

Sistemas de labranza para suelos salinos

Dominique Hervé¹, Victor Mita² y Bernardo Paz²

1 IRD-CIP/CONDESAN. Apartado 1558. Lima 12, Perú. Teléfono 3496017. Fax 3495638.

email:d.herve@cgiar.org.

2 Tropandes (IRD-IE). La Paz, Bolivia. email: victormita@hotmail.com

RESUMEN

Mejorar los sistemas de labranza para cultivar suelos salinos es un reto para el sur del Altiplano boliviano. Se comparó durante dos años (1994-95 y 1995-96) el surcado en faja con discos, practicado por los campesinos de la provincia Villaroel, y el subsolado a 50 cm de profundidad solo o combinado con el surcado. Se buscaba así romper la costra en suelos muy arcillosos y llevar las sales a mayor profundidad que los horizontes colonizados por las raíces de los cultivos de quinua (raíz pivotante), cebada y triticale (raíces fasciculadas). Se instalaron los tratamientos en dos parcelas de textura similar con suelos salinos y salino-sódicos. Se evaluó en 1995-96 la estabilidad estructural, el pH y la conductividad eléctrica, durante cinco fechas del ciclo de cultivo, en cinco profundidades del suelo (superficie, 0-10, 10-20, 20-50, más de 50 cm).

El laboreo con subsolador se debe combinar con un surcado de discos para una correcta instalación de los cultivos, favorece un mayor almacenamiento de agua, penetración de los sales en profundidad y desarrollo radicular. Su efecto es altamente significativo para el suelo salino y no significativo para el suelo más salino-sódico. No se descarta un efecto de la posición relativa del surco en relación al camellón y a la tabla de escurrimiento intersurcos.

INTRODUCCION

La mayoría de los suelos del Altiplano Central boliviano presentan características desfavorables: densidad aparente elevada y porosidad total baja, bajo contenido en materia orgánica, escasa cobertura del suelo por la vegetación, y en muchas zonas, problemas de salinidad (Salm, 1993). Bajo un clima árido a semiárido, la elevada evaporación, la insuficiencia de las precipitaciones para lavar y transportar los sales, el drenaje limitado y la baja permeabilidad de los suelos acentúan los problemas de los suelos salinos (Allison, 1993). En este estudio consideramos suelos salinos y salino-sódicos de la provincia Gualberto Villaroel que no reciben riego del río Desaguadero.

Estos suelos salinos se constituyen a partir de depósitos sedimentarios ricos en yeso, el sodio no es eliminado por drenaje debido a condiciones climáticas áridas. Los sales suben por vía capilar y forman efflorescencias blancas en la superficie del suelo. El cultivo del horizonte A, arcilloso, estructurado en agregados angulosos, necesita de muchas precauciones en particular para la labranza. La evolución de suelos salinos, que tienen suficientes sales solubles, hacia suelos alcalinos con una tasa elevada de sodio intercambiable, conduce a una baja de fertilidad y posibilidad de uso de estos suelos. Se trata, entonces, de mantener una capacidad productiva durante el ciclo de cultivo y, de ser posible, extenderla a algunos años sucesivos de cultivo. Para ello, jugando con la baja ocurrencia de las precipitaciones (250 mm de diciembre a abril), se debe fabricar un estado del suelo favorable a la penetración radicular y a la extracción de nutrientes por los cultivos, en los horizontes colonizados por las raíces y que se mantenga favorable durante el tiempo de crecimiento de los cultivos.

Los agricultores de la provincia Gualberto Villaroel practican una roturación con discos en fajas distanciadas de 3 a 10 m donde siembran en línea. El agua de lluvia escurre en las superficies encostradas situadas entre dos líneas de siembra, que tienen muy baja tasa de infiltración, y se estanca en los surcos abiertos con discos, permitiendo un lavado de sales al pie de las plantas cultivadas. Además, semillas de especies nativas pueden ser llevadas por el agua de escurrimiento o el viento y entramparse en estos surcos.

En un diseño experimental de parcelas divididas con tres repeticiones, conducido en parcelas campesinas, se compara el uso de un arado de discos (3 cuerpos) con un subsolador (1 cuerpo, tractor 90HP), durante dos campañas agrícolas, en dos suelos del Altiplano Sur boliviano (salino y

salino-sódico). Se evalúa los efectos del trabajo en el suelo sobre la salinidad del mismo, mediante la conductividad eléctrica y el pH y sobre el rendimiento de especies cultivadas, muy diferenciadas en cuanto al sistema radicular (quinua con raíz pivotante y cebada y triticale con raíz fasciculada).

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en la provincia Gualberto Villaroel del departamento de La Paz, entre los paralelos 17°47' latitud sur y 67° 38' longitud oeste, a una altitud de 3800 msnm. Se instalaron los diseños experimentales en dos comunidades, Laruta y San Miguel, en suelos arcillosos sin piedras (Cuadro 1).

En 1994-95, se compararon dos parcelas, con suelo salino en Laruta 1 y con suelo salino-sódico en San Miguel. En 1995-96 se estudiaron dos parcelas en Laruta: Laruta 2 con presencia de *Ch'iji* (*Distichlis humilis*) y *Mulhenbergia fastigiata*, especies indicadoras de suelos salinos y Laruta 3 con una escasa cobertura vegetal de k'hota (*Antrobrium triandrum*), característica de suelos salino-sódicos. En ambas parcelas, se sembró quinua (variedad Sajama), cebada criolla y triticale (variedad Renacer). Por razón de espacio, se presentaron solamente algunas figuras correspondientes a cada parcela, pero el tratamiento estadístico se aplicó a ambas parcelas.

CUADRO 1. Parcelas experimentales, campañas 1994-95 y 1995-96.

Campaña	Suelo salino	Suelo salino-sódico
1994-95 Quinua	Laruta 1 (muestra 12/94) pH agua ≤ 8.7 CE = 3.7 [2 - 6] Na < 24% y cloruros muy bajos. Arcilla + limo fino entre 80% y 90%, con alrededor de 10% de arena fina; nivel limo-arenoso a partir de 1.20 m.	San Miguel (muestra 12/94) pH agua ≥ 8.7 CE = 5.8 [5 - 6.5] Na > 24% y cloruros altos. Arcilla + limo fino superior a 90%; no hay arena.
1995-96 Quinua, cebada, triticale. 12/95-06/96 : 252.5 mm en San José Alto (promedio 1960-1990 menos 11%)	pH agua ≤ 8.7 , Laruta 2 CE = 4.2 [1.4 - 11.7] (muestra 02/96) Laruta 3 CE = 4.6 [1.5 - 15.7] (muestra 12/95)	

CUADRO 2. Análisis físico-químico de los suelos estudiados. Suelo salino Laruta 1 (1994).

Prof. (cm)	CE (mS. cm ⁻¹)	pH Agua	Arena 0.5-2mm %	Limo grueso 0.02-0.05 mm %	Limo Fino 0.002-0.02 mm %	Arcilla < 0.002 mm %	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄
							meq.100gr ⁻¹						
0-20	2.36	8.4	8.30	5.52	36.87	49.31	1.87	0.2	23.36	0.39	0.20	22.65	1.82
20-40	5.53	7.9	5.92	5.0	42.47	46.61	1.87	0.2	23.77	0.39	0.17	22.69	1.83
40-60	6.07	8.2	6.40	6.08	41.19	46.33	1.37	0.15	16.33	0.36	0.22	18.24	1.57
60-80			6.17	6.10	30.03	57.70							
80-100			1.33	3.48	68.28	26.91							
<120	3.17	8.7	14.81	18.83	47.95	18.41	1.76	0.11	11.26	0.26	0.13	11.27	2.04
<160	1.96	8.9	52.86	14.47	23.81	8.86	0.57	0.04	6.50	0.16	0.12	6.43	1.02
<180	2.97	8.6	26.12	12.25	37.52	24.11	2.03	0.12	10.20	0.29	0.10	9.99	2.23

CUADRO 3. Análisis físico-químico de los suelos estudiados. Suelo salino-sódico San Miguel (1994)

Prof. (cm)	CE (mS. cm ⁻¹)	pH Agua	Arena 0.05-2 mm %	Limo grueso 0.02-0.05 mm %	Limo fino 0.002-0.02 mm %	Arcilla < 0.002 mm %	Ca	Mg	Na meq.100gr ⁻¹	K	HCO ₃	Cl	SO ₄
0-20	6.21	8.7	1.42	1.98	42.11	54.49	0.69	0.14	34.82	0.32	0.29	35.26	3.08
20-40	6.48	8.9	0.43	1.99	48.79	48.79	0.57	0.14	24.92	0.44	0.17	21.27	2.31
40-60	5.53	8.8	0.39	1.73	45.22	52.66	0.40	0.14	24.97	0.23	0.39	20.06	2.38
60-80	5.06	8.7	0.56	2.01	53.23	44.2	1.14	0.14	21.53	0.27	0.27	16.22	5.58
80-100	5.53	8.7	0.62	0.98	50.28	48.12	3.69	0.14	24.05	0.36	0.21	14.54	11.03
100-120	5.80	8.9	0.51	1.99	46.5	51.0	0.42	0.14	26.86	0.25	0.42	22.42	2.6

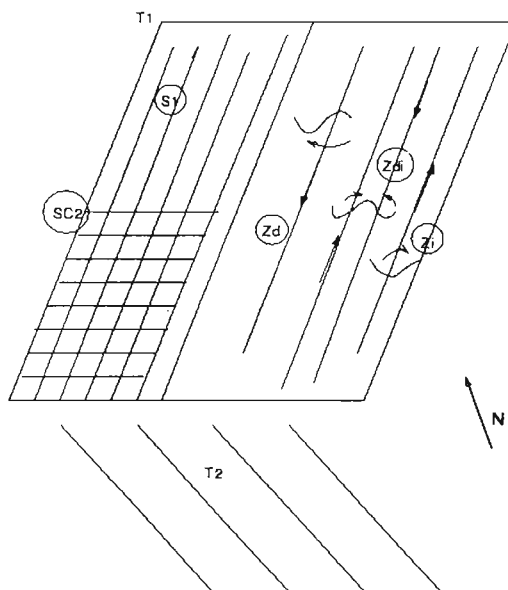
El suelo en Laruta 1 presenta un horizonte más limoso en 80-100 cm y un horizonte arenoso filtrante en 120-160 cm. Los valores de pH, conductividad eléctrica y los iones Na⁺, Cl⁻ y SO₄⁻ son inferiores a los del suelo de San Miguel compuesto de arcilla limosa hasta 120 cm (Cuadros 2 y 3).

La estabilidad estructural, definida por el índice de inestabilidad log₁₀I_s y el índice de percolación log₁₀K (Henin et al, 1972 ; Ramos y Hervé, 1996), mide la resistencia a la degradación del estado superficial del suelo. Es un indicador muy importante de tomar en cuenta para el manejo de suelos salinos. En 1994-95, se caracterizó la estabilidad estructural de los suelos de Laruta 1 y San Miguel, resultaron mucho más inestables y menos permeables que suelos franco-arenosos del Altiplano Central (Hervé y Ramos, 1995). En 1995-96 estas estimaciones se complementaron diferenciando las posiciones microtopográficas que resultaron del laboreo.

El arado de discos con el que se trabajó no es reversible, efectúa zanjas por los lados derecho e izquierdo, alternativamente, dejando un área de captación del agua entre camellón y surco de 1.5 m de ancho.

Campaña 94-95

El objetivo era comparar el surcado con discos en zanja (una o dos zanjas para una línea de siembra) y el subsolado (uno o dos cortes perpendiculares con subsoladora) en dos situaciones, salina y salino-sódica. El diseño experimental incluye dos testigos T1 sin roturar y T2 surcado tradicional con discos, y cinco tratamientos: S1, una pasada del subsolado; SC2, dos pasadas cruzadas del subsolado; Zd, surcado con discos lado derecho; Zi, surcado con discos lado izquierda; Zdi, doble surcado con discos, ida y vuelta en líneas vecinas (Figura 1).

**FIGURA 1.** Parcela experimental Laruta 1.

Campaña 95-96

El objetivo era comparar el surcado con discos (lado derecho o izquierdo) y el surcado después de un subsolado. El diseño experimental fue de parcelas divididas con cuatro tratamientos y tres repeticiones, con un testigo sin roturar y cuatro tratamientos: zd, zanja derecha; zi, zanja izquierda; szd, subsolado zanja derecha; szi, subsolado zanja izquierda (Figura 2).

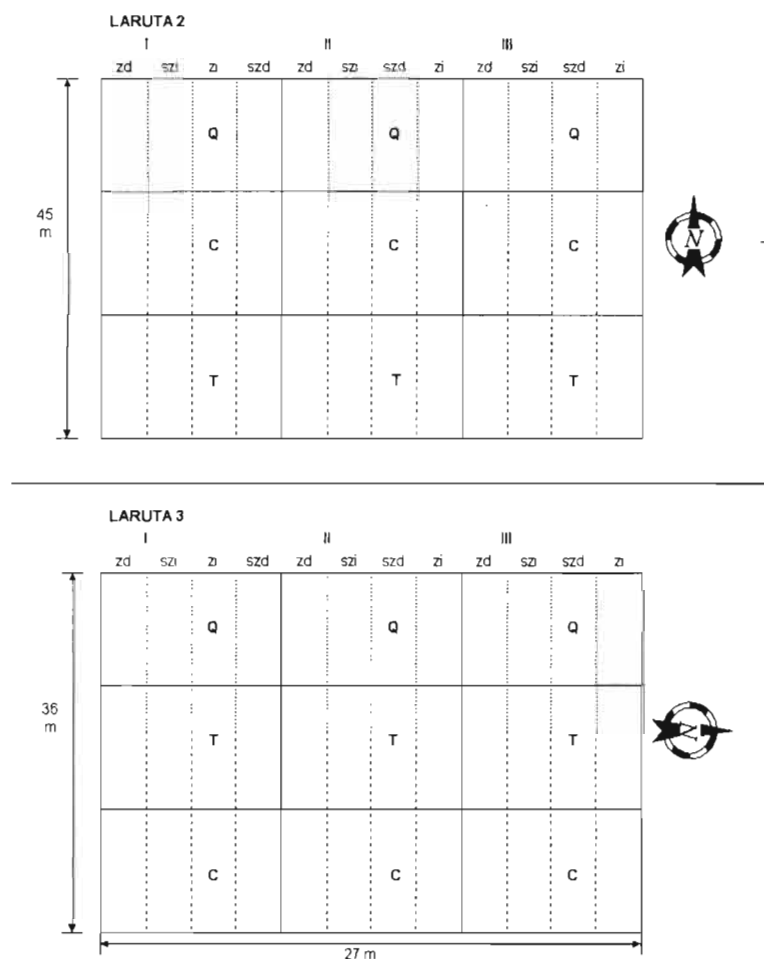


FIGURA 2. Diseño experimental (4 tratamientos, 3 repeticiones).

El suelo fue roturado el 20/12/95 y se sembró el 21/12/95 quinua (Sajama, 15 kg.ha⁻¹), cebada criolla (100 kg.ha⁻¹) y triticale (Renacer, 126 kg.ha⁻¹). Con el objetivo de controlar el lavado de sales en diferentes profundidades, se determinó la textura del suelo, la calidad de las arcillas y la estabilidad estructural en una sola fecha (1/05/96), la conductividad eléctrica (mS.cm⁻¹) en cinco fechas (12/12/95, 17/02/96, 1/04/96, 21/05/96, 2/07/96) de manera de incluir el ciclo de cultivo y en cinco profundidades (superficie, 0-10 cm, 10-20, 20-50 y más de 50 cm) para evaluar el efecto del laboreo. Después de 120 días de haber realizado el laboreo, se observó el perfil cultural en una calicata en cada uno de los dos tratamientos, zanja y zanja-subsolado. Considerando las limitaciones para un acceso frecuente a las parcelas experimentales, se evaluó solamente la altura de plantas a los 102 días y la materia verde y seca a la cosecha, a los 135 días, cuando la quinua estaba en estado fisiológico de grano lechoso, la cebada y el triticale en estados de grano masoso. Se adelantó la cosecha antes de las heladas más fuertes para poder evaluar la biomasa verde producida.

RESULTADOS

Tipo de suelo, tipo de arcilla

El análisis del perfil cultural nos muestra que todos los horizontes son macizos, de textura arcillosa a arcillo-limosa y con una estructura columnar o de bloques angulares. En los primeros 10 a 20 cm, la densidad de raíces y estolones sub-horizontales de la vegetación nativa es alta. En todos los horizontes, la presencia de concreciones blancas y de manchas anaranjadas indica depósitos de yeso.

Las arcillas fueron determinadas, en ambos sitios, por análisis difractométrica en el laboratorio LFS del IRD (ex-ORSTOM) en Bondy, Francia (10/01/95). Son arcillas micáceas de tres capas con hojas de espesor constante, de tipo illita (dioctaedrico de tipo muscovita), con un poco de mineral estratificado irregular de smectita-illita, un poco de clorita, signos de caolinita, hematita, un poco de cuarzo y solamente en San Miguel, un poco de calcita. La fijación enérgica del K^+ en forma no intercambiable asegura la solidez de las hojas, su eliminación y la disminución de las cargas negativas globales provocarían la apertura de las hojas y la substitución por cationes Ca^{++} o Mg^{++} de mayor dimensión.

Campaña 1994-1995

Estabilidad estructural y resultado del laboreo

Los suelos salinos son menos estables y menos permeables que los suelos franco-arenosos del Altiplano Central. Las muestras de San Miguel, salino-sódicas, se diferencian de las de Laruta, salinas, por su mayor inestabilidad estructural (Figura 3). Como consecuencia de esta inestabilidad, los terrones fabricados por el laboreo tienen una tendencia a incorporarse a la costra, empezando por los de menor tamaño, influyendo en el espesor de la misma.

El resultado del subsolado es cortar y sublevar tablas de una capa espesa de suelo encostrado, consolidadas por una red densa de estolones y raíces. Las posibilidades de germinación se encuentran limitadas a los terrones situados debajo de estas tablas. El trabajo con discos abre un surco y voltea la tierra de un lado, los terrones formados quedan sobre la costra intacta.

Resumen de la comparación entre tratamientos

En el testigo 1, no roturado, la conductividad no varía y el pH decrece hasta en una unidad en el horizonte superficial y a la profundidad de 40 - 50 cm. En el testigo 2, zanjas hechas con discos espaciadas varios metros, la conductividad baja mucho en los terrones y sube mucho en los surcos, traduciendo el efecto del escurrimiento superficial. La humedad fluctúa, sin aumentar, entre los 20 y 60 cm. El pH baja en todos los horizontes de 0.5 a 1 unidad.

Con un trabajo de subsolado, se ve un decremento de la conductividad en todos los horizontes, salvo en la superficie donde aumenta, con valores máximos que son el doble del valor de los horizontes. La humedad en el suelo aumenta con el tiempo hasta los 40 cm de profundidad y se mantiene estable a mayor profundidad. Paralelamente, el pH disminuye en 0.5 unidades en el horizonte superficial y en 2 unidades en los otros horizontes. Se constata la misma evolución de la humedad, la conductividad y el pH cuando se cruza las líneas de subsolado. No se mejoraron las características del perfil duplicando las pasadas con subsoladora, además, este tratamiento resultaba bastante costoso.

En los tratamientos de surcado con zanjas, distinguimos el surcado derecha (Zd) del surcado izquierda (Zi). En el primer caso, la humedad en el perfil va aumentando en la segunda o tercera fecha de muestreo y queda luego estable; la conductividad es muy baja, salvo en la superficie en la última lectura y el pH es fluctuante, solo baja en la superficie. En el segundo tratamiento (Zi), la humedad del suelo se mantiene alta desde la primera fecha, excepto en la superficie; la conductividad es casi nula desde la tercera fecha de muestreo y, al mismo tiempo, muy alta en la superficie del suelo; el pH baja solamente en la superficie en 1.5 unidades. Globalmente, el tratamiento Zi parece más favorable que el tratamiento Zd.

Arando dos surcos con discos se pensaba reunir el agua de escurrimiento de ambos lados, pero no se observó una mejora significativa. La conductividad baja solamente en las últimas fechas de muestreo, mientras crece hasta la última lectura en la superficie; la humedad en el perfil es inferior a la de los dos tratamientos anteriores y el pH disminuye solo en la superficie en media unidad.

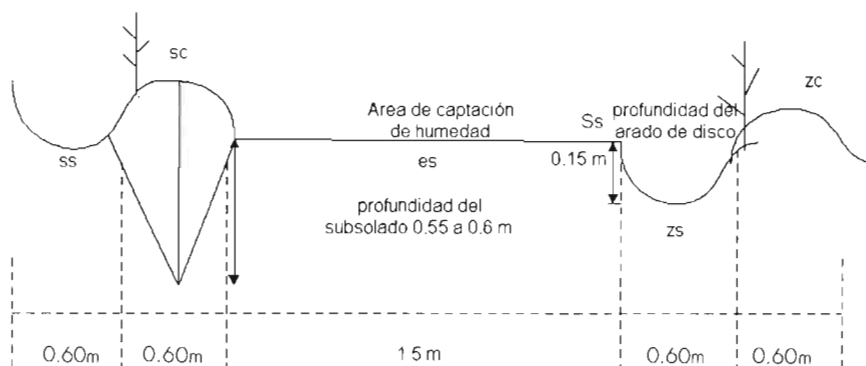
Los perfiles de las curvas de evolución de las variables, nos demuestran que el tratamiento con una pasada de subsoladora supera el tratamiento de surcado con zanja por que disminuye la conductividad eléctrica, pero no resulta favorable a la emergencia y desarrollo de los cultivos. Por esta

razón, se programó una segunda campaña para experimentar una combinación de subsolado con surcado.

Campaña 1995-96

Resultado del laboreo

Se afinaron las determinaciones de estabilidad estructural, según las posiciones microtopográficas presentadas en la figura 4. Se presentan en la figura 5 los resultados de la parcela Laruta 2. Se diferencian la área del surco y la área de costra sedimentaria no removida, entre camellón y surco, que constituye una tabla de escurrimiento hacia el surco. Los tratamientos de surcado en zanja y surcado sobre subsolado son ambos muy inestables. Las situaciones entre surcos son ligeramente más inestables que las situaciones sobre surco, pero tienen la misma impermeabilidad. Las situaciones en camellón tienden a ser mas estables y mas permeables que las situaciones en surco, cualquier sea el tratamiento, es justamente en el limite entre camellones y surcos que se siembran en general los cultivos.



- sc = subsulado camellón
- ss = subsulado surco
- zc = zanja camellón
- zs = zanja surco
- Ss = Sobre surco
- es = entre surco

Figura 4. Microtopografía resultante del laboreo

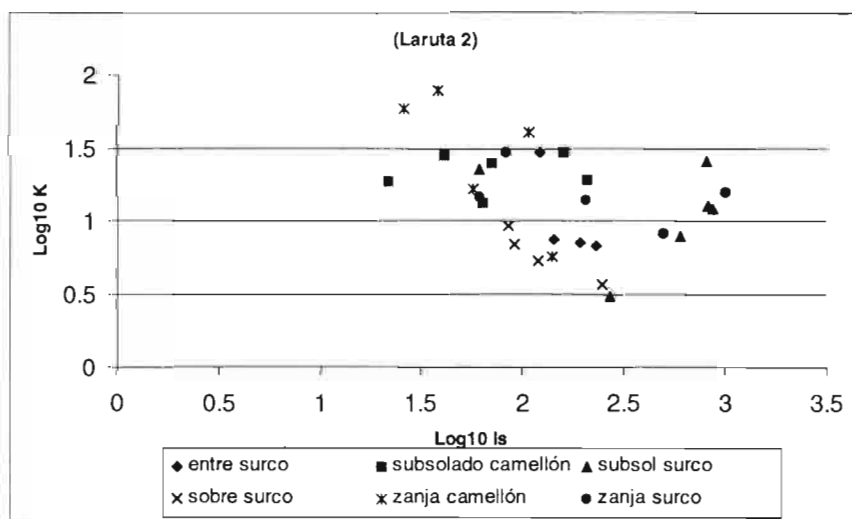


FIGURA 5. Estabilidad estructural en posiciones microtopográficas y según tratamientos (Laruta 2).

Apreciamos en la figura 6 el resultado del laboreo en el perfil del suelo. El trabajo con subsolado alcanzó 50-55 cm de profundidad y con discos 15 cm de profundidad. Debajo de los terrones que resultan del trabajo con discos, las raíces no logran traspasar la costra no removida al lado del surco. Después que el subsolado ha roto esta capa compacta, las raíces más largas no penetran directamente el horizonte arcilloso (Figura 6a), pero colonizan el área removida por el subsolado donde se encuentra mayor humedad (Figura 6b).

Comparación entre tratamientos

Conductividad eléctrica y pH

La evolución en Laruta 3 de la conductividad eléctrica en función de las fechas de muestra y de los tratamientos se presenta en la figura 7. La fecha 1 indica el estado inicial, las fechas 2 y 3 el ciclo de cultivo, las fechas 4 y sobre todo 5 el inicio de la desecación del perfil después del cultivo. La conductividad es muy elevada en la costra y en los 0-10 cm en la fecha 1, baja entre 2 y 4 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ desde la fecha 2, se mantiene baja con fluctuaciones en los horizontes 10-20 y 20-50 y entre 2 y 8 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ a más de 50 cm de profundidad. En la costra superficial se encuentra en julio una conductividad más elevada que en diciembre, antes del laboreo.

La variación correspondiente del pH es menor (Figura 8). El suelo subsolado tiene un pH inferior de hasta media unidad al surcado en la primera fecha desde la superficie hasta 20 cm, esta relación se invierte desde la segunda fecha para luego estabilizarse. En la superficie, desde la tercera fecha, el pH no presenta variaciones según los tratamientos, entre los 0-10 cm fluctúa debajo de 7, entre los 10-20 cm fluctúa entre 7 y 8, finalmente, entre 20 cm y más de 50 cm de profundidad varía con valores mayores a 8. En todos los casos no se observa diferencias significativas y estables entre los tratamientos.

Las curvas de conductividad en función de la profundidad (Figuras 9 y 10) son bastante similares entre tratamientos. Demuestran que el proceso de lavado de los sales en 0-50 cm se realiza entre la primera y la segunda fecha, con una disminución de la conductividad por debajo de 4 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ en los 20-50 cm y una recarga resultante en el horizonte 50-80 cm. Los datos de precipitación diaria confirman esta interpretación.

La germinación e instalación de los cultivos se logró con 29 mm de precipitación caídos después de la siembra. Los 96 mm de precipitación entre el 15 y el 18 de enero 1996, seguidos de 29 mm espaciados, fueron suficientes para drenar las sales dentro del perfil hasta profundidades superiores a 50 cm, cuando así lo permitía el trabajo profundo del suelo. Las precipitaciones de 55 mm en marzo y 21 mm en abril permitieron a los cultivos completar su ciclo.

La mayor variabilidad de conductividad se observa en el horizonte 50-80 cm. La conductividad tiende a invertirse a partir de la fecha 5. Entre las fechas 4 y 5, su valor disminuye a más de 80 cm de profundidad y aumenta mucho en la superficie del suelo, en la etapa final la conductividad de la costra es más elevada que al principio en casi todos los tratamientos.

Comprobamos este análisis con modelos lineales bajo SAS (Cuadro 4) a diferentes profundidades del suelo, con tres factores explicativos de la conductividad eléctrica: parcela (2 modalidades), tratamiento (4 modalidades) y fecha (F2 y F3 durante el cultivo, F2 a F4 en la etapa de drenaje de sales, F4 y F5 en la etapa de desecación post-cultivo). La conductividad del suelo, debajo del subsolado, resulta significativamente mayor en Laruta 3 que en Laruta 2 en la etapa de drenaje. Este resultado revela las diferencias entre los perfiles de suelo de ambas parcelas. En orden de significación, los tratamientos se clasifican como sigue: $z_i > s_{z_i}$, $z_i > z_d$ y $s_{z_d} > s_{z_i}$. En la etapa de desecación, o sea de circulación ascendente de los sales en suspensión, el factor parcela no es significativo. El tratamiento con menor conductividad es, también en este caso, el de subsolado-zanja.

CUADRO 4. Análisis estadístico de la CE por parcela, fecha y tratamiento.

Factores	Modelo	Grados de libertad	F calc.	Probabilidad
1) Fechas F2, F3; Prof. 0-20 cm	Modelo	15	0.66	0.6651 NS
2) F2, F3, F4; Prof. >50 cm	Modelo	23	3.66	0.0162 S
	Parcela		9.46	0.0068 HS
	Tratamiento		3.72	0.0319 S (zi>sz)
3) F4, F5; Prof. >50 cm	Modelo	15	3.73	0.0363 S
	Tratamiento		4.93	0.0236 S (zi>sz)

Cultivos

A los 102 días, la altura de plantas es mayor en los tratamientos de subsolado + zanja en comparación de zanja solo, cualquier sea el cultivo.

El rendimiento muy bajo de la cebada en Laruta 3 se debe a la incidencia de roya, por ello, nos limitaremos a comparar los resultados en quinua y triticale (Cuadro 5). Los resultados en Laruta 2 son muy superiores a Laruta 3, a la inversa de la conductividad eléctrica de los suelos de ambas parcelas. Esta diferencia de rendimiento es más importante para triticale (1 a 6) que para quinua (1 a 4) por ser la gramínea más sensible a la salinidad. Los modelos que explican el rendimiento de MS de triticale y de quinua por parcela, bloque y tratamiento resultan altamente significativos ($ddl = 23$, $Pr < 0,001$). En ambos cultivos sale primero el efecto de la parcela (HS) y luego del tratamiento (S), sin significancia de bloque.

La combinación subsolado-zanja logra duplicar la producción de biomasa en ambos cultivos, sin diferencia significativa según la orientación del surco (cuadro 6).

CUADRO 5. Rendimiento promedio en MS ($kg \cdot ha^{-1}$)

Cultivo	Laruta 2	Laruta 3
Quinua	341.6 A	97.2 B
Triticale	618.9 A	106.7 B
Cebada	470.9 A	24.5 B

CUADRO 6. Efecto de los tratamientos en el rendimiento MS ($kg \cdot ha^{-1}$)

Tratamiento	Triticale	Quinua
Szi	568.4 A	335.28 A
Szd	461.1 AB	296.62 A
Zi	225.0 B	126.53 B
Zd	196.6 B	119.03 B

CONCLUSIONES

- El laboreo con el arado subsolador afloja el horizonte compacto arcilloso favoreciendo el drenaje de las sales en profundidad fuera del alcance de las raíces y permite un mejor crecimiento de los cultivos en comparación al tratamiento de zanja con disco. Se recomienda, en todo caso, combinar el paso del subsolador con un surcado con discos para facilitar la instalación de los cultivos. Es preferible adelantar la fecha de laboreo profundo para asegurarse que este se ha realizado antes de las precipitaciones concentradas que conllevan un drenaje de las sales.
- El efecto del subsolado sobre el rendimiento es significativo en quinua como en cereales, en suelos salinos. La reducción de la conductividad eléctrica que resulta de este laboreo en el suelo colonizado por las raíces es temporal, desde la fecha 5 (2/07/96), la tendencia se invierte. Quedan por precisar las condiciones de introducción de kauchi o de alfalfa después de un primer año de cultivo.
- En suelos arcillosos existe el riesgo de que el efecto benéfico del subsolado no se mantenga varios años seguidos. Estaba prevista la observación de calicatas en 1996 en las parcelas cosechadas en 1995, para comprobar si el dren creado por la subsoladora seguía funcionando,

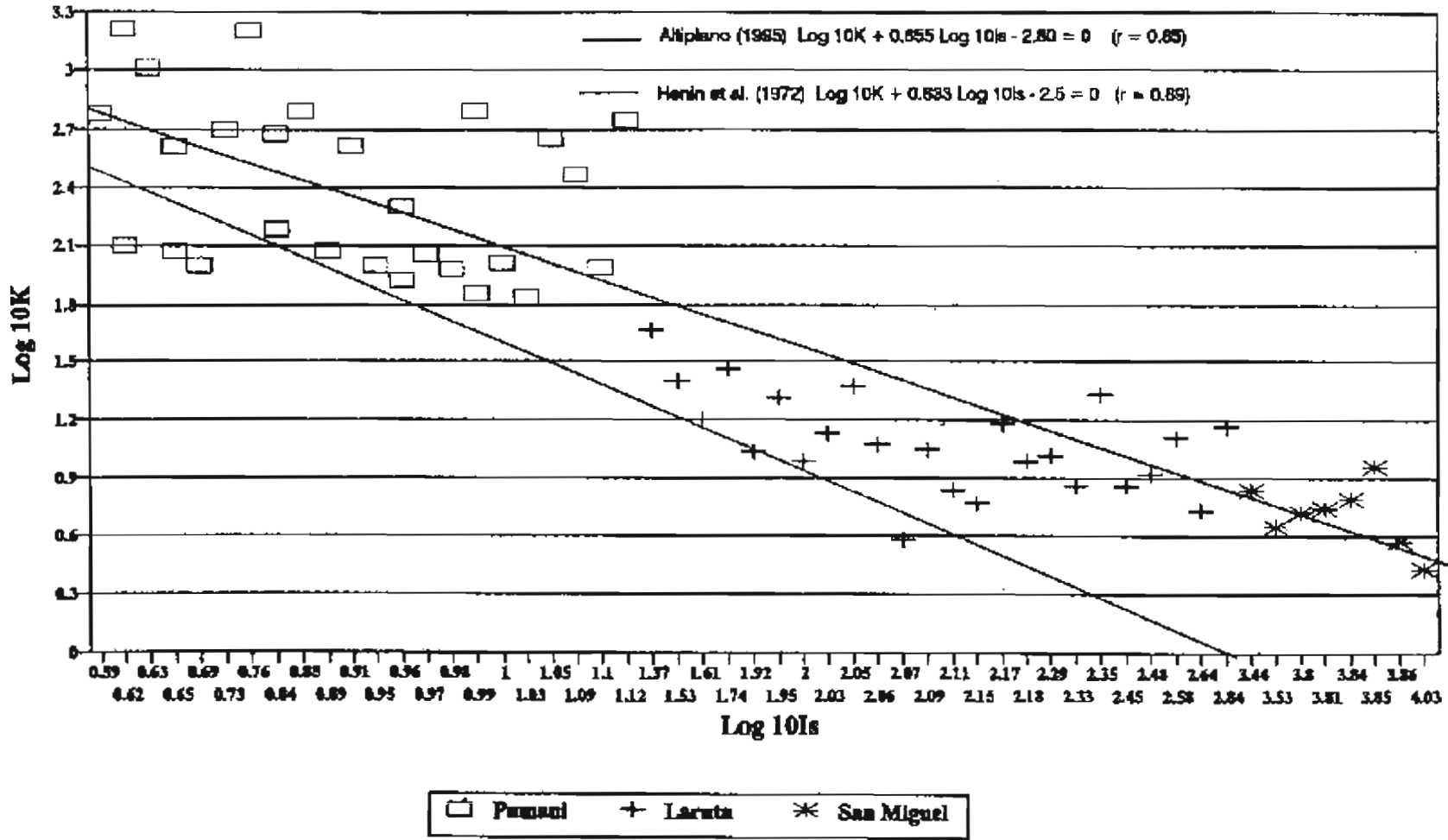


FIGURA 3. Estabilidad estructural de suelos del altiplano central boliviano.

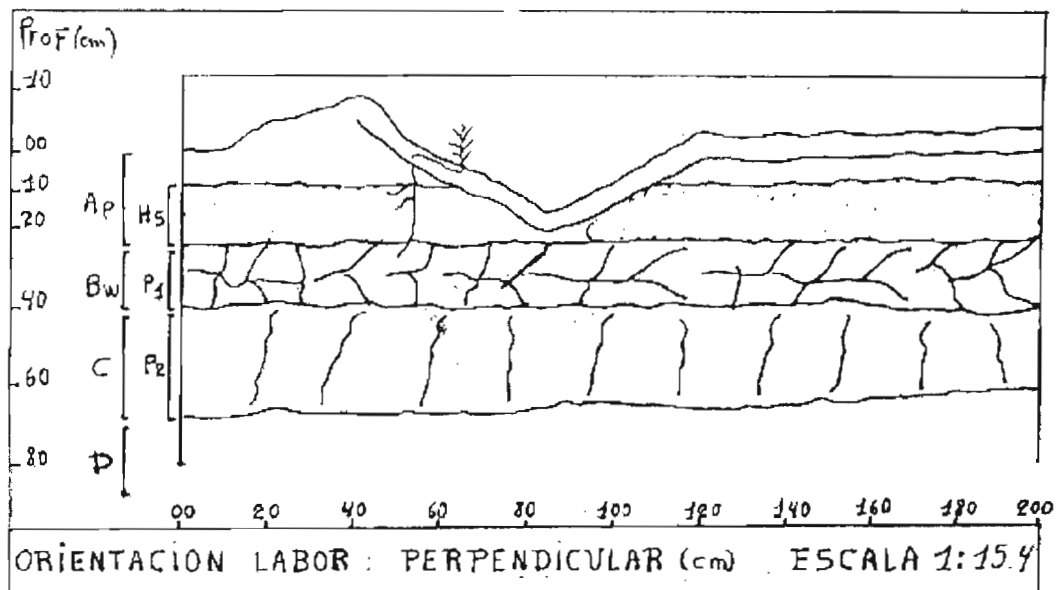
pero no se pudo realizar la observación. También, la subsoladora ha sido modificada para incorporar guano de ovino, abundante en la zona, dentro de la zanja abierta por la reja, de manera a mantener más tiempo en actividad la fisura creada en el horizonte arcilloso.

- No se descarta un efecto de la posición relativa del surco en relación al camellón y a la tabla de escurrimiento intersurcos dejada sin laboreo. La diferencia de conductividad eléctrica observada no se traduce en diferencias de rendimiento. No se tiene actualmente un cuadro explicativo del mejor resultado del surcado en zanja izquierda. Observaciones acompañando la difusión de este sistema de labranza permitirían comparar diferentes anchos de tablas de escurrimiento y realizar el balance económico correspondiente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al IRD por el financiamiento de la primera campaña (IBTA-IRD, 1994-95), a CONDESAN por el financiamiento de la segunda campaña experimental (Fondos a concurso, IBTA-CONDESAN, 1995-96) y a YUNTA por facilitar los contactos y la logística en la provincia Villarroel.

a. Trabajo con arado de discos



b. Trabajo con subsolador y arado de discos

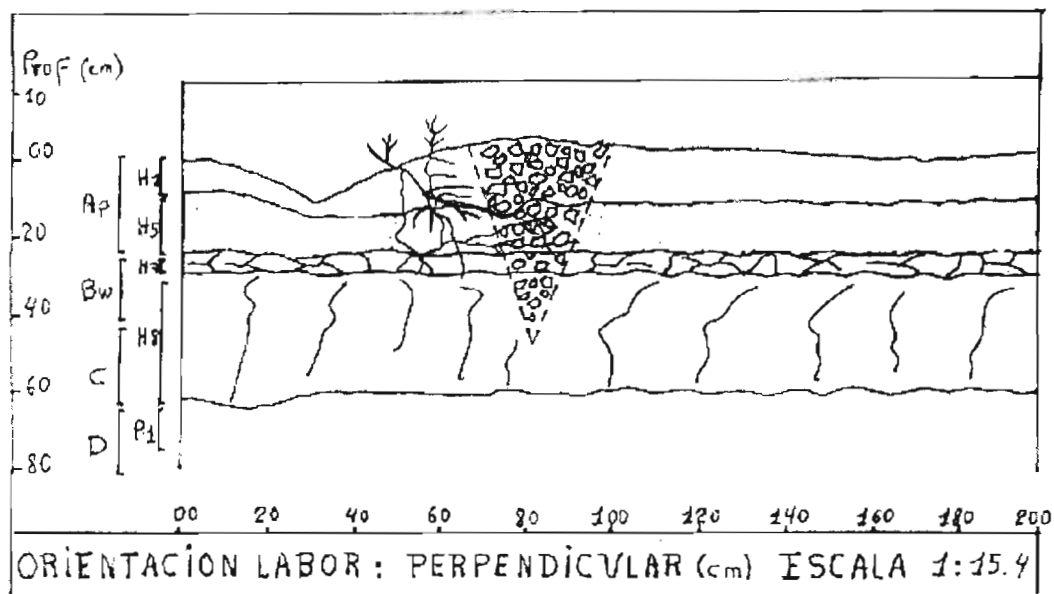


FIGURA 6. Modificación del perfil del suelo por efecto de la labranza (Laruta 2).

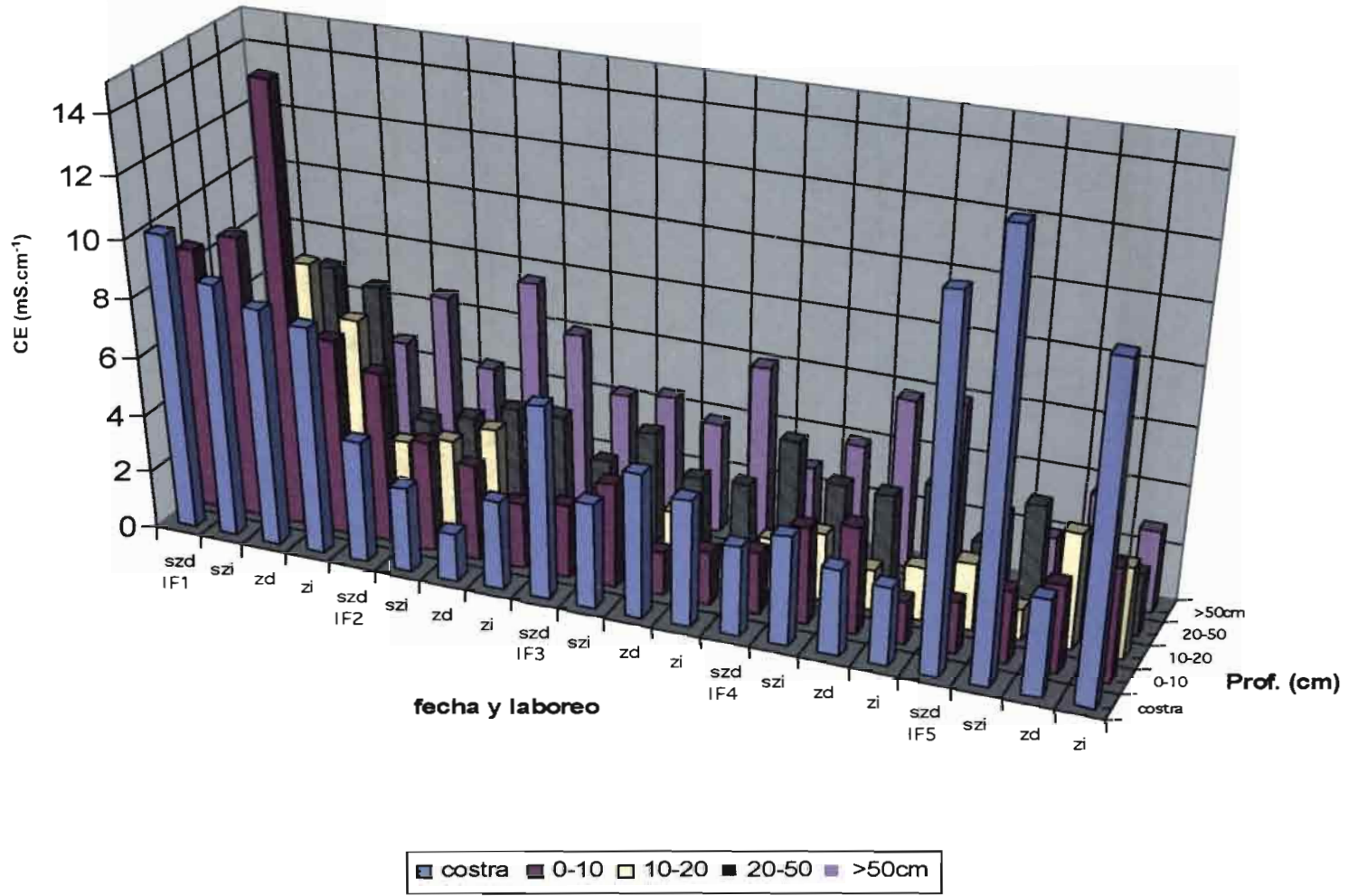


FIGURA 7. Evolución de la conductividad eléctrica según la profundidad (Laruta 3).

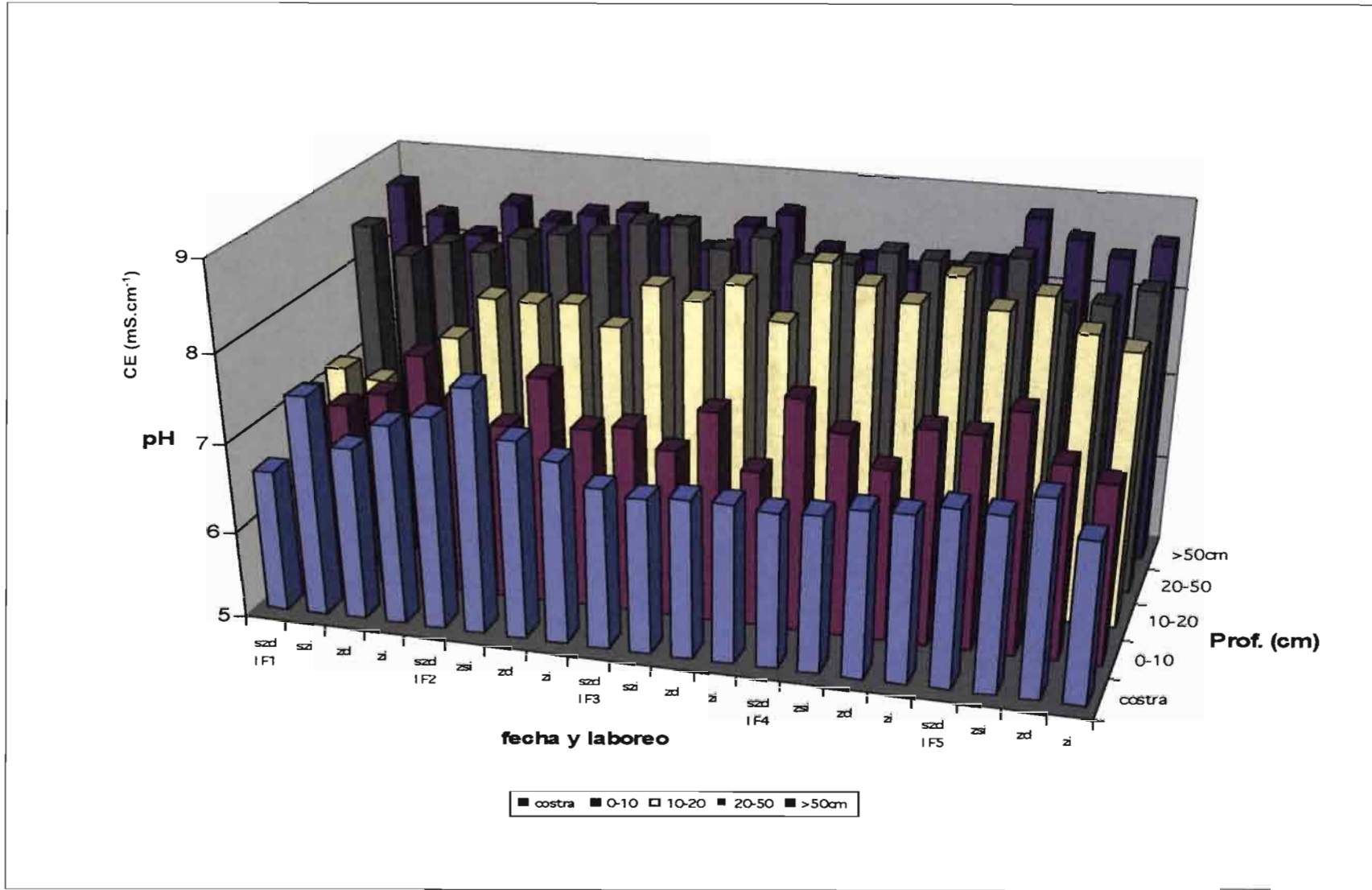


FIGURA 8. Evolución del pH según la profundidad (Laruta 3).

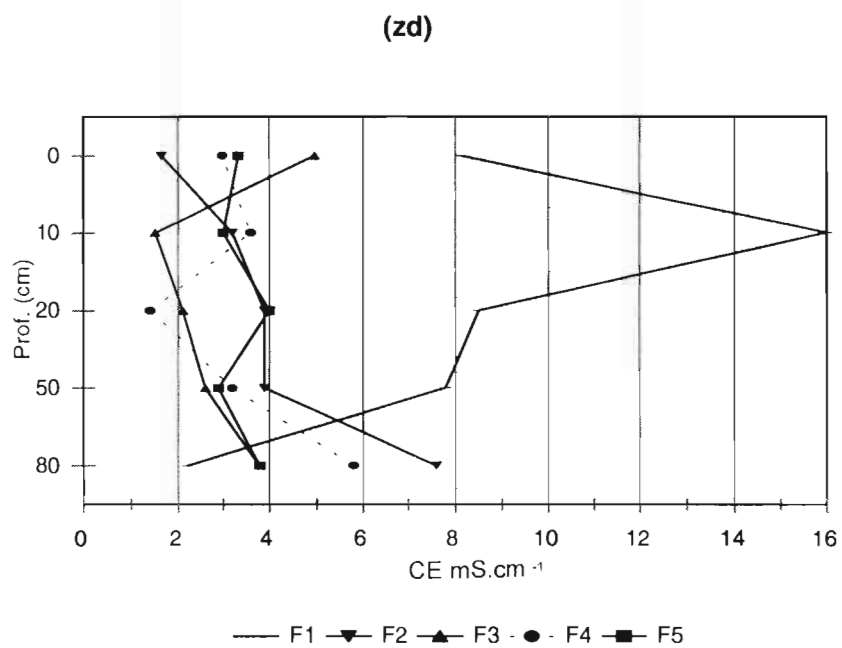
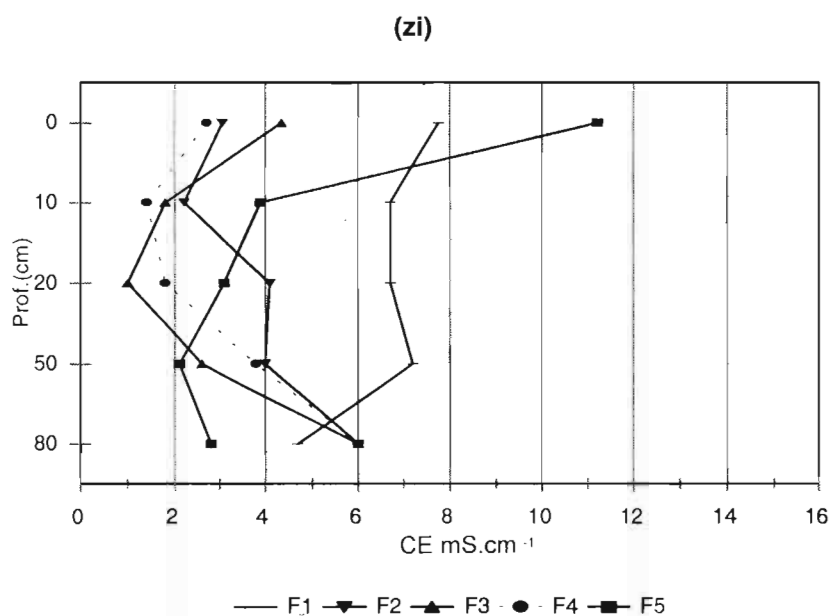


FIGURA 9. Evolución de la conductividad eléctrica, tratamientos zanja Laruta 3.

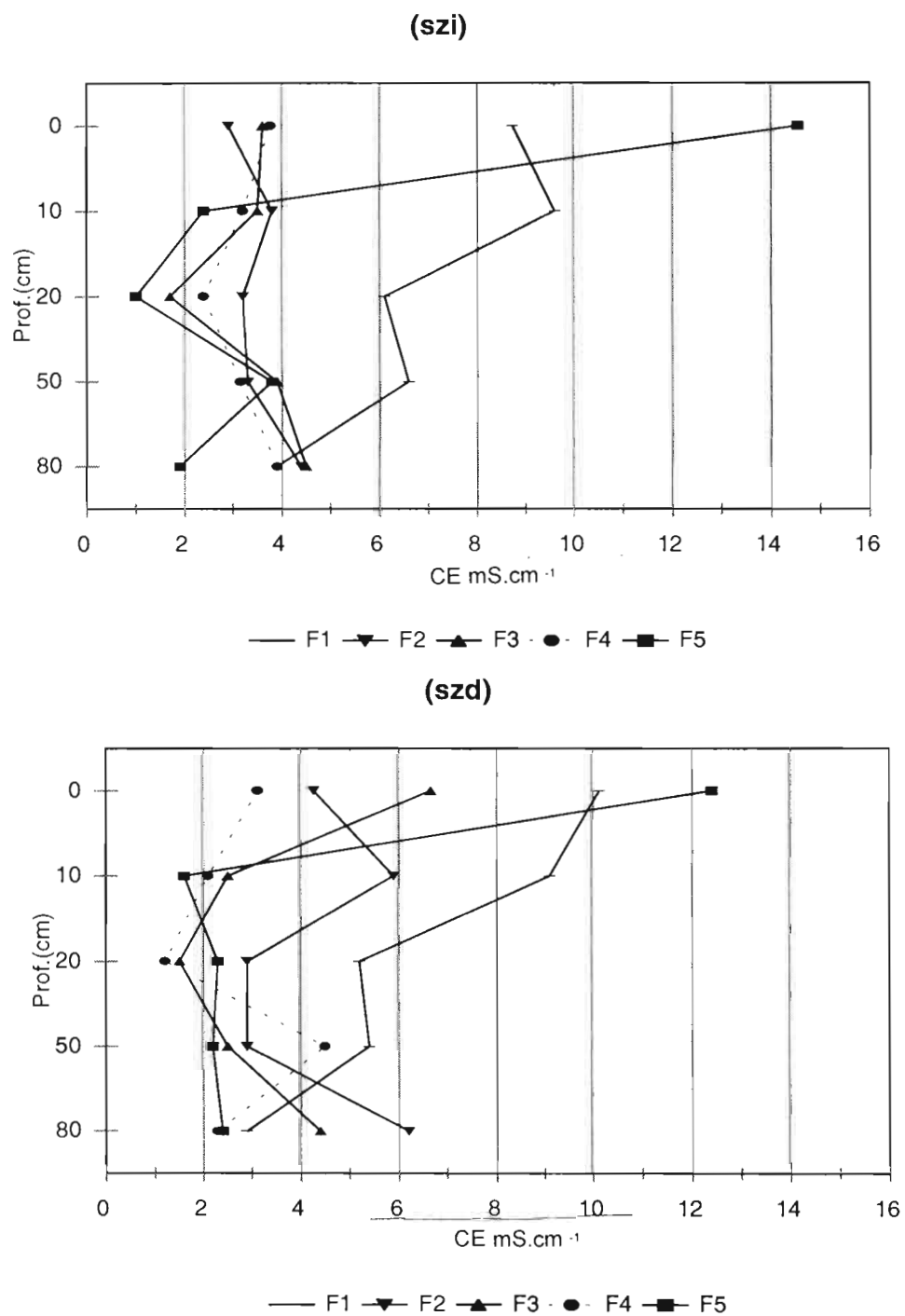


FIGURA 10. Evolución de la conductividad eléctrica, tratamientos subsolado, Laruta 3.

BIBLIOGRAFIA

- Allison, L., Brown, J., Hayward, H., Richards, L., 1993. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 7ªed Ed. Limusa, pp 4-8, 72.
- Henin, S., Gras, R., Monnier, G., 1972. El perfil cultural: el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Madrid, España, Ed. Mundi Prensa.
- Hervé, D., 1996. Algunos métodos de investigación en suelos. La Paz, Bolivia, IBTA-ORSTOM, Informe ORSTOM No 53, pp. 29-44.
- Hervé, D. y Ramos D., 1995. «Stabilité structurale de sols de l'altiplano bolivien. Effet de la durée de la jachère». In : *IIIème réunion du groupe thématique "Structure et Fertilité des Sols Tropicaux"*, Montpellier, France, Orstom. 13 septembre 1995: 59-67.
- Ledezma, R., 1995. Influencia del riego en los procesos de salinización y sodificación en suelos de la provincia Gualberto Villaroel. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés, Tesis Ing. Agrónomo.
- Orsag, V. y Hervé, D., 1996. Las labranzas en perspectiva en los Andes centrales. La Paz, Bolivia, IBTA-ORSTOM, Informe ORSTOM N° 52, 109 pp.
- Ramos, D., 1994. Efecto del subsolado en las propiedades físicas del suelo y el sistema radicular de los cultivos (cebada y quinua) en el altiplano central boliviano. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés, Tesis Ing. Agrónomo.
- Ramos D., 1996. El subsolado como alternativa en el altiplano para mejorar las propiedades hidrofísicas del suelo. En : Hervé, D., Ramos, D. y Orsag, V. Eds. Las labranzas en perspectiva, Informe ORSTOM N° 52, pp. 84-94.
- Ramos, D. y Hervé, D., 1996. Determinación de la estabilidad estructural de la superficie del suelo. En: Hervé, D., Ramos, D. y Orsag, V. Eds. Las labranzas en perspectiva, Informe ORSTOM N° 53, pp. 29-47.
- Salm, H., 1993. Estudio preliminar de suelos del Altiplano central boliviano. Revista del Instituto de Ecología, 4 : 43-47.