

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA MEDIANTE EL MAPEO DE SUELOS SALINOS/SÓDICOS CON LANDSAT TM EN LA ZONA DE PAPEL PAMPA - PUERTO CASTRILLO - EUCALIPTUS, BOLIVIA

Sophie MOREAU, R. LEDEZMA y R. BOSSENO

Asociación Boliviana de Teledetección para el Medio Ambiente (ABTEMA), La Paz, Bolivia

Introducción

La Provincia Gualberto Villarroel, ubicada en la parte central del Altiplano boliviano, al sur del río Desaguadero, integra tres zonas distintas: cerros al oeste, pie de monte en la parte central y llanura de inundación al oriente, donde las últimas dos zonas son ganaderas, con potencialidades específicas.

La región más adversa, en la cual se concentra el estudio, es la llanura aluvial o zona de inundación (Figura 1), afectada por problemas de heladas y de salinización/sodificación de suelos encontrados en más de 70% de su área. Corresponde a formaciones cuaternarias, en mayor parte lacustres, en las que se encuentran, encima del nivel freático regional, numerosos pequeños acuíferos con poco caudal y fuerte salinidad, muchos de los cuales están siendo utilizados por los campesinos para fines de riego.

En esta zona afectada por un alto grado de salinidad/sodicidad, la escasez de la cobertura vegetal limita la producción ganadera a la crianza de ovinos, restringiéndose la crianza de ganado bovino a áreas no afectadas. Siendo la producción ganadera de gran importancia para la economía de la provincia, los campesinos han venido utilizando, en estas áreas adversas, el agua del Río Desaguadero desde los años 60 para regar cultivos de forrajeras con alto valor proteínico como la alfalfa y la cebada. Sin embargo, esta agua se caracteriza por tener un cierto grado de salinidad, con un contenido moderado a elevado de sodio y cloruros y una conductividad eléctrica (ECe) superando 2mS/cm.

Estas aguas se recomienda utilizarlas para el riego, especialmente en el caso de suelos salino-sódicos en los que las sales solubles se pueden sustituir por sodio intercambiable, causando una dispersión de las partículas de arcilla y de esta manera el deterioro de la estructura del suelo, reduciendo su permeabilidad y conductividad hidráulica. La recuperación de estos suelos compactados por el proceso de sodificación, es muy difícil.

Pese al significativo contenido de sodio en el agua, a la lentitud del drenaje natural y a la presencia de suelos

salinos-sódicos, los campesinos han desarrollado un sistema de riego caracterizándose por su infraestructura rudimentaria, con canales de tierra sin revestimiento cuya longitud varía de 3 a 20 km. El alto grado de infiltración en estos canales resulta en la elevación de la capa freática encima del nivel freático crítico, favoreciendo los procesos de salinización/sodificación.

Objetivos del estudio

Los principales objetivos del estudio fueron la cartografía de los canales de riego así como de los suelos salinos/sódicos, comparándose muestreos de campo con el mapeo obtenido de los tratamientos digitales de los datos satelitales LANDSAT TM, y la identificación de las áreas con riesgos de sodificación, con el fin de optimizar las actividades de riego y agropecuarias para evitar el incremento de las zonas afectadas por procesos de salinidad/sodicidad y de sodificación.

Metodología y resultados

Cartografía de los canales de riego

Los principales canales fueron construidos por los campesinos utilizando conocimientos básicos adquiridos durante su trabajo estacional en Chile. Estos canales, no siendo identificadas mediante tratamiento digital de datos satelitales, han sido cartografiados con GPS (Figura 2).

La recolección de la información sobre el manejo del agua y los métodos de riego se realizó en base a entrevistas a los campesinos, quienes indicaron que el período de riego empieza en el mes de agosto y termina en noviembre-diciembre con el inicio de las lluvias, constituyendo así un riego complementario.

Cada grupo de canales es manejado por un número variable de socios (desde alrededor de 50 hasta más de 100). Cada socio llega a tener entre 6 y 8 turnos de riego por año, permitiéndole regar varias parcelas una o dos veces en el año durante 12 horas, con un caudal de 8 a 25 litros/seg. El riego superficial por inundación no controlada es el método más practicado que resulta en una aplicación heterogénea y de baja eficiencia debido al drenaje deficiente.

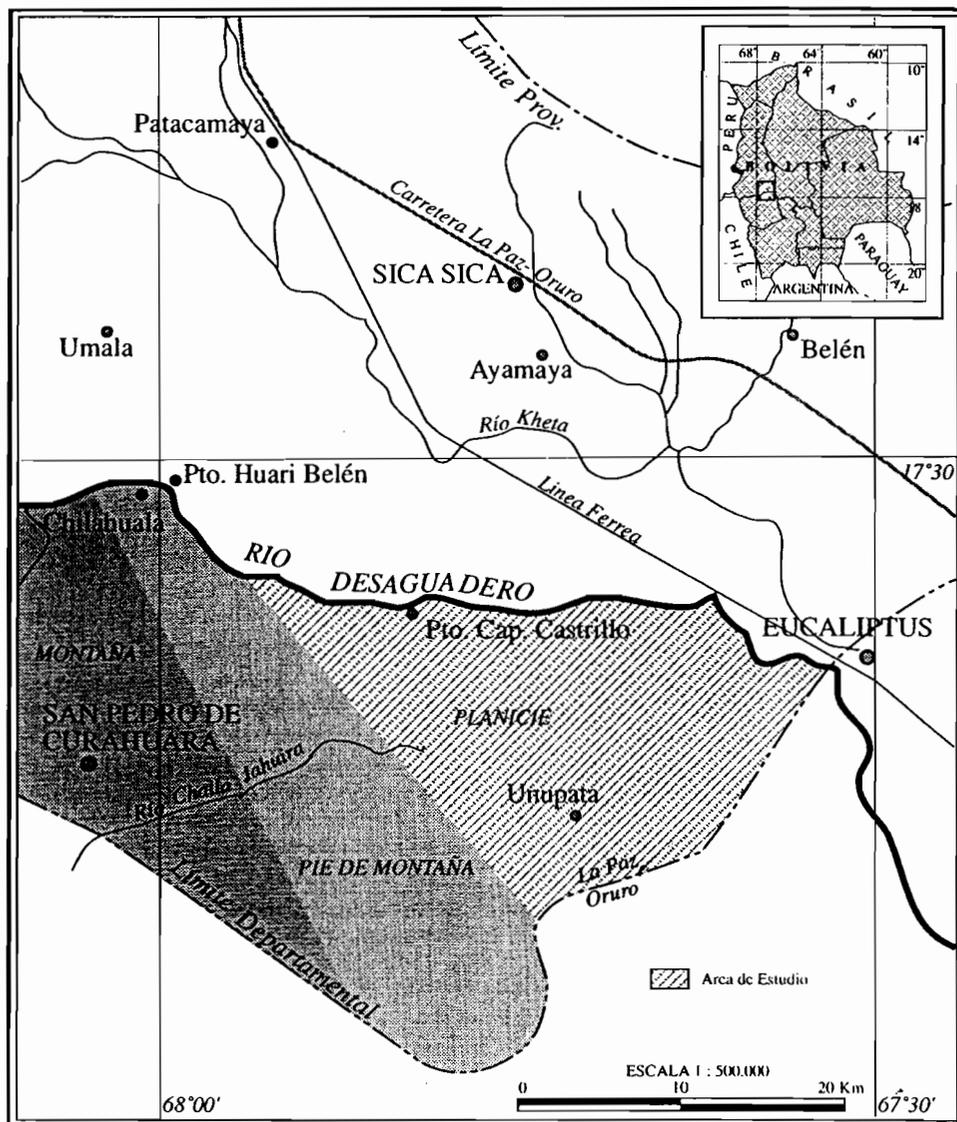


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio

Aguas de riego procedentes de cada uno de los canales principales, tomadas en varios meses, fueron analizadas en laboratorio para Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄ y HCO₃, el pH y Ece siendo registrados en el terreno. La clasificación de estas aguas, basada en los sistemas FAO (Rhodes et al., 1992) y USDA (Bresler et al., 1982), muestra la necesidad de su restricción para los suelos salino-sódicos, debido a su moderado a elevado contenido de sodio, lo cual puede substituir las sales solubles y ser causa de sodificación del suelo.

Cartografía de suelos salinos/sódicos en base a trabajo de campo

El muestreo de suelos salinos/sódicos se llevó a cabo durante los meses de julio y agosto de 1991, antes de la época de lluvias, cuando alcanzan su superficie máxima las eflorescencias salinas/sódicas.

desarrolladas en clima semi-árido caracterizado por precipitaciones medias anuales de 400mm concentradas entre los meses de diciembre y marzo y una tasa de evapotranspiración de 1500 mm/año.

Las muestras fueron tomadas, en la mayoría de los casos, cada kilómetro, utilizándose perfiles y barrenos, en base a métodos de muestreo aleatorio estratificado, en función a la complejidad u homogeneidad del paisaje y a la representatividad con respecto a los datos Landsat TM utilizados para la cartografía mediante teledetección (áreas de 5x5 pixels por lo menos). Esto permitió la producción de un mapa semi-detallado de suelos salinos/sódicos a una escala de 1:100 000. Se realizaron análisis en laboratorio de las muestras para cationes de Na, K, Ca y Mg, así como conductividad eléctrica (Ece) y pH del extracto de suelo saturado.

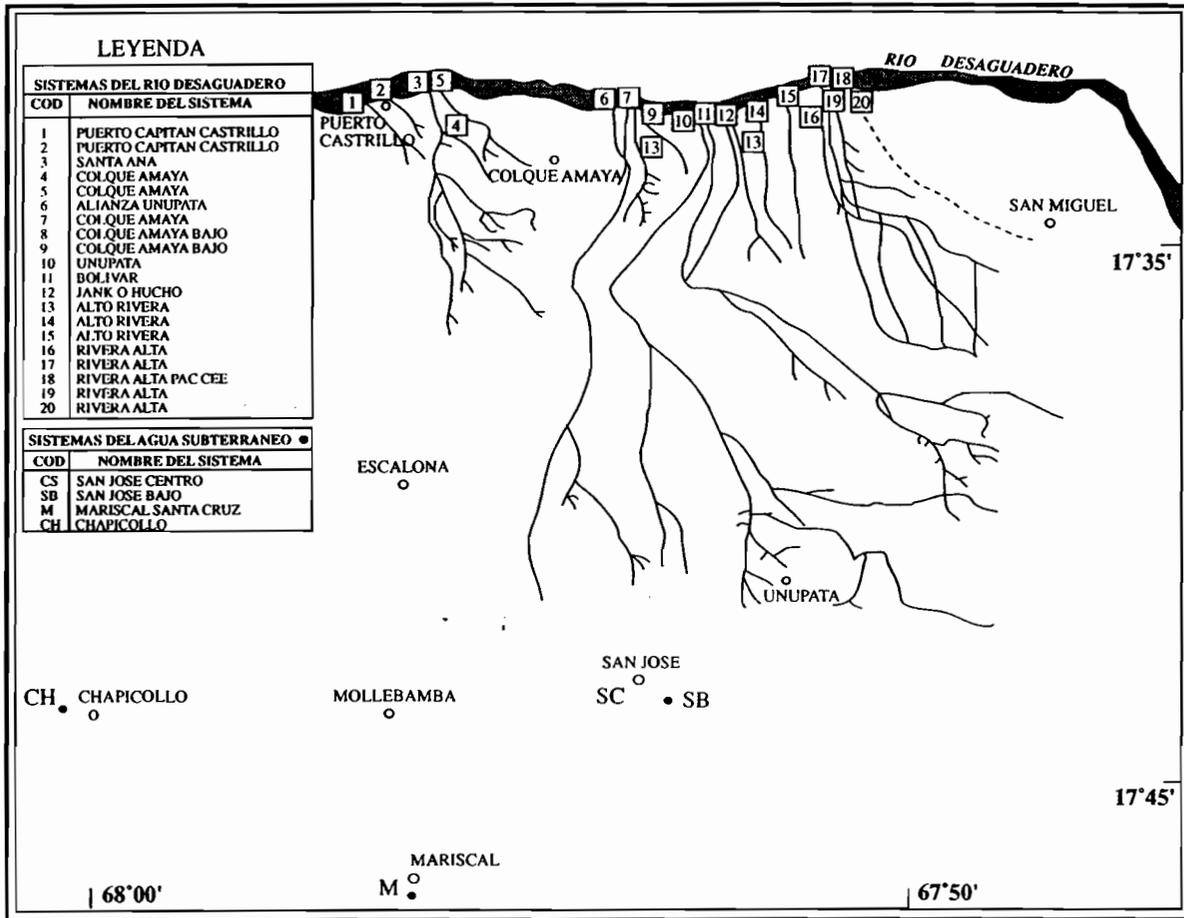


Figura 2: Mapa de ubicación de los canales de riego

Se definieron cuatro clases de suelos en base a sus propiedades químicas, teniendo en cuenta las variaciones en el pH, ECe y Porcentaje de sodio intercambiable (ESP): suelos no afectados, salinos, sódicos y salino-sódicos, los tres últimos con varios grados de salinidad/sodicidad. El valor umbral para ECe fue fijado en 4mS/cm, de acuerdo con el límite entre suelos salinos/no salinos determinado por la USDA; para el ESP, indicador de características sódicas/no sódicas, el valor umbral fue fijado en 15. Los resultados presentados en la Figura 3 ilustran la predominancia de suelos salino-sódicos y salinos en la llanura de inundación.

Cartografía de suelos salinos/sódicos mediante teledetección

La única imagen LANDSAT TM disponible en el banco de datos de ABTEMA fue del mes de noviembre 1986, correspondiendo al final de la estación seca, antes de la lisisolución de las eflorescencias salinas/sódicas por las lluvias.

La selección de las bandas fue basada en el análisis de datos espectrales de suelos salinos/sódicos de diversas partes del mundo (Csillag et al., 1993; Leeman et al.,

1972; Steiner y Gutermann, 1966), así como en los datos de reflectancia obtenidos durante la estación seca en los valles interandinos de Bolivia con un espectroradiómetro Licor 1800 a intervalos de 100 nm, entre 400 y 1100 nm (Moreau, 1989).

Debido a su reflectancia alta y uniforme que empieza a alcanzar su máximo alrededor de 800 nm, las sales solubles contenidas en los suelos salinos presentan curvas espectrales muy elevadas y planas. Este comportamiento se intensifica cuando las sales forman una corteza superficial.

Los suelos salino-sódicos con un alto porcentaje de sodio intercambiable (ESP) y caracterizados por la formación superficial de polígonos, presentan curvas espectrales más bajas que los suelos salinos. Con el incremento de los cationes de Na en el complejo de adsorción provocando un aumento en la frecuencia de polígonos, la superficie se vuelve menos reflectiva (Moreau, 1989).

En la parte infrarrojo medio del espectro electromagnético (TM7), la reflectancia de los suelos salino-sódicos disminuye debido al elevado contenido de humedad de esos suelos arcillosos (Csillag et al., 1993).

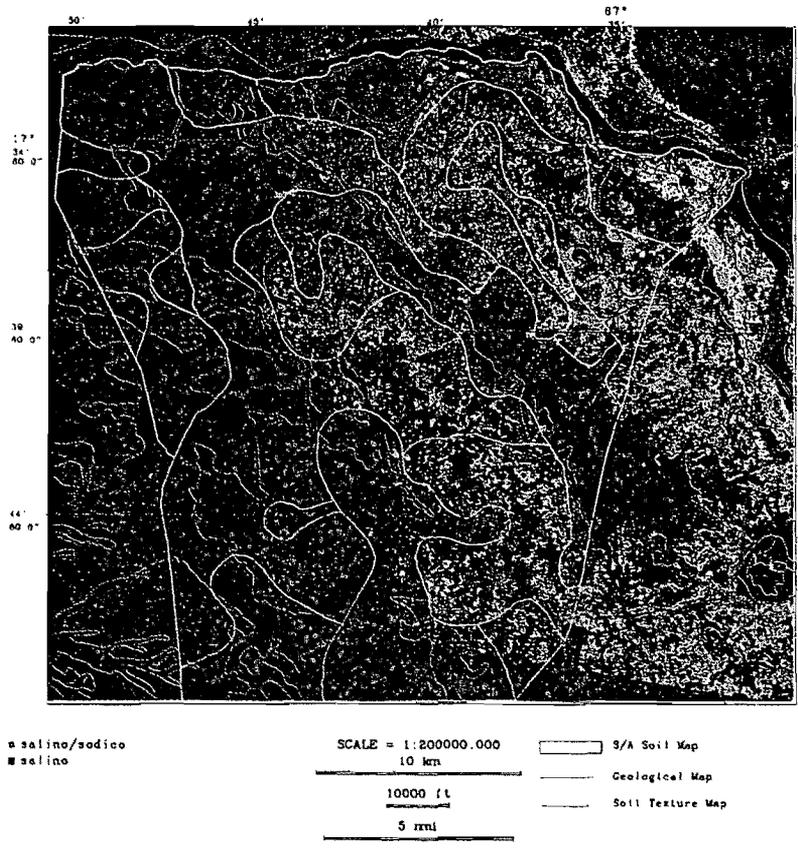


Figura 3: Mapa de distribución de las líneas salino/sódicas y salinas en la región de Papel Pampa

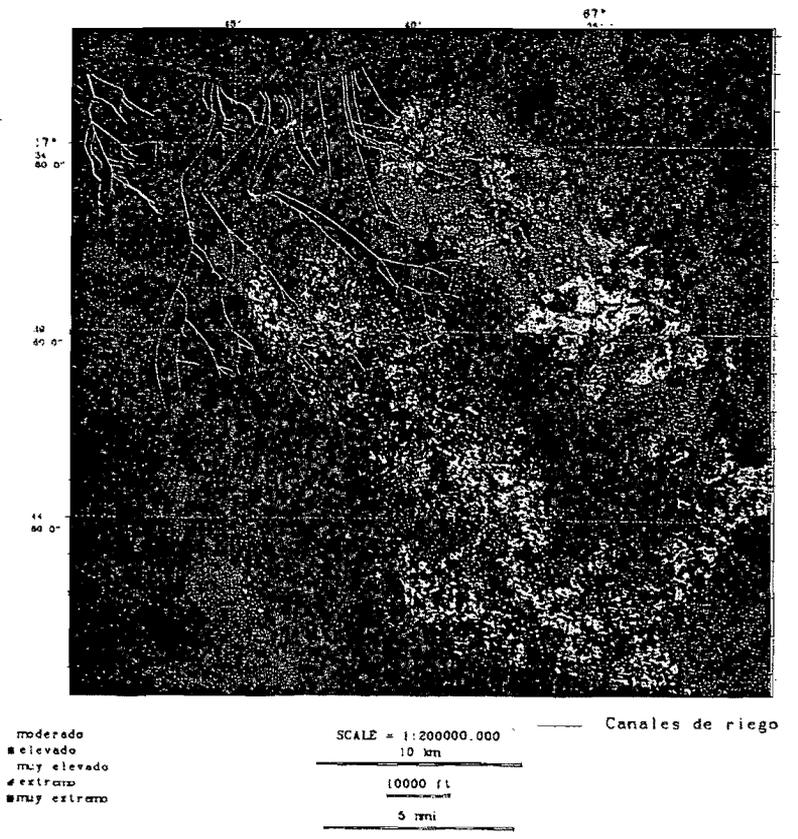


Figura 4: Mapa de riesgos de sodificación de suelos

El análisis digital fue basado en las tres bandas TM que tienen un impacto considerable sobre la discriminación de las clases de salinidad: TM4 en la cual los suelos salinos y salino-sódicos alcanzan su reflectancia máxima y presentan una diferencia significativa en su comportamiento, y TM5 y TM7 afectadas por el contenido de humedad.

Varias técnicas de análisis digital se aplicaron utilizando el programa AGIS (Advanced Geographic Information System). La que dió el mejor resultado fue una clasificación mixta agrupando, en base a los datos de campo, clases espectrales obtenidas mediante una clasificación no supervisada de datos extraídos a partir de la segmentación de los histogramas (extremidades crechas del histograma de la banda TM4 - i. e. zonas de alta radiancia - conteniendo la mayor parte de la información sobre los suelos salinos/sódicos caracterizados por números digitales elevados, mientras están representados por bajos números en la banda TM7). Este análisis permitió la discriminación entre los suelos salinos y salinos-sódicos (Figura 3), pero no permitió distinguir grados de salinidad/sodicidad.

Se consiguió 87% de correspondencia entre las áreas salinas/sódicas del mapeo de campo y las obtenidas mediante teledetección. Sin embargo, el tratamiento digital de los datos TM permitió conseguir una representación espacial más detallada de los suelos salinos/sódicos. Los errores de omisión se pueden atribuir por parte a la diferencia temporal entre el muestreo de terreno y la fecha de adquisición de los datos Landsat TM.

evaluación de los riesgos de sodificación

En base al mapa de canales de riego con información sobre el manejo y la calidad del agua de riego, al de los suelos salinos/sódicos elaborado con datos de campo al mapa obtenido mediante teledetección, así como a los mapas geológicos (Gumiel, 1988) y de textura de los suelos (MACA, 1976) existentes, se llevó a cabo la evaluación de los riesgos de sodificación de suelos, utilizando el módulo GIS del sistema AGIS para atribuir ponderaciones a sus distintas unidades. Se atribuyeron ponderaciones más altas a parámetros que pueden ocasionar una sodificación de suelos, como, en orden creciente: suelos salinos-sódicos de la clasificación obtenida mediante teledetección, suelos salinos-sódicos mapeados en base a trabajo de campo, texturas arcillosas (ya que los suelos con un alto contenido de arcilla son naturalmente más propensos a la sodificación) y depósitos cuaternarios lacustres.

El mapa resultante (Figura 4), que identifica las zonas de alto, moderado y bajo riesgos de sodificación de suelos, es utilizado por ONGs para optimizar la ubicación de futuros canales de riego y pozos, identificar canales existentes que requieren una nueva forma de manejo de sus aguas y un revestimiento apropiado, acompañado del drenaje adecuado de los terrenos que

riegan, los que no deben ser utilizados, y finalmente, para identificar las zonas no aptas para el cultivo de forrajes introducidos, en las cuales se pueden practicar cultivos alternativos de plantas forrajeras nativas tales como el Cauchi (*Suaeda foliosa*), planta halófila con alto contenido proteínico.

Conclusión

Por ser muy angostos, los canales de riego no pudieron ser extraídos de la imagen LANDSAT, y se utilizó un GPS para su cartografía. La clasificación digital mixta de las bandas TM 4, 5 y 7 permitió la discriminación entre suelos salinos y salinos-sódicos, pero no permitió distinguir grados de salinidad/sodicidad. Se consiguió una coincidencia de 87% entre los mapas de suelos salinos/sódicos obtenidos en base al trabajo de campo y a la teledetección, caracterizándose este último por una mayor precisión espacial. La integración en el SIG de este mapa, permitió optimizar la ubicación de áreas con riesgos de sodificación. La información así proporcionada resulta útil para identificar zonas aptas/no aptas para el riego con agua del Río Desaguadero y, para el cultivo de forrajeras introducidas, las que se podrían reemplazar por forrajeras nativas halófitas en áreas salinas-sódicas con riesgo de sodificación. También, se podrá utilizar esta información para optimizar la ubicación de futuros canales de riego y pozos.

Bibliografía

- BRESLERE, et al., USDA (1982). Saline and Sodic Soils - Principles - Dynamics - Modeling. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-N.Y.
- CSILLAG F. et al. (1993). Spectral Band Selection for the Characterization of Salinity Status of Soils. *Remote Sens. Environ.* 43:231-242.
- GUMIEL, D. (1988). Prospección hidrogeológica del área altiplánica del PMPR II. Internal Report, GEOBOL, La Paz, Bolivia.
- LEEMAN V. et al. (1972). The NASA Earth Resources Spectra; Information System: A data compilation. Report, U.S. NASA contract: WRL 31650-69-T, p. 114. MACA (1976). Estudio semidetallado de suelos y aptitud para el riego. Internal Report, MACA, La Paz, Bolivia.
- MOREAU S. (1989). The detection and delineation of saline? alkali soils in Cochabamba Department, Bolivia: A comparison of field survey methods with remote sensing using Landsat MSS data. M.Sc. thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- RHOADES J.D. et al. (1992). The Use of Saline Waters for Crop Production. FAO Irrigation & Drainage Paper No. 48, Roma, Italia.
- STEINER D. & GUTERMAN (1966). Russian Data on Spectral Reflectance of Vegetation, Soil and Rock Types. Final Technical Report. Univ. of Zurich, p. 103-212.