

# Utilidad del NDVI para la discriminación de fases salinas en parcelas con cebada

M A. Casterad<sup>1</sup>, C. Portero<sup>1</sup>, Y. Berkane<sup>1</sup>, I. Barinagarrementeria<sup>2</sup>, V. Urdánoz<sup>2</sup>, L. Albizua<sup>2</sup> y E. Amezketa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Suelos y Riegos (asociada a EEAD-CSIC). Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Avda. Montañana, 930. 50059 Zaragoza (España). [acasterad@aragon.es](mailto:acasterad@aragon.es)

<sup>2</sup> TRACASA. C/ Cabárceno, 6. 31621 Sarriguren (Navarra, España), [amezketa@tracasa.es](mailto:amezketa@tracasa.es)

## RESUMEN

En los suelos de la cuenca media del Ebro con problemas de salinidad edáfica predominan los cereales de invierno, principalmente la cebada, cultivo tolerante a sequía y salinidad. En este trabajo se estudia la utilidad del NDVI derivado de imágenes Landsat para discriminar fases salinas del suelo en parcelas de cebada, como posible herramienta para identificación y vigilancia de la salinidad edáfica. En nueve parcelas de cebada de Huesca y Navarra con diferente grado de afección por salinidad edáfica, se analiza la evolución del NDVI medio ( $\overline{\text{NDVI}}$ ) a lo largo del ciclo de cultivo y el  $\overline{\text{NDVI}}$  en cuatro categorías salinas: superficies no salinas (conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada,  $\text{CEe} < 4 \text{ dS m}^{-1}$ ), ligeramente salinas ( $4 \text{ dS m}^{-1} \leq \text{CEe} \leq 8 \text{ dS m}^{-1}$ ), moderadamente salinas ( $8 \text{ dS m}^{-1} < \text{CEe} < 16 \text{ dS m}^{-1}$ ) y fuertemente salinas ( $\text{CEe} \geq 16 \text{ dS m}^{-1}$ ). Las mayores diferencias entre el NDVI de parcelas salinas y no salinas se detectan principalmente en abril. Se corrobora que el NDVI disminuye conforme aumenta la salinidad edáfica. Prácticamente no hay diferencias significativas entre el  $\overline{\text{NDVI}}$  de superficies no salinas y ligeramente salinas; se detecta una cierta disminución, más o menos acusada según parcelas, en el NDVI en superficies moderadamente salinas, y una disminución relevante y significativa en superficies fuertemente salinas.

**Palabras clave:** salinidad, fases salinas, cebada, Landsat, NDVI

## ABSTRACT

*In the central basin of the Ebro River salt-affected soils are predominantly occupied with winter cereals, mainly barley, which is a crop tolerant to drought and salinity. This work studies the utility of NDVI derived from Landsat images for discriminating soil salinity phases in barley fields, as a possible tool for identification and surveillance of soil salinity. The evolution of mean NDVI ( $\overline{\text{NDVI}}$ ) along the growing season and the  $\overline{\text{NDVI}}$  in four soil salinity classes (non-saline, electrical conductivity of the soil saturation extract,  $\text{ECe} < 4 \text{ dS m}^{-1}$ ; slightly saline,  $4 \text{ dS m}^{-1} \leq \text{ECe} \leq 8 \text{ dS m}^{-1}$ ; moderately saline,  $8 \text{ dS m}^{-1} < \text{ECe} < 16 \text{ dS m}^{-1}$ ; and strongly saline,  $\text{ECe} \geq 16 \text{ dS m}^{-1}$ ) were analyzed in nine barley fields with different degree of soil salinity, located in Huesca and Navarra. The highest differences between  $\overline{\text{NDVI}}$  of saline and non-saline fields are detected in April. It is corroborated that  $\overline{\text{NDVI}}$  decreases as soil salinity increases. Practically, there are not significant differences between  $\overline{\text{NDVI}}$  of non saline and slightly saline areas; a certain decrease, more or less marked depending on parcels, is detected on  $\overline{\text{NDVI}}$  for moderately saline areas, and a relevant and significant decrease on  $\overline{\text{NDVI}}$  for strongly saline areas.*

**Keywords:** soil salinity, salinity phases, barley, Landsat, NDVI

## INTRODUCCIÓN

La cebada es el cultivo más tolerante a salinidad (Ayers y Westcot, 1985), por ello, es uno de los cultivos predominantes en las áreas salinas del centro del valle del Ebro ya que es una buena alternativa para rentabilizar los suelos salinos. La detección y vigilancia de la salinidad edáfica, una de las principales amenazas en la

“Estrategia Temática para la Protección del Suelo” de la Unión Europea, requiere el desarrollo de metodologías operativas, sencillas y que suministren información actualizable de forma ágil.

Los índices espectrales son una de las herramientas de la teledetección que más se han explorado y utilizado para la detección de la

salinidad, siendo el NDVI el más aplicado en zonas de cultivo (Eldeiry y García, 2008). En parcelas de cebada del centro del valle del Ebro (España) Amezketa *et al.* (2011) han encontrado correlaciones significativas entre la salinidad (CEe) y algunos índices espectrales obtenidos a partir de imágenes Landsat, señalando al NDVI como índice apropiado para caracterizar la salinidad edáfica en parcelas con este cultivo.

En este trabajo se estudia la utilidad del NDVI derivado de imágenes Landsat para discriminar fases salinas del suelo en zonas del centro del valle del Ebro cultivadas con cebada.

## METODOLOGÍA

Como área de estudio se han elegido nueve parcelas de cebada (Tabla 1) con tamaños entre 1,7 ha y 41,2 ha una vez descontados los píxeles de borde. Cinco parcelas están localizadas en secanos de Navarra (SEC-1 a 5) y cuatro en regadíos de Huesca (REG-1 a 4).

Para cada parcela se ha elaborado un mapa de salinidad en 2009 a partir de lecturas de un sensor electromagnético georreferenciado (Amezketa *et al.*, 2011) expresándolo en las siguientes fases salinas establecidas según la conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada (CEe) a 25°C: superficies *no salinas* (NS,  $CEe < 4 \text{ dS m}^{-1}$ ), *ligeramente salinas* (LS,  $4 \text{ dS m}^{-1} \leq CEe \leq 8 \text{ dS m}^{-1}$ ), *moderadamente salinas* (MS,  $8 \text{ dS m}^{-1} < CEe < 16 \text{ dS m}^{-1}$ ) y *fuertemente salinas* (FS,  $CEe \geq 16 \text{ dS m}^{-1}$ ). En la Tabla 1 se indica para cada parcela la superficie en las distintas fases salinas que presenta.

Se han obtenido los NDVI correspondientes al periodo enero-julio de 2009. Para ello se han utilizado imágenes Landsat TM y ETM+ correspondientes a las escenas 200/30 y 200/31 para Navarra y 199/031 para Huesca que previamente se habían corregido geométrica y radiométricamente y remuestreado a un tamaño de píxel de  $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ . En Navarra la nubosidad de la Landsat ETM+ de abril no permitió obtener el NDVI de la parcela SEC-5.

Finalmente, se ha cruzado el mapa de salinidad en formato ráster con los NDVI derivados de cada imagen y se ha generado una base de datos en la que para cada píxel se tiene: parcela a la que

pertenece, fase salina y NDVI de cada fecha. A partir de estos datos se ha calculado por parcela y fase salina, el NDVI medio ( $\overline{NDVI}$ ) y la desviación típica.

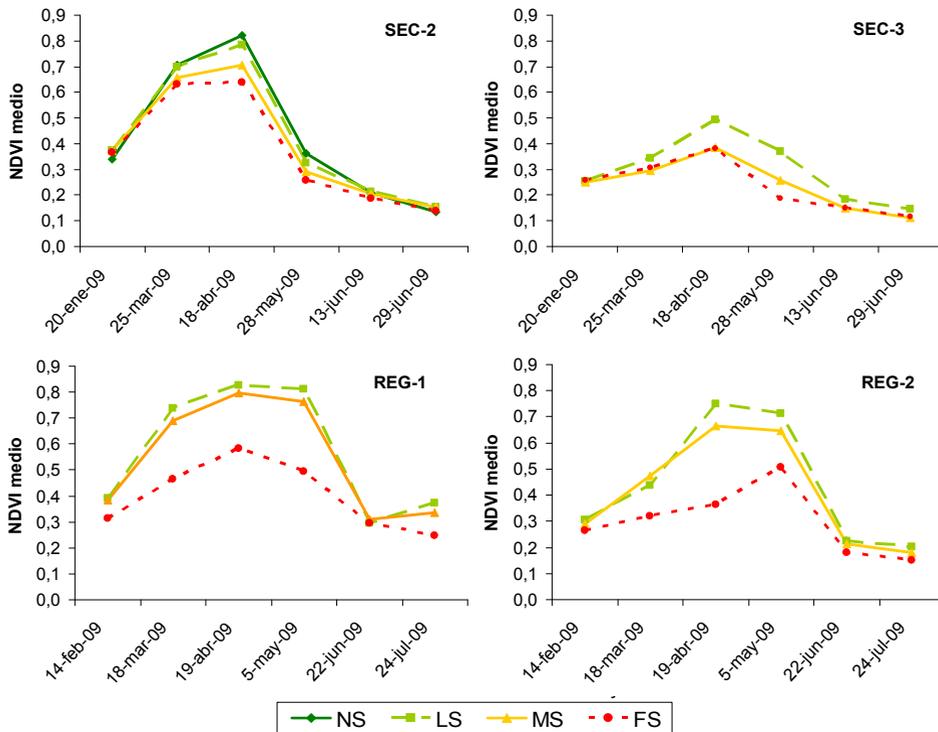
Parcela	Nº de píxeles de 25m x 25m en cada fase salina				Total
	NS	LS	MS	FS	
SEC-1	38	21			59
SEC-2	2	147	163	25	337
SEC-3		9	10	8	27
SEC-4	61	7			68
SEC-5	47				47
Secano	148	184	173	33	538
REG-1	1	361	239	51	652
REG-2		6	49	4	59
REG-3	47	122	4		173
REG-4	233	2	0	0	235
Regadío	281	491	292	55	1119
<b>Total</b>	<b>429</b>	<b>675</b>	<b>465</b>	<b>88</b>	<b>1657</b>

**Tabla 1:** Superficies no salina (NS), ligeramente salina (LS), moderadamente salina (MS) y fuertemente salina (FS) en las parcelas de estudio y en el conjunto de parcelas de secano y de regadío.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la parcela de estudio con superficies *no salinas* y *ligeramente salinas* las curvas de evolución del  $\overline{NDVI}$  son muy similares y generalmente presentan los mayores  $\overline{NDVI}$ . Por el contrario, las superficies *fuertemente salinas* presentan siempre los menores  $\overline{NDVI}$  y unas curvas de evolución de  $\overline{NDVI}$  algo diferentes al resto. Los valores de  $\overline{NDVI}$  de las superficies *moderadamente salinas* tienden, en las parcelas de regadío, a estar más próximos a los de las superficies *no salinas* y *ligeramente salinas* que a los de las *fuertemente salinas*. Debe tenerse en cuenta que el rendimiento de la cebada comienza a verse afectado a partir de una CEe de  $8 \text{ dS m}^{-1}$ , descendiendo su producción un 10%, 25% y 50% para valores de CEe superiores a 10, 13 y  $18 \text{ dS m}^{-1}$  respectivamente (Ayers y Westcot, 1985).

En la Figura 1 se muestra como ejemplo algunas curvas de evolución de  $\overline{NDVI}$  a lo largo del desarrollo del cultivo.



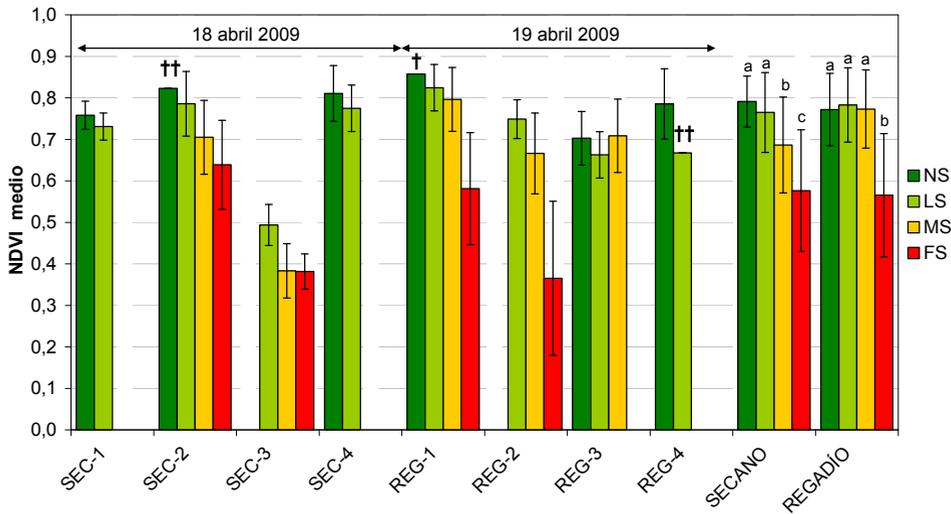
**Figura 1:** Evolución del NDVI medio en las fases salinas del suelo en algunas de las parcelas de cebada estudiadas. NS-no salina ( $CEe < 4 \text{ dS/m}$ ), LS-ligeramente salina ( $4 \text{ dS m}^{-1} \leq CEe \leq 8 \text{ dS m}^{-1}$ ); MS- moderadamente salina ( $8 \text{ dS m}^{-1} < CEe < 16 \text{ dS m}^{-1}$ ) y FS-fuertemente salina ( $CEe \geq 16 \text{ dS m}^{-1}$ ).

Estas curvas de evolución del  $\overline{NDVI}$  (Figura 1) muestran así mismo que de mediados de marzo a finales de mayo las diferencias de desarrollo de la cebada entre las distintas fases salinas se hacen más notables.

Es sobre todo en este periodo donde se observa claramente que existe relación entre NDVI y grado de afectación por salinidad, de forma que el  $\overline{NDVI}$  disminuye conforme aumenta la salinidad (Figura 2). Así en abril, fecha que se considera más adecuada para la detección y seguimiento con imágenes de satélite de la salinidad edáfica en el centro del valle del Ebro, el  $\overline{NDVI}$  de las parcelas de estudio oscila entre 0,70 y 0,82 para las superficies *no salinas* (sin considerar el único píxel de la parcela REG-1, cuyo valor es 0,86); entre 0,66 y 0,82 para las *ligeramente salinas*; entre 0,67 y 0,80 para las *moderadamente salinas*; y entre 0,37 y 0,64 para las fuertemente salinas. Únicamente la parcela SEC-3 presenta en superficies *ligeramente* y *moderadamente salinas* valores más bajos de los indicados (0,5 y 0,4 respectivamente).

El valor inferior de los rangos de  $\overline{NDVI}$  indicados para cada superficie salina tiende a disminuir conforme aumenta la salinidad. La disminución del  $\overline{NDVI}$  es particularmente relevante en las superficies *fuertemente salinas*, donde los  $\overline{NDVI}$  son, en general, inferiores a 0,58, excepto para la parcela SEC-2 con valor de 0,64 (Figura 2). Las desviaciones típicas son muy variables tendiendo a aumentar conforme aumenta la salinidad (Figura 2).

El mismo estudio realizado para las parcelas agrupadas en regadío y en secano corrobora los resultados anteriores. Una comparación de los  $\overline{NDVI}$  de abril mediante test de Tukey muestra que en el regadío los  $\overline{NDVI}$  de las superficies *no salinas*, *ligeramente salinas* y *moderadamente salinas* no difieren significativamente ( $P > 0,05$ ) mientras que en secano, el  $\overline{NDVI}$  de las superficies *moderadamente salinas* es significativamente menor ( $P < 0,05$ ) que en las *no salinas* y *ligeramente salinas* (Figura 2). Tanto en secano como en regadío el  $\overline{NDVI}$  de las superficies *fuertemente salinas* es significativamente inferior al de las fases salinas restantes.



**Figura 2:** Distribución del NDVI medio de abril y su desviación típica para cada fase salina en las parcelas de cebada estudiadas y en el seco y regadío. NDVI medios con letras diferentes dentro de los grupos seco y regadío son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ). NS-superficie no salina ( $C_{Ee} < 4 \text{ dS/m}$ ), LS-ligeramente salina ( $4 \text{ dS m}^{-1} \leq C_{Ee} \leq 8 \text{ dS m}^{-1}$ ); MS-moderadamente salina ( $8 \text{ dS m}^{-1} < C_{Ee} < 16 \text{ dS m}^{-1}$ ) y FS-fuertemente salina ( $C_{Ee} \geq 16 \text{ dS m}^{-1}$ ). † fase salina con 1 píxel, †† fase salina con 2 píxeles.

## CONCLUSIONES

En parcelas de cebada del centro del valle del Ebro, el NDVI medio de las superficies fuertemente salinas es significativamente inferior al del resto de clases salinas. Prácticamente no hay diferencias significativas entre el NDVI medio de superficies no salinas y ligeramente salinas, y se detecta una cierta disminución, más o menos acusada según parcelas, en el NDVI medio de superficies moderadamente salinas.

Son necesarios estudios complementarios con mayor número de parcelas y superficies de cada fase salina para poder determinar si el NDVI permite discriminar las zonas moderadamente salinas.

## BIBLIOGRAFÍA

AMEZKETA, E., URDANOZ, V., BARINAGARREMENTERIA, I., ALBIZUA, L., BERKANE, Y., PORTERO, C., y CASTERAD, M.A., 2011. *Validación de índices espectrales para detectar salinidad edáfica en cebada mediante sensores electromagnéticos terrestres*. XIV Congreso Nacional de la Asociación Española de Teledetección (AET). Mieres del Camino

(Asturias), 21-23 de septiembre de 2011. 4pp.

AYERS, R.S. y WESTCOT, D.W., 1985. *Water quality for agriculture*. Irrigation and Drainage. Paper nº 29. FAO. Rome, 97 pp.

ELDEIRY, A. y GARCÍA, L., 2008. *Spatial modelling of soil salinity using remote sensing, GIS, and field data*. VDM Verlag Dr. Müller, 97 pp.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el INIA a través del proyecto RTA08-083-C02-00; por el DDRyMA (Gobierno de Navarra); y por el MICIIN y el Fondo Social Europeo (Programa Torres Quevedo, PTQ-08-03-07315).