.

Discusión

Tradicionalmente, los terrenos en descanso se dejan sin tratamiento alguno luego de la última cosecha y son utilizados para el pastoreo. Para

el manejo tradicional, se ha observado que los valores mínimos en cuanto a nutrientes corresponden al momento justo después de la cosecha (Hervé 1994).

En el caso de los camellones estudiados, la situación es diferente, en vista de que provienen de suelos anegables cuyas características hidromórficas no permitan su cultivo en forma tradicional. Este origen, sumado a la incorporación inicial de residuos de los canales da lugar a que los parámetros carbono, fósforo y nitrógeno muestren valores altos al inicio de las tres campañas agrícolas. La situación inicial de los camellones es también favorable desde el punto de vista de la reacción del suelo dado que, según Thompson (1980) valores cercanos a 8 permiten que los nutrientes fósforo, calcio y magnesio se encuentren en formas accesibles

Tabla 10: Rendimiento de las tres campañas agrícolas

TRATAMIENTO	MUESTRA	Rendimiento campaña 97-98 (kg ms/ha)	Rendimiento campaña 98-99 (kg ms/ha)	Rendimiento campaña 99-2000 (kg ms/ha)
1	64	1420	5035	3000
	66	3195	6067	3749
	69	5325	9391	4247
	72	2840	14121	4247
	PROMEDIO	3195	8653	3811
2	62	3164	8865	3749
	64	3164	14323	5498
	71	4829	9433	5000
	73	2664	8643	5000
	PROMEDIO	3455	10316	4812
3	61	3190	5676	4498
	67	1276	4993	5251
	68	3509	9741	3247
	74	3031	8759	4996
	PROMEDIO	2752	7292	4498
4	60	9155	8863	3247
	65	10560	6557	3749
	70	7744	9065	3247
	75	8448	8229	5000
	PROMEDIO	8977	8179	3811

para los cultivos. Para el caso del potasio, un pH superior a 8, puede disminuir su accesibilidad. El mismo autor indica que valores de pH entre 6 y 8 favorecen la mineralización de la materia orgánica. En cuanto a la densidad aparente y los niveles de porosidad, son también adecuados para la mayoría de los cultivos.

Los altos niveles de materia orgánica reportados a inicios del cultivo favorecen la estructura de suelo, mejoran la capacidad de intercambio de cationes y la retención de humedad, constituyen un reservorio de nutrientes y permiten una mayor actividad de microorganismos que solubilizan constituyentes minerales (Tan 2000). La relación C/N en cuanto a los valores iniciales es cercana a 10, implicando mineralización y poco riesgo de inmovilización de nitrógeno.

Los predominancia de calcio y magnesio en

la solución de suelos permite compensar los efectos negativos que pueda tener el sodio sobre la estructura del suelo, como ser la dispersión de agregados y la disminución de permeabilidad hidráulica (Richards 1994).

En vista de las buenas cualidades en cuanto a fertilidad química que presenta el suelo en los camellones estudiados, puede explicarse que la necesidad de que este suelo deba permanecer en descanso es más atribuible a problemas fitosanitarios que a limitantes en cuanto a contenido en nutrientes. Este tipo de observación es también citada por Hervé (1994) para estudios realizados sobre barbechos en otros países.

El seguimiento de la evolución de los parámetros carbono y nitrógeno permite ver que esta no es lineal, tal como también fue constatado por Hervé (1994). La disminución

de estos parámetros en la primera campaña agrícola respecto a los datos iniciales puede deberse a un establecimiento inicial pobre de los cultivos, que dio lugar a sectores de suelo sin cobertura vegetal. Por tanto, es factible que la materia orgánica inicialmente incorporada haya sufrido mineralización, sin que se tenga un aporte significativo de materia orgánica de parte de los cultivos. La mineralización del nitrógeno puede llevar a pérdidas por volatilización y lixiviación así como posible inmovilización por los microorganismos o por retención en las arcillas (Paul & Clark 1996), procesos cuya dinámica no se conoce en un sistema de camellones dado sus particulares características de régimen hídrico.

Los aumentos locales que se observan en cuanto a materia orgánica para las muestras tomadas en los meses posteriores a los cortes pueden deberse a la incorporación de partes aéreas de los pastos empleada. Esta materia orgánica sufriría descomposición en el resto del año. Las variaciones en cuanto al nitrógeno son mucho menores que las que se observan en materia orgánica, particularmente en la última fecha de muestreo, el aumento de carbono orgánico no se ve acompañado por un aumento similar en nitrógeno total. Este resultado es de esperarse dado que la relación C/N del material incorporado en el suelo suele ser alrededor de 50 para plantas diferentes a leguminosas y de 30 para leguminosa en estado maduro (Buckman & Nyle 1993). Cuando los residuos de plantas que se incorporan al suelo tienen relación C/N mayor a 25, los microorganismos utilizan para su crecimiento nitrógeno mineral proveniente del suelo. Alternativamente, la degradación de los residuos se detiene hasta que el ataque de los microorganismos a la materia orgánica del suelo libere mayor cantidad de nitrógeno (Paul & Clark 1996).

Al tener parcelas donde no se practica pastoreo, esto implica que puede existir incorporación de partes aéreas de los pastos durante el descanso al suelo, situación que difiere del caso de pastoreo (Hervé 1994). Asimismo, se evitan los problemas de compactación de suelos que podrían asociarse

al pisoteo por presencia de ganado. Es sin embargo importante realizar un análisis para ver la conveniencia en cuanto a mano de obra y tiempo requerido para el corte de los forrajes y su utilización como ensilaje, respecto al pastoreo directo.

La disminución del fósforo observada a lo largo de las tres campañas agrícolas da lugar a valores finales considerados como bajos según la escala de Villarroel (1988) y puede llevar a deficiencias en este nutriente para un cultivo posterior exigente como ser la papa. Se observan posibles procesos de inmovilización por formación de sales insolubles tales como el $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$, además debe considerarse que uno de los cultivos utilizados (*Medicago sativa*) es fuertemente exigente en fósforo (Fixen & Grove 1990).

La asociación alfa alfa y avena da lugar a rendimientos muy superiores a las demás asociaciones en un primer año de cultivo. Sin embargo, se observa estabilización del desarrollo de todas las asociaciones en las campañas subsiguientes. Dado que no se observa efecto de las diferentes asociaciones sobre las propiedades edáficas, puede decirse que la elección de forrajes debe realizarse en base a otros criterios como ser valor nutricional, económico, palatabilidad o facilidad de manejo. La fuerte reducción en los rendimientos observados entre las campañas 98-99 y 99-2000, puede ser atribuida más a factores climáticos que a las condiciones edáficas.

Conclusiones

Los parámetros de fertilidad física y química del suelo, al iniciarse el cultivo de forrajeras muestran alto contenido en materia orgánica y nutrientes. La materia orgánica proveniente de los canales puede haber contribuido asimismo a mejorar el estatus tradicional del suelo.

En un primer año agrícola, se observa una disminución en cuanto a contenido en materia orgánica y nitrógeno total, debido a un establecimiento inicial de los cultivos poco adecuado y a procesos de mineralización. Estos parámetros vuelven a aumentar en los

muestreos que corresponden a cosecha, el contenido en materia orgánica aumenta más fuertemente que el de nitrógeno, elevándose la relación C/N.

El manejo agrícola llevado a cabo en las parcelas estudiadas da lugar a una disminución de su contenido en el suelo. Esto implica posibles requerimientos de fertilización posterior con fósforo para iniciar un nuevo ciclo de cultivos.

Las variaciones en cuanto a parámetros químicos y físicos muestran independencia respecto a las asociaciones de forrajeras cultivadas. Asimismo, el rendimiento, con la excepción del año de establecimiento del cultivo, muestra independencia respecto al tratamiento.

Si bien el descanso con forrajeras y en ausencia de pastoreo presenta ventajas para evitar problemas de compactación de suelos y permite la incorporación de mayores cantidades de orgánica fresca que en el descanso tradicional con pastoreo, deben realizarse consideraciones económicas que permitan validar el sistema.

Agradecimientos

Este estudio pudo ser realizado gracias al apoyo financiero de PROSUKO y a la cooperación en cuanto a tareas agrícolas y evaluación agronómica de los técnicos de dicha institución. Las lecturas en absorción atómica y espectrofotometría UV-visible fueron realizadas por el personal del Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología. Sergio Colque y los auxiliares de la Unidad de Suelos del Instituto de Ecología colaboraron en el muestreo, preparación de muestras y apoyo en realización de análisis.

Referencias

Aguilar, P. C. & A. Canahua. 1992. Producción agrícola en camellones. p. 11-22 en Berastain (ed.). Avances de Investigación sobre la Tecnología de Waru Waru. Vol II. Producción agrícola. PIWA. Puno.

Aguilar, P. C., A. Canahua, J. Vacher, V. Inquilla & E. Aquize. 1994. Microclima del sistema de camellones. p. 88-116 en Berastain

(ed.). Microclimatología en el agrosistema de Waru Waru, Avances de Investigación. PIWA, Puno. Pp 88-115.

Black, C. A. 1965. Methods of soil analysis. Part 1. American Society of Agronomy, Madison, Winsconsin. USA. 1572 p.

Buckman, H. O. & C. Nyle. 1993. Naturaleza y propiedades de los suelos. The Macmillan Co. Nueva York. Sexta edición. 589 p.

Canahua, A., V. Inquilla, M. Quispe & C. Salcedo. 1992. Producción de papa amarga y papa dulce en agrosistemas de camellones (waru waru) y pampa. p. 23-39 en Avances de Investigación sobre la tecnología de Waru Waru. Vol II. Producción agrícola. PIWA. Puno.

Cochrane, T. T. & R. G. Barber. 1993. Análisis de suelos y plantas tropicales. CIAT, Santa Cruz. 226 p.

Dewis, J. & F. Freitas. 1984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín de suelos de la FAO 10. Organización de Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.

Erickson, C. 1988. An archaeological investigation of raised field agriculture in Lake Titikaka basin of Perú. Tesis. Univ. De Illinois, Urbana- Champaign.

FAO, 1977. Guía para la descripción de perfiles de suelos. Servicio de Fomento y Conservación de Recursos de Suelos. Dirección de Fomento Tierras y Aguas. Roma. 70 p.

Fixen, P. E. & J. H. Grove. 1990. Testing soil for phosphorus. p 141-180 en Westerman (ed.). Soil testing & Plant Analysis. Winsconsin.

Greenberg (ed). 1992. Standart Methods for the examination of water and waste water. American Public Health Association.

Hervé, D. 1994. Respuestas de los componentes de la fertilidad del suelo a la duración del descanso. p. 155-169 en Hervé, D., D. Genin & G. Riviere (eds.). Dinámicas de Descanso de la Tierra en los Andes. IBTA. ORSTOM. La Paz.

Izquierdo, S. 1992. Análisis económico de la producción agrícola en Waru Waru o

- camellones en el Depto. de Puno. p 141-186 en Berastain (ed.). Avances de Investigación sobre la Tecnología de waru waru. Vol. III. Socioeconomía. PIWA. Puno.
- Paul, E.A. & F.E. Clark. 1996. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, Nueva York. Segunda Edición. 340 p.
- Richards, L.A. 1994. Suelos salinos y sódicos. Limusa. Balderas. 172 p.
- Ruiz, M.C., Morales, I. & Amurrio, P., 1998. Efecto de la incorporación de diferentes niveles de estiércol y su descomposición en suelos de Suka Kollus y Pampa, con cultivo de papa. PROSUKO, Instituto de Ecología. Informe técnico anual 97/98.
- Tan, K. 2000. Environmental soil science. Marcel Dekker Inc. Nueva York. Segunda edición. 452 p.
- Thompson, L. M. 1980. Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverté. S.A. Barcelona. 649 p.
- Villarroel, J. A. 1988. Manual práctico para la interpretación de análisis de laboratorio de suelos. AGRUCO. Cochabamba. 34 p.

Artículo recibido en: Marzo, 2001.

Manejado por: Hans Salm

Aceptado en: Julio, 2001.

Evaluación de propiedades químicas en suelos de suka kollus

ANEXO 1

PRUEBA t COMPARANDO PARAMETROS QUÍMICOS ENTRE OCTUBRE 98 Y MAYO 2000

Parámetro	Estadístico t	P(T<=t) una cola	P(T<=t) dos colas
Reacción de suelo (pH)	-3.45624	0.0010	0.0020
Materia orgánica	-4.3492	8.736 exp -5	0.0002
Fósforo disponible	1.7638	0.0458	0.0916
Nitrógeno total	-1.01534	0.1613	2.093

Para pH, materia orgánica y fósforo disponible se observa diferencia significativa a nivel 5% entre los datos registrados en octubre 98 y los correspondientes a mayo 2000.

ANALISIS DE VARIANZA : INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS SOBRE CAMBIO EN PARÁMETROS QUÍMICOS:

Parámetro	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Reacción de suelo (pH)	0.4821	0.7008	3.4902
Materia orgánica	0.1538	0.9250	3.5874
Fósforo disponible	0.9187	0.4611	3.4902
Nitrógeno total	0.2198	0.8802	3.8625

Los parámetros químicos no muestran diferencia significativa en función a los tratamientos aplicados a un nivel de confianza del 5%.

ANALISIS DE VARIANZA: INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS SOBRE EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Campaña	F	Probabilidad	Valor crítico de F
1997-1998	23.1702	2.79 exp-5	3.4902
1998-1999	0.8417	0.4968	3.4902
1999-2000	1.7054	0.2188	3.4902

Para la campaña agrícola 1997-1998 se registra diferencia significativa a nivel 5% para los rendimientos en función a la asociación de forrajeras sembradas, para las siguientes campañas, no se registran diferencias significativas.