

Relaciones entre la reflectividad del cultivo del arroz y las propiedades del suelo en el Parque Natural de la Albufera de Valencia

R. Boluda', V. Andreu', M.A. Gilabert', P. Sobrino', J. Sánchez'

(1) Dpt. Biologia Vegetal. Facultat de Farmàcia

(2) Dpt. Termodinàmica. Facultat de Físiques

Universitat de València

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es el estudio de las relaciones existentes entre la respuesta espectral del cultivo del arroz y las propiedades del suelo en el Parque Natural de la Albufera de Valencia. La respuesta espectral del cultivo fue obtenida a partir de los datos proporcionados por el sensor Thematic Mapper del satélite Landsat-5, para las bandas rojo e infrarrojo próximo en función del índice de vegetación normalizado (NDVI) y convertidos, posteriormente, en valores de reflectividad. Las muestras de suelo se obtuvieron de los 20 cm superficiales del perfil, siendo determinados en el laboratorio los parámetros edáficos primarios así como metales pesados de interés edáfico, nutricional y/o tóxico.

Las relaciones más significativas obtenidas entre los valores de reflectividad del NDVI del cultivo y las propiedades del suelo son: Na del complejo de cambio, conductividad eléctrica, P asimilable, fracción biodisponible de Cd, Cu, Ni, Pb, Zn y contenido total de Pb, Cu y Zn.

ABSTRACT

The aim of the research was to relate the spectral response of rice to soil properties in soil in Albufera Natural Park (Valencia-Spain). The spectral observations were values of the crop reflectance obtained from Landsat-5 Thematic Mapper NIR and Red bands expressed by the normalized difference vegetation index, NDVI. Soil samples of the surface 20 cm soil were analyzed for soil properties and total and extractable heavy metal content. The strongest correlations between NDVI and salinity parameters and heavy metals in soil were found between the exchangeable Na, electric conductivity, available P, available fraction of Cd, Pb, Cu, Zn, Ni and total content of Pb, Cu and Zn.

Introducción

La Teledetección es una técnica que se utiliza actualmente en todos los campos del medio ambiente. Esta técnica permite, entre otros, el estudio de la vegetación y de los suelos. La observación de la superficie terrestre mediante sensores remotos instalados en los satélites LANDSAT con objeto de estudiar sus recursos naturales, pone al alcance de los investigadores imágenes multiespectrales en papel y cintas magnéticas compatibles con ordenador que, tratadas en un sistema interactivo, se pueden visualizar y fotointerpretar directamente en un monitor de televisión (Labrandero, 1980).

La vegetación absorbe en la banda roja y azul del espectro visible, cuya energía es fijada en el proceso de fotosíntesis. La luz verde es reflejada con una ligera mayor intensidad, siendo el ojo humano especialmente sensible a la radiación procedente de la banda verde del espectro. La alta reflectividad de la vegetación sana en la banda 0,7-1,35 micrómetros se debe a las reflexiones internas entre las paredes de las células hidratadas y los espacios de aire intercelulares del mesófilo de las hojas (Villar et al., 1985).

Cuando las plantas están expuestas a condiciones desfavorables provenientes del suelo muestran respuestas anormales en las propiedades de elasticidad de la pared celular. El interés de esto es debido a que la pared celular está en la base de los mecanismos de crecimiento por extensión o elongación de la célula vegetal y de la regulación de las propiedades osmóticas y del potencial de turgencia de la misma. Este hecho, junto con una regulación diferencial del grado de abertura de los estomas, explica el comportamiento distinto de una misma planta, según se halle sometida o no a un estrés vegetal inducido por propiedades desfavorables del suelo como pueden ser un exceso de salinidad o de metales potencialmente tóxicos (Villar et al., 1985; Barceló, J y Poschenrieder, CH., 1989). La resistencia al estrés hídrico será mayor en el caso del cultivo no expuesto. La variación en la coloración verde de la hoja no podrá apreciarse a simple vista hasta algunas semanas después, momento en que el estrés hídrico puede haber provocado ya consecuencias para la cosecha (Barceló, J. y Poschenrieder, CH., 1989).

Los suelos afectados por problemas de contaminación y/o salinización presentan en muchas ocasiones horizontes superficiales con condiciones desfavorables para el desarrollo normal de la vegetación; este fenómeno afecta a la zona de enraizamiento del vegetal produciendo intensos cambios metabólicos y de regulación en la raíz, y causando, finalmente, un proceso de estímulo de la senescencia que puede ocasionar la muerte del vegetal o bien, frenar su desarrollo normal.

La concentración en el suelo de un elemento puede no ser detectable a simple vista, aunque en el caso del suelo de cultivo puede ser que el problema sea debido a la influencia que un conjunto de elementos o propiedades ejerzan sobre los cultivos. En

estos casos la vegetación tendrá un menor grado de desarrollo que se podrá manifestar físicamente en la planta, es decir habrá disminuido su capacidad fotosintética y las hojas presentarán menos coloración verdosa.

Por lo tanto, es necesario establecer modelos debiendo contrastar la información de satélite con observaciones de campo y análisis de laboratorio de muestras que se hayan tomado en el mismo lugar y en las mismas condiciones. Se han podido establecer correlaciones entre la conductividad eléctrica (CE) del extracto de pasta saturada y los recuentos digitales en suelos salinos (Villar et al., 1985).

El fenómeno que se pretende registrar, presenta imágenes de tamaño variable, no siendo detectables más que cuando éste es superior a la resolución espacial y su contraste con respecto al fondo es mayor que la resolución espectral del sistema sensor. El momento en que se registre la información será crítico para el tratamiento de las imágenes y la evaluación de niveles de contaminación.

La vegetación sana presentará alta reflectancia en comparación con la vegetación que presenta estrés por contaminación. Ello producirá una diferente firma espectral.

La vegetación impide la observación directa de la superficie del suelo en el campo espectral visible e infrarrojo próximo; sin embargo, algunas veces los vegetales pueden proporcionar informaciones sobre los elementos químicos existentes, en proporciones anormalmente elevadas, en el suelo o incluso en su material de origen. Así, Milton et al. (1983) y Lefèvre (1980); Cervelle y Chorowiec (1986); establecieron, en el primer caso, una correlación entre las características espectrales de la clorofila de ciertas coníferas y anomalías de los metales, especialmente Cu, Mo y Sn para una zona de Carolina del Sur; en el segundo caso, se detectó en Echassières (Macizo Central) dos anomalías espectrales de satélite que corresponden a variaciones de propiedades de reflexión de los vegetales. Estas anomalías espectrales corresponden a anomalías geoquímicas (Li, As, Sn, W), que subrayan los contornos de un macizo granítico oculto y ciertas direcciones privilegiadas de mineralizaciones.

El objetivo del presente trabajo es utilizar la técnica de Teledetección para efectuar un análisis que relacione la respuesta espectral del cultivo del arroz con propiedades del suelo en el Parque Natural de la Albufera de Valencia. Para ello, se realiza un análisis estadístico de regresión entre los valores de reflectividad del índice de vegetación del cultivo obtenidos a partir del sensor TM del satélite Landsat-5 y parámetros edáficos obtenidos por muestreo y análisis de los horizontes superficiales del suelo.

Material y métodos

Área de estudio

El Parque Natural de la Albufera de Valencia es una de las escasas zonas húmedas de la Europa Mediterránea y centro de reunión de multitud de especies de aves de paso hacia otras latitudes. Además es el sujeto pasivo de una larga serie de agresiones ecológicas de todo tipo, que ya dieron comienzo en el siglo pasado con la implantación del cultivo del arroz y la permisividad de los aterramientos que han continuado hasta el momento, aunque con la denominación legal de Parque Natural (Decreto 89/1986) hayan sido prohibidos. Sin embargo, las mayores agresiones que ha sufrido y sufre corresponden a cuatro sucesos básicos: expansión industrial de las zonas limítrofes (creación de Polígonos que agrupan multitud de industrias) cuyos residuos desaguan en las acequias que riegan los arrozales, explosión demográfica de las poblaciones circundantes cuyo alcantarillado vierte en las acequias y el lago, expansión urbanística en la zona costera y una red vial densa que ocupa más de 40 Ha. Además hay que añadir las prácticas agrícolas con la utilización desmesurada de fertilizantes y plaguicidas.

El esquema metodológico seguido en el presente trabajo se muestra en la Figura 1. Para ello se dispone de: imágenes de satélite, datos de campo y análisis de laboratorio de muestras de suelo de toda la zona correspondiente al Parque Natural de la Albufera.

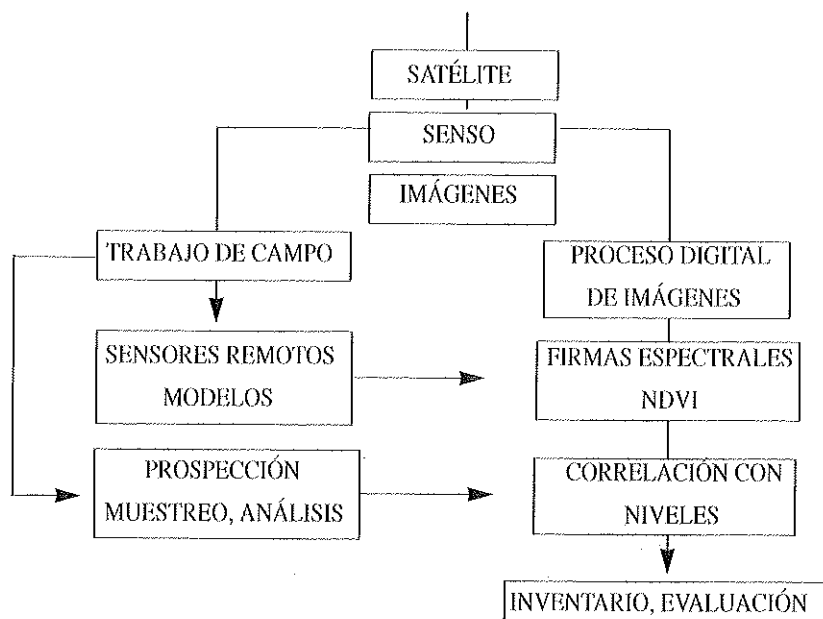


FIGURA 1
Metodología de trabajo

La localización de los puntos de muestreo de suelos junto con las áreas de entrenamiento a partir de las cuales se obtienen los valores de reflectividad se presentan en la Figura 2.

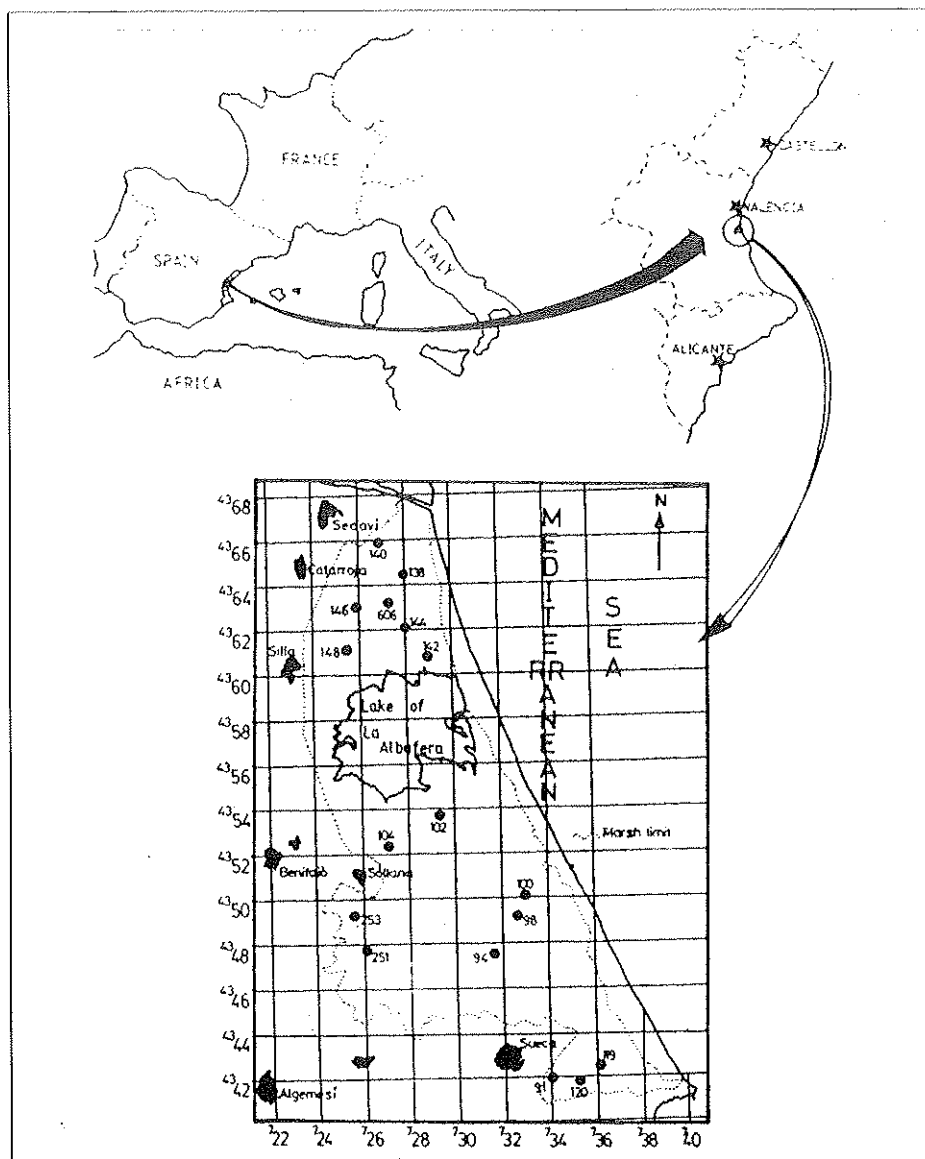


FIGURA 2

Situación del área de estudio. Puntos de muestreo y áreas de entrenamiento (•)

Imágenes utilizadas

Se ha utilizado la imagen proporcionada por el sensor Thematic Mapper (TM) del satélite LANDSAT-5. La fecha seleccionada corresponde al día 17 de agosto de 1987, coincidiendo con la etapa de máximo desarrollo del cultivo del arroz.

Asumiendo que la superficie terrestre es de naturaleza Lambertiana, la reflectividad aparente de las áreas de entrenamiento se puede obtener aplicando la expresión (1):

$$R_{\lambda} = (k\pi L_{\lambda}) / (H_{0\lambda} \cos \Theta) \quad (1)$$

donde:

- R_{λ} es la reflectividad aparente de la superficie a una longitud de onda λ ,
- L_{λ} ($\text{Wm}^{-2} \text{mm}^{-1} \text{sr}^{-1}$) es la radiancia medida por el sensor, calculada a partir de las cuentas digitales de la imagen usando las constantes de calibración del sensor (Price, 1987),
- $H_{0\lambda}$ es la irradiancia extraterrestre,
- Q es el ángulo cenital solar, y
- Θ es una constante. Tiene en cuenta cambios entre la distancia Sol-Tierra (adimensional).

El valor de reflectividad asignado a cada área de entrenamiento corresponde al valor medio de todos los pixels contenidos en ella. El error de la medida será su desviación típica. La reflectividad espectral de las bandas TM3 (0,63-0,69 μm) y TM4 (0,76-0,90 μm) se utilizan para obtener el índice de vegetación normalizado NDVI (Jordan, 1969; Rouse et al., 1973; Deering et al., 1975) dado por la ecuación (2):

$$\text{NDVI} = \frac{R_{\text{TM4}} - R_{\text{TM3}}}{R_{\text{TM4}} + R_{\text{TM3}}} \quad (2)$$

donde R_{TMi} es la reflectividad del TM en la banda i .

Ese índice espectral se ha utilizado para correlacionarlo con diferentes propiedades del suelo.

Suelos

Los suelos se desarrollan sobre sedimentos finos del Holoceno (limos negros de albufera) característicos de las zonas costeras con encharcamiento estacional. Corresponden a Fluvisoles calcáreo-gleycos en fase salina (FAO, 1988) con fuerte antropización debida al uso tradicional a que se dedican (cultivo del arroz). Son muy escasa-

mente pedregosos, de textura franca a franco arcillosa y de pH ligeramente alcalino (Ministerio de Agricultura-ICONA, 1990).

Se realizó un muestreo simple al azar obteniéndose 17 muestras de los 20 cm superficiales del suelo. Corresponden a horizontes antrópicos (Ap) debido a las intensas actividades agrícolas.

Parámetros edáficos

La caracterización de las muestras de suelo se ha realizado a partir de los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura (1986).

También se estudia la posible contaminación por metales pesados. Se ha determinado el contenido total y la fracción extraíble de Cd, Zn, Cu, Ni, y Pb. A excepción del Cd (total y extraíble) y del Co extraíble que se determinan por cámara de grafito usando el método standard de las adiciones, los elementos restantes se determinan por EAA-llama (Boluda et al, 1993).

Para evaluar el nivel de contaminación de los suelos se utilizan los siguientes índices de contaminación: Equivalente de Zn (Chumbley, 1971), relación Zn/Cd (Chaney, 1973; Jones y Jarvis 1981) y relación extraíble/total (Errecalde et al, 1991).

Resultados y discusión

Estudios de este tipo han sido realizados por Yamagata et al. (1988). Sus resultados demuestran la posibilidad de evaluar espectralmente los daños de la inundación del arroz y otros cultivos. También Wiegand et al. (1989) demuestran que las observaciones espectrales de los cultivos dan información que se puede utilizar para describir su crecimiento y producción. En el caso del Parque Natural de la Albufera, Gilabert y Meliá (1990a, 1990b) encuentran que el NDVI tiene una elevada correlación con la productividad final del grano (Kg/ha) del cultivo del arroz.

Reflectividad del cultivo

La Figura 3 es la imagen obtenida al utilizar el NDVI definido en la ecuación (2). En ella, se observan diferentes coloraciones del cultivo del arroz. Así, en la zona sur predominan los colores rojos, mientras que en la zona norte (bordeando al lago) predominan los colores verdes. Estos últimos se corresponden con valores de reflectividad más bajos, y los primeros indican niveles superiores que concuerdan con un mayor desarrollo del cultivo de arroz.

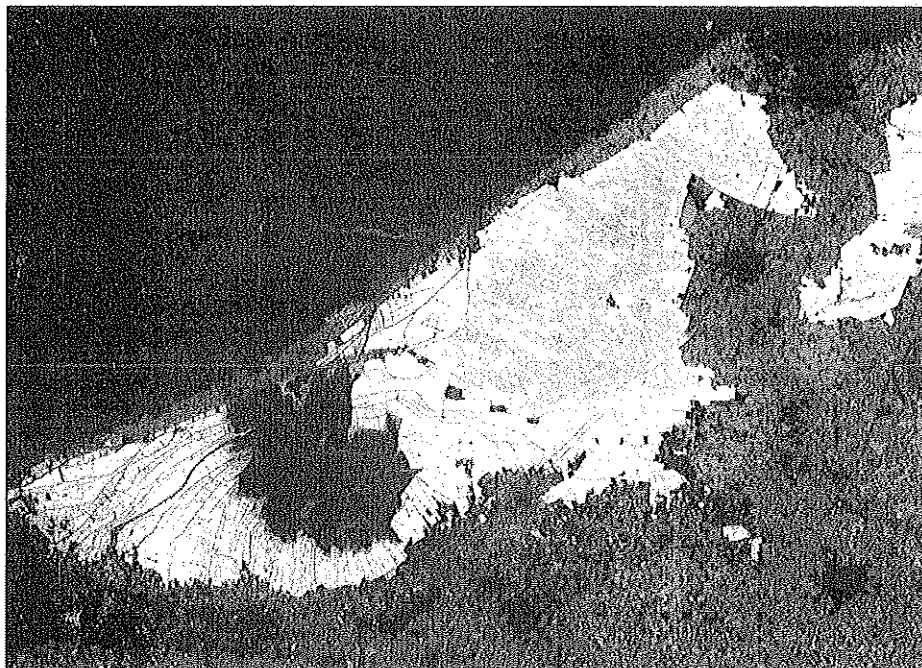


FIGURA 3
Índice de vegetación (NDVI) del Parque Natural de la Albufera de Valencia
(Imagen TM correspondiente al mes de agosto de 1987). (A. 70)

A partir de aquí, se han obtenido las cuentas digitales para cada uno de los puntos de muestreo o áreas de entrenamiento. La ecuación (1) se aplicó para obtener el valor de reflectividad en las bandas TM3 y TM4. Finalmente la ecuación (2) se utilizó para calcular el valor del índice de vegetación normalizado. Los valores de reflectividad del NDVI para los 17 puntos de muestreo se muestran en la Tabla 1.

Los valores bajos (0,41 a 0,52) corresponden a las muestras 606 y 138 a 148 localizadas en el norte del área cerca de núcleos urbanos e industriales. Las muestras localizadas al sur del área tienen valores más elevados que oscilan entre 0,53 y 0,57.

Parámetros

Los datos analíticos de las muestras de suelo se indican en la Tabla 2. En ella se pueden observar variaciones importantes de unos puntos a otros. El contenido de materia orgánica es generalmente elevado para suelos de cultivo. Las propiedades que más llaman la atención son la conductividad eléctrica (CE) y el sodio del complejo de cambio que para las muestras 138 a 148 varían de 3 a 9 dS/m y de 10 a 17 cmol+/Kg respectivamente. El resto de las muestras poseen CE inferiores a 3 dS/m y

Na de intercambio menor a 3 cmol+/Kg. Esto implica problemas de salinidad más acusados en los suelos de la zona norte del parque.

Si observamos los contenidos de metales pesados y los índices de contaminación vemos que ocurre algo semejante a lo anterior. El equivalente de Zn, la relación Zn/Cd y el porcentaje de la fracción extraíble de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn presentan valores más elevados cuanto menor es el valor de reflectividad del cultivo que coincide con los puntos 138 a 148.

<i>MUESTRA</i>	<i>NDVI</i>	<i>SNDVI</i>	<i>TM3</i>	<i>STM3</i>	<i>TM4</i>	<i>STM4</i>
606	0,49	0,07	10,2	0,8	29,9	1,0
148	0,50	0,05	9,7	0,3	29,2	1,0
146	0,52	0,06	9,8	0,4	31,4	1,2
144	0,52	0,04	9,6	0,4	30,4	0,6
142	0,49	0,05	9,6	0,3	28,3	1,0
140	0,41	0,06	12,3	0,6	29,7	1,1
138	0,46	0,07	10,5	0,3	28,6	1,7
253	0,53	0,04	10,10	0,20	32,7	0,9
251	0,53	0,05	9,8	0,4	31,8	1,0
121	0,51	0,08	10,1	0,3	31,4	1,9
119	0,56	0,04	9,40	0,20	33,5	0,9
104	0,54	0,03	9,5	0,3	31,6	0,4
102	0,53	0,03	9,50	0,20	30,8	0,7
100	0,57	0,03	9,0	0,3	33,2	0,6
98	0,57	0,05	9,2	0,4	33,6	0,9
94	0,56	0,04	9,8	0,3	34,5	0,7
91	0,53	0,03	10,10	0,20	32,6	0,6

NDVI: Valores del índice de vegetación. SNDVI: Desviación standard de los valores del NDVI. TMi: Reflectividad de la banda i del Thematic Mapper. STMi: Desviación standard de la reflectividad en la banda i.

TABLA I
Valores de Reflectividad

Correlaciones

Finalmente, se ha realizado un análisis de regresión simple para intentar establecer posibles correlaciones entre los parámetros edáficos y el valor de reflectividad del NDVI en las 17 áreas de entrenamiento. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos.

Las mejores correlaciones se han obtenido para la CE, el Na del complejo de cambio, equivalente de Zn y fracción disponible de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn. El signo es siempre negativo lo que significa que el índice de vegetación disminuye al aumentar el valor de la variable edáfica. Excepción es el Ca de cambio cuya relación es positiva; esto se explica porque este elemento es un macronutriente y puede actuar de forma antagónica tanto con los metales pesados como con el sodio de cambio. Otra relación altamente significativa corresponde al contenido de fósforo asimilable; en este sentido la contaminación de metales pesados en suelos de cultivo se relaciona a veces con la utilización de superfosfatos en el abonado del suelo.

<i>M</i>	%	%	<i>pH</i>	%	<i>mg/100g dS/m</i>		<i>CIC</i>	<i>cmol + / Kg</i>		
	<i>Ac</i>	<i>MO</i>		<i>CaCO₃</i>	<i>P_iO₅</i>	<i>C.E.</i>		<i>Ca</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>
606	26,7	3,0	7,6	28,4	15,4	3,5	16,0	12,4	3,2	3,6
148	32,3	5,4	7,2	40,7	20,0	5,0	19,2	1,4	11,8	5,4
146	23,3	6,6	7,2	50,2	23,2	5,8	21,3	3,6	13,0	4,0
144	34,0	5,0	7,2	41,2	9,4	5,6	25,4	8,4	12,9	3,5
142	33,3	5,4	7,1	37,2	19,6	6,0	23,8	1,3	16,8	4,8
140	26,5	7,0	7,2	51,5	37,7	8,9	25,7	0,8	17,2	6,9
138	37,7	6,0	7,2	39,0	38,7	4,8	23,3	3,9	10,3	8,3
253	31,6	2,4	7,5	26,3	38,6	1,6	15,7	12,0	0,9	4,3
251	21,4	2,2	7,4	21,7	14,4	3,3	14,2	9,8	0,6	4,5
121	25,5	3,3	7,4	52,0	5,6	2,2	19,6	11,0	2,8	4,9
119	31,5	4,0	7,4	52,5	3,6	2,2	15,4	5,6	1,9	7,4
104	20,0	3,9	7,4	40,4	11,6	1,6	16,7	10,0	0,8	4,5
102	32,7	3,3	7,8	39,4	4,2	2,6	23,1	13,0	1,6	6,9
100	31,2	4,6	7,4	52,3	13,5	2,4	19,6	8,9	2,5	7,6
98	33,6	6,0	7,3	48,5	5,5	2,8	26,3	14,0	1,3	9,8
94	39,0	1,9	7,7	47,9	2,8	1,1	22,6	17,0	0,5	3,7
91	33,4	2,5	7,4	40,9	10,8	2,7	21,2	14,0	1,3	5,2

M: número de muestra. Ac: arcilla. M.O.: materia orgánica. CaCO₃: carbonato cálcico equivalente. P as: fósforo asimilable. C.E.: conductividad eléctrica. CIC: capacidad de intercambio catiónico. Ca: calcio de cambio. Na: sodio de cambio. Mg: magnesio.

TABLA 2
Propiedades Edáficas

M	contenido extraíble					contenido total					índice conta.				% de la fracción extraíble				
	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Eq.Zn	Zn/Cd	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn		
606	0,234	9,71	2,10	11,65	15,35	0,60	28,94	28,20	63,01	116,34	399,8	193,9	39,00	33,55	7,45	18,49	13,19		
148	0,154	7,84	0,56	9,52	5,93	0,43	26,91	36,59	50,93	57,44	403,9	133,5	35,81	29,13	1,53	18,68	10,32		
146	0,146	17,31	0,73	10,28	9,26	0,49	55,83	38,58	55,00	67,26	487,5	137,2	29,80	31,00	1,89	18,69	13,77		
144	0,217	5,46	1,04	7,73	3,80	0,45	24,79	37,05	50,10	58,89	404,83	130,8	48,22	22,03	2,81	15,43	6,45		
142	0,162	14,63	2,31	18,66	19,20	0,52	51,29	43,05	69,70	113,46	560,41	218,1	31,15	28,52	5,37	26,77	16,92		
140	0,192	14,25	2,23	10,72	9,92	0,65	48,15	36,02	67,69	67,37	451,84	103,6	29,54	29,60	6,19	15,84	14,72		
138	0,199	12,81	2,30	17,36	14,34	0,74	39,85	38,43	61,03	94,02	481,17	127,0	26,89	32,15	5,98	28,45	15,25		
253	0,129	6,42	0,49	8,33	6,81	0,75	51,16	34,48	55,29	83,88	462,05	111,8	17,20	12,55	1,42	15,07	8,12		
251	0,122	3,18	0,13	3,50	3,48	0,88	17,02	22,30	45,40	41,17	253,60	46,7	13,86	18,68	0,58	7,71	8,45		
121	0,046	5,20	0,41	3,90	1,72	0,35	24,83	30,29	30,90	44,63	336,60	127,5	13,14	20,94	1,35	12,62	3,85		
119	0,090	5,99	0,21	5,14	1,11	0,27	25,68	34,84	46,98	45,93	376,00	170,1	33,33	23,33	0,60	10,94	2,42		
104	0,154	3,48	0,21	7,99	2,82	0,42	16,33	19,78	51,49	41,60	232,52	99,0	36,67	21,31	1,06	15,52	6,78		
102	0,080	4,95	0,53	4,44	2,38	0,42	23,29	33,85	44,54	52,51	369,89	125,0	19,05	21,25	1,57	9,97	4,53		
100	0,093	8,44	0,70	5,85	3,70	0,54	33,46	32,64	46,93	50,62	378,62	93,7	17,22	25,22	2,14	12,47	7,31		
98	0,072	3,28	0,43	5,30	1,89	0,28	17,84	19,92	43,87	41,14	236,18	146,9	25,71	18,39	2,16	12,08	4,59		
94	0,029	2,85	0,69	2,92	0,60	0,78	20,06	20,57	53,57	48,36	253,00	62,0	3,72	14,21	3,35	5,45	1,24		
91	0,036	10,65	0,54	5,08	5,16	0,73	37,56	27,64	56,76	63,74	360,01	87,3	4,93	28,35	1,95	8,95	8,10		

M: número de muestra. EqZn: equivalente de Zn. Zn/Cd: relación cinc / cadmio

TABLA 2 (Continuación)
Propiedades Edáficas : Metales pesados (mgKg-1)

Conclusiones

Los análisis de regresión simple entre los valores de reflectividad del índice de vegetación proporcionados por el sensor TM del satélite Landsat-5 y las distintas propiedades edáficas determinadas en los horizontes superficiales del suelo, demues-

VARIABLE	r
% ARCILLA	-0,106
% MATERIA ORGÁNICA	-0,458
pH	-0,416
% CaCO ₃ EQUIVALENTE	-0,108
P ASIMILABLE	-0,693**
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	-0,793***
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO	-0,273
Ca DE CAMBIO	-0,617**
Na DE CAMBIO	-0,716***
Mg DE CAMBIO	-0,048
Cd EXTRAIBLE	-0,629**
Cu EXTRAIBLE	-0,625**
Ni EXTRAIBLE	-0,774***
Pb EXTRAIBLE	-0,648**
Zn EXTRAIBLE	-0,668**
Cd TOTAL	-0,261
Cu TOTAL	-0,493
Ni TOTAL	-0,502*
Pb TOTAL	-0,597**
Zn TOTAL	-0,544*
EQUIVALENTE DE Zn	-0,580**
RELACIÓN Zn/Cd	-0,217
% DE LA FRACCIÓN EXTRAIBLE Cd	-0,297
% DE LA FRACCIÓN EXTRAIBLE Cu	-0,597**
% DE LA FRACCIÓN EXTRAIBLE Ni	-0,689**
% DE LA FRACCIÓN EXTRAIBLE Pb	-0,595**
% DE LA FRACCIÓN EXTRAIBLE Zn	-0,752***

Nivel de Significación: * 0,05; ** 0,01; *** 0,001

Grados de libertad = 15

TABLA 3
Coeficientes de correlación entre los valores del NDIV del cultivo del arroz
y las propiedades del suelo

tran relaciones importantes que suministran información sobre problemas de salinización-alcalinización y contaminación que conjuntamente pueden limitar el desarrollo óptimo del cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia.

En el presente trabajo, se han obtenido correlaciones muy significativas con parámetros de salinidad como la conductividad eléctrica del extracto 1:5 y de alcalinidad como el Na del complejo de cambio del suelo. También se han obtenido correlaciones muy significativas con los contenidos de metales pesados en su fracción biodisponible (Ni, Cu, Cd, Pb y Zn) y con índices de contaminación como el Equivalente de Zn.

La técnica de teledetección es una herramienta que puede utilizarse para detectar y cartografiar áreas con problemas de degradación del suelo que pueden llegar a afectar al cultivo antes de observarse en el campo.

Bibliografía

- Barcelo, J. y Poschenrieder, Ch.:** 1989. Estrés vegetal inducido por metales pesados. *Investigación y Ciencia*, 154: 54-63.
- Boluda, R.; Errecalde, E.; Farre, R. y Lagarda, M.J.:** 1993. Determination of total content and extractable fraction of cadmium, zinc, cobalt, copper, nickel and lead in soils by atomic absorption spectrometry. Study of a method. *XII congres. Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Salamanca*. I: 179-189.
- Cervelle, B. y Chorowicz, J.:** 1986. La Teledetección de los recursos minerales. *Mundo Científico*, 6 (57): 365-373.
- Chaney, R.L.:** 1973. Crop and food chain effects of toxic elements in sludges and effluents. En *Recycling Municipal Sludges and Effluents on Land*. 129-141. National Association of State Universities and Land-Grant Colleges, Washington, DC, USA.
- Chumbley, C.G.:** 1971. Permissible levels of toxic metals in sewage used on agricultural land. *ADAS Advisory Paper n° 10*, MAF, London.
- Deering, D.W.; Rouse, J.W.; Haas, R.H. y Schell, J.A.:** 1975. Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data. *Proc. 10th Intern. Symposium Remote Sensing of Environ.* 11: 1169-1178.
- Department of the Environment and National Water Council (UK):** 1983. Extractable metals in soils, sewage-sludge-treated soils and related materials, 1982. *Methods Exam. Waters Assoc. Mater.*
- Errecalde, M.E.; Boluda, R.; Lagarda, M.J.; Farre, R.:** 1991. Índices de contaminación por metales pesados en suelos de cultivo intensivo: Aplicación en la comarca de l'Horta (Valencia). *Suelo y Planta*, 1: 483-494.
- FAO:** 1988. *Soil map of the world 1:5.000.000*. I. Legend. París.
- Gilabert, A. & Melia, J.:** 1990a. Usefulness of the temporal analysis and the normalized difference in the study of rice by means of Landsat-5 TM images: Identification and inventory of rice fields. *Geocarto International*, 4: 17-26.
- Gilabert, A. & Melia, J.:** 1990b. Usefulness of the temporal analysis and the normalized difference in the study of rice by means of Landsat-5 TM images: Establishment of relationships for yield prediction purpose. *Geocarto International*, 4: 27-32.

- Jones, L.P.H. and Jarvis, S.C.: 1981. The fate of heavy metals. En *The chemistry of soils processes*. 593-615. John Wiley and sons. New York.
- Jordan, C.F.: 1969. Derivation of Leaf Area Index from quality of light on the forest floor. *Ecology*. 50: 663-666.
- Labrandero, J.L.; Guerra, A. y Palou, F.: 1980. Análisis digital de datos Landsat aplicado al conocimiento de suelos: Método supervisado. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 39(5-6): 773-782.
- Le Fevre, J.; Viollier, M.; Le Corre, P.; Dupouy, C. y Grall, J.R.: 1980. Remote sensing observations of biological material by LANDSAT along tidal thermal front and their relevancy to the available field data. *Stuarine, Coastal and Shelf Science*. 16: 37-50.
- Ministerio de Agricultura: 1986. *Métodos oficiales de análisis de suelos y aguas*. Madrid.
- Ministerio de Agricultura-ICONA: 1990. Lucha contra la desertificación en la Comunidad Valenciana. *Proyecto LUCDEME. ICONA-GV*. Inéd.
- Milton, N.M.; Collins, W.; Chang, S.H. y Schmidt, R.G.: 1983. Remote detection of metal anomalies on Pilot Mountain, Randolph County, North Carolina. *Economic Geology*. 78: 605-617.
- Price, J.C.: 1987. Calibration of satellite radiometers and the comparison of vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 21: 15-27.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A. y Deering, D.W.: 1973. Monitoring vegetation systems in great plains with crts. Proc. 3rd ERTS Symp. on Significance Results. 1: 309-317.
- Villar, J.M^a; Aran, M.A.; Porta, J.: 1985. Teledetección de suelos afectados por salinidad: Aspectos metodológicos para su inventario y seguimiento en *Salinidad en los suelos, aspectos de su incidencia en regadíos de Huesca*. Jornadas sobre salinidad en el suelo. Diputación General de Aragón.
- Wiegand, C.; Shibayama, M.; Yamagata, Y. & Akiyama, T.: 1989. Spectral observations for estimating the growth and yield of rice. *Japanese of Crop Science*, 58 (4): 673-683.
- Yamagata, Y.; Wiegand, C.; Akiyama, T. & Shibayama, M.: 1988. Water turbidity and perpendicular vegetation indices for paddy rice flood damage analyses. *Remote Sensing of Environment*. 26: 241-251.