



## Relación de la conductividad eléctrica de los suelos con la reflectancia de imágenes de satélite en la Región de Lambayeque – Perú

Joel Rojas Acuña\*<sup>1</sup> y Eleazar Manuel Rufasto Campos<sup>†2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos Av. Venezuela s/n, Lima 1, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Av. Juan XXIII 391, Lambayeque, Perú

Recibido 15 octubre 2010 – Aceptado 28 marzo 2011

El objetivo del presente trabajo es estudiar la relación de la conductividad eléctrica del suelo *in-situ* (CEe) con la reflectancia obtenida de las imágenes de las bandas del sensor ETM del satélite Landsat-7 para tener un conocimiento de la distribución espacial de la salinidad en Lambayeque. El área de estudio fue el fundo Chacra Vieja, El Ciénago en el distrito de Lambayeque. La medición de campo de la CEe (dS/m) se realizó en los meses de octubre del 2007 y junio del 2008. Se utilizó los datos de la reflectancia espectral extraídos de dos imágenes de satélite, la primera correspondiente al 21 de febrero del 2007 y la segunda al 08 de febrero del 2008 procedentes del sensor Landsat7 ETM+. Las imágenes fueron procesadas con el Software ENVI 4.5, para determinar la CEe de las muestras de suelo se utilizó un conductímetro, marca JENWAY 4520 y para ubicar los puntos de muestreo dentro del área, se empleó un GPS, marca Garmin. Los coeficientes de correlación (R) entre la CEe *in-situ* y la reflectancia de las bandas variaron de 0.062 a 0.784. La reflectancia de la banda 4 muestra la correlación más baja. El mejor modelo de la correlación para ambas imágenes se da entre la reflectancia espectral de la banda 3 y la CEe.

**Palabras claves:** salinidad, imágenes de satélite, reflectancia.

### Relationship between soil electric conductivity and satellite reflectance images in the *Región de Lambayeque - Perú*

The main purpose of this work is to study the relationship between the soil electrical conductivity measured *in-situ* (CEe) and the satellite reflectance images of the Landsat-7 ETM sensor bands for an understanding of the spatial salinity distribution in Lambayeque. The study area was the Chacra Vieja, El Cienago fundo in the District of Lambayeque. Measurement field of CEe (dS/m) was held in the October 2007 and June 2008. The reflectance data was extracted from two satellite images taken in February 21, 2007 and February 08, 2008 from the sensor Landsat7 ETM +. Images were processed with ENVI 4.5 software and to determine the CEe of the soil samples, we used a conductivity meter, mark JENWAY 4520 and to locate the area sampling points, a GPS, Garmin was employed. The correlation coefficients (R) between the CEe *in-situ* and the reflectance varied from 0.062 to 0.784. The reflectance of 4 band displays the lower correlation. The best correlation model for both images occurs between the spectral reflectance of the 3 band and the CEe.

**Keywords:** salinity, satellite images, reflectance.

**Nota de los editores.** Este es un artículo que ha sido publicado en algunos sitios de internet. Hemos aceptado este artículo en vista del interés del tema y por que se requiere de una referenciación al artículo de manera permanente.

En el Perú, las áreas de producción agrícola que presentan mayores problemas de salinidad se localizan principalmente en la costa norte, en especial, la Región de Lambayeque. La salinidad en esta región se considera un problema serio, debido a que aproximadamente

\*jrojasa@unmsm.edu.pe  
†erufasto@unprg.edu.pe

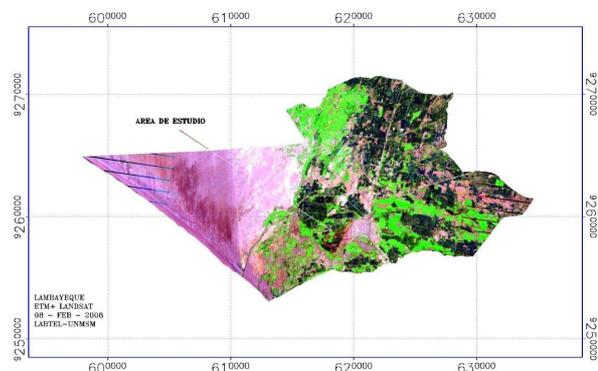
el 50 % del área total cultivada se encuentra afectada por sales en diferente grado [1]. Esta situación origina bajos rendimientos en la inversión agrícola, la pérdida de ingresos, el desempleo, para mencionar algunas entre otras consecuencias. Debido a la dinámica del proceso de salinización de los suelos, se requiere de métodos de medición que proporcionen resultados a corto plazo y a bajo costo, sobre las áreas afectadas y que ayuden a dar seguimiento a las medidas aplicadas para su rehabilitación. Tradicionalmente, los estudios de la salinidad de los suelos se obtienen tomando muestras de suelo en puntos ubicados en una cuadrícula de uno o dos kilómetros, lo cual representa largos periodos de tiempo y altos costos financieros. Asimismo, se necesitan de procedimientos laboriosos y engorrosos en los laboratorios para estimar la CEE, a fin de establecer las áreas que se encuentran con mayor o menor grado de afectación por las sales. En el año 2003, se exploró la capacidad de las bandas de las imágenes ASTER para el mapeo de la salinidad, de acuerdo con la relación temporal entre la sal del suelo antes de la siembra y durante el crecimiento del cultivo, también se estimó la salinidad a través de la evapotranspiración, usando el algoritmo para el balance de la energía superficial de las tierras (SEBAL)[2]. En 1997, en un estudio de la estimación de la salinidad y las pérdidas de rendimiento de las cosechas en el Valle El Carrizo y el Río Yaqui, utilizando imágenes Landsat y el sensor EM38, se obtuvieron entre otros, que la correlación entre el NDVI (índice de Vegetación Diferenciada Normalizada) y la CEE, fue  $r = 0.72$  y  $r = 0.83$  para el trigo;  $r = 0.64$  para el algodón, y  $r = 0.66$  para la soya [3]. En un estudio realizado en 1996, utilizando muestras de caña de azúcar, las observaciones espectrales del SPOT HRV (*High Resolution Video*) y la clasificación no supervisada de imágenes, ilustra cómo se puede cuantificar y mapear las variaciones en la conductividad eléctrica aparente de la zona radicular y la producción de la caña de azúcar[4]. En estudios realizados en el año 1996 en Texas y California, se utilizaron parcelas de observación de 36 y 59 ha. cultivadas de algodón y caña de azúcar, en las que obtuvieron datos de salinidad y parámetros fisiológicos en sitios de muestreo, para calibrar imágenes de satélite SPOT-1 HRV, imágenes videográficas y fotografía aérea infrarroja [5]. En 1994, se monitoreo los cambios en la recuperación y la extensión de los suelos afectados por la salinidad en el norte de la India, se usó mapas preparados por el método de campo en 1956, que mostraban grandes bloques de suelos de más de 80 ha, afectadas por la salinidad, los que se compararon con mapas elaborados a partir de fotografías aéreas a escala 1:40000 de 1972 e imágenes Landsat a escala 1:50000 de 1986 que en conjunto permitían una precisión de un tamaño de 2 ha. Se constató que la recuperación de suelos salinizados en el periodo 1956-1986 fue de un 22 %, mientras que la ex-

tensión de la salinidad en la periferia de los bloques fue de 3 % [6]. En 1992, identificaron que la mejor combinación de tres bandas entre las 20 del Landsat Thematic Mapper (TM) para delimitar los suelos afectados por la salinidad en la planicie aluvial Indo-Gangetic fueron las bandas 1, 3 y 5 las que presentaron la mejor combinación [7]. En 1992, prepararon mapas de las áreas costeras del estado de Gujartat, India, que proveen información sobre la extensión e intensidad de las tierras afectadas por la salinidad, usando imágenes MSS Landsat-2, 1972 (multiespectral scanner) de 80 m de resolución espacial e imágenes TM Landsat-5, 1986. La salinidad detectada varió entre 0.24 y 12.18 mmhos/cm [8].

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la relación entre la conductividad eléctrica de los suelos con la reflectancia de las imágenes Landsat para determinar la salinidad del suelo.

### Área de estudio

El área de estudio pertenece a los fundos Chacra Vieja, El Ciénago, de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque con coordenadas geográficas de  $6^{\circ}42'80''S$  y  $79^{\circ}54'56.77''W$ . La ubicación de los Fundos Chacra Vieja, El Ciénago se muestra en la figura 1.



**Figura 1:** Ubicación de los puntos de muestreo en el área de estudio Fundo Chacra Vieja, El Ciénago, Lambayeque. Imagen Landsat-7 (RGB:742).

### Muestreo

Para la toma de muestras de suelo, se procedió a ubicar los puntos de muestreo dentro de la zona de estudio los que fueron debidamente georeferenciados con la ayuda de un GPS Garmin III Plus. Durante los años 2007 y 2008 en total se tomaron 83 puntos de muestreo de los cuales se procedió a extraer las muestras de suelo de 0.0-0.30 m de profundidad, con un peso aproximadamente de 1 kg por muestra. Para determinar la con-

ductividad eléctrica se tomó el extracto en un vaso de precipitación y se llevó al conductivímetro, JENWAY 4520, para medir la conductividad eléctrica del extracto en decisiemens por metro (CEe dS/m). Este mismo procedimiento se realizó para cada una de las muestras.

Para los datos de satélite se usaron dos imágenes del sensor ETM+ del satélite Landsat (marco 10-65), la primera con fecha del 21 de febrero del 2007 y tiempo (TU) de barrido del centro de la escena 15:18:45.4 (TL:10h

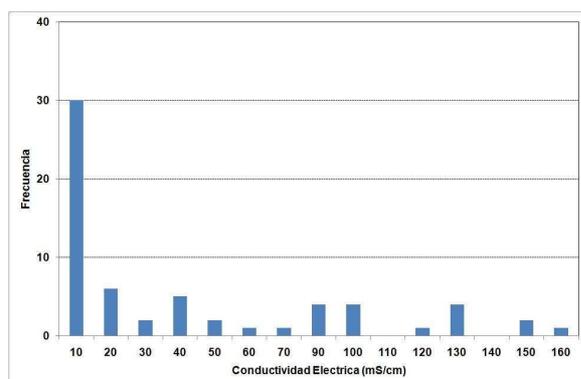
18min y 45.4s) y de 8141 pixeles por 7121 líneas para las bandas 1,2,3,4,5 y 7; un ángulo de elevación de  $56.3787350^\circ$  y un ángulo acimut de  $98.1427659^\circ$ , y la segunda imagen del 08 de febrero del 2008 y tiempo (TU) de barrido del centro de la escena 15:18:36.0980962Z (TL:10h 18min y 36.1s) de 8261 pixeles por 7011 líneas de las bandas 1,2,3,4,5 y 7; un ángulo de elevación de  $55.7208938^\circ$  y un ángulo acimut de  $106.1541014^\circ$ . Ambas cortesía de la U.S. Geological Survey.

Ítems	Numero de Datos	Fecha	Media	Desviación Estándar	Varianza Muestra	Mínimo	Máximo
Área 1	63	13/10/07	37.304	46.366	2149.786	0.1000	156.3
Área 2	20	07/06/08	19.279	37.946	1439.886	0.0074	136.0

**Tabla 1:** Resumen estadístico de los datos de conductividad eléctrica (dS/m)

Nº	Correlación	Mod. Regresión	R	SIG
1	CE vs. $R^{ETM1}$	$Y = 1594 x - 52.726$	0.736	Alt. Sig.
2	CE vs. $R^{ETM2}$	$Y = 1285 x - 79.733$	0.746	Alt. Sig.
3	CE vs. $R^{ETM3}$	$Y = 962.966 x - 58.941$	0.784	Alt. Sig.
4	CE vs. $R^{ETM4}$	$Y = -46.902 x + 44.566$	0.062	No Sig.
5	CE vs. $R^{ETM5}$	$Y = 528.073 x - 73.287$	0.617	Alt. Sig.
6	CE vs. $R^{ETM7}$	$Y = 494.761 x - 37.977$	0.622	Alt. Sig.

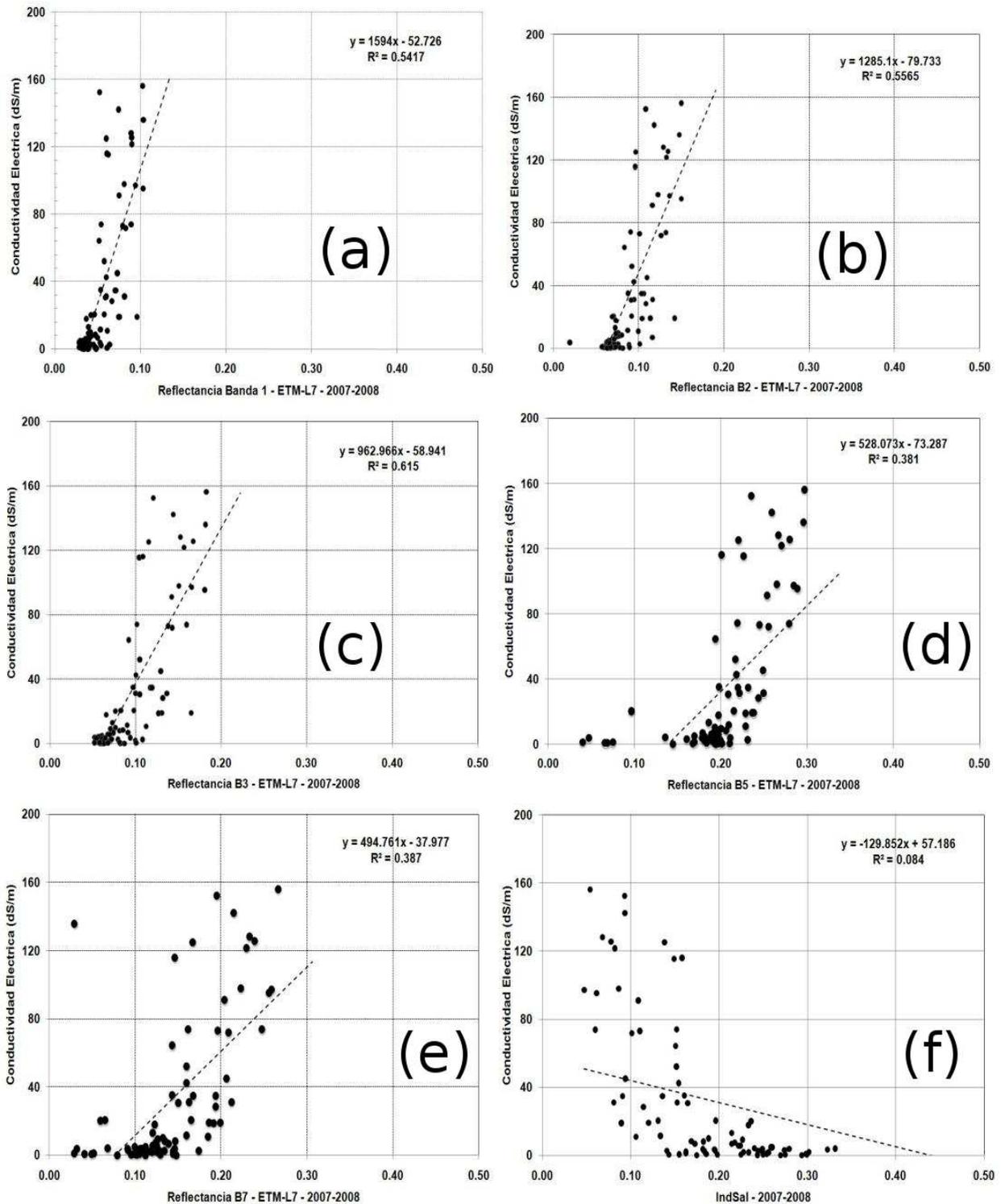
**Tabla 2:** Resultados de la regresión lineal entre la reflectancia de las bandas 1, 2, 3, 4, 5, y 6 del sensor ETM+ del satélite Landsat-7 en relación a los 83 datos de CEe del suelo medido *in-situ*, R indica el grado o nivel de correlación y SIG, la significancia, donde Alt. Sig equivale a altamente significativo, No Sig a no significativo y Baja Sig a baja significancia.



**Figura 2:** Distribución de la frecuencia de los valores de la conductividad eléctrica en el área de estudio.

## Resultados y Discusiones

Un resumen estadístico de los datos de CEe medidos *in-situ* se presentan en la tabla 1 y en el histograma de la figura 2. Las correlaciones de la reflectancia de las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 del sensor ETM transportado por el satélite Landsat-7 y los valores de la conductividad eléctrica del suelo, CEe (dS/m), generaron los modelos para estimar la salinidad de los suelos. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos por la regresión lineal, la línea de ajuste y los coeficientes de correlación (R) variaron de 0.062 a 0.784. La reflectancia de la banda 3 muestra la correlación más alta. La Fig. 3 muestra los gráficos de dispersión entre la reflectancia de las bandas ETM Landsat-7 y la conductividad eléctrica del suelo para los Fundos Chacra Vieja, El Ciénago.



**Figura 3:** Gráficos de la dispersión entre la reflectancia de las banda 1 a 7 del sensor ETM del satélite Landsat 7 y la conductividad eléctrica del suelo para los fundos Chacra Vieja y El Ciénago para el año 2007.

## Conclusiones

Hemos desarrollado una metodología que nos permitió estimar la salinidad del suelo haciendo uso de la reflectancia de las bandas 1 a 7 del sensor ETM+ transportado por el satélite Landsat-7. Estas reflectancias se correlacionaron bien con los datos de la conductividad eléctrica medidas *in-situ*, siendo la banda 3, la de mayor

correlación con la CEe.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a INCAGRO, a la UNPRG y a la UNMSM, y a muchos otros colegas que han apoyado este trabajo.

---

## Referencias

- [1] Ministerio de Agricultura, Oficina de Información Agraria, (2008).
- [2] Iqbal Muhammad, *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press, New York (1983).
- [3] F. Al-Khaier, F. (2003).: *Soil Salinity Detection Using Satellite Remote sensing*, Thesis of M.Sc. in Geo-Information Science and Earth Observation, Watershed Management, Conservation and River Basin Planning specialization, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, (2003).
- [4] L. Pulido, *et al*, Aplicación de imágenes de satélite para identificar la salinidad del suelo y las áreas con mal drenaje, VII Congreso Nacional de Irrigación, pp. 10-14, Hermosillo, Sonora, México, 22-24 octubre (1997).
- [5] C. L. Wiegand, *et al.*, *Photographic and Videographic Observations for Determining and Mapping the Response of Cotton to Soil salinity*, Remote Sense. Environ. **49**, 212 (1996).
- [6] C. Wiegand, *et al*, *Soil Salinity Effects on Crop Growth and Yield-Illustration of analysis and Mapping Methodology for Sugarcane*, J. Plant Physiol **148**, 418 (1996).
- [7] A. Singh, *Monitoring change in the extent of salt-affected soils in northern India*, Int. J. Remote Sensing, **15**(16) 3173 (1994).
- [8] R. Dwivwdi, *The selection of the best possible Landsat TM band combination for delineating salt-affected soils*, Int. J. Remote Sensing **13**(11), 2051 (1992).