

DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO Y ANÁLISIS DE LA INTRODUCCIÓN DE LA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA EN LAS FAMILIAS URU CHIPAYAS

Soil fertility diagnosis and analysis of the introduction of agricultural mechanization in Uru Chipayas families

Victor Fredy Mita Quisbert¹, Dominique Hervé²

RESUMEN

Las familias Uru-Chipayas logran cultivar quinua, cañahua y papa mediante prácticas agrícolas ancestrales como la distribución de parcelas comunitarias, la rotación anual de sectores destinados a la producción agrícola y pecuaria, labranza cero, inundación de tierras (*lameo*) y congelamiento de malezas. Esta investigación analiza la introducción de maquinaria en la zona de los salares en el sur-este de Bolivia y diagnostica la fertilidad de los suelos agrícolas destinados a la producción de cultivos tradicionales (quinua, cañahua y papa) y no tradicionales (cebolla, zanahoria y tarwi). Se realizó el muestreo de suelos en varios sitios más o menos distantes al salar y de cada río que desemboca en el salar para su análisis físico-químico al momento de la siembra de los cultivos. Se obtuvo en suelos francos a arcillosos niveles variados de materia orgánica, contenidos de bajos a altos de fósforo asimilable y niveles altos de salinidad y sodicidad; concluyéndose que la proximidad al salar de Coipasa, la baja de precipitación anual (250 mm), la salinidad y la sodicidad que afectan los suelos, limitan la productividad agrícola de los suelos del municipio Chipaya. La dotación del estado del tractor y del arado de discos para labrar la tierra tiene deficiencias, por la falta de personal capacitado y de mantenimiento del tractor agrícola del tractor agrícola. La labranza con arado de discos es más rápida, pero es menos adaptada a los suelos salinos que la labranza cero para siembra de quinua.

Palabras clave: quinua (*Chenopodium quinoa*), papa (*Solanum tuberosum*), cañahua (*Chenopodium pallidicaule*), salinidad y sodicidad de suelos, salar Coipasa, *lameo*, congelamiento de malezas, labranza cero.

ABSTRACT

The Uru-Chipayas families manage to cultivate quinoa, cañahua and potatoes through ancestral agricultural practices such as the distribution of community plots, the annual rotation of sectors destined for agricultural and livestock production, zero tillage, land flooding (*lameo*) and freezing weed. This research analyzes the introduction of mechanization in the area of the salt flats in the south-east of Bolivia and diagnoses the fertility of agricultural soils used for the production of traditional crops (quinoa, cañahua and potato) and non-traditional crops (onion, carrot and tarwi). Soil sampling was carried out at various sites more or less distant from the salar and from each river that flows into the salar for its physical-chemical analysis at the time of planting the crops. It was obtained in clay loam soils with varied levels of organic matter, low levels of assimilable phosphorus and high levels of salinity and sodicity; concluding that the proximity to the Coipasa salt flat, the low annual precipitation (250 mm), the salinity and the sodicity that affect the soils, limit the agricultural productivity of the soils of the Chipaya municipality. The state's endowment of the tractor and the disc plow to till the land has deficiencies, due to the lack of trained personnel and maintenance of the agricultural tractor. Disc-plow tillage is faster, but is less adapted to saline soils than no-tillage for quinoa sowing.

Keywords: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), potato (*Solanum tuberosum*), cañahua (*Chenopodium pallidicaule*), soil salinity and sodicity, Coipasa salt, *lameo*, weed freezing, zero tillage.

¹ ✉ Docente Investigador, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Bolivia. victormitaq@gmail.com

² Senior scientist, Institut de Recherche pour le Développement, UMR SENS (CIRAD, IRD, UPV, Univ. Montpellier), Site Saint-Charles, Route de Mende, 34199 Montpellier Cedex 5, France. dominique.herve@ird.fr

INTRODUCCIÓN

El suelo como sistema multifuncional que sustenta los ecosistemas terrestres, es un recurso natural que dispone la sociedad para garantizar su seguridad alimentaria; aportando beneficios a la humanidad por medio de los bienes y servicios que produce. La cualificación de “degradación del suelo” se aplica a la pérdida de las funciones siguientes: degradación química del suelo, destrucción de la estructura y pérdida de la capacidad de infiltración de la capa superficial del suelo, reducción de la materia orgánica, reducción del almacenamiento de agua en el suelo (Zaccagnini et al., 2014).

Lo que se califica de “degradación del suelo” es un fenómeno que afecta la capacidad productiva del suelo y repercute en el bienestar de la sociedad. La degradación del suelo afecta alrededor de una quinta parte de las zonas áridas, mayormente en los márgenes semiáridos de zonas de cultivo (FAO, 2007). Un tipo de degradación frecuente en zonas áridas es la salinización del suelo (Mercado, 2011). Según Luo et al. (2015) mencionados por Ortiz y Gonzales (2017) más del 20 % de los suelos cultivados en el mundo se reportan como salinos y sódicos, de los cuales el 60 % corresponden a suelos sódicos. Los suelos salinos están fuertemente relacionados con la distribución de depósitos lacustres, siendo la salinidad heredada (Garabito et al., 1995).

Otro tipo de degradación, mucho menos documentado, proviene de un trabajo del suelo mecanizado inadecuado que puede provocar una destrucción de la estructura del suelo y una erosión eólica (Encina e Ibarra, 2003; Barrientos et al., 2017). La mecanización agrícola al incrementar la productividad del trabajo permite ampliar las superficies cultivadas, pero se debería lograr sin riesgo de deteriorar la capacidad productiva del suelo (Polanco 2007). Así la compactación que se forma después de muchos años de labranza convencional reiterada no puede ser corregida en un breve plazo por un simple cambio a la labranza cero (Baker et al., 2008). Según Quispe (1996), las consecuencias del uso intensivo del arado de discos en la región intersalar del Altiplano Sur de Bolivia fueron, la degradación acelerada de los suelos por la acción erosiva de los vientos y, como consecuencia los bajos rendimientos de quinua (*Chenopodium quinoa*). Se tiene entonces que reducir los impactos negativos al medio ambiente con el objetivo de lograr la sostenibilidad de los procesos de producción agropecuaria (Polanco, 2007).

Según Orsag et al. (2013) los suelos del Altiplano Sur de Bolivia son frágiles por su cercanía al salar de Coipasa y la ocurrencia de eventos climáticos adversos. Su degradación se origina en la marcada ampliación de la frontera agrícola para el cultivo de quinua, como resultado de sus precios elevados debido a la alta demanda en el mercado internacional.

Según Cárdenas y Choque (2008) mencionados por Barrientos et al. (2017) el 88 % de los suelos en la ecorregión de los salares de Bolivia, en el Altiplano Sur, tienen una fertilidad baja a moderada, y el 12 % una fertilidad moderada a alta, donde el contenido de nitrógeno total es muy bajo (<0.05 %), el nivel de fósforo disponible en su mayoría es moderado (7-14 ppm), y los niveles de potasio intercambiable se hallan en los rangos de alto a muy alto (>200 ppm). Según Richards (1993) los suelos sódicos de baja estabilidad estructural con bajos contenidos de materia orgánica, se dispersan y desmoronan cuando son mojados por la lluvia y pueden formar una costra cuando la superficie se seca. Lo que sucede en el municipio de Chipaya difiere en cuanto a la gestión de los suelos respecto a otros municipios productores de quinua del Altiplano Sur. En este municipio los productores practican una rotación anual de los lugares de sembradío y seleccionan estos lugares en función de la oportunidad de inundación por los ríos que desembocan en el salar. Los agricultores prefieren sembrar quinua y cañahua (*Chenopodium pallidicaule*) en suelos francos a arcillosos y papa (*Solanum tuberosum*) en suelos arenosos.

En el presente artículo realizaremos un análisis del proceso de introducción de la mecanización agrícola para convertir suelos vírgenes a la producción agrícola, con el uso del arado de discos para roturar el suelo y sembrar cultivos tradicionales. El diagnóstico de la fertilidad del suelo después de la introducción de la mecanización agrícola debería esclarecer su impacto en la salinidad y/o sodicidad del suelo que condiciona la producción agrícola. Este diagnóstico permite cuantificar carencias o excesos de nutrientes, y definir qué nutrientes son necesarios y qué fuente, qué cantidad, en qué momento y dónde aplicarlo para asegurar una correcta captación del nutriente por el cultivo, además de definir las correcciones necesarias al suelo. Se realiza este diagnóstico mediante un análisis físico-químico de muestras de suelo que se debe extraer y acondicionar correctamente para su envío al laboratorio (Ortega y Corvalan, 2005).

La finalidad de esta investigación es analizar la introducción de maquinaria en la zona de salares en el

sur de Bolivia, para lo cual, se evalúa la fertilidad de los suelos agrícolas cultivados de manera tradicional con labranza cero y, desde la introducción del tractor en las parcelas de las familias Chipayas con labranza mecanizada con discos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

En la gestión agrícola 2015-2016, se realizó en octubre de 2015, un diagnóstico de la fertilidad del suelo y un análisis de la introducción de la mecanización en el municipio de Chipaya, situado en una altura de 3 620 m s.n.m., este municipio está localizado en la tercera sección de la provincia Sabaya, al suroeste del departamento de Oruro, distante a 194 km de la ciudad de Oruro, en el Altiplano Sur boliviano, cuyas coordenadas geográficas son: Latitud Sur 19° 7' 30", longitud Oeste 68° 04' 00". Este municipio está dividido en cuatro ayllus: Manasaya, Ayparavi, Aransaya y Wistrullani, tiene una superficie de 297 km² y esta atravesado por dos ríos principales, el Lauca y el Barras que desembocan en el salar Coipasa (Figura 1). Estos dos ríos se cumplen diferentes funciones, el Lauca esta todo el año y es utilizado para el congelamiento de malezas en época invernal, mientras el Barras solamente tiene desborde en las épocas de lluvia para realizar el *lameo*.

El territorio Chipaya tiene un clima seco y frígido, cuenta constantemente con vientos fuertes huracanados que provienen de la cordillera de los Andes; regularmente presenta heladas (más de 270 días de helada al año), granizo y escasa precipitación pluvial que se concentra de diciembre a marzo. En esta zona se registra una precipitación sumamente baja entre 70 y 250 milímetros por año. La temperatura media ambiente anual es de 10.4°C, la temperatura máxima media anual es de 20.4°C, la temperatura mínima media anual es de 0.4°C, la máxima extrema anual de 27.2°C (diciembre) y la mínima extrema anual de -13.7°C (julio) (SENAMHI, 2010, mencionado por Jordán et al., 2011).

Los vientos tienen una velocidad promedio anual de 6 a 62 km h⁻¹, los vientos son muy intensos durante casi todo el año, pudiendo alcanzar velocidades superiores a 80 km h⁻¹ en la época de invierno, sobre todo desde junio hasta agosto, con una dirección predominante del oeste a este (Barrientos et al., 2017). En lo que respecta a erosión de suelos, Alandía et al. (2014) mencionados por Barrientos et al. (2017), concluyen

que en el Altiplano Sur de Bolivia se pierden 7.5 kg de N ha⁻¹ año⁻¹, debido principalmente a la erosión eólica. La región Uru Chipaya corresponde a la clasificación de "Puna seca central", la vegetación es escasa, pero con algunas plantas que tienen un excelente valor nutritivo para la ganadería: Ch'iji (*Distichlis humilis*), Qhawchi (*Suaeda foliosa*) y Toyi (*Azorella compacta*).

El paisaje es una pampa desértica, cruzada de arenales. Según Muñoz y Lázaro (2014) y Astete (2009) citado Jordán et al. (2011) en esta extensión plana y blanquecina por el salitre, el 41 % del suelo no es utilizable para el cultivo, sólo el 10 % es considerado apto para las siembras, a condición que el suelo sea previamente lavado del salitre, el 49 % de la tierra es destinada para la ganadería de ovinos, camélidos y cerdos. En una mínima parte del territorio Chipaya se encuentra paja brava (*Festuca orthophylla*); la extracción de t'ola (*Baccharis incarum*, *Parastrephia lepidophylla*) para la leña fue intensiva a lo largo de los años ocasionando la desaparición de la misma (Astete, 2009; Barrientos, 1990 mencionados por Jordán et al., 2011).

La producción agrícola en el municipio Chipaya presenta limitantes principalmente climáticas, pero también con índices altos de salinidad del suelo por la cercanía al salar Coipasa. En tal sistema semiárido y frío, el cultivo de quinua, un pseudocereal, y la crianza de llamas (*Lama glama*) son las principales alternativas de producción agropecuaria (Ormachea y Ramírez 2013).

En el municipio Chipaya las parcelas destinadas a la producción agrícola siguen rotaciones anuales de sectores, dependiendo de la zona que ha sido inundada en época de lluvias, con aporte de sedimentos (*lameo*), o que ha beneficiado de un congelamiento de pastos en época fría (práctica llamada "Congelamiento de malezas").

Los ayllus Aranzaya, Manazaya y Wistrullani pertenecen a la cuenca del río Lauca, mientras el Ayllu Ayparavi pertenece a la cuenca del río Barras, y por lo tanto solamente este ayllu realiza el *lameo* y los otros ayllus el congelamiento de malezas. Los cultivos tradicionales (quinua, cañahua y papa) se siembran en las parcelas familiares denominados Ch'ias y los cultivos no tradicionales: cebolla (*Allium cepa*), zanahoria (*Daucus carota*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) se trabajan mediante un trabajo comunal por todas las familias del ayllu en parcelas comunitarias (Mita y Banderas, 2018).

Metodología

En el territorio Chipaya, se realizó en la gestión agrícola 2015-2016 un diagnóstico de la fertilidad de los suelos en parcelas agrícolas familiares destinados a la producción de quinua, cañahua y papa, según la textura del suelo y en parcelas comunitarias para cultivos no tradicionales de cebolla, zanahoria y tarwi en las parcelas comunales del ayllu Ayparavi. Para el muestreo de suelos, se seleccionó parcelas de

agricultores de los cuatro ayllus destinados a los cultivos tradicionales de quinua, papa y cañahua, y al cultivo de cebolla dentro de los cultivos no tradicionales (Tabla 1). Se priorizó las Ch'ias que son porciones de terreno comunal de tres a cinco metros de ancho distribuidas anualmente a cada jefe de familia. Estas parcelas se encuentran no roturadas (labranza cero) o roturadas (labranza con discos) a una profundidad de roturación con arado de discos que varía entre 15 y 25 cm.

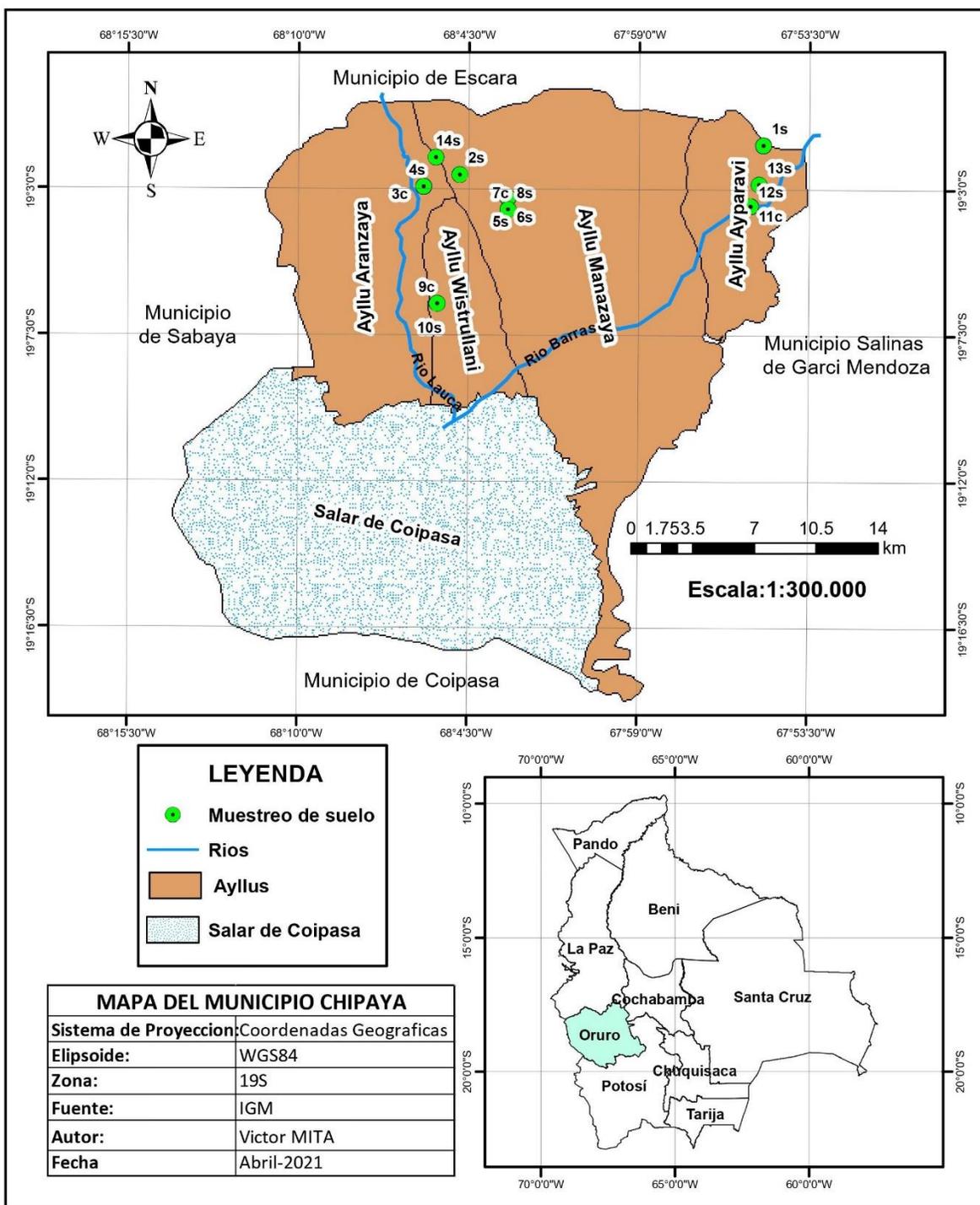


Figura 1. Ubicación del municipio Chipaya y de los lugares de muestreo de suelos.

Las parcelas elegidas fueron georreferenciadas en la época de siembra de cultivos entre el 16 y el 29 de octubre de 2015, siendo el muestreo aleatorio en la parcela elegida. Generalmente en este tipo de suelos afectados por sodio, se puede observar dos capas diferenciadas, una costra (c) localizada en la parte superior del suelo de un espesor de 0 a 3 cm, y por

debajo de esta costra, una capa denominada subcostra (s) entre 3 y 15 cm de profundidad. En los suelos donde no se diferencia claramente una costra se muestreo en 0-15 cm de profundidad, asumiendo para fines de clasificación que se trataba de la subcostra (Figura 1 y Tabla 1).

Tabla 1. Características de las parcelas muestreadas de los Ayllus del municipio Chipaya.

Código	Fecha de muestreo	Ayllu	Coordenadas geográficas	Descripción de la parcela muestreada
1s	16/10/2015	Ayparavi	S: 19° 01.634'. W: 67° 54.982'	Parcela comunitaria roturada para cebolla (0-15 cm de profundidad, subcostra)
2s	16/10/2015	Manazaya	S: 19° 02.567'. W: 68° 04.787'	Parcela comunitaria roturada para cebolla (0-15 cm de profundidad, subcostra)
3c	17/10/2015	Aranzaya	S: 19° 02.938'. W: 68° 05.947'	Ch'ias sin roturar para siembra de quinua (0-3 cm de profundidad, costra)
4s	17/10/2015	Aranzaya	S: 19° 02.938'. W: 68° 05.947'	Ch'ias sin roturar para siembra de quinua (3-15 cm de profundidad, subcostra)
5s	22/10/2015	Manazaya	S: 19° 03.273'. W: 68° 03.224'	Ch'ias roturado para siembra de cañahua 0-15 cm de profundidad, subcostra)
6s	22/10/2015	Manazaya	S: 19° 03.273'. W: 68° 03.224'	Ch'ias roturado para siembra de quinua (0-15 cm de profundidad, subcostra)
7c	22/10/2015	Manazaya	S: 19° 03.643'. W: 68° 03.224'	Ch'ias sin roturar para siembra de quinua (0-3 cm de profundidad, costra)
8s	22/10/2015	Manazaya	S: 19° 03.643'. W: 68° 03.224'	Ch'ias sin roturar para cultivo de quinua (3-15 cm de profundidad, subcostra)
9c	22/10/2015	Wistrullani	S: 19° 06.545'. W: 68° 05.506'	Ch'ias sin roturar para cultivo de quinua (0-3 cm de profundidad, costra)
10s	22/10/2015	Wistrullani	S: 19° 06.545'. W: 68° 05.506'	Ch'ias sin roturar para cultivo de quinua (3-15 cm de profundidad, subcostra)
11c	29/10/2015	Ayparavi	S: 19° 03.509'. W: 67° 55.393'	Ch'ias sin roturar para siembra de quinua (0-3 cm de profundidad, costra)
12s	29/10/2015	Ayparavi	S: 19° 03.509'. W: 67° 55.393'	Ch'ias sin roturar para siembra de quinua (3-15 cm subcostra)
13s	29/10/2015	Ayparavi	S: 19° 02.845'. W: 67° 55.121'	Parcela comunitaria roturada para siembra de tarwi, anteriormente sembrada con quinua (0-15 cm de profundidad, subcostra)
14s	30/10/2015	Aranzaya	S: 19° 03.038'. W: 68° 05.562'	Ch'ias roturado para siembra de quinua (0-15 cm de profundidad, subcostra)

c = índice por costra; s = índice por subcostra.

Posteriormente se homogenizó la muestra y se envió una submuestra de aproximadamente 1 kg de suelo al laboratorio de suelos Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN). La determinación de la textura se hizo con el Hidrómetro de Bouyoucos, el pH (1:5) con potenciómetro, la conductividad eléctrica en agua (1:5) con conductímetro (dS m^{-1}), los cationes cambiables calcio y magnesio con absorción atómica y sodio y potasio con emisión atómica, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con volumetría ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$), la materia orgánica con el método de Walkley Black (expresada en porcentaje) y el fósforo asimilable por espectrometría UV visible (en ppm).

Con los resultados de los cationes cambiables, se divide el contenido del catión sodio sobre la sumatoria de los cationes de sodio, calcio, magnesio y potasio para determinar el porcentaje de sodio intercambiable

(PSI) (Porta et al. 2003 y Hernandez, 2011). El PSI, que describe la importancia del Na^+ adsorbido en el suelo en los lugares de intercambio catiónico, se deduce del CIC por la siguiente fórmula:

$$PSI = \frac{Na}{CIC} \cdot 100 \quad (1)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico de la fertilidad de los suelos sembrados en cultivos tradicionales y no tradicionales

Para la presentación de los resultados, se diferencia ambas capas: costra 0-3 cm de profundidad y subcostra de 3-15 cm de profundidad (Tabla 2). A nivel superficial de la costra, la textura es de franco a arcillosa, son

suelos alcalinos, con una conductividad eléctrica promedio de 5.02 dS m^{-1} característica de suelos ligeramente salinos, variando la concentración de sales desde 1.51 clasificados como no salino hasta 11.72 dS m^{-1} clasificados como moderadamente salinos. El valor del PSI indica suelos afectados por la sodicidad excepto en el ayllu Manazaya ($\text{PSI} < 15$), y muy afectados por el catión Sodio. Tienen una CIC

media de $15 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$; la materia orgánica es media, pero varía mucho desde 1.56 % en el ayllu Manazaya hasta 8.5 %, en el ayllu Aranzaya; finalmente el fósforo asimilable en promedio tiene un valor alto (21 ppm). Podemos destacar que la muestra 9c (costra), que se observa en la Figura 1, tiene el valor más alto de PSI (63.74) confirmando su sodicidad por ser más cercana al Salar Coipasa.

Tabla 2. Análisis físico químico de la costra de los suelos en los Ayllus Chipaya.

Código	Ayllu	Textura	pH	CE (dS m^{-1})	PSI (%)	CIC ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$)	MO (%)	P asimilable (ppm)
7c	Manazaya	Franco arcillosa	8.33	1.73	14.28	8.87	1.56	21.69
3c	Aranzaya	Arcillosa	8.26	5.10	26.39	18.52	8.50	30.15
11c	Ayparavi	Arcillo limosa	8.38	1.51	29.25	20.61	1.91	20.06
9c	Wistrullani	Franca	8.27	11.72	63.74	10.65	2.65	10.71
Media			8.31	5.02	33.42	14.66	3.66	20.65
Rango			8.27-8.38	1.51-11.72	14.28-63.74	8.87-20.61	1.56-8.50	10.71-30.15
Desviación estándar			0.06	4.76	21.23	5.77	3.26	7.97

CE = conductividad eléctrica; PSI = porcentaje de sodio intercambiable; CIC = capacidad de intercambio catiónico; MO = materia orgánica.

Los muestreos hasta una profundidad de 15 cm muestran suelos con textura mayormente franco arcillosa a arcillosa, salvo 1s y 5s alejados de los ríos con contenido arenoso, con un pH entre 8.0 y 9.3 de moderadamente a fuertemente alcalinos, con una

conductividad eléctrica de muy poco a ligeramente salinos ($0.19\text{-}4.35 \text{ dS m}^{-1}$), con PSI de ligeramente a muy fuertemente sódicos, las cantidades de MO y fósforo asimilable siendo muy variables de bajas a altas respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis físico químico de la subcostra de los suelos en los Ayllus Chipaya.

Código	Ayllu	Textura	pH	CE (dSm^{-1})	PSI (%)	CIC ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$)	MO (%)	P asimilable (ppm)
2s	Manazaya	Franca	8.70	1.60	16.58	9.50	2.11	2.23
5s	Manazaya	Arenosa franca	8.08	1.41	38.94	2.26	0.08	11.10
6s	Manazaya	Franco arcillosa	8.32	4.35	56.50	6.21	0.47	16.67
8s	Manazaya	Franco arcillosa	8.43	0.39	12.47	9.76	0.86	12.61
4s	Aranzaya	Franco arcillosa	8.73	0.38	7.29	8.77	1.48	6.70
14s	Aranzaya	Arcillosa	9.07	0.78	20.75	20.73	4.60	0.35
1s	Ayparavi	Franco arenosa	8.22	0.20	11.35	3.31	0.39	12.60
12s	Ayparavi	Franco arcillosa	9.25	0.19	15.45	3.93	0.04	9.01
13s	Ayparavi	Arcillosa	9.06	0.42	22.21	6.85	0.74	13.89
10s	Wistrullani	Franco arcillo arenosa	8.78	2.31	38.48	11.83	1.95	2.01
Media			8.66	1.20	24.00	8.32	1.27	8.72
Rango			8.08-9.25	0.19-4.35	7.29-56.5	2.26-20.73	0.04-4.60	0.35-16.6
Desviación estándar			0.39	1.31	15.65	5.35	1.38	5.65

Las diferencias más nítidas entre ambas capas (costra y subcostra) son más notorias en la conductividad eléctrica, el PSI, MO y fósforo asimilable. En la costra se encuentra valores superiores en 4.1, 1.4, 2.9 y 2.4 veces superior respecto a los de subcostra en conductividad eléctrica, PSI, MO y fósforo asimilable respectivamente. Al respecto Hervé et al. (2002) mencionan que en suelos del Altiplano Sur boliviano (provincia Gualberto Villarroel) la superficie del suelo tiene valores de sodio intercambiable más altos que las capas más profundas, confirmando las diferencias de concentración de sodio entre la costra y la subcostra. En los ayllus Chipayas se observó que no necesariamente aquellos suelos cercanos al salar de

Coipasa tienen las más altas concentraciones de sodio en la subcostra, es así, las muestras 5s y 6s tienen los valores más altos de PSI y se encuentran en el ayllu Manazaya, lejos del salar y lejos del río Lauca.

Ahora se muestra las comparaciones de la CE y PSI entre costra y subcostra en las parcelas con labranza cero, porque en las roturadas estas capas fueron modificadas por el arado de discos. Existe relación positiva con una regresión lineal entre la conductividad eléctrica de la costra y subcostra, con un coeficiente de determinación muy alto de $r^2: 0.9$ lo que explica que el 90 % del incremento de la CE en subcostra esta explicado por las evaluaciones de CE realizadas en la

costra. Resalta el valor más alto de la CE (costra y subcostra) en el ayllu Wistrullani que está más cercana al salar Coipasa y los valores más bajos en el ayllu Ayparavi más distante al salar Coipasa (Figura 2).

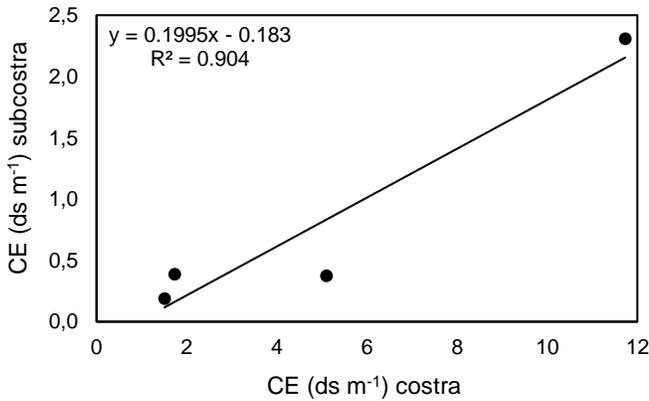


Figura 2. Relación entre conductividad eléctrica de la costra y subcostra de las parcelas sin roturar.

La relación es positiva entre PSI de la costra y la subcostra, mediante una regresión lineal con coeficiente de determinación de r^2 : 0.85, que indica que el 85 % del incremento de las concentraciones de PSI en subcostra están explicadas por PSI de la costra. Evidenciándose que los valores del ayllu Wistrullani son más altos y que los valores del ayllu Ayparavi son más bajos (Figura 3).

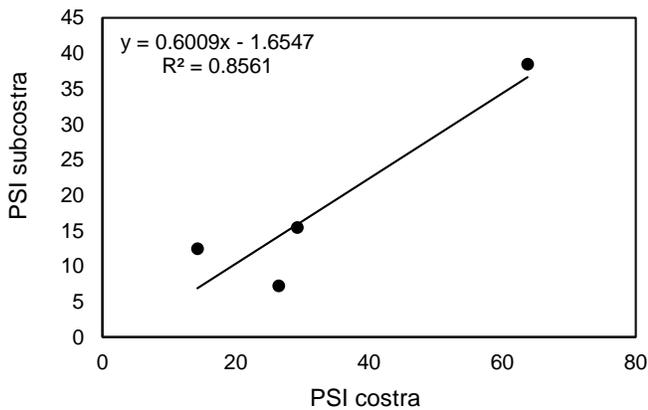


Figura 3. Relación entre PSI de la costra y subcostra de las parcelas sin roturar.

Según Mujica et al. (2001) mencionado por Garcia et al. (2014), la quinua puede desarrollarse en una amplia gama de suelos, desde los arcillosos hasta los arenosos y desde suelos ácidos hasta muy básicos. En Bolivia, cerca al salar de Uyuni, el cultivo de la quinua puede desarrollarse en suelos que tienen un pH de inclusive 9. Solamente la muestra 12s supera el valor 9 en pH.

Si bien los niveles de materia orgánica son muy diferentes en los lugares muestreados de los 4 ayllus, pero en Ayparavi y Manazaya se tienen los más bajos, mientras que en Wistrullani y Aranzaya se tienen niveles media a alto respectivamente (Figura 4). El caso más resaltante es del ayllu Aranzaya, donde el alto nivel de materia orgánica alcanza el valor máximo de 8.5 %, y el valor mínimo de 1.5 % con la más alta desviación estándar de 3.52 %. En suelos agrícolas en la región del intersalar del altiplano boliviano, y tomando en cuenta la textura de los suelos, cerca del 98 % tienen menos de 0.20 % de N, clasificándose su contenido como muy bajo, y los 2 % restantes de las muestras se clasifican como bajos (Fautapo 2008 citado por Vargas y Sandy 2017).

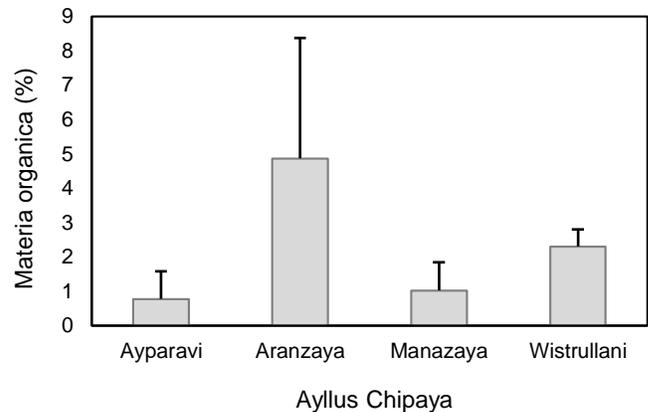


Figura 4. Materia orgánica (%) en los suelos de los 4 ayllus Chipaya.

Las cantidades de fósforo asimilable promedio por Ayllu, muestra los niveles más bajos en Wistrullani que se encuentra cerca al lago y al río Lauca, respecto a los demás (Manazaya, Aranzaya y Ayparavi) y niveles muy variados en Aranzaya (Figura 5). Si relacionamos la MO con el fósforo asimilable en el ayllu Ayparavi, tiene menos MO pero más fósforo disponible, muy posiblemente es debido a la sodicidad que tienen estos suelos. El contenido de fósforo varía en los suelos del intersalar de bajo a muy alto (3.1 a >25.1 ppm). En los suelos afectados por sales, los niveles de carbono orgánico del suelo son generalmente bajos, como resultado del crecimiento reducido de las plantas; además, la descomposición de la MO del suelo puede verse afectada negativamente por la salinidad (Setia et al., 2011a mencionado Hernandez, 2011). Según Gómez y Aguilar (2016) la respuesta de la quinua al fósforo, depende de la disponibilidad de fósforo soluble y el grado de fijación del fósforo adicionado al suelo. Cantidades significativas de fósforo pueden estar disponibles si los niveles de materia orgánica y el grado de mineralización son favorables.

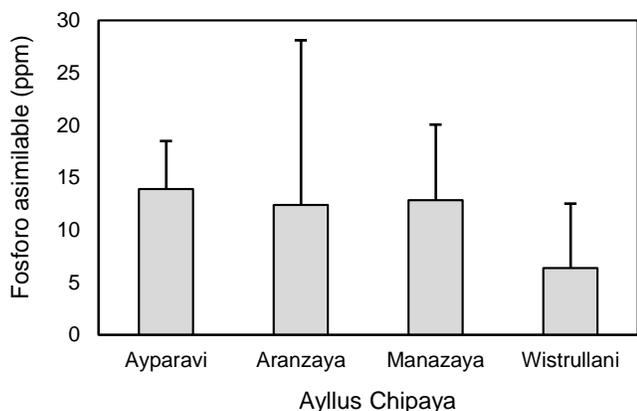


Figura 5. Fósforo asimilable (ppm) en los suelos de los 4 ayllus Chipaya.



Figura 7. Suelo con altas concentraciones de sodio, reconocible por su costra superficial.

Sacando un promedio del PSI de las muestras en cada ayllu y teniendo antecedente de que todos estos suelos son alcalinos ($pH > 8$), podemos observar la cantidad de sodio intercambiable en los cuatro ayllus. El valor más alto de PSI (51) se observa en el ayllu Wistrullani y el valor más bajo (PSI: 18) en el ayllu Aranzaya (Figura 6). Se puede afirmar que todos los suelos del municipio Chipaya son sódicos ($PSI > 15$) y que la cercanía al salar Coipasa tiene influencia en la cantidad de sodio en el suelo (Figura 6). Los altos niveles de PSI en los suelos (5s) son los más preocupantes, debido a que el sodio en el suelo deteriora la estructura del suelo y afecta el rendimiento de los cultivos, estos altos grados de sodio intercambiable se presentan con mayor énfasis en las cercanías del salar Coipasa, en los ayllus Wistrullani y Manazaya (Figura 7).

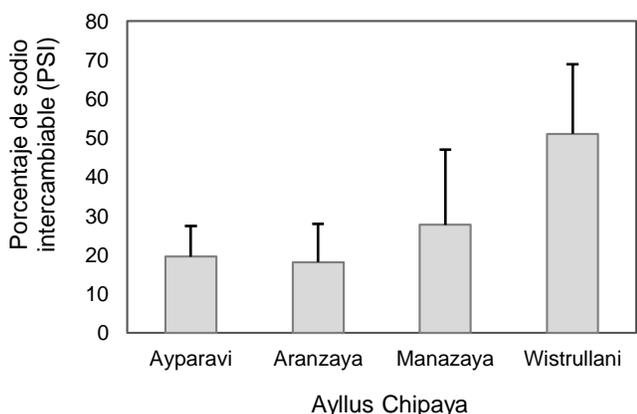


Figura 6. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en los suelos de los cuatro ayllus Chipaya.

La Figura 8 expone la relación que existe entre CE y PSI en la subcostra de parcelas roturadas y con labranza cero. Se observa una regresión lineal con un coeficiente r^2 de 0.80, que explica que el 80 % del incremento del PSI es explicado por las evaluaciones realizadas de la CE. También se nota que la muestra 6s (Ch'ias roturado con arado de discos del ayllu Manazaya) es la de mayor contenido de CE y PSI. Las parcelas comunales de Ayparavi 1s y 13s que tienen los valores más bajos son las parcelas que están más lejos al salar Coipasa.

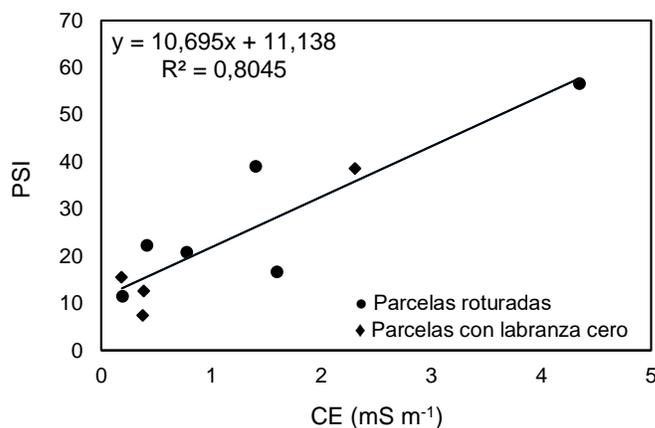


Figura 8. Relación entre CE y PSI de la subcostra de las parcelas para cultivos tradicionales y no tradicionales roturadas y sin roturar.

La fertilidad de los suelos del municipio Chipaya está limitada para la producción agrícola, debido a los altos niveles de sodicidad ($PSI > 15$) en la proximidad al salar

de Coipasa, donde el ion monovalente (Na^+) está destruyendo la estructura de estos suelos, pero se observa también que la concentración de sodio y la conductividad eléctrica son más altas en las muestras de 0-3 cm (costra) que en la subcostra (3-15 cm). Convendría entonces sembrar la quinua por debajo de la costra o beneficiar del menor contenido en sales de la subcostra, una vez volteada por la roturación, y a la condición que la profundidad del trabajo sea bastante controlada.

Por esta situación, destacamos y confirmamos la importancia de las prácticas ancestrales que es de uso común en las familias Chipayas, como el *lameo* o sedimentación. Esta técnica consiste en aprovechar el agua de los ríos en épocas de lluvia, que descargan sedimentos arcillosos al inundar sus parcelas. Además de este aporte de arcilla y materia orgánica en la capa superficial del suelo, el *lameo* contribuye a lavar las sales en profundidad. La otra técnica el congelamiento de malezas que ocurre después que las aguas del río Lauca han inundado sus áreas de cultivo en época de invierno. El congelamiento en época de heladas (junio a agosto) produce la muerte de las malezas en la superficie del suelo. A condición de ser incorporadas, estas malezas congeladas incrementaran la proporción de materia orgánica en el perfil del suelo.

La labranza cero y la rotación anual de sectores destinados a la producción agrícola y pecuaria, concentran la fertilidad en vez de diluirla por una labranza. Por lo tanto, la resiliencia de la producción agropecuaria de este municipio, ante la sodicidad de los suelos, esta función del cumplimiento de las prácticas ancestrales (*lameo* y congelamiento de malezas, labranza cero).

Introducción de la mecanización al sistema de producción agrícola

La mecanización hace parte de una estrategia de desarrollo que hay que determinar, movilizar, asignar y apoyar con recursos de acuerdo a las condiciones técnicas, económicas, sociales, políticas y en consonancia con los objetivos nacionales de desarrollo. La solución del problema rural no puede ser una simple lista, en la cual los gobiernos se proponen invertir unos recursos financieros. El cambio de un nivel tecnológico a otro influye sobre las relaciones

socioeconómicas y culturales y mucha más en caso programas gubernamentales masivos, que buscan mejorar la productividad y la producción agrícola a gran escala. Estos cambios tecnológicos requieren de personal capacitado para las nuevas tareas y se tiene que implementar la infraestructura adecuada para que ayuden a soportar la nueva tecnología (Cortes et al., 2009).

En agosto del 2015, el gobierno municipal distribuyó cuatro tractores agrícolas con arados de discos para los Ayllus: Aranzaya, Manazaya, Wistrullani y Aymaravi, principalmente para trabajo de labranza primaria. Como se trataba de la primera roturación mecanizada con arado de discos, las autoridades de los ayllus han venido evaluar en el terreno el resultado de esta aradura (Figura 9). Esta introducción de tractores permite una roturación con discos (Figura 10) en un área extensa. La siembra de quinua que sigue esta roturación mecanizada puede ser mediante una sembradora metálica manual (Figura 12), que es una sembradora de arroz modificada. En todo caso, está siembra es muy distinta de la siembra directa de quinua con labranza cero (Figura 11) que practicaban tradicionalmente los Chipayas.

La siembra con labranza cero, por un lado, involucra el trabajo de las mujeres, y por otro lado reduce el trabajo del suelo al hueco que recibirá las semillas, lo que conserva la humedad del suelo y evita la erosión eólica porque preserva la estructura del suelo (Baker et al. 2008).



Figura 9. Hilacata mayor, menor y Mamatajlla del ayllu Manazaya en parcela roturada con arado de discos.



Figura 10. Roturación con arado de discos y tracción mecánica en el ayllu Manazaya.

La introducción de la mecanización agrícola fomentada por el gobierno central actual, según información de prensa, tiene varios objetivos: fortalecer las capacidades de producción agropecuaria de los gobiernos autónomos municipales, facilitar el acceso a la mecanización agrícola para contribuir a la seguridad alimentaria con soberanía, abaratar los costos de producción y que estos sean más competitivos, frente a los productos de importación que ingresan al país por la vía del contrabando. El ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT), en el marco de la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, la Ley de la Revolución Productiva Comunitaria Agropecuaria y la Agenda Patriótica 2025, lleva adelante la implementación del “Programa de Centros Municipales de Servicios en Mecanización Agrícola”, en los 339 Gobiernos Autónomos Municipales del Estado bajo el marco del Decreto Supremo N° 2785 de 1° de junio de 2016.

Este programa incorpora dentro sus facultades:

- Transferencia de maquinaria a los municipios, equipos e implementos agrícolas.
- Transferencia de capacidades técnicas; donde el ministerio a través del Programa, realizará procesos de capacitación en manejo y administración de maquinaria agrícola a personal designado por cada gobierno autónomo municipal.
- Seguimiento y evaluación.

A los gobiernos municipales, también se traspasa las atribuciones de mantenimiento de los tractores. Pero los municipios pequeños como el Chipaya, que tienen presupuestos limitados, no tienen recursos para la compra de combustible, ni personal técnico para

la producción agropecuaria. Aunque los tractores agrícolas a partir de 2015 pasaron a ser gestionados por las autoridades locales de cada ayllu.

A partir de esa fecha, las autoridades locales (Hilacatas) de cada ayllu solicitan combustible a su gobierno municipal y a los proyectos que están en dicho sector, pidiendo colaboración para la compra de combustible para la roturación con los tractores agrícolas. El proyecto “Qnas Soñi (Hombres de agua) DCINSAPVD/2014/135-722”, colaboró con 1200 litros de diésel para roturado de suelos a los cuatro ayllus en la campaña agrícola 2015-2016. Por otro lado, no tienen una capacitación técnica para el mantenimiento del motorizado, ni mucho menos los cuidados que se debe tener para obtener una buena calidad de roturación con arado de discos (Figura 10).

Este programa gubernamental de mecanización, adolece de muchas limitaciones y fallas que son producto de la improvisación, donde la distribución de tractores agrícolas no toma en cuenta las características del municipio y de su agricultura, el tamaño de las fincas (agricultores grandes medianos y pequeños), y de las parcelas, la ubicación topográficas (llanos, andina, valles, yungas) predominante con pendientes ligeras o pronunciadas, el tipo de cultivo predominante (hortalizas, frutales, cultivos andinos), y sobre todo el tipo de manejo actual de los suelos (labranza cero, labranza mínima o mecanizada).

Otra falla generalizada en los proyectos de mecanización agrícola es la falta de referencia sobre las maquinarias necesarias, quedándose con el uso del tractor. Se puede preguntar entonces si el arado de discos es el más adaptado para condiciones de suelos del municipio de los Chipayas. Por ejemplo, para escoger un tipo de arado para la roturación bajo las condiciones del Altiplano Central boliviano, se recomienda utilizar el arado de vertedera respecto al arado de discos principalmente por la profundidad de roturación y el grado de volteo del pan de tierra tomando en cuenta la textura de suelo (Mita, 1996). Para referirnos a la calidad de labranza realizada por el arado de discos con tracción mecánica, en general es evaluada por el ancho de trabajo, profundidad y regularidad de la labranza, tamaño y alineamiento de los terrones volteados, rompimiento de las capas compactadas e incorporación de materia orgánica; estos resultados se relacionan con las características del suelo (textura, estructura, pedregosidad y su estado hídrico (Hervé, 1996; Mita, 1996).

Teniendo grandes extensiones de terreno roturado con discos, una maquinaria útil para la siembra de quinua es el uso de una sembradora de arroz, que tiene un dispositivo adaptado para cargar la semilla de quinua (Figura 12). Cada vez que se flexiona los mangos de la sembradora se descarga la cantidad de semilla adecuada. Así se logra sembrar más rápidamente la quinua que con “Taquisha”, tipo de pala usada para sembrar quinua con labranza cero (Hervé, 1996). Algunos agricultores argumentan que su uso permite lograr un rendimiento mayor respecto a la herramienta tradicional, aunque tenga un costo mayor de uso y mantenimiento, pero no se tiene precisión sobre el tiempo de vida útil de dicha herramienta.



Figura 11. Siembra de quinua con herramienta tradicional “Taquisha” con labranza cero.



Figura 12. Siembra de quinua con nueva herramienta introducida en suelos roturado con arado de discos.

Según Orsag (2010) en el Altiplano Sur, las lluvias no sobrepasan los 200 mm anuales y los suelos son de texturas medias a finas con altos niveles de salinidad. En base a estos resultados, se puede indicar que los suelos de gran parte del intersalar en el Altiplano Sur son de baja fertilidad, a lo que se suma su fragilidad de estructura (Hervé et al., 1999) y una aptitud reducida

para ser utilizados bajo una agricultura mecanizada. Sin embargo, por las presiones económicas mencionadas y a pesar de sus limitaciones que presenta este recurso, las superficies cultivadas en quinua están aumentando en el Altiplano Sur gracias a la mecanización de la roturación y parcialmente de la siembra, pero se aumenta a la vez los riesgos de degradación de los recursos naturales (suelos, cobertura vegetal y agua). En ese sentido, preocupa de gran manera que el sistema convencional (mecanizado) haya reemplazado en gran parte del Altiplano Sur al sistema tradicional de cultivo de la quinua que se limita a una remoción mínima del suelo.

De acuerdo a las características del proyecto del gobierno en cuanto al “Programa de Centros Municipales de Servicios en Mecanización Agrícola”, donde se implementan este tipo de apoyos a la agricultura, sin tomar los aspectos anteriormente mencionados, se prevé que en un futuro cercano existirá un deterioro de la calidad de los suelos, principalmente en lugares donde se practicaba la labranza cero, un incremento de los costos de producción por la compra de combustible y el mantenimiento del tractor, un deterioro de los tractores agrícolas por falta de mantenimiento, como sería para el caso de municipios pequeños como el Chipaya con presupuestos muy limitados. Según Barrientos et al (2017) una de las principales causas que está contribuyendo a la degradación de los suelos en el Altiplano Sur, es el cambio en el modelo productivo de la zona, referido principalmente al cultivo expansivo y desordenado de la quinua en sistemas de producción mecanizado en planicies, que ha traído como consecuencia una baja productividad.

Por estas razones se propondría, para mejorar estos programas gubernamentales, tomar en cuenta las variables mencionadas:

- Para la repartición de tractores, por ejemplo, en municipios donde se practica la agricultura, en lugares con pendiente mayor a 20 %, no se puede roturar con estos tractores, o en lugares con agricultura de frutales (valles) no son necesarios estos tipos de tractores grandes, lo que se necesita son motocultores y otros equipos que sean más útiles para los agricultores.
- Tomar en cuenta las características físicas intrínsecas del municipio como su topografía y el tipo de agricultura que practican los pobladores con labranza cero o semimecanizada y sus necesidades.

- Hacer administrar por personal técnico del gobierno municipal, para el uso sostenible de esta herramienta y del manejo de suelos, empleando la metodología de “fondo rotatorio” para poder financiar los gastos del personal y el mantenimiento del tractor.

CONCLUSIONES

El conocimiento actual del estado de la capacidad productiva de los suelos de los cuatro ayllus Chipaya, permite concluir que son suelos con texturas francas a arcillosas, muy afectados por la salinidad y sodicidad ($PSI > 15$) con niveles variados de materia orgánica y con contenidos de bajos a altos en fósforo asimilable, debido a la proximidad al salar de Coipasa y a los bajos niveles de precipitación.

En el municipio Chipaya la baja fertilidad de los suelos limita la producción agrícola. En este contexto se destaca la importancia de las prácticas ancestrales de las familias chipayas como el *lameo*, para reducir los niveles de salinidad y/o sodicidad, y el congelamiento de malezas para incrementar los niveles de materia orgánica en el perfil del suelo y la labranza cero para reducir la erosión eólica y concentrar la humedad del suelo en el lugar de la siembra.

Con referencia a la introducción de la mecanización agrícola, no puede ser una simple asignación de tractores agrícolas para la roturación de suelos por parte del gobierno de turno. En el caso Chipaya, esta asignación tiene deficiencias en su implementación, como la falta de personal capacitado para mantener el tractor agrícola y para realizar la aradura con arado de discos, incorporando la materia orgánica en la profundidad deseada. Pero se debe valorizar fundamentalmente la labranza cero para la siembra de quinua que realizan las familias Chipayas para la sostenibilidad de la producción agrícola.

Se recomienda realizar estudios sobre las causas y el grado de invasión por el Chi'ji o Colcha (*Distichlis humilis*), por que en los lugares colonizados por Chi'ji no se siembran quinua con labranza cero, reduciendo las áreas de cultivo y del nivel de abandono de las prácticas ancestrales. En lugares que se tiene el Chi'ji no se siembra quinua con labranza cero. De acuerdo a Villaret (1994), la introducción de nuevas técnicas agropecuarias representa un real desarrollo agropecuario si -y solo si- los productores se apropian de esas técnicas. Apropiarse de una técnica no quiere decir solo saber aplicarla, sino de saber solucionar los

principales problemas que puedan surgir a mediano plazo en su aplicación.

Finalmente recomendamos, para futuros proyectos (privadas o estatales) a desarrollarse en estos municipios, con el objetivo de incrementar los ingresos de las familias rurales más vulnerables, de reforzar sus sistemas de producción más resiliente a los efectos del cambio climático, para poderlos difundir, aplicar, adaptar y replicar bajo contextos similares, para evitar el deterioro actual de los suelos. La introducción del tractor agrícola y de otras herramientas tiene como principal objetivo de aumentar la productividad del trabajo. En cuanto a la labranza con arado de discos, la tracción mecánica permite extender el área cultivada y/o roturar en un lapso corto de tiempo, para aprovechar una época óptima, lo que desplaza el trabajo manual y en particular femenino, o se substituye a este trabajo en caso de migración masculina importante.

Entonces, es una prioridad de realizar la zonificación de las áreas destinadas a la producción agrícola y a la crianza de animales, en base a las concentraciones de salinidad y sodicidad en los suelos y la influencia del salar.

Además, mayores investigaciones científicas son necesarias para ratificar la validez de las prácticas ancestrales como el aporte de arcilla y materia orgánica en el perfil del suelo, producto del *lameo* y congelamiento de malezas en invierno respectivamente, para poder proyectar la sostenibilidad de la producción agropecuaria de las familias Chipayas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto “Qnas soñi (Hombres del agua): Chipaya, entre tradición y tecnología, hacia un municipio resiliente” y ejecutado por el proyecto GVC-CEBEM, bajo la dirección de Alberto Shiapapietra (GVC) y José Blanes (CEBEM). Agradecimiento a las autoridades y familias de los cuatro ayllus del municipio Chipaya por compartir sus conocimientos y costumbres.

BIBLIOGRAFIA

Baker, CJ; Saxton, KE; Ritchie, WR; Chamen, WCT; Reicosky, DC; Ribeiro, MFS; Justice, SE; Hobbs, PR. 2008. Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación (en línea). Segunda edición. Zaragoza, España. Trad. Cadmo

- Rossell. FAO. ACRIBIA (ed). Consultado 19 feb. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/al298s/al298s00.pdf>
- Barrientos, E; Carevic, F; Delatorre, J. 2017. La sustentabilidad del altiplano sur de Bolivia y su relación con la ampliación de superficies de cultivo de quinua (en línea). Revista Idesia (Arica) 35(2). Consultado 19 feb. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000025>
- Cortés, E; Álvarez, M; González, H. 2009. La mecanización agrícola: Gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo (en línea). Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia 4(2):151-160. Consultado 02 mar. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428102015.pdf>
- Encina, A; Ibarra, J. 2003. La degradación del suelo y sus efectos sobre la población (en línea). Población y desarrollo. Consultado 10 jul. 2021. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5654360.pdf>
- FAO. 2007. Secuestro de carbono en tierras áridas (en línea). Roma, Italia. p 22-28. Informes sobre recursos mundiales de suelos 102. Consultado 02 feb. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-Y5738s.pdf>
- Garabito, M; Sandy, X; Queiroz, J; Cuesta, M. 1995. Estudio sinecológico de las poblaciones de *Salicornia pulvinata* y *Anthobryum triandrum* en los campos nativos de pastoreo del cantón San José Llanga (provincia Aroma de La Paz. Bolivia. IBTA. p 1. Informe técnico 34/SR-CRSP 32/1995.
- García, M; Miranda, R; Fajardo H. 2014. Manual de manejo de la fertilidad de suelo bajo riego deficitario para el cultivo de la quinua en el altiplano boliviano (en línea). La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Consultado 19 mar. 2020. Disponible en http://www.cazalac.org/mwar_lac/fileadmin/documents/CaribbeanDroughtAtlas/quinua.pdf
- Gomez, L; Aguilar, E. 2016. Guía del cultivo de quinua (en línea). Segunda edición. Lima, Perú. FAO-Universidad Agraria La Molina. Consultado 10 ene. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i5374s.pdf>
- Hernandez, J. 2011. Bio remediación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos (en línea). Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Consultado 02 feb. 2021. Disponible en http://oa.upm.es/14869/1/JACQUELINE_HERNANDEZ_ARAUJO.pdf
- Hervé, D. 1996. Perspectivas de investigaciones sobre las labranzas (en línea). In Las labranzas en perspectivas en los Andes Centrales. Eds. Dominique Hervé, David Condori y Vladimir Orsag. IBTA-ORSTOM. La Paz, Bolivia. Informe ORSTOM No 52. Consultado 02 feb. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/282168493_Las_labranzas_en_perspectiva_Andes_centrales
- Hervé, D; Ledezma, R; Orsag, V. 2002. Limitantes y manejo de los suelos salinos y/o sódicos en el altiplano boliviano (en línea). Eds Hervé D., Ledezma R., Orsag V., IRD-CONDESAN, La Paz, junio 2002. Consultado 11 jun. 2021. Disponible en http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-08/010029752.pdf
- Hervé, D; Mita, V; Paz, B. 1999. Sistemas de labranza para suelos salinos. In Memorias del primer congreso boliviano de la ciencia del suelo (en línea). Dorado L., Laguna S. (Eds). IRD-COSSUDE-CLAS-SBCS. La Paz, Bolivia. pp 121-136. Consultado 10 jul. 2021. Disponible en http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010025652.pdf
- Jordan, W; Castedo, C; Chuquimia, C; Jimenez, S; Vega, V. 2011. La Nación Uru en Bolivia. Irohito Urus - Uru Chipaya - Urus del Lago Poopó (en línea). Fundación Machaqa Amawt'a. La Paz, Bolivia. Consultado 02 feb. 2021. Disponible en http://fmachaqa.org/index.php?option=com_mtree&task=att_download&link_id=4&cf_id=24
- Mercado, G. 2011. Desertificación de cuencas agrícolas en Baja California Sur (en línea). Tesis Doctoral. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste de California Sur. La Paz, México. Consultado 10 jul. 2021. Disponible en https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/266/1/mercado_g.pdf
- Mita, V. 1996. Evaluación de la calidad y del costo de roturación con arados de vertedera y discos en parcelas campesinas del Altiplano Central Boliviano (en línea). In Labranzas en perspectiva Andes Centrales. IBTA-ORSTOM. La Paz, Bolivia. Consultado 02 feb. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/282168493_Las_labranzas_en_perspectiva_Andes_centrales

- Mita, V; Pabon, EA. 2018. Características productivas y de la gestión territorial ancestral en la cultura Uru Chipaya (en línea). In Proyecto QNAS SONI (Hombres del agua) Chipaya: entre tradición y tecnología, hacia un municipio resiliente. Compil. José Blanco Jiménez, Edgar Pabón Balderas, GVC Italia-CEBEM-UE. Consultado 13 feb. 2020. Disponible en <http://chipaya.org/wp-content/uploads/2018/10/chipaya-1994.pdf>
- Muñoz, E; Lazaro, G. 2014. El pueblo Uru Chipaya (en línea). Cochabamba, Bolivia. FUNPROEIB Andes. Consultado el 11 feb. 2020. Disponible en <http://www.funproeibandes.org/wp-content/uploads/2019/01/EL-PUEBLO-URU-CHIPAYA-UN-PUEBLO-MILENARIO-EN-LA-HISTORIA-Y-EN-EL-PRSENTE.pdf>
- Ormachea, E; Ramirez, N. 2013. Propiedad colectiva de la tierra y producción capitalista; caso de la quinua en el Altiplano Sur de Bolivia (en línea). CEDLA. La Paz, Bolivia. Consultado 19 mar. 2020. Disponible en http://biblioteca.clacso.edu.ar/Bolivia/cedla/20171020044605/pdf_244.pdf
- Orsag, V. 2010. ¿Un camino hacia la desertificación acelerada del altiplano sur? Peligros del cultivo mecanizado de quinua (en línea). Bolpress. Consultado 19 mar. 2021. Disponible en <http://www.bolpress.net/art.php?Cod=2010111812>
- Orsag, V; Leon, L; Pacosaca, O; Castro, E. 2013. Evaluación de la fertilidad de los suelos para la producción sostenible de quinua (en línea). T'inkazos, 33: 89-112. Consultado 17 dic. 2020. Disponible en <http://www.scielo.org.bo/pdf/rbcst/v16n33/v16n33a06.pdf>
- Ortega, A; Corvalán, E. 2005. El diagnóstico de la fertilidad del suelo (en línea). INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Consultado 02 feb 2020. Disponible en <http://www.profertilnutrientes.com>
- Ortiz, P; Gonzales, J. 2017. Caracterización fisicoquímica y abundancia microbiana de suelos agrícolas con baja productividad en el noreste de Guanajato (en línea). En: Verano de la investigación científica. 3(2): 127-132. Consultado 19 mar. 2021. Disponible en <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1688>
- Polanco, M. 2007. Maquinaria y mecanización agrícola (en línea). Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Colombia. Consultado 19 mar. 2021. Disponible en <https://www.yumpu.com/es/document/read/13262868/maquinaria-y-mecanizacion-agricola>
- Porta, J; Lopez-Acevedo, M; Roquero, C. 2003. Edafología; para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España.
- Quispe, H. 1996. Evolución de la labranza en la serranía del intersalar (en línea). En: Las labranzas en perspectiva en los Andes Centrales. Eds. Dominique Hervé, David Condori y Vladimir Orsag. I BTA-ORSTOM. La Paz, Bolivia. Informe ORSTOM No 52,36-48. Consultado 14 jul. 2021. Disponible en http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-05/010007083.pdf
- Richards, LA. 1993. Suelos salinos y sódicos. 7 ed. Balderas, México. Limusa. p 26
- Vargas, M; Sandy, A. 2017. Tecnologías de manejo de suelos agrícolas en la región del intersalar del altiplano boliviano (en línea). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). La Paz, Bolivia. Consultado 02 feb. 2021. Disponible en <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3017/1/BVE17068932e.pdf>
- Villaret, A. 1994. El enfoque sistémico aplicado al análisis del medio agrícola. Sucre, Bolivia. PRADEM/CICDA (ed). p. 80.
- Zaccagnini, Me; Wilson, M; Oszust, J. 2014. Manual de buenas prácticas para la conservación del suelo, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (en línea). PNUD-INTA. Buenos Aires, Argentina. Consultado 02 feb. 2021. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-manual-de-buenas-practicas-para-la-conservacion-del-suelo-la-biodiversidad.pdf>

Artículo recibido en: 07 de mayo 2021

Aceptado en: 25 de octubre 2021