

Clasificación de imágenes a partir de índices de vegetación. Aplicación en una zona piloto de la Comunidad Autónoma de Cantabria

F. González⁽¹⁾, M. Dauden⁽¹⁾ y J.M. Ureña⁽²⁾

(1) Proyecto de Teledetección. Sección de Proceso de Datos. INIA.
Apdo. 8111, 28080 Madrid.

(2) Cátedra de Urbanismo y Medio Natural. U. de Cantabria, Santander.

Resumen

Los diferentes sensores actualmente operativos (MSS, TM, HRV, AVHRR, etc) permiten la determinación del Índice de Vegetación Normalizado con diferente grado de periodicidad y resolución espacial, de cara al seguimiento y discriminación de los diferentes tipos de cubierta vegetal.

Con objeto de hacer más comparables los índices deducidos a partir de datos TM y MSS se realizan diversas correcciones radiométricas. Posteriormente, se delimitan áreas de entrenamiento para los diversos tipos de cubierta y se clasifica el territorio de acuerdo con los intervalos obtenidos para el Índice de Vegetación Normalizado en cada clase comparándose los resultados obtenidos en una zona piloto de la Comunidad Autónoma de Cantabria.

1.- Introducción

Una de las mayores ventajas que presenta la Teledetección y más en concreto la utilización de las imágenes digitales procedentes de los satélites de observación de la Tierra (Landsat, Spot, NOAA, etc), radica en la repetitividad de las observaciones que tal y como se deduce de los datos expresados en la tabla 1, actualmente varía desde las 8760 pasadas en el caso del satélite METEOSAT hasta las 14 en el caso de SPOT, si bien evidentemente la resolución espacial y espectral en ambos casos varía de forma considerable.

Así pues, esta continuidad en el flujo de información deberá permitir en el futuro la realización de un control y seguimiento de los usos del suelo y el estado de la cubierta vegetal en zonas más o menos amplias del territorio, estando condicionada la escala de trabajo en función de la resolución del sensor utilizado (ver tabla 1).

El trabajo presente trata de comparar la utilidad y viabilidad de realizar clasificaciones de los usos del suelo mediante el empleo de índices de vegetación calculados a partir de datos TM y MSS en una zona piloto de la comunidad autónoma de Cantabria, de cara al establecimiento de una metodología que permita realizar de una forma sencilla el seguimiento y actualización de los usos del suelo en la mencionada región.

Este proyecto se ha realizado en colaboración con la Cátedra de Urbanismo y Medio Natural de la E.T.S.I. de Caminos de la Universidad de Cantabria y contando con el apoyo de un proyecto piloto del Punto de Contacto Español del Programa EARTHNET de la Agencia Espacial Europea (ESA).

2.- Corrección radiométrica de las imágenes

La utilización de las imágenes digitales tal y como son suministradas a los usuarios por los centros de distribución pueden producir a menudo resultados incorrectos e imprecisos debido a que los valores digitales grabados en los CCT no re-

<u>Satélite y Sensor</u>	<u>Banda</u>	<u>Longitud de onda μm</u>	<u>Resolución espacial</u>	<u>Frecuencia</u>
Landsat MSS	1 (4)	0.5-0.6	80mx80m	16 días
	2 (5)	0.6-0.7	"	"
	3 (6)	0.7-0.8	"	"
	4 (7)	0.8-1.1	"	"
Landsat TM	1	0.45-0.52	30mx30m	16 días
	2	0.52-0.60	"	"
	3	0.63-0.69	"	"
	4	0.76-0.90	"	"
	5	1.55-1.75	"	"
	6	10.40-12.50	120mx120m	"
	7	2.08-2.35	30mx30m	"
SPOT HRV	1	0.50-0.59	20mx20m	26 días
	2	0.61-0.68	"	"
	3	0.79-0.89	"	"
Pancromático	1	0.51-0.73	10mx10m	"
NOAA AVHRR	1	0.58-0.68	3.3Km x 4.0Km	12 horas
	2	0.72-1.10	"	"
	3	3.55-3.93	"	"
	4	10.30-11.30	"	"
	5	11.5-12.5	"	"
METEOSAT	1	0.4-1.1	2.5Km x 2.5Km	1 hora
	2	5.7-7.1	5Km x 5Km	0.5 hora
	3	10.5-12.5	"	1 hora

Tabla 1.- Satélites de observación de la Tierra

presentan cuantitativamente los valores físicos reales y su empleo se justifica por conveniencia en el proceso automático de los datos (ROBINOVE, 1982).

De cara a facilitar la comparación entre imágenes obtenidas en diferentes fechas y por diferentes sensores se han corregido los datos de los efectos derivados de la diferente calibración de los sensores y de la variación del ángulo solar según la época del año.

En el caso del sensor MSS del satélite Landsat 4 la determinación de la radiancia ($\text{mW}/\text{cm}^2/\text{sr}$) y la reflectancia en el límite superior de la atmósfera, se ha efectuado empleando las ecuaciones dadas por ROBINOVE (1982).

Así pues, la radiancia en una banda se ha calculado mediante la fórmula:

$$\text{Radiancia} = \frac{D_n}{D_{\text{máx}}} (L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}}) + L_{\text{mín}}$$

siendo:

D_n = Valor digital del pixel en la CCT

$D_{\text{máx}}$ = Máximo valor digital registrado en la CCT

$L_{\text{máx}}$ = Radiancia de saturación del detector en $\text{mW}/\text{cm}^2/\text{sr}$

$L_{\text{mín}}$ = Radiancia mínima medida por el detector en $\text{mW}/\text{cm}^2/\text{sr}$

Los valores correspondientes a $L_{\text{máx}}$ y $L_{\text{mín}}$ se pueden encontrar en ROBINOVE (1982) y NELSON (1985).

La reflectancia en una banda para una superficie Lambertiana se ha calculado mediante la fórmula:

$$\text{Reflectancia} = \frac{\pi}{E \text{ sen } \alpha} \text{ Radiancia}$$

siendo:

E = Irradiancia en el límite superior de la atmósfera en $\text{mW}/\text{cm}^2/\text{sr}$

En el caso de las diferentes bandas del MSS los valores son:

$$\begin{aligned} \text{Banda 4} &= 17.70 \text{ mW/cm}^2 \\ \text{Banda 5} &= 15.15 \text{ mW/cm}^2 \\ \text{Banda 6} &= 12.37 \text{ mW/cm}^2 \\ \text{Banda 7} &= 24.91 \text{ mW/cm}^2 \end{aligned}$$

α = elevación del sol sobre el horizonte.

La altura del sol se puede calcular a partir de la latitud, la hora de paso del satélite y el día del año mediante la fórmula:

$$\text{sen } \alpha = \text{sen } \phi \text{ sen } \delta + \text{cos } \phi \text{ cos } \delta \text{ cos } \omega$$

siendo:

ϕ = latitud del lugar

ω = angulo horario = $15(12-t)$

t = hora de paso del satélite

δ = declinación solar = $0.4091 \text{ sen } \frac{2\pi(\text{Día}-80.25)}{365}$

En nuestro estudio, las correcciones efectuadas para las bandas 4 y 2 de la imagen Landsat 4-202-30 del 14 de Junio de 1984 han sido:

$$R_4 = \frac{0.1 + \frac{D_4}{255} (4.0-0.1)}{\frac{24.91}{\pi} \text{ sen } 53.20} \times 100 = 1.5772 + 0.2412 D_4$$

$$R_2 = \frac{0.04 + \frac{D_2}{255} (1.8-0.04)}{\frac{15.15}{\pi} \text{ sen } 53.20} \times 100 = 1.0362 + 0.1788 D_2$$

En el caso del sensor TM del satélite Landsat 5 los valores digitales se han convertido en Radiancia empleando las ecuaciones dadas por LOPEZ-GARCIA et al (1985).

Así pues, la Radiancia medida por el satélite se ha obtenido a partir del valor digital D mediante la expresión:

$$\text{Radiancia} = a_0 + a_1 D \text{ (W/m}^2\text{/sr)}$$

siendo:

D = valor digital del pixel en la CCT
 a_0 y a_1 = constantes de calibrado del sensor TM del Landsat 5
 (incluidas en la CCT)

La Reflectancia se ha calculado de forma análoga al caso anterior, si bien los valores de la Irradiancia en el límite de la atmósfera en este caso son:

$$\begin{aligned} \text{TM Banda 1} &= 138.25 \text{ W/m}^2 \\ \text{TM Banda 2} &= 139.44 \text{ W/m}^2 \\ \text{TM Banda 3} &= 89.1 \text{ W/m}^2 \\ \text{TM Banda 4} &= 147.7 \text{ W/m}^2 \\ \text{TM Banda 5} &= 44.6 \text{ W/m}^2 \\ \text{TM Banda 7} &= 21.33 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

En el estudio presente, las correcciones efectuadas para las bandas TM 4 y TM 3 correspondientes a la imagen 5-202-030-2 del 25 de junio de 1985 han sido:

$$R_4 = \frac{-0.2328563 + 0.1170516 D_4}{\frac{147.7}{\pi} \text{ sen } 53.30} \times 100 = -0.6178 + 0.3105 D_4$$

$$R_3 = \frac{-0.1126937 + 0.06499743 D_3}{\frac{89.1}{\pi} \text{ sen } 53.30} \times 100 = -0.4955 + 0.2858 D_3$$

Una vez efectuadas las correcciones especificadas anteriormente se estuvo en condiciones de analizar el sistema Tierra-Atmósfera, asumiendo que la atmósfera era uniforme sobre toda el área de estudio y que las condiciones de la misma era similares en las pasadas correspondientes al 14 de junio del 84 y al 25 de junio del 85.

3.-, El índice de vegetación normalizado NDVI

Todos los organismos fotosintéticos poseen uno o más pigmentos capaces de absorber las radiaciones visibles lo cual permite iniciar las reacciones fotoquímicas características de la fotosíntesis.

Los pigmentos clorofílicos producen en las plantas verdes dos zonas de absorción máxima de la radiación, una en la región azul del espectro ($0.43 \mu\text{m}$) y otra en la región roja ($0.66 \mu\text{m}$) Por otra parte el mesófilo de las hojas, con células de forma irregular que determinan una capa con grandes espacios intercelulares, es muy reflectivo a la radiación incidente en infrarrojo próximo ($0.75-1.1 \mu\text{m}$).

Así pues, la respuesta espectral de la vegetación verde y con buen estado sanitario se caracteriza por una gran absorción en la región roja y una gran reflexión en la región infrarrojo-cercano del espectro electromagnético, siendo estas características marcadamente diferentes a las que poseen otras superficies tales como el suelo desnudo, roca, agua, nieve, etc.

Por otra parte, también se ha observado que la vegetación enferma o senescente aumenta su reflectancia en la región roja del espectro mientras disminuye la misma en el infrarrojo cercano.

Numerosos investigadores han desarrollado técnicas para estudiar cualitativa y cuantitativamente el estado de las cubiertas vegetales a partir de medidas espectrales y con objeto de reducir el número de dimensiones propias de las medidas multispectrales a una sola dimensión, se han definido los denominados "índices de vegetación" que utilizan fundamentalmente las regiones roja e infrarrojo cercano del espectro para deducir características propias de la vegetación tales como el tipo de cubierta, superficie foliar, stress y fitomasa (TUCKER, 1979; PERRY et al, 1984).

Existe un acuerdo general según indica HAYES (1985), de que existen varias combinaciones de la reflectancia en el in-

frarrojo cercano y en el rojo que son válidas para proporcionar indicaciones útiles sobre las propiedades bióticas de los vegetales.

Así los índices siguientes:

IR/R Infrared/red Ratio

EVI=NIR-RED Environmental Vegetation Index

NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED) Normalized Difference Vegetation Index

TVI= $\sqrt{(NIR-RED)/(NIR+RED)+.5}$ Transformed Vegetation Index

Se han manifestado sensibles a la cantidad de vegetación fotosintéticamente activa que se encuentra presente en la cubierta vegetal.

Uno de los índices de vegetación más utilizados es el Índice de Vegetación Normalizado, conocido como NDVI y cuya definición se indicó anteriormente. HAYES (1985) indica que el NDVI está muy correlacionado con el índice de superficie foliar, la productividad neta primaria y la biomasa.

De la definición NDVI = $\frac{IR-R}{IR+R}$ se deduce que:

Para R=0 NDVI=1

Para IR=0 NDVI=-1

Así pues el rango del Índice de Vegetación Normalizado varía entre -1, +1.

En términos generales el agua, la nieve y las nubes tienen valores negativos pues reflejan más la radiación roja que la infrarroja, las rocas y el suelo desnudo tienen valores del NDVI próximos a cero pues tienen reflectancias similares en ambas longitudes de onda, solamente la vegetación tiene valores positivos del NDVI siendo mayor cuanto mayor es el vigor de la vegetación verde.

Hay que destacar el gran uso que últimamente se está haciendo del NDVI en el seguimiento de la vegetación a escala global, mediante el empleo de los datos procedentes del sensor AVHRR de los satélites NOAA (JUSTICE et al, 1985 ; HAYES, 1985; TUCKER y SELLERS, 1986; TOWNSHEND y JUSTICE, 1986).

Si se quieren representar en un procesador las imágenes obtenidas mediante el cálculo del NDVI, dado que estos normalmente trabajan en ocho bits, se hace necesario proceder a un cambio de escala para pasar del rango de -1, +1 al rango 0, 255.

Así pues, si denominamos IV al nuevo índice:

$$IV = \frac{255}{2} \left(\frac{IR-R}{IR+R} + 1 \right)$$

Donde:

Si R=0	NDVI=+1	IV=255
Si IR=0	NDVI=-1	IV=0

Posteriormente se podría deshacer el cambio mediante la expresión:

$$NDVI = \frac{2IV}{255} - 1$$

Finalmente, tal y como se deduce de la tabla 1, dada la disposición de las bandas espectrales en las diversas regiones del espectro electromagnético para los diferentes sensores actualmente operativos, el cálculo del NDVI en cada caso se puede realizar empleando las expresiones:

$NDVI_{TM} = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">TM4 → 0.9 μm</td> <td>0.76 μm</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;">TM3 → 0.69 μm</td> <td>0.63 μm</td> </tr> </table>	TM4 → 0.9 μm	0.76 μm	TM3 → 0.69 μm	0.63 μm
TM4 → 0.9 μm	0.76 μm				
TM3 → 0.69 μm	0.63 μm				
$NDVI_{MSS} = \frac{MSS7 - MSS5}{MSS7 + MSS5}$	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">MSS7 → 1.1 μm</td> <td>0.8 μm</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;">MSS5 → 0.7 μm</td> <td>0.6 μm</td> </tr> </table>	MSS7 → 1.1 μm	0.8 μm	MSS5 → 0.7 μm	0.6 μm
MSS7 → 1.1 μm	0.8 μm				
MSS5 → 0.7 μm	0.6 μm				
$NDVI_{SPOT} = \frac{SPOT3 - SPOT2}{SPOT3 + SPOT2}$	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">SPOT3 → 0.89 μm</td> <td>0.79 μm</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;">SPOT2 → 0.68 μm</td> <td>0.61 μm</td> </tr> </table>	SPOT3 → 0.89 μm	0.79 μm	SPOT2 → 0.68 μm	0.61 μm
SPOT3 → 0.89 μm	0.79 μm				
SPOT2 → 0.68 μm	0.61 μm				

$$\text{NDVI}_{\text{AVHRR}} = \frac{\text{AVHRR2} - \text{AVHRR1}}{\text{AVHRR2} + \text{AVHRR1}} \quad \begin{array}{l} \text{AVHRR2} \rightarrow 1.1 \mu\text{m} - 0.725 \mu\text{m} \\ \text{AVHRR1} \rightarrow 0.68 \mu\text{m} - 0.58 \mu\text{m} \end{array}$$

Un aspecto interesante a considerar consiste en la diferente periodocidad y resolución de los satélites lo cual permitiría seleccionar en cada caso el índice de vegetación más apropiado para realizar el seguimiento de la cubierta vegetal.

4.- Clasificación del área piloto de Comillas a partir del Índice de Vegetación Normalizado

El objetivo de este proyecto ha consistido en estudiar la posibilidad de realizar clasificaciones de la cubierta vegetal en zonas caracterizadas por la extensión y persistencia de la misma (tal y como es el caso de la Comunidad Autónoma de Cantabria) mediante el empleo del Índice de Vegetación Normalizado deducido a partir de diferentes sensores de alta resolución (TM y MSS).

Para la realización del estudio presente se ha seleccionado una zona piloto centrada aproximadamente en el pueblo de Comillas y situada entre las coordenadas UTM 391 y 399 en la dirección oeste-este y 4799 y 4807 en la dirección sur-norte. En la figura 1 se representa un esquema de la zona de estudio a escala 1/50.000, incluyendo la cartografía de los principales tipos de vegetación que ha sido realizada por el centro de Investigación y Desarrollo de la antigua Diputación de Cantabria.

La metodología seguida en el estudio presente ha consistido básicamente en las siguientes fases:

- 1) Corrección radiométrica de las imágenes TM y MSS.
- 2) Cálculo del Índice de Vegetación Normalizado en ambas imágenes.
- 3) Selección de áreas de entrenamiento y determinación de estadísticos.
- 4) Clasificación de las imágenes TM y MSS en base a los valores del Índice de Vegetación Normalizado.

Una vez delimitada el área de estudio se ha procedido a su localización en las imágenes 5-202-030 (2) del 25/6/85 y 4-202-030 del 14/6/84 correspondientes al sensor TM y MSS respectivamente, generándose de este modo los archivos de trabajo necesarios.

La corrección radiométrica de las imágenes se ha realizado siguiendo el procedimiento y aplicando las fórmulas descritas en el apartado segundo.

En lo que respecta al cálculo del índice de Vegetación Normalizado para los datos TM y MSS se ha efectuado empleando las fórmulas denominadas $NDVI_{TM}$ y $NDVI_{MSS}$ en el apartado 3 y procediendo posteriormente a un cambio de escala para permitir su representación en escala de color en el procesador de imágenes Pericolor-1000 del NPOC español.

La selección de las áreas de entrenamiento en ambos casos se ha realizado sobre la imagen del NDVI correspondiente, con ayuda del mapa topográfico y del mapa temático de los tipos de vegetación. La selección de dichas áreas ha venido condicionada en cada caso por la mayor o menor extensión de los tipos de vegetación y por la diferente resolución espacial de los sensores TM y MSS (30 m y 80 m respectivamente) lo cual evidentemente ha planteado mayores dificultades en el caso del MSS.

En las tablas 2 y 3 se ha reflejado el valor medio así como la desviación típica del NDVI correspondiente a cada una de las áreas de entrenamiento en el caso de los sensores TM y MSS respectivamente.

La definición de intervalos y la agrupación en tipos de vegetación se ha realizado con el objeto de obtener unas clasificaciones lo más coherentes posibles donde el grado de solapamiento fuera el menor.

En las tablas 4 y 5 se muestran las clasificaciones obtenidas para los datos TM y MSS respectivamente

<u>Area de entrenamiento</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación típica</u>
Escombrera	137.3	3.1
Urbanizado denso	143.5	9.4
Urbanizado disperso	156.7	7.8
Playa (1)	157.0	3.4
Playa (2)	161.4	5.3
Corta (1)	175.2	12.1
Corta (2)	175.8	10.8
Corta (3)	177.1	9.0
Corta (4)	183.4	11.2
Marisma (1)	174.7	13.8
Marisma (2)	188.4	7.5
Prados y cultivos (1)	193.2	10.4
Prados y cultivos (2)	195.5	3.5
Prados y cultivos (3)	196.4	7.1
Prados y cultivos (4)	196.8	7.1
Pino radiata (1)	195.5	9.0
Pino radiata (2)	196.6	8.9
Pino radiata (3)	198.2	8.3
Eucalipto (1)	212.7	3.3
Eucalipto (2)	215.9	5.0
Eucalipto (3)	217.1	8.3
Roble (1)	219.7	5.4
Roble (2)	220.0	3.2
Prados (1)	217.7	4.0
Prados (2)	218.7	2.9
Prados (3)	219.7	2.2
Roble americano	224.6	3.0
Roble y haya (1)	225.1	2.3
Roble y haya (2)	225.5	1.8

Tabla 2. Estadísticos de NDVI en las áreas de entrenamiento. Datos TM. (Valores de NDVI expresados en la escala 0-255).

<u>Area de entrenamiento</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación típica</u>
Playa	162.5	5.0
Escombrera	159.0	14.0
Urbanizado	169.4	12.7
Marisma	179.7	2.1
Pino radiata	193.0	2.5
Cortas	196.1	6.1
Eucalipto (1)	199.2	1.0
Eucalipto (2)	213.9	4.4
Prados (1)	209.9	7.3
Prados (2)	212.5	6.5
Roble y haya	220.3	1.4

Tabla 3. Estadísticos de NDVI en las áreas de entrenamiento. Datos MSS (Valores de NDVI expresados en la escala 0-255).

CLASE	VALOR DIGITAL	NDVI _{TM}
1. Agua (mar)	130	< 0.0156
2. Urbanizado denso y Escombrera	131-150	0.0156-0.1718
3. Urbanizado disperso y playas	151-165	0.1718-0.2890
4. Cortas y Marismas	166-185	0.2890-0.4453
5. Prados y cultivos y Pino radiata	186-208	0.4453-0.6250
6. Eucaliptos, robles y prados	209-222	0.6250-0.7343
7. Roble y haya	223	> 0.7343

Tabla 4. Clasificación del área de Comillas datos TM

<u>CLASE</u>	<u>VALOR DIGITAL</u>	<u>NDVI_{MSS}</u>
1. Agua (mar)	< 130	< 0.0156
2. Urbanizado, playa y escombrera	131-165	0.0156-0.2890
3. Marisma	166-185	0.2890-0.4453
4. Pino radiata y cortas	186-197	0.4453-0.5390
5. Prados y eucaliptos	198-218	0.5390-0.7031
6. Roble y haya	> 218	> 0.7031

Tabla 5. Clasificación del área de Comillas datos MSS

5.- Conclusiones

De los resultados obtenidos en el desarrollo de nuestro estudio pueden extraerse las siguientes conclusiones:

La corrección radiométrica de los valores digitales contenidos en la CCT se ha mostrado como una técnica útil en el cálculo de los Índices de Vegetación Normalizados para atenuar la diferente calibración de los sensores y hacer más comparables los índices deducidos a partir de datos TM y MSS en dos fechas diferentes.

Estos Índices presentan valores más o menos similares para ambos sensores en gran parte de los tipos de vegetación analizados, lo cual parece confirmar la consistencia de este parámetro a la hora de realizar un seguimiento de la vegetación a partir de diferentes sensores.

La delimitación de áreas de entrenamiento se ha mostrado mucho más conflictiva en el caso de sensor MSS en relación al sensor TM, lo cual ha inducido a la obtención de unos valores del NDVI representativos de cada clase menos fiables en el caso del MSS.

Los valores obtenidos para el NDVI permiten establecer una gradación entre los diferentes tipos de cubierta que parece ir asociada al grado de intensidad de la función cloroflila y a la biomasa verde. Es de destacar el elevado valor del índice que presenta la clase Roble y Haya lo cual confirma el alto valor ecológico de dicha clase en comparación con el resto.

La clasificación obtenida en tipos de cubierta para la zona de estudio no parece totalmente satisfactoria en ninguno de los dos casos, aunque la obtenida a partir de los datos TM se revela manifiestamente mejor que la obtenida a partir de los datos MSS. Un análisis multitemporal de la variable NDVI probablemente permitiría discriminar de una forma más precisa los diferentes tipos de cubierta, así como el establecimiento de un perfil fenológico para cada tipo de vegetación.

Finalmente, a pesar del todavía insuficiente conocimiento sobre el comportamiento del parámetro $NDVI_{TM}$, la cartografía sistemática del mismo, debido a la sencillez de su cálculo, puede ser una ayuda válida en la planificación y gestión de los recursos naturales a nivel regional, especialmente en aquellas áreas de elevada productividad ganadera, agrícola y forestal tal y como es el caso de la Comunidad Autónoma de Cantabria.

6.- Agradecimientos

El estudio presente se ha realizado dentro del marco de la Campaña de Proyectos Piloto correspondiente al año 1985, patrocinada por el Punto Nacional de Contacto de España en el programa EARTHNET de la Agencia Espacial Europea (ESA).

Los autores quieren agradecer a todo el personal del NPOC español el interés y el elevado grado de colaboración demostrado en el desarrollo del proyecto, especialmente en el asesoramiento y utilización del procesador de imágenes Pericolor 1000.

7.- Bibliografía

HAYES, L., 1985. The current use of TIROS-N series of meteorological satellites for land-cover studies. International Journal of Remote Sensing, 1985, vol 6, n° 1, 35-45.

JUSTICE, C.O., TOWNSHEND, J.R., HOLBEN, B.N., TUCKER, C.J. 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. International Journal of Remote Sensing, vol. 6, n° 8, 1985.

LOPEZ-GARCIA, M., CASELLES, V., MELIA, J. 1985. Following the Microclimatic Alterations produced by Forest Fires by means of the Landsat 5 (TM) sensor. 3 rd Int. Coll. Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing. Les Arcs, 16-2- Dec. 1985.

NELSON, R.F., 1985. Sensor-Indiced Temporal Variability of Landsat MSS data. Remote Sensing of Envorinment 18: 35-48.

PERRY, C.R., and LAUTENSCHLAGER, L.F., 1984. Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices. Remote Sensing of Environment 14: 169-182 (1984).

ROBINOVE, C.J., 1982. Computation with Physical Values from Landsat Digital Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 48 n° 5, May 1982, pp. 781-784.

TOWNSHEND, J.R.G. and JUSTICE, C.O., 1986. Analysis of the dynamics of African vegetations using the normalized difference vegetation index. International Journal of Remote Sensing, vol. 7, n° 11, 1986

TUCKER, C.J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of Environment 8: 127-150. 1979.

TUCKER, C.J., and SELLERS, P.I. 1986. Satellite remote Sensing of primari production. International Journal of Remote Sensing vol. 7, n° 11, 1986.