

Estudio de la salinidad en los sistemas suka kollus y pampa en el transcurso de una campaña agrícola, localidad Aygachi

Isabel Morales, Patricia Amurrio y María Cristina Ruiz

Introducción

La extensa difusión del sistema agrícola en camellones (*suka kollus* o *waru waru*) durante tiempos precolombinos en las regiones altiplánicas de Perú y Bolivia, ha llevado a considerar la rehabilitación de suka kollus antiguos y la construcción de camellones nuevos, como una alternativa para enfrentar las limitaciones a la agricultura que presenta el Altiplano. Las limitaciones más sobresalientes para la agricultura en esta región son lluvias irregulares, temperaturas diarias muy fluctuantes, frecuentes heladas de radiación, estaciones húmedas y secas muy marcadas, frecuentes granizadas y a veces vientos de alta velocidad. También pueden nombrarse otros problemas como suelos infértiles y delgados de deficiente drenaje así como inundaciones anuales del lago Titicaca y sus tributarios (Erickson 1988).

Estudios anteriores sobre la agricultura en suka kollus han demostrado su importancia como amortiguadores de las heladas (Aguilar et al. 1994) y en muchos casos se han observado rendimientos de cultivos muy superiores a los obtenidos en el sistema tradicional de pampa (Canahua et al. 1992, Aguilar & Canahua 1992).

Es todavía poco el conocimiento sobre la fertilidad del suelo y acerca de sus propiedades físico-químicas en el sistema de suka kollus. En este sistema, el suelo presenta características muy particulares, relacionadas principalmente al proceso de su construcción: remoción e inversión de horizontes, suelos disturbados expuestos a evapotranspiración alta y un régimen hídrico muy distinto al que se observa en pampa.

En el presente estudio, se ha tratado con detalle el problema de la salinidad del suelo, evaluando la cantidad y la composición de las sales en los sistemas suka kollu y pampa, al inicio y al final de una campaña agrícola. En ambos sistemas, se evaluó también el efecto de la incorporación de diferentes dosis de materia orgánica. La presencia de alta salinidad en el Altiplano se ve asociado a depresiones y zonas más bajas (ver por ejemplo Salm & Gehler 1987).

El trabajo es parte del "Proyecto Interinstitucional Suka Kollus" PROSUKO, institución que viene realizando diferentes estudios en sistemas tradicionales de agricultura en el Altiplano boliviano, con el objetivo de contribuir al mejoramiento de la productividad agrícola y de la calidad de vida del campesino.

Material y métodos

El estudio se realizó en la localidad de Aygachi, provincia Los Andes, aproximadamente a 79 km de la ciudad de La Paz, con una altitud de 3830 m snm. Sus coordenadas geográficas son 16°31' LS y 68°30' LO. El área pertenece a Koani Pampa, planicie levemente inclinada, correspondiente a la subcuenca del Río Katari. Koani Pampa es uno de los lugares de presencia de restos arqueológicos de suka kollus más importantes de Bolivia (Erickson 1988).

La localidad de Aygachi, al ser parte de la región alto andina, se caracteriza por tener un clima mediterráneo, con estaciones bien marcadas, siendo subtropical subhúmedo de altura (según Unzueta 1975) o de puna semi-húmeda (según Ellenberg 1981).

La época húmeda comienza a mediados de octubre a noviembre; diciembre, enero y febrero se hace marcadamente húmeda, disminuyendo gradualmente en marzo y abril. Las temperaturas registran una media anual de 7,7 °C, sin grandes fluctuaciones en las medias mensuales. El período libre de heladas está comprendido entre noviembre y marzo, el resto de los meses del año, tiene heladas frecuentes y regulares, en número que sobrepasa los diez días/mes. (Lieberman 1987).

La vegetación natural está generalmente compuesta por las gramíneas *Stipa icchu*, *Festuca dolichophylla*, *Distichlys humilis* y *Muhlenbergia fastigiata*.

Para la realización del estudio, se toma en cuenta un conjunto de cuatro camellones recién construidos, cuyas dimensiones son de 50 x 4 m. En cada uno de ellos, se delimitan cuatro parcelas de 10 x 4 m, separadas entre sí por una distancia de 1 m. Se toma un área de similares dimensiones en pampa recién roturada, sobre la cual se estaquean bloques longitudinales, también de 50 x 4 m. En cada uno de los bloques de pampa, se delimitan asimismo 4 parcelas de 10 x 4 m, separadas entre sí por distancias de 1 m.

En los distintos bloques, se agrega estiércol de origen mixto (ovino y bovino). Para ambos sistemas (pampa y suka kollu), se colocan las siguientes cantidades de abono: 2,5 ton/ha en el bloque 1; 5 ton/ha para el bloque 2; 7,5 ton/ha para el bloque 3; y 10 ton/ha para el bloque 4. El abonamiento se realiza a mano, previo a la siembra, enterrando el estiércol en los surcos.

Las determinaciones de cationes y aniones, así como de la capacidad de intercambio catiónico, se realiza antes de la incorporación de abono y al finalizar la cosecha. Los valores de conductividad eléctrica y de pH se miden aproximadamente cada seis semanas, para obtener de esta forma un monitoreo continuo.

El muestreo se realiza por parcela, tomando muestras compuestas de la capa arable (0-30 cm) mediante barreno, de tal forma que cada muestra contenga 16 submuestras. La preparación previa al análisis de las muestras de suelo consiste en el secado al aire libre, molido y cuarteado.

Los análisis realizados en laboratorio son los siguientes :

- pH en solución acuosa : se agregan 50 ml de agua destilada a 20 g de suelo, se agita mecánicamente por 30 minutos y se deja en reposo 30 min, leyéndose el valor de pH mediante el pH metro en el sobrenadante.

- Sodio y potasio extractables: se agregan 25 ml de solución de acetato de amonio 1N, pH 7, a 2,5 g de suelo, se agita 30 min, se realiza el filtrado en papel Watman 42 y se lleva a lectura en espectrofotómetro de absorción atómica (ASS Perkin Elmer Modelo 3110), previa realización de diluciones.

- Calcio y magnesio extractable : se agregan 25 ml de solución de de acetato de sodio 1N a 2,5 g de suelo, se agita 30 min, se realiza el filtrado en Watman 42 y se lleva a lectura en ASS, previa realización de diluciones.

- Cationes solubles : se prepara una pasta saturada de suelo según se describe en Richards (1994). A partir del extracto se realizan diluciones y se lleva a lectura en ASS de los cationes Ca, Mg, Na y K.
- Aniones solubles: a partir del extracto de pasta saturada (obtenida según Richards 1994) se realizan las siguientes determinaciones:
- Cloruros, por titulación con nitrato de plata 1N en presencia de cromato de potasio como indicador (Cochrane & Barber 1993).
- Sulfatos: se realiza una dilución de 1:200 del extracto de pasta y se determinan sulfatos según se describe en Greenberg et al. (1992).
- Bicarbonatos: El extracto de pasta se titula con HCl 0,02 N hasta llegar a pH 4,2 controlado con pH metro (Cochrane 1993).
- Para medir la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se utilizó el método descrito en Richards (1994).

La materia orgánica se determinó por el método de Walkey-Black (Black 1965).

Resultados y discusión

Parámetros químicos en suka kollus

Los análisis iniciales de los suelos de suka kollus, en extracto acuoso, presentan pH entre 6,9 y 7,7, es decir desde **neutros a ligeramente alcalinos** según la clasificación de Thompson (1988). De acuerdo al análisis de varianza, la parcela en estudio es homogénea respecto a este parámetro. Los valores de pH obtenidos nos indican que la disponibilidad de nutrientes es adecuada y que no hay efecto fitotóxico de los iones Mn y Al (Van Lierop 1990). Como se ve en la figura 1, el pH muestra una elevación significativa entre el inicio y el final de campaña. El análisis de varianza de los datos post cosecha no demuestra diferencias significativas para las distintas dosis de estiércol, indicando que éstas no han tenido influencia sobre la reacción del suelo.

Los valores de conductividad eléctrica iniciales en las distintas parcelas de suka kollus muestran una dependencia marcada con la topografía del lugar; las parcelas con alta conductividad eléctrica (mayores a 3 mS/cm) se encuentran en una depresión con escaso drenaje, en tanto que las otras (con valores menores a 2 mS/cm), se ubican a mayor elevación. Los valores finales (en el momento de la cosecha) no difieren en forma significativa de los iniciales (Tabla 1).

Los valores para sodio extractable en suka kollus pueden observarse en la tabla 1. Estos valores presentan grandes variaciones, que van desde 17 meq/100 g SS (gramos de suelo seco) hasta 2,61 meq/100 g SS al inicio de la campaña y desde 31 meq/g SS hasta 3,91 meq/g SS al final de la campaña agrícola. La distribución de los valores para sodio extractable coincide en ambos casos con la distribución de los valores de conductividad eléctrica. Puede verse para todas las parcelas un aumento muy importante del sodio extractable, entre el inicio y el final de la campaña agrícola.

Tabla 1: Cationes extractables en suka kollus

PARC	DOSIS ESTIERCOL (ton/ha)	INICIO CAMPAÑA AGRICOLA						FINAL CAMPAÑA AGRICOLA					
		pH (acuoso)	C.E (mS/cm)	Cat. extractables (meq/100g suelo)				pH (acuoso)	CE (mS/cm)	Cat. extractables (meq/100g suelo)			
				Na	K	Ca	Mg			Na	K	Ca	Mg
1	2.5	6.9	3.7	15.8	0.6	9.3	7.5	8.0	2.6	24.3	3.6	8.8	5.0
2	2.5	7.7	3.1	9.8	0.6	9.5	7.7	7.8	2.1	21.3	3.8	8.1	4.3
3	2.5	7.1	1.1	6.3	0.4	7.8	5.9	7.8	1.6	13.9	1.5	7.5	3.6
4	2.5	7.4	0.9	3.9	0.5	8.1	4.8	7.8	1.0	7.0	0.8	8.6	3.2
5	5.0	7.6	5.8	17.4	0.6	10.4	8.9	7.9	3.1	31.7	5.4	9.8	4.8
6	5.0	6.9	3.6	11.5	1.3	10.1	8.6	7.8	2.6	17.0	0.3	7.3	4.9
7	5.0	7.1	1.8	9.8	0.7	8.4	6.1	7.8	1.7	12.2	2.1	8.9	3.6
8	5.0	7.5	0.5	2.6	0.4	7.9	4.5	7.7	1.0	6.5	1.3	9.5	3.3
9	7.5	7.5	2.8	9.8	0.6	8.8	6.0	7.7	2.4	14.8	0.3	10.8	3.6
10	7.5	7.3	2.0	7.9	0.7	8.7	6.4	7.7	1.5	14.8	0.3	10.0	3.3
11	7.5	7.4	1.1	6.0	0.4	7.5	5.6	7.8	1.5	13.0	4.4	7.4	3.3
12	7.5	7.5	0.7	3.1	0.3	8.1	4.7	7.8	0.8	3.9	0.3	9.2	3.7
13	10.0	6.9	1.3	5.4	1.8	7.8	4.9	7.9	1.1	6.5	0.8	8.0	3.2
14	10.0	7.2	0.8	5.6	0.4	8.1	4.8	7.6	2.1	23.5	5.1	8.4	3.5
15	10.0	7.2	0.7	4.9	1.9	6.3	5.0	7.9	1.5	7.8	3.3	8.3	3.7
16	10.0	7.0	0.8	3.9	0.6	9.1	5.4	7.6	1.4	10.4	2.1	9.6	3.8

De igual manera, tenemos para los valores de sodio soluble grandes diferencias entre las parcelas situadas en la parte baja de la depresión (valores mayores a 4 meq/100 g SS, tanto al inicio como al final de campaña) y las parcelas situadas en lugares más altos (valor medio 1,6 meq/100 g SS durante este período) (Tabla 2).

La distribución de potasio extractable para suka kollus sigue en forma aproximada la distribución de sodio. La diferencia entre parcelas es poco marcada al inicio de la campaña (los valores varían entre 1,88 y 0,31 meq/100 g SS) y aumenta al final (los valores varían entre 5,13 y 0,26 meq/100 g SS). Puede verse un aumento muy significativo en la mayoría de las parcelas de la cantidad de potasio extractable entre el inicio y final de campaña (Tabla 1). En cuanto al potasio soluble, el valor medio es 0,19 meq/100 g SS al inicio de campaña y 0,36 meq/100 g SS al final. Sin embargo, las fluctuaciones dentro de las muestras impiden considerar este aumento como significativo (Tabla 2).

La distribución es bastante homogénea en todas las parcelas de los valores de calcio y magnesio extractable y soluble, tanto al inicio como al final de campaña (Tabla 1). Al inicio de la campaña agrícola, tenemos para calcio extractable un valor medio de 8,49 meq/100 g SS mientras que para magnesio el valor medio corresponde a 3,78 meq/100 g SS. Al finalizar la campaña agrícola tenemos 8,74 meq/100 g SS para calcio extractable y 3,79 meq/100g SS para el magnesio extractable. En la tabla 2, puede observarse que el calcio soluble tiene el valor medio inicial de 1,44 meq/100g SS y un valor medio final de 2,24 meq/100g SS. El magnesio soluble inicial presenta un valor medio de 1,26meq/100g SS, mientras que el magnesio soluble final presenta un valor medio de 1,55 meq/g SS. Para ambos cationes, se considera que no existe diferencia significativa entre valores iniciales y finales.

El análisis de varianza para ver la influencia de las distintas dosis de materia orgánica nos muestra la no existencia de diferencias significativas por abonación para los valores de cationes solubles y extractables. Las dosis de estiércol agregadas son muy bajas para contrarrestar la salinidad. De acuerdo a Richards (1994), son necesarias cantidades muy altas (mayores a 50 ton/ha) de materia orgánica para recuperar suelos salinos.

En la tabla 3 pueden verse los valores de capacidad de intercambio catiónico iniciales, presentando poca variación entre las parcelas, con un valor alrededor de 15 meq/100g SS. Al final de la campaña el valor medio del CIC corresponde a 11 meq/100g SS. Según Fassbender (1987), la capacidad de intercambio catiónico consiste en el total de cargas negativas que contiene el complejo coloidal del suelo. Dentro de estas cargas, algunas son estables y otras son marcadamente dependientes del entorno, por tanto es de esperarse la existencia de variaciones en el valor del CIC en el transcurso de una campaña agrícola.

La distribución de sodio intercambiable (Tabla 3) para suka kollus, muestra valores iniciales relativamente homogéneos, con un valor medio de 4 meq/100g SS, valor considerado como **muy alto** por Villaroel (1988). Al finalizar la campaña, el valor obtenido por diferencia entre sodio extractable en acetato de amonio y sodio soluble en agua, considerado como sodio "intercambiable", llega a superar el valor del CIC en algunas parcelas ubicadas en la zona baja de la depresión. Esto indica que el valor obtenido es en realidad la suma de los valores correspondientes a la cantidad de sodio efectivamente adsorbido sobre el complejo coloidal y de la cantidad de sodio proveniente de sales precipitadas, que no han llegado a ser disueltas al realizarse el extracto de pasta. Debe tomarse en cuenta que la relación agua : suelo utilizada

Tabla 2: Cationes y aniones solubles suka kollus

PARC	INICIO CAMPAÑA AGRICOLA							FINAL CAMPAÑA AGRICOLA						
	Cat. solubles (meq/100g suelo)				Aniones (meq/100g suelo)			Cationes solubles (meq/100 g suelo)				Aniones (meq/100 g suelo)		
	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3
1	10.0	0.5	2.9	3.1	7.0	9.2	0.3	4.5	0.3	2.5	2.2	3.9	7.9	0.2
2	5.2	0.3	2.0	2.0	3.3	5.4	0.2	5.4	0.2	1.9	2.1	1.8	5.9	0.2
3	1.6	0.1	1.1	0.7	0.8	1.1	0.2	1.4	0.7	2.0	1.5	1.5	4.3	0.1
4	0.8	0.2	0.9	0.6	0.4	2.1	0.2	0.7	0.3	2.2	1.2	0.5	2.8	0.1
5	10.0	0.9	3.0	3.8	12.2	8.2	0.3	3.5	0.9	3.1	3.0	4.7	7.1	0.1
6	4.6	0.2	1.7	2.0	3.1	4.9	0.2	4.2	0.2	2.1	2.0	1.6	5.7	0.2
7	2.4	0.2	1.6	1.2	1.3	4.3	0.2	5.2	0.2	2.3	1.3	0.7	3.4	0.1
8	0.5	0.0	0.5	0.3	0.1	1.0	0.1	3.8	0.2	2.5	1.1	0.5	2.7	0.1
9	3.6	0.2	1.7	1.2	2.0	3.7	0.1	1.8	0.2	2.7	1.7	1.9	6.6	0.2
10	3.2	0.2	1.7	1.4	1.5	4.5	0.1	1.9	0.4	3.0	1.8	1.8	6.9	0.3
11	1.6	0.1	0.9	0.7	0.7	2.4	0.1	1.2	0.1	1.3	0.9	1.0	2.8	0.1
12	0.7	0.0	0.9	0.5	0.2	1.8	0.1	1.2	1.4	1.5	0.7	0.4	1.9	0.1
13	2.2	0.0	1.6	1.0	0.6	3.1	0.1	1.0	0.1	1.4	0.9	1.1	2.2	0.2
14	1.1	0.2	0.8	0.5	0.7	2.1	0.1	2.0	0.2	3.6	1.9	3.2	7.2	0.2
15	1.1	0.1	0.6	0.4	0.6	1.8	0.1	1.4	0.1	1.3	0.8	1.0	2.7	0.2
16	0.8	0.0	1.2	0.8	0.3	2.4	0.1	1.4	0.2	2.7	1.6	1.1	4.4	0.2

Tabla 3: Cationes intercambiables y CIC suka kollus

PARC	INICIO DE CAMPAÑA					FINAL DE CAMPAÑA				
	Cat intercambiables (meq/100 g suelo)				CIC(meq/ 100 g suelo)	Cat intercambiables (meq/100 g suelo)				CIC(meq/ 100 g suelo)
	Na	K	Ca	Mg		Na	K	Ca	Mg	
1	5.8	0.1	6.4	4.4	16.4	19.9	3.2	6.3	2.8	11.6
2	4.6	0.3	7.5	5.7	15.5	15.9	3.6	6.2	2.1	11.2
3	4.7	0.4	6.7	5.2	15.7	12.5	0.8	5.5	2.1	10.9
4	3.1	0.3	7.1	4.3	16.0	6.2	0.5	6.4	2.0	11.6
5	7.4	0.3	7.4	5.1	16.7	28.2	4.5	6.7	1.9	12.0
6	6.9	1.1	8.4	6.6	15.4	12.8	0.0	5.2	2.9	12.3
7	7.4	0.6	6.8	4.9	13.8	7.0	1.8	6.6	2.3	12.7
8	2.1	0.3	7.4	4.2	15.5	2.7	1.1	7.0	2.2	11.6
9	6.2	0.5	7.2	4.8	15.3	13.0	0.1	8.1	1.9	10.9
10	4.7	0.6	7.0	4.9	15.5	12.9	0.1	7.0	1.5	12.0
11	4.4	0.2	6.6	4.9	19.5	11.8	4.2	6.1	2.3	11.6
12	2.5	0.2	7.2	4.2	15.8	2.7	0.1	7.7	3.0	10.1
13	3.2	1.8	6.2	3.9	16.0	5.5	0.7	6.6	2.3	12.7
14	4.4	0.3	7.3	4.2	15.2	21.5	5.0	4.8	1.6	12.7
15	3.8	1.7	5.6	4.6	15.1	6.4	3.2	7.0	2.9	12.3
16	3.1	0.5	7.9	4.6	14.5	9.1	1.8	6.9	2.2	11.6

para preparar el extracto de pasta es mucho menor que la relación extractante : suelo empleada para analizar los cationes "extractables". Por otro lado, el protocolo correspondiente al análisis de cationes extractables incluye la agitación de la mezcla suelo-extractante, mientras que para el análisis de sales solubles no se tiene este tipo de procedimiento. Por tanto, al realizar el procedimiento correspondiente a "cationes extractables" se logra disolver sales que no se han disuelto en el extracto de pasta, llevando a errores por exceso en la estimación del sodio intercambiable.

En estos casos puede realizarse una estimación del porcentaje de sodio intercambiable mediante las ecuaciones que relacionan el SAR (Sodium Absorption Ratio) con el porcentaje de sodio intercambiable (Richards, 1994). De esta forma se obtiene un valor de porcentaje de sodio intercambiable mayor a 20% de la capacidad de intercambio catiónico en las parcelas de la parte baja de la depresión. En estas parcelas el sodio soluble se encuentra en un porcentaje mayor al 50% de los cationes solubles, condición suficiente para desplazar a los cationes bivalentes del complejo coloidal, a pesar de tener éstos mayor tendencia a ser adsorbidos (Fassbender 1987). La presencia de sodio en gran proporción en el complejo de adsorción da lugar a una serie de efectos, mayormente sobre la estructura del suelo, llevando a mayor dispersión de las partículas (Richards 1994).

Las cantidades de Ca y Mg intercambiable, presentan poca variación entre parcelas, teniendo un valor medio de 7,04 meq/100 g de suelo para Mg, considerado como **alto** (Villaroel 1988). Al finalizar la campaña, se observa que el valor medio para Ca y Mg intercambiables es de 6,50 meq/100 g SS y 2,23 meq/100 g SS respectivamente. Puede verse que no existe diferencia significativa entre los valores iniciales y finales para calcio intercambiable, pero sí una disminución significativa en el magnesio intercambiable. El magnesio aparentemente ha sido desplazado del complejo de cambio por el sodio.

Los valores de aniones al inicio de la campaña en suka kollus (Tabla 2) siguen también el patrón de distribución de la conductividad eléctrica. Puede observarse que la contribución de los sulfatos es mayor a la contribución de los cloruros, con excepción de la parcela 5. Los carbonatos se encuentran virtualmente ausentes. Los valores correspondientes al bicarbonato son bastante bajos, oscilando entre 0,30 y 0,90 meq/100 g de suelo. Al finalizar la cosecha, aumentan los cloruros y los sulfatos, estos últimos en forma más marcada. Al igual que en los muestreos iniciales, no se tiene presencia de carbonatos y los niveles de bicarbonatos son bajos.

Parámetros químicos en pampa

Los suelos de pampa en extracto acuoso tienen un pH **medianamente ácido a neutro** con valores que van desde 5,50 a 7,0 según clasificación de Thompson (1980). Estos valores de pH son considerados adecuados para fines agrícolas y no se presenta toxicidad de Mn y Al (Van Lierop 1990). En la figura 1, puede observarse que el valor medio del pH correspondiente a la totalidad de parcelas de pampa, sufre un incremento entre el inicio y final de campaña, sin embargo, las fluctuaciones entre las distintas parcelas, impiden considerar este aumento como estadísticamente significativo. La diferencia en el comportamiento del pH entre sistemas suka kollus y pampa puede atribuirse a la distinta concentración de materia orgánica en la capa arable (el valor medio para este parámetro se sitúa alrededor de 2% para suka kollus y 4% para pampa), a un régimen de agua distinto y a variaciones en la concentración y composición de las sales presentes. Al igual que en el caso de suka kollus, no se observa influencia de las distintas dosis de estiércol en el valor del pH.

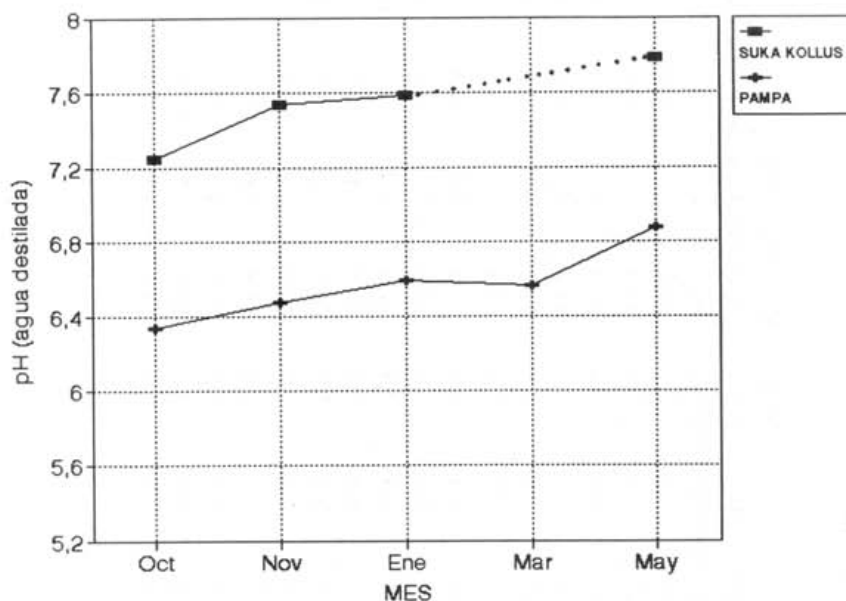


Fig. 1: Evolución del pH

En las parcelas de pampa, la distribución de la conductividad eléctrica es bastante irregular, no se observa en este caso una variación sistemática, puesto que se tiene un terreno plano. El valor medio de la conductividad es 2,3 mS/cm. No se observan variaciones significativas en este parámetro en el transcurso de la campaña agrícola.

En pampa, los valores iniciales de sodio extractable y soluble son mucho menores que en suka kollus (Tabla 4). Su distribución es bastante irregular, con un valor medio de 2,74 meq/100 g de suelo para el sodio extractable y 0,64 meq/100 g SS para sodio soluble. Al final de la campaña tenemos un aumento muy considerable del sodio extractable, llegando a un valor medio de 13,8 meq/100 g SS. El sodio soluble alcanza un valor final medio de 1,25 meq/100 g SS.

Los valores medios para potasio extractable y potasio soluble en parcelas de pampa son respectivamente 1,6 meq/100 g SS y 0,11 meq/100 g SS. Al final de la campaña, se observa un aumento significativo en ambos casos, llegándose a un valor medio de 4,15 meq/100 g SS para el potasio extractable y 0,28 meq/100 g SS para el potasio soluble (Tablas 4 y 5).

Para calcio y magnesio extractables (Tabla 4), los valores al inicio y al final de la campaña son muy similares, teniendo valores medios alrededor de los 15 meq/100 g SS y 8 meq/100 g SS respectivamente. En cuanto a los valores para estos cationes obtenidos a partir del extracto de saturación (Tabla 5), se observa una disminución para el Ca soluble de un valor medio de 1,75 meq/100 g SS a 0,83 meq/100 g SS y poca variación para el Mg (cuyos valores permanecen alrededor de los 2 meq/100g). Es de esperar que el calcio, al ser menos soluble, precipite más rápidamente que el Mg, debido al aporte en aniones que ha traído el aumento de salinidad. Parte del calcio soluble ha sido reemplazado por el sodio en la solución de suelo.

Tabla 4: Cationes extractables pampa

PARC	DOSIS ESTIERCOL (ton/ha)	INICIO CAMPAÑA AGRICOLA						FINAL CAMPAÑA AGRICOLA					
		pH (acuoso)	C.E. (mS/cm)	Cat. extractables (meq/100g suelo)				pH (acuoso)	C.E. (mS/cm)	Cat. extractables (meq/100g suelo)			
				Na	K	Ca	Mg			Na	K	Ca	Mg
1	2.5	6.8	2.7	3.6	1.7	19.2	8.3	7.3	2.7	16.1	7.2	23.5	7.5
2	2.5	7.0	2.5	1.9	0.9	19.5	10.0	7.5	2.4	17.8	8.2	16.0	7.9
3	2.5	6.6	2.6	4.4	2.0	15.7	9.7	6.8	2.4	13.9	4.4	15.0	6.7
4	2.5	5.9	3.0	6.4	1.4	17.5	11.7	5.8	2.5	18.3	8.5	12.8	5.4
5	5.0	6.8	2.5	2.5	1.5	18.1	9.5	7.4	2.5	12.2	4.1	19.0	6.3
6	5.0	6.8	2.0	2.3	1.3	17.4	7.7	7.3	2.2	13.5	4.9	18.8	5.4
7	5.0	6.7	1.5	0.8	1.7	14.5	4.6	7.4	2.0	12.6	5.4	14.5	3.8
8	5.0	5.9	1.2	1.2	2.4	9.3	4.1	6.6	1.3	12.6	4.4	8.8	2.5
9	7.5	6.3	2.8	3.1	1.5	17.8	13.8	6.4	2.4	12.6	4.4	22.0	10.4
10	7.5	6.3	2.2	2.6	1.6	15.1	8.4	6.6	2.1	10.9	2.6	14.5	5.4
11	7.5	6.3	2.1	2.3	1.8	13.9	7.6	6.7	1.9	20.9	1.0	11.5	3.8
12	7.5	6.5	1.4	1.0	1.7	11.3	4.4	7.0	2.0	10.9	2.1	11.3	3.3
13	10.0	6.1	3.6	4.0	1.6	17.7	17.1	6.7	2.6	13.9	4.6	21.3	12.5
14	10.0	5.5	2.9	2.5	2.5	13.4	11.8	6.9	2.5	10.9	1.3	20.8	9.2
15	10.0	5.8	2.3	3.4	1.7	10.5	9.1	6.0	2.5	10.9	2.1	11.8	5.4
16	10.0	6.6	1.5	1.8	0.5	10.4	6.0	7.8	2.9	13.5	1.5	9.8	3.8

Tabla 5: Cationes solubles pampa

PARC	INICIO CAMPAÑA AGRICOLA							FINAL CAMPAÑA AGRICOLA						
	Cat. solubles (meq/100g suelo)				Aniones (meq/100g suelo)			Cat. solubles (meq/100 g suelo)				Aniones (meq/100g suelo)		
	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3
1	0.6	0.1	1.7	1.4	0.4	3.2	0.3	7.6	0.2	0.7	1.0	0.6	4.3	0.3
2	0.6	0.1	2.1	1.9	0.3	3.5	0.3	2.0	0.3	0.8	1.0	0.4	4.6	0.2
3	1.0	0.1	2.1	2.2	0.6	4.7	0.2	2.1	0.0	0.7	3.4	0.2	4.9	0.1
4	0.6	0.3	1.8	2.9	1.4	5.2	0.1	0.5	0.2	0.9	2.9	0.1	5.7	0.1
5	0.6	0.1	2.3	2.2	0.4	4.2	0.4	0.4	0.2	1.0	0.8	0.4	4.1	0.2
6	0.4	0.1	2.2	1.4	0.1	2.4	0.3	0.3	0.1	0.9	0.6	0.3	3.2	0.2
7	0.2	0.1	2.1	1.1	0.1	2.6	0.4	0.4	0.2	0.8	0.6	0.1	2.3	0.2
8	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	2.2	0.1	0.2	0.2	0.7	0.4	0.1	2.2	0.1
9	0.8	0.1	2.0	3.2	0.4	5.0	0.0	1.3	0.1	1.0	2.4	0.4	6.5	0.1
10	0.5	0.1	2.0	1.6	0.3	3.5	0.2	0.4	0.2	0.9	0.8	0.2	3.8	0.1
11	0.5	0.1	1.7	1.6	0.3	3.8	0.0	0.3	0.7	0.8	0.7	0.1	3.2	0.1
12	0.2	0.1	1.5	0.9	0.1	2.1	0.1	0.3	0.4	0.8	0.6	0.3	3.3	0.1
13	1.0	0.1	2.0	5.2	0.7	5.9	0.2	0.6	0.3	0.9	3.7	0.4	7.6	0.2
14	1.4	0.1	1.6	2.6	0.4	4.2	0.1	1.8	0.1	0.9	3.8	0.6	5.8	0.1
15	0.9	0.1	1.5	2.3	0.3	3.6	0.1	1.6	0.0	0.8	2.4	0.3	4.3	0.0
16	0.7	0.1	1.4	1.4	0.5	3.0	0.1	0.4	1.1	0.7	2.2	1.5	4.7	0.2

Tabla 6: Cationes intercambiables y CIC pampa

PARC	INICIO DE CAMPAÑA					FINAL DE CAMPAÑA				
	Cat intercambiables (meq/100 g suelo)				CIC(meq/ 100 g suelo)	Cat intercambiables (meq/100 g suelo)				CIC(meq/ 100 g suelo)
	Na	K	Ca	Mg		Na	K	Ca	Mg	
1	3.0	1.6	17.5	6.7	16.8	8.5	7.0	22.8	6.5	23.9
2	1.3	0.8	17.4	8.2	17.2	15.8	7.9	15.2	7.0	23.6
3	3.4	1.9	13.6	7.4	16.8	11.9	4.3	14.3	3.2	22.5
4	5.8	1.1	15.8	8.7	16.4	17.8	8.3	11.8	2.5	22.5
5	1.9	1.4	15.8	7.3	16.1	11.8	3.9	18.0	5.5	24.6
6	1.8	1.2	15.2	6.3	16.8	13.2	4.7	17.9	4.8	19.6
7	0.6	1.7	12.4	3.6	16.0	12.2	5.2	13.7	3.2	20.3
8	0.9	2.3	9.2	4.0	13.5	12.4	4.1	8.1	2.1	19.2
9	2.4	1.4	15.8	10.5	16.5	11.4	4.3	21.0	8.0	30.4
10	2.1	1.5	13.1	6.8	16.8	10.5	2.3	13.6	4.6	23.6
11	1.8	1.6	12.2	6.0	13.8	20.6	0.3	10.7	3.1	22.1
12	0.8	1.6	9.8	3.5	12.6	10.5	1.7	10.5	2.7	20.3
13	3.0	1.5	15.6	11.9	17.1	13.3	4.3	20.4	8.8	31.5
14	1.0	2.3	11.8	9.2	15.7	9.0	1.2	19.8	5.4	30.1
15	2.5	1.5	9.0	6.8	15.7	9.3	2.0	11.0	3.1	27.9
16	1.1	0.4	9.0	4.6	11.1	13.1	0.4	9.0	1.6	22.1

La capacidad de intercambio catiónico (Tabla 6) sufre un aumento significativo entre el inicio y la finalización de la campaña, siendo que el valor medio inicial de 15,5 meq/100 g SS (considerado como **moderado** por Villaroel, 1988) aumenta a un valor de 24 meq/ 100g SS al finalizar la campaña agrícola. Este comportamiento, muy distinto al observado en suka kollus, puede deberse mayormente a la mayor cantidad de materia orgánica en pampa. La materia orgánica presenta un aporte muy importante a la capacidad de intercambio catiónico y las cargas negativas provenientes de la materia orgánica son muy variables con el entorno (Fassbender, 1987)

El sodio intercambiable presenta en pampa, al inicio de campaña, valores alrededor de los 2 meq/100 g SS, valor que constituye un 13% del CIC, siendo considerado como **muy alto** según la clasificación de Villaroel. Al finalizar la campaña, los valores para sodio intercambiable se hacen mucho mayores y llegan a constituir casi un 50% del CIC. En este caso, es también recomendable considerar que es probable que algunas sales precipitadas de sodio no hayan sido disueltos al realizar el extracto de pasta, pero sí lo fueron al realizar la metodología para sodio extractable.

Los valores obtenidos por substracción entre Ca y Mg extractables y solubles (Tabla 6) son muy altos y en algunos casos sobrepasan el valor de CIC. Esto implicaría según Richards (1994) la existencia de sales poco solubles de calcio y magnesio, notablemente de sulfatos (yeso, puesto que no se detectaron carbonatos). La presencia de Ca y Mg en alto porcentaje en el complejo de cambio y de calcio en forma precipitada es según el mismo autor, muy favorable, puesto que contrarresta los efectos nocivos del sodio, y permite reponer los nutrientes Ca y Mg en caso de lavado.

En la tabla 5 puede observarse que el mayor porcentaje de aniones solubles en pampa está constituido por sulfatos. No se observan carbonatos y los valores para bicarbonato son muy bajos.

El análisis de varianza aplicado a ambos sistemas para cationes extractables y solubles muestra que no existen diferencias significativas por tratamientos de abonación, por tanto se puede ver que las distintas dosis de materia orgánica incorporada no tienen efecto sobre los cationes del suelo.

Conclusiones

En las parcelas de suka kollus, los valores de cationes solubles y extractables presentan una gran variación en un área relativamente pequeña, estando esta variación muy ligada a la topografía del lugar.

En pampa puede observarse condiciones más adecuadas para contrarrestar el efecto del aumento en salinidad y sodicidad. La presencia de mayor cantidad de materia orgánica inicial y de sales de calcio y magnesio permiten considerar que en los suelos de pampa se tendrá una mejor respuesta al aumento en sodio respecto a los suelos de suka kollus.

Las cantidades de estiércol incorporadas no presentan efecto sobre los valores de pH, cationes intercambiables ni cationes solubles en el transcurso de la campaña agrícola considerada.

Resumen

Estudio de la salinidad en los sistemas suka kollus y pampa en el transcurso de una campaña agrícola, localidad Aygachi

Se analizó la composición en sales de suelos de la localidad de Aygachi en dos sistemas agrícolas distintos: campos elevados o suka kollus y sistema tradicional de pampa, al inicio y al final de una campaña agrícola, tomando en cuenta la incorporación de distintas dosis de estiércol. Se diferenció entre cationes extractables, solubles e intercambiables. Se observaron fuertes diferencias en la composición en sales entre los sistemas suka kollu y pampa. Para ambos sistemas se tuvo una tendencia al aumento de las cantidades totales de sodio y potasio entre el inicio y final de campaña. Las distintas dosis de estiércol incorporadas no tuvieron una incidencia significativa sobre la salinidad.

Abstract

Salinity in suka kollu raised fields and pampa agriculture systems of Aygachi over the course of a growing season

Soil salt components were studied near the community of Aygachi under two different agricultural systems: raised fields or suka kollus and traditional pampa cultivation, at the beginning and end of a production season, and with different amounts of applied organic fertilizer. Extractable, soluble and exchangeable cations were differentiated. Important differences were detected in the salt composition of raised fields and pampa. In both systems, total amounts of sodium and potassium tended to increase between the beginning and the end of the production season. Different amounts of dung applied did not have a significant effect on salinity.

Agradecimientos

Este estudio pudo ser realizado gracias al apoyo financiero del proyecto PROSUKO. El análisis estadístico fue realizado con la valiosa colaboración del Lic. Rubén Belmonte. Las lecturas de cationes en el ASS fueron posibles gracias al personal del Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología.

Referencias

- Aguilar, P.C. & A. Canahua, 1992 Producción agrícola en camellones. pp 11-22. En : 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 pp 88-116. En : Microclimatología en el agrosistema de Waru Waru , Avances de Investigación. PIWA . Puno. pp 88 -115
- Black, C.A., 1965. Methods of Soil Analysis, Part I. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 5a impr. 1979.

- Canahua, A, V. Inquilla, M. Quispe, C. Salcedo, 1992. Producción de papa amarga y papa dulce en agrosistemas de camellones (waru waru) y pampa. pp 23 - 39. En : Avances de Investigación sobre la tecnología de Waru Waru. Vol II. Producción Agrícola. PIWA Bolivia. pp. 26-37
- Cochrane, T.T. & R.G. Barber, 1993. Análisis de suelos y plantas tropicales. CIAT, Santa Cruz.
- Erickson, C. 1988. An archaeological Investigation of Raised Field Agriculture in the Lake Titikaka Basin of Peru. Tesis. Univ. de Illinois, Urbana-Champaign.
- Ellenberg, H, 1981. Desarrollar sin destruir. Instituto de Ecología. UMSA. La Paz.
- Fassbender, H., W., 1987. Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. 2a Ed. IICA. San José Costa Rica.
- Greenberg (Ed.), 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association.
- Liberman, M. (Ed), 1987. Estudio Impacto Ambiental, Proyecto de riego "Huarina Batallas". CEEDI. La Paz
- Richards, L.A., 1994. Suelos Salinos y Sódicos. Limusa. Balderas, México.
- Salm, H & Gehler, E., 1987. La salinización del suelo en el altiplano central y su influencia sobre la cobertura vegetal. Ecología en Bolivia, 10, 37-48.
- Unzueta A.O., 1975. Mapa ecológico de Bolivia. Memoria explicativa. MACA. La Paz.
- Thompson, L.M. & F.R. Troeh, 1988. Los Suelos y su Fertilidad. Ed. Reverté. España. 649p.
- Van Lierop, W., 1990. Soil pH and Lime Requirement Determination. En: Westerman (Ed.) Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America.
- Villaruel, J.A., 1988. Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos de laboratorio. AGRUCO. Cochabamba, Bolivia, 34 p.

Dirección de los autores

Instituto de Ecología
Casilla 10077, Correo Central
Fax: 591 - 2- 797511
La Paz, Bolivia