

## CORRECCION ATMOSFERICA DE IMAGENES LANDSAT-5 TM. APLICACION AL ESTUDIO EDAFOLOGICO EN LA COMARCA LA PLANA DE REQUENA-UTIEL

P. Sobrino\*, A. J. García-Collado\*\*, J. A. Sobrino\*\*, R. Boluda\*

\*Dpt. Biología Vegetal. Universitat de València. C/Vicent Andrés Estellés S/N, 46100 Burjassot. España.

\*\*Dpt. Termodinámica. Universitat de València. C/Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot. España. Jose.sobrino@uv.es

**RESUMEN:** El presente trabajo muestra la existencia de relaciones entre distintas propiedades edafológicas y los valores de reflectividad de la superficie obtenidos a partir de las imágenes proporcionadas por el sensor Thematic Mapper del satélite Landsat 5. Para ello, una vez analizadas tres aproximaciones diferentes al problema de la corrección atmosférica de las distintas bandas no térmicas del Landsat-TM se ha realizado la corrección atmosférica para una escena de 1024\*1024 pixels correspondiente a la Comarca La Plana de Requena-Utiel (Valencia), España. Hemos comprobado, que las mejores correlaciones entre datos satélite y propiedades medidas de los suelos se dan, para el contenido en materia orgánica del suelo M.O. y las bandas 1, 3 y 7. En el caso de la capacidad de retención de agua del suelo C.R.A., y capacidad de intercambio catiónico C.I.C. se obtienen los mejores resultados con las bandas 3 y 7.

### 1. Introducción.

Es imprescindible la conservación y mantenimiento de los suelos como recurso permanentemente utilizable; al ser el soporte de los organismos vivos. El aumento demográfico y mejor nivel de vida, incrementa continuamente las necesidades de suelo productivo. Así pues, la pérdida de suelo ha de limitarse a valores que no destruyan su productividad. Estos valores varían para cada tipo de suelo según su naturaleza y velocidad de formación. Son muchos los estudios realizados empleando los datos suministrados por el satélite Landsat con objeto de inventariar y monitorizar la degradación del suelo [1], [2], [3]. Si bien en la mayoría de ellos se desestima la influencia de la atmósfera sobre los datos del satélite. En el presente trabajo hemos realizado la corrección atmosférica de los canales no térmicos del sensor TM.

A continuación exponemos de forma somera el procedimiento seguido para corregir los datos del efecto perturbador que introduce la atmósfera, para posteriormente presentar las mejores correlaciones obtenidas entre los datos de satélite y las propiedades del suelo.

### 2.-Corrección atmosférica

Como es obvio el objetivo de los modelos de corrección atmosféricos en el espectro solar es el de obtener la

reflectividad de la superficie ( $\rho_{sup}$ ). Para ello es necesario previamente pasar de los niveles digitales (ND) suministrados en cada banda a valores de radiancia ( $L$ ), de éstos a valores de reflectividad en el techo de la atmósfera "Top of Atmosphere" ( $\rho_{TOA}$ ) y finalmente de éstos a  $\rho_{sup}$ . Es este último paso en el que nos hemos centrado en el presente trabajo, ya que los otros son suficientemente conocidos. No obstante, es preciso tener presente el envejecimiento del sensor, en órbita desde el año 1984, a la hora de realizar una correcta calibración radiométrica de las imágenes. Hemos analizado tres aproximaciones diferentes al problema de la corrección atmosférica de imágenes Landsat. Los modelos analizados han sido denominados como CORAL-1<sup>1</sup>, basado en el empleo del parámetro TC-4 [4], CORAL-2, desarrollado a partir del modelo S.M.A.C. (Simplified Method for the Atmospheric Correction), [5] y CORAL-3, basado en un modelo de transferencia radiativa [6].

El modelo CORAL-1, corrige el efecto atmosférico en imágenes Landsat TM sin el uso de parámetros externos a ellas, lo que le hace especialmente apropiado en los casos en los que se desconocen las características de la atmósfera en el momento en que fue tomada la imagen. Para ello, el método se basa en el hecho de que las distintas bandas recogen de forma diferente los efectos de la atmósfera. El parámetro TC4, o cuarto parámetro Tasseled Cap, da idea de la influencia de los efectos de la atmósfera. Se obtiene combinando todas las bandas del sensor TM, exceptuando la banda 6 [7]. La aplicación del mismo se hace mediante la localización en la imagen de un pixel en el que se aprecie de forma clara la presencia de nubes, cortinas de humo, etc. y de otro pixel que pueda considerarse limpio de tal presencia, (como se puede suponer, esto último implica cierto grado de subjetividad en el método) y el parámetro TC4 (combinación lineal de las diferentes bandas espectrales), se genera una función que opera a modo de filtro sobre cada pixel de cada banda a corregir.

<sup>1</sup>CORAL indica CORrección Atmosférica de imágenes Landsat.

El modelo CORAL-2, es un algoritmo que a su vez es una simplificación del 5S [8]. Básicamente, consiste en un conjunto de ecuaciones con coeficientes que dependen del sensor, y una formulación semi-empírica que describe las diferentes interacciones de la radiación solar al atravesar la atmósfera (absorción, dispersión,...) considerando los constituyentes que ésta pueda tener (contenido en aerosoles). Se consideran los efectos de la dispersión de Rayleigh y de Mie, y también la absorción del vapor de agua, oxígeno, dióxido de carbono y ozono, así se obtiene  $P_{sup} = f(P_{TOA})$  donde  $f$  es una función polinómica. El modelo precisa por tanto del conocimiento de una serie de parámetros relacionados con las condiciones en que fue tomada la imagen: ángulos de posición del sol y del satélite, valores de presión, temperatura, vapor de agua y contenido en ozono de la atmósfera local y un valor preciso del espesor óptico de los aerosoles. Este último valor de entrada es el más crítico, y de él dependerá la exactitud de la corrección.

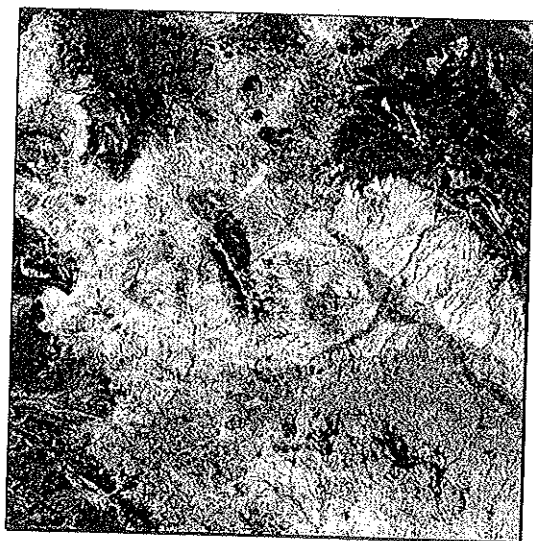
Por último el modelo CORAL-3, está basado en un modelo de transferencia radiativa simplificado, donde las características de los aerosoles atmosféricos se estiman a partir de la radiancia de dos bandas (TM1 -azul- y TM3 -rojo-). Se asume que la atmósfera es homogénea horizontalmente, lo que implica que la transmisividad y la radiancia son constantes en la escena y sus valores pueden ser determinados en cada imagen. Partiendo de los llamados 'puntos negros' de las imágenes, (pixels de nivel digital bajo), y usando una combinación de las bandas TM1 y TM3, se estima el modelo de aerosol a través de la dependencia entre la longitud de onda y la radiancia en el camino del aerosol. Al igual que sucedía con el modelo anterior, aquí es necesario conocer un conjunto de parámetros externos, no obstante, es un método menos exigente que el CORAL-2, ya que mientras que éste último necesitaba del conocimiento de un valor preciso del espesor óptico, el modelo CORAL-3 tan sólo necesita una caracterización general del tipo de atmósfera existente (continental/marítima, verano/invierno).

Del análisis de los métodos se tiene que el método de corrección CORAL-1 se muestra como el más adecuado a aplicar cuando se tiene un desconocimiento total de los parámetros externos a las imágenes, relacionados con el entorno ambiental de la escena en el momento de paso del satélite, y existen en la escena concentraciones importantes de aerosoles en forma de nubes y/o cortinas de humo. Éste último hecho es especialmente significativo, ya que la bondad del modelo depende en gran medida del rango de la imagen, es decir, la existencia de nubes (asociadas normalmente a tonos claros  $ND \approx 255$ ) hace que el algoritmo posea un mayor criterio para diferenciar los efectos de la atmósfera. Se trata por lo tanto de un modelo

de uso específico bajo condiciones apropiadas, relacionadas con regiones en las que es frecuente tener un desconocimiento del entorno atmosférico por su variabilidad. Cuando es posible disponer de datos externos a la imagen, tales como la visibilidad en el lugar de la escena a la hora de paso del sensor, el espesor óptico estimado, la naturaleza de los aerosoles existentes,... los modelos CORAL-2 y CORAL-3 se muestran como más apropiados, si bien aparecen pequeñas diferencias entre ambos. Comparando los histogramas para una determinada fecha, se comprueba como el modelo CORAL-2 tiende a "respetar" más la envolvente del histograma de la imagen sin tratar, mientras que el modelo CORAL-3 se muestra más "agresivo", homogeneizando en exceso en algunos casos. La razón de este comportamiento estriba en la precisión de los valores solicitados como entradas o *inputs*. El modelo CORAL-3 es menos exigente, permitiendo un grado de generalidad superior al del modelo CORAL-2, en el que es necesario un valor preciso del espesor óptico estimado. Evidentemente, a mayor exigencia en las entradas, mayor precisión, pero en caso de un valor impreciso, mayor será el error que se cometerá en la corrección. Es por todo esto, que el modelo CORAL-2 ha de ser empleado en aquellas correcciones en las que se tenga un buen conocimiento del entorno de la escena en el momento de paso del sensor, es decir, cuando se realiza una campaña de medidas. De no ser así, es recomendable el empleo del modelo CORAL-3. Por todo ello, hemos elegido este modelo para corregir las imágenes Landsat del efecto de la atmósfera.

### 3.-Descripción de la zona de estudio

Hemos elegido como zona de estudio una parte de La Comarca La Plana de Requena-Utiel. Esta comarca es la más occidental de la provincia de Valencia, con heterogeneidad topográfica y geológica. Por un lado presenta un monótono paisaje con llanuras ocupadas en gran parte por cultivos de secano. Estructuralmente corresponde a un altiplano cuya altura oscila entre los 600 y 800 metros, continuación de la submeseta meridional. Morfológicamente está constituida por depósitos de origen continental lacustre, la mayor parte arcillas rojas. Por otro lado, esta llanura está delimitada por sierras de materiales calcáreos, que alcanzan altitudes superiores a los 1300 m sobre el nivel del mar (ver figura 1) [9]. Esta comarca de clima Mediterráneo, como el resto de la Provincia de Valencia, se caracteriza por un periodo de sequía de duración e intensidad variables. Lluvias de gran intensidad y corta duración concentradas en muy pocos días, por lo general en los meses de otoño y primavera. Precipitaciones extremadamente agresivas para el suelo, que favorecen enormemente la erosión hídrica y consecuentemente grandes pérdidas de suelo en toda la zona [10].



**Figura 1.**-Imagen en falso color RGB (3,2,1) de La Comarca La Plana de Requena-Utiel que muestra la zona de estudio.

#### 4.-Resultados

Nuestro objetivo ha sido encontrar las posibles correlaciones entre los datos del satélite corregidos atmosféricamente y los análisis edafológicos de las muestras. Con este fin, se estudió una escena de 1024\*1024 pixels del sensor TM del Landsat 5 de fecha 19 de julio de 1984. En ella se eligieron 20 parcelas patrón homogéneas de las que poseíamos datos terreno y análisis de laboratorio de muestras recogidas en la misma fecha.

Un suelo fácilmente erosionable será aquel que presente una combinación de propiedades que la hagan altamente vulnerable a la degradación. Esta comienza en los horizontes superficiales del suelo con la pérdida de materia orgánica que disminuye la estabilidad del complejo organomineral y provoca la ruptura de los agregados. Inmediatamente después se pierde la permeabilidad y la capacidad de retención de agua desencadenándose el proceso de erosión. De ahí que centremos nuestro estudio en el contenido en materia orgánica M.O., capacidad de retención de agua C.R.A. y capacidad de intercambio catiónico C.I.C. de los suelos analizados.

En la tabla 1 mostramos los valores resultantes de los análisis edafológicos.

**Tabla 1.**-Valores de M.O. (%), C.R.A. (%) y C.I.C.(meq/100 g) para las 20 muestras analizadas.

| Muestra | M.O.  | C.R.A. | C.I.C. |
|---------|-------|--------|--------|
| 1       | 1,60  | 14,83  | 10,00  |
| 2       | 3,80  | 26,57  | 21,22  |
| 3       | 0,83  | 13,83  | 8,78   |
| 4       | 4,05  | 19,87  | 26,61  |
| 5       | 7,57  | 20,94  | 30,64  |
| 6       | 6,71  | 23,30  | 40,09  |
| 7       | 9,04  | 34,78  | 33,30  |
| 8       | 12,80 | 31,79  | 41,67  |
| 9       | 19,23 | 42,67  | 64,08  |
| 10      | 24,00 | 45,92  | 70,97  |
| 11      | 10,87 | 33,12  | 40,21  |
| 12      | 2,14  | 26,89  | 20,38  |
| 13      | 2,64  | 21,97  | 16,50  |
| 14      | 5,74  | 21,41  | 20,89  |
| 15      | 2,64  | 20,10  | 12,84  |
| 16      | 1,89  | 19,32  | 15,58  |
| 17      | 0,54  | 13,33  | 10,79  |
| 18      | 6,26  | 24,15  | 36,05  |
| 19      | 5,14  | 22,55  | 28,37  |
| 20      | 0,84  | 14,20  | 8,08   |

En la tabla 2, mostramos las mejores correlaciones obtenidas entre las propiedades edafológicas y las bandas del sensor TM. De la misma se observan que las mejores correlaciones entre datos satélite y propiedades medidas de los suelos se dan, para el contenido en M.O. y las bandas 1, 3 y 7, y para el caso de C.R.A., y C.I.C. se obtienen los mejores resultados con las bandas 3 y 7.

**Tabla 2.**-Valores de los coeficientes a, b de la ecuación exponencial modificada  $y=a \exp(b/x)$  así como del error y del coeficiente de correlación.

| y      | x   | a     | b     | error | R    |
|--------|-----|-------|-------|-------|------|
| M.O.   | TM1 | 2,54  | 2,13  | 3,0   | 0,88 |
|        | TM3 | 2,15  | 5,33  | 2,8   | 0,90 |
|        | TM7 | 2,01  | 10,79 | 2,6   | 0,91 |
| C.R.A. | TM3 | 16,62 | 2,23  | 5,0   | 0,85 |
|        | TM7 | 15,95 | 4,62  | 4,6   | 0,87 |
| C.I.C. | TM3 | 14,37 | 3,54  | 9,0   | 0,86 |
|        | TM7 | 13,57 | 7,25  | 8,7   | 0,88 |

A modo de ejemplo mostramos en la figura 2, la representación gráfica de la M.O. frente a la reflectividad de la banda 7 del TM para la imagen Landsat-5 del 19 de Julio de 1984.

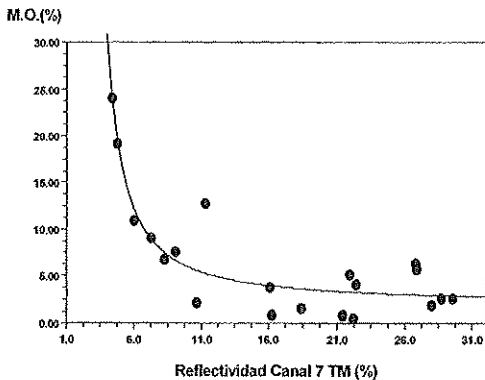


Figura 2.-M.O frente a reflectividad del canal 7. En la gráfica se incluye la recta de ajuste del modelo exponencial modificado.

### 5.-Conclusiones

La composición del suelo es un fiel reflejo del estado de degradación del mismo, de ahí la importancia de obtener una metodología que permita el conocimiento de las propiedades y composición de los suelos mediante imágenes de satélite. La erosión del suelo es un paso hacia la desertificación y este es un fenómeno rápido, en algunos casos de velocidad alarmante. Por este motivo, los métodos clásicos de análisis y seguimiento (inventarios, medidas de terreno, análisis de laboratorio, fotointerpretación...) resultan demasiado costosos en tiempo y medios económicos. La teledetección vía satélite por sus características sinópticas, multispectrales y multitemporales, resulta una herramienta privilegiada para este tipo de estudios reduciendo el tiempo y coste empleados con las técnicas tradicionales de medida. La corrección atmosférica de los datos proporcionados por el satélite, resulta de vital importancia al eliminar las posibles interferencias en las correlaciones entre las propiedades del suelo y los datos de satélite. Especialmente en zonas donde los factores formadores del suelo como topografía, geología y altitud son diferentes, la atmósfera influye en los valores de reflectividad final obtenida a partir de imágenes de satélite.

### Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología de España (Proyecto No. CLI96-2018).

### Bibliografía

[1] Bleeker, P. 1978. The application of Landsat imagery to soil degradation mapping of Sierra leone at 1:1.000.000. Remote Sensing Unit, FAO, Rome.

[2] Bleeker, P. 1978. The application of Landsat imagery to soil degradation mapping at 1:5.000.000 of Gambia, Sierra Leone and parts of Senegal, Liberia and Ivory Coast. Remote Sensing Unit, FAO, Rome.

[3] Sobrino, M. P., Boluda, R. y Sobrino, J. A. (1996). Aplicación del sensor thematic mapper del satélite Landsat-5 al estudio de las propiedades de suelos en la Comarca La Plana de Requena-Utiel (Valencia-España). XIII Congreso Latino Americano de Ciencia do Solo, Aguas de Lindóia, SP-Brasil, 4-8 agosto.

[4] Lavreau, J., 1991. *De-Hazing Landsat Thematic Mapper images*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, **10**, 1297-1302.

[5] Rahman, H. y Dedieu, G., 1994. *SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum*. International Journal of Remote Sensing, **15**, 123-143.

[6] Gilabert, M.A.; Conese, C. y Maselli, F., 1993. *An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectances from TM images*. Int. J. Remote Sens., **10**, 2065-2086.

[7] Crist, E. P., Laurin, R. y Cicone, R. C., 1986. *Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data*. Proceedings of IGARSS '86 Symposium (Zurich), European Space Agency SP-254, Paris, pp. 1465-1470.

[8] Tanré, D.; Deroo, C.; Duhaut, P.; Herman P.; Morcrette, J. J.; Perbos, J. y Deschamps, P. Y., 1986. *Simulation of the satellite signal in the solar spectrum (5S)*. Villeneuve d'Asq, Laboratoire d'Optique Atmosphérique. Université des Sciences et Techniques de Lille.

[9] Boluda, R. Andreu, V., Moraleda, M. y Sánchez, J. (1988). Factores ecológicos (geología, vegetación y clima) de la Comarca La Plana de Requena-Utiel (Valencia). I relaciones suelo-material de origen. Análes de Edafología y Agrobiología. T: XLVII n. 5-6, pp 887-901.

[10] Boluda, R. Andreu, V., Moraleda, M. y Sánchez, J. (1988). Factores ecológicos (geología, vegetación y clima) de la Comarca La Plana de Requena-Utiel (Valencia). II vegetación y clima. Análes de Edafología y Agrobiología. T: XLVII n. 5-6, pp 903-917.