

## ANEXO 1

### Correcciones Radiométricas

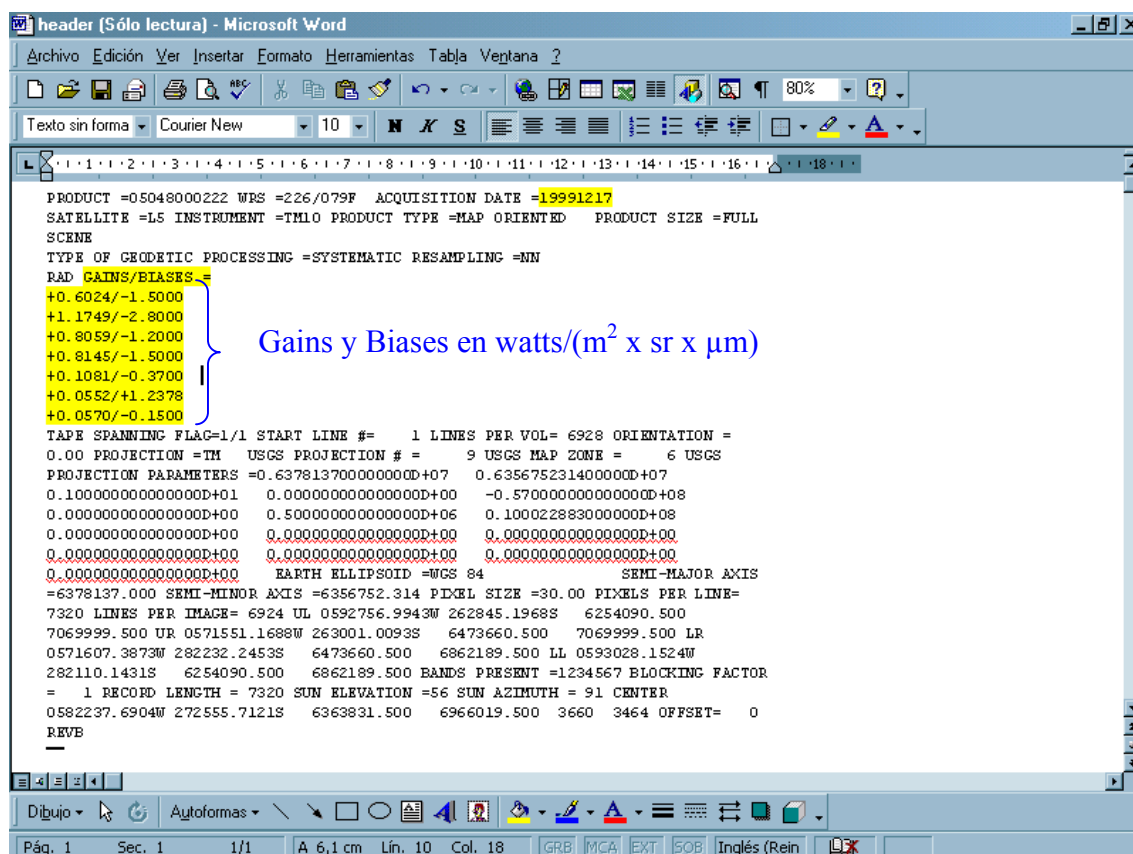
#### 1) Calibración de imágenes Landsat 5

##### 1.A) Ejemplos de Headers de Landsat 5 y su variación en el tiempo

Como se dijo, los headers de CONAE de las imágenes de Landsat 5 presentan modificaciones en el tiempo, por lo que se debe tener mucho cuidado con los valores de **gain** y **bias** a utilizarse en el momento de obtener valores de radiancia a partir de los DN. A continuación se presentan algunos ejemplos de posibles formas de los valores para la calibración y el procedimiento que debe realizar en cada caso.

- Header de Landsat 5 correspondiente a una imagen de 1999.

En este caso, los valores de Gains y Biases están para ser utilizados directamente en el modeler para la calibración de la imagen, ya que los valores presentes y unidades son las correctas para la obtención de radiancias.



- Header de Landsat 5 correspondiente a dos imágenes de 2004.

Hay dos aspectos a tener en cuenta aquí: El primer aspecto, tiene que ver con los valores en si y el segundo aspecto con las unidades de esos valores.

En el primer caso (imagen del 23-09-2004), el header dice que los valores son los de Gains y Biases mientras que en el segundo (imagen del 16-09-2004) dice que los valores de Gains y Biases son

# -Protocolo Pre-procesamiento de imágenes satelitales-

iguales a los de Lmax y Lmin. Es decir que pueden presentarse de las dos maneras (observe que los valores son los mismos).

```
header [Sólo lectura] - Microsoft Word
Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Tabla Ventana ?
Texto sin forma Courier New 10 N K S
PRODUCT =04336993-01 WRS =228/07800 ACQUISITION DATE =20040923
SATELLITE =LS INSTRUMENT =TM10 PRODUCT TYPE =MAP ORIENTED PRODUCT SIZE =FULL
SCENE
TYPE OF GEODETIC PROCESSING =SYSTEMATIC RESAMPLING =NN RAD
GAINS/BIASES =
1.26880/-0.0100
2.98126/-0.0232
1.76186/-0.0078
2.81771/-0.0193
0.65277/-0.0080
3.20107/0.25994
0.44375/-0.0040
Lmax y Lmin en mW/(cm² sr)
VOLUME ## IN SET =1/1 START LINE # = 1 LINES PER VOL=58058 ORIENTATION =
0.00 PROJECTION =TM USGS PROJECTION # = 9 USGS MAP ZONE = 0 USGS
PROJECTION PARAMETERS = 6378137.0000000000000000 6356752.3142451793000000
1.0000000000000000 0.0000000000000000 -59.999999999621977 -
89.999999999719449 5500000.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 0.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 0.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 EARTH ELLIPSOID =WGS84 SEMI-MAJOR AXIS
=6378137.000 SEMI-MINOR AXIS =6356752.314 PIXEL SIZE =25.00 PIXELS PER LINE=
9299 LINES PER IMAGE = 8294 UL 0621726.2837W 250256.8492S 5268812.500
7228512.500 UR 0595914.9534W 250400.4585S 5501262.500 7228512.500 LR
0595914.2338W 265617.3738S 5501262.500 7021187.500 LL 0621937.8625W
265508.2896S 5268812.500 7021187.500 BANDS PRESENT =1234567 BLOCKING FACTOR
= 2 RECORD LENGTH =18598 SUN ELEVATION =49 SUN AZIMUTH = 57 CENTER
0610831.9436W 260036.4767S 5385650.008 7123508.726 4675 4201 OFFSET= -35
REVB
```

```
header_2004 [Sólo lectura] - Microsoft Word
Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Tabla Ventana ?
Texto sin forma Courier New 10 N K S
PRODUCT =05048695-01
WRS =227/08200
ACQUISITION DATE =20040916
SATELLITE =LS INSTRUMENT =TM10
PRODUCT TYPE =MAP ORIENTED PRODUCT SIZE =FULL SCENE
TYPE OF GEODETIC PROCESSING =SYSTEMATIC RESAMPLING =NN
RAD GAINS/BIASES = Lmax / Lmin
1.26880/-0.0100
2.98126/-0.0232
1.76186/-0.0078
2.81771/-0.0193
0.65277/-0.0080
3.20107/0.25994
0.44375/-0.0040
Lmax y Lmin en mW/(cm² sr)
VOLUME ## IN SET =1/1 START LINE # =
1 LINES PER VOL=58436 ORIENTATION = 0.00
PROJECTION =TM USGS PROJECTION # = 9 USGS MAP ZONE = 0
USGS PROJECTION PARAMETERS = 6378137.0000000000000000 6356752.3142451793000000
1.0000000000000000 0.0000000000000000
-59.999999999621977
-89.999999999719449 5500000.0000000000000000
0.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 EARTH ELLIPSOID =WGS84
SEMI-MAJOR AXIS =6378137.000
SEMI-MINOR AXIS =6356752.314
PIXEL SIZE =25.00
LINES PER IMAGE = 8294
```

# -Protocolo Pre-procesamiento de imágenes satelitales-

Lo que en realidad representan estos valores son **Lmax** y **Lmin** en las unidades  $\text{mW}/(\text{cm}^2 \text{ sr})$ . Por lo tanto, deben ser transformados a las unidades correspondientes,  $\text{watts}/(\text{m}^2 \times \text{sr} \times \mu\text{m})$ , y luego a partir de ellos obtener Gains y Biases. Esto se ha realizado con la *planilla\_datos.xls*, por lo tanto se deberán utilizar los valores que están en la hoja *Gain-Bias-L5* que resultan de cambiar de unidades y aplicar la formula indicada.

Microsoft Excel - APN

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

D20

BANDA	RADIANCIAS	USGS $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$	CONAE (header) $\text{mW}/(\text{cm}^2 \text{ sr})$	Ancho de banda $\mu\text{m}$	CONAE $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$	Cociente USGS/CONAE
banda 1	Lmin	-1,52	-0,01	0,066	-1,515	1,003
	Lmax	193	1,2688		192,242	1,004
banda 2	Lmin	-2,84	-0,0232	0,082	-2,829	1,004
	Lmax	365	2,9816		363,610	1,004
banda 3	Lmin	-1,17	-0,0078	0,067	-1,164	1,005
	Lmax	264	1,76186		262,964	1,004
banda 4	Lmin	-1,51	-0,0193	0,128	-1,508	1,001
	Lmax	221	2,81771		220,134	1,004
banda 5	Lmin	-0,37	-0,008	0,217	-0,369	1,004
	Lmax	31,2	0,65277		30,082	1,037
banda 6	Lmin	1,2378	0,25994	2,100	1,238	1,000
	Lmax	15,303	3,20107		15,243	1,004
banda 7	Lmin	-0,15	-0,004	0,252	-0,159	0,945
	Lmax	16,5	0,44375		17,609	0,937

Documento del USGS Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges - Válido desde 5-mayo-2003

Landsat 5 Band with (Full Width at Half Maximum)

Band	Wavelength	Color
Band 1	0,066	Blue
Band 2	0,082	Green
Band 3	0,067	Red
Band 4	0,128	Near-IR
Band 5	0,217	Mid-IR
Band 6	2,1	Thermal-IR
Band 7	0,252	Mid-IR

Valores de Lmin y Lmax en  $\text{mW}/(\text{cm}^2 \text{ sr})$

Valores de Lmin y Lmax en  $\text{watts}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$

Base Datos Lmax-Lmin L5 Gain-Bias L5 Dia-Juliano Rayleigh

Microsoft Excel - APN

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

C35

		USGS $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$	Gain $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})/\text{DN}$	Bias $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})/\text{DN}$
banda 1	Lmin	-1,52	0,762824	-1,520
	Lmax	193		
banda 2	Lmin	-2,84	1,442510	-2,840
	Lmax	365		
banda 3	Lmin	-1,17	1,039882	-1,170
	Lmax	264		
banda 4	Lmin	-1,51	0,872588	-1,510
	Lmax	221		
banda 5	Lmin	-0,37	0,123804	-0,370
	Lmax	31,2		
banda 6	Lmin	1,2378	0,055158	1,238
	Lmax	15,303		
banda 7	Lmin	-0,15	0,065294	-0,150
	Lmax	16,5		
		CONAE $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$	Gain $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})/\text{DN}$	Bias $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})/\text{DN}$
banda 1	Lmin	-1,52	0,762802	-1,515
	Lmax	192,24		
banda 2	Lmin	-2,83	1,442630	-2,829
	Lmax	363,61		
banda 3	Lmin	-1,16	1,039857	-1,164
	Lmax	262,96		
banda 4	Lmin	-1,51	0,872581	-1,508
	Lmax	220,13		
banda 5	Lmin	-0,37	0,119877	-0,369
	Lmax	30,08		
banda 6	Lmin	1,24	0,055158	1,238
	Lmax	15,24		
banda 7	Lmin	-0,16	0,069950	-0,159
	Lmax	17,61		

Valores de Gain y Bias en  $\text{watts}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})/\text{DN}$

Base Datos Lmax-Lmin L5 Gain-Bias L5 Dia-Juliano Rayleigh

**ADVERTENCIA:** Se deberá ser muy cuidadoso con este aspecto del header de Landsat 5, por los cambios en el tiempo. Si en el futuro hubiera cambios hay que fijarse si éstos se deben a que YA NO es mas Lmax y Lmin o si cambiaron estos valores.

**1.B)** Valores de Gain y Bias para **Landsat 5** a utilizarse para la calibración de las imágenes según la fecha de adquisición; basados en el USGS (United States Geological Service)

Fecha	Desde el 1-3-1984 al 4-5-2003				Después del 5-5-2003			
Banda	USGS W/(m <sup>2</sup> sr mm)		Gain	Bias	USGS W/(m <sup>2</sup> sr mm)		Gain	Bias
	Lmin	Lmax			Lmin	Lmax		
1	-1,52	152,10	0,602431	-1,52	-1,52	193	0,762824	-1,520
2	-2,84	296,81	1,175100	-2,84	-2,84	365	1,442510	-2,840
3	-1,17	204,30	0,805765	-1,17	-1,17	264	1,039882	-1,170
4	-1,51	206,20	0,814549	-1,51	-1,51	221	0,872588	-1,510
5	-0,37	27,19	0,108078	-0,37	-0,37	31,2	0,123804	-0,370
6	1,2378	15,303	0,055158	1,2378	1,2378	15,303	0,055158	1,238
7	-0,15	14,38	0,056980	-0,15	-0,15	16,5	0,065294	-0,150

## 2) Alternativas de correcciones atmosféricas

A continuación se presentan **alternativas** sencillas a la corrección por Rayleigh de corrección atmosférica. Estas correcciones requieren del desarrollo de Modelos con la utilización de los algoritmos correspondientes. La alternativa a elegirse dependerá de los objetivos de estudio y del criterio del responsable.

Para calcular la reflectancia en superficie, es necesario tener un modelo de las interacciones atmosféricas. Según los **modelos simplificados** más completos que aquí se presentan, la reflectancia en la superficie se calcula según la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{\pi (L_{sat} - L_p) d^2}{(E_{sol} \cos \theta_{sol} T_{sol})}$$

Donde:

$L_{sat}$  = radiancia total medida por el satélite a tope de atmósfera ( $L_{sat} = DN \times gain + offset$ )

$L_p$  = radiancia resultado de la interacción de la radiación EM con los componentes de la atmósfera (path radiance) (watts/m<sup>2</sup>\*sr\*μm)

$d^2$  = distancia tierra sol en unidades astronómicas, y  $d$  se calcula como:

$$d = 1 - 0.0167 \cos (2\pi (\text{día juliano} - 3)/365)$$

$E_{sol}$  = irradiancia solar espectral a tope de atmósfera (watts/m<sup>2</sup>\*μm)

$\theta_{sol}$  = ángulo cenital solar (radianes)

$T_{sol}$ : Transmitancia atmosférica en el camino del sol a la superficie (adimensional)

- *Cálculo de reflectancia de la superficie considerando el efecto de scattering por moléculas y aerosoles y absorción por aerosoles.* la corrección con el **Método de Song** que se calcula con la siguiente ecuación. Una vez obtenido el  $L_{1\%}$ , es posible calcular  $L_p$  y la radiancia en superficie.

$$L_{1\%} = \frac{(\rho_{SURF 1\%} \cos(90 - S.Elev.) T_{sol, Song} E_{sol})}{\pi d^2}$$

donde:

$$T_{sol, Song} = \exp \left( - \frac{\tau_r}{\cos \theta_{sol}} \right)$$

$$\tau_r = 0,008569 * \lambda^{-4} * (1 + 0,0113 * \lambda^{-2} + 0,00013 * \lambda^{-4})$$

$\lambda$  es la longitud de onda central de cada banda:

Banda	Landsat 5 ( $\mu m$ )	Landsat 7 ( $\mu m$ )
1	0,4863	0,482
2	0,5706	0,565
3	0,6607	0,66
4	0,3882	0,825
5	1,677	1,65
7	2,223	2,220

- *Método de corrección parcial:* Consiste en un método de corrección basado en los datos de la imagen. Se identifican elementos que actúen como **objetos negros**, es decir blancos oscuros, como sombras o agua, donde la reflectancia es muy baja. Particularmente, el agua clara en el IRc tiene una reflectancia igual a 0. Por lo tanto se atribuyen los valores de radiancia medidos por el sensor en esos píxeles, a radiancia atmosférica. Por lo tanto, se restan estos valores a todos los píxeles de la imagen.

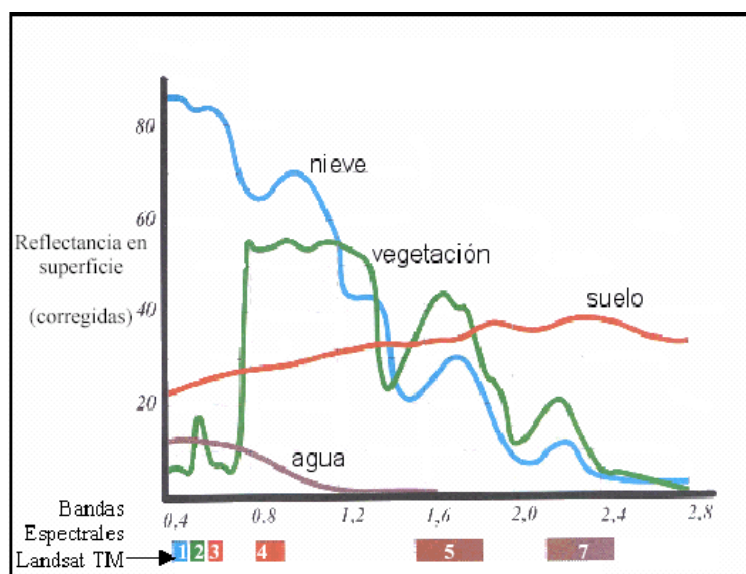
### 3) Correcciones topográficas

Los aspectos topográficos contribuyen a la distorsión radiométrica en los datos de sensores remotos. Particularmente en zonas montañosas, en áreas de sombra, la región de interés puede no recibir radiación solar. Existen distintos mecanismos para corregir las imágenes topográficamente, pero requieren de un desarrollo que excede el objetivo de éste protocolo.

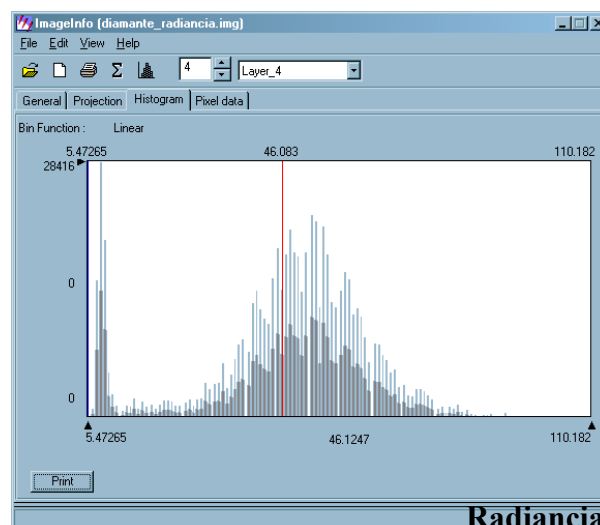
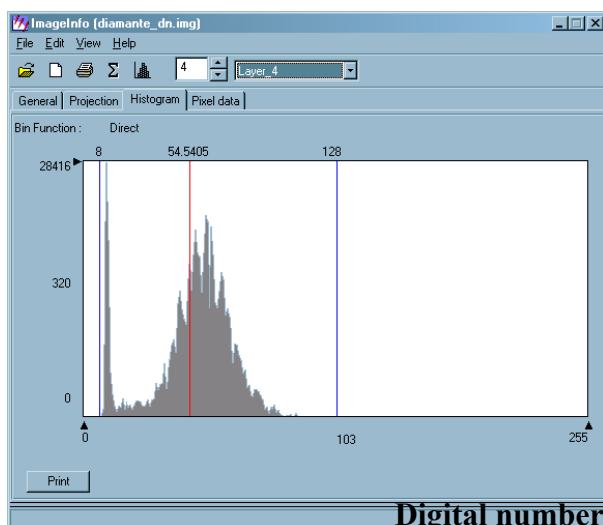
## ANEXO 2

### Ejemplos para verificar la efectividad de las correcciones

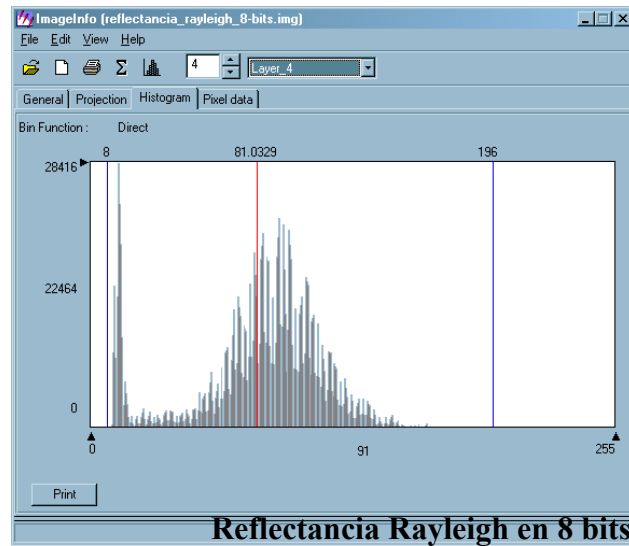
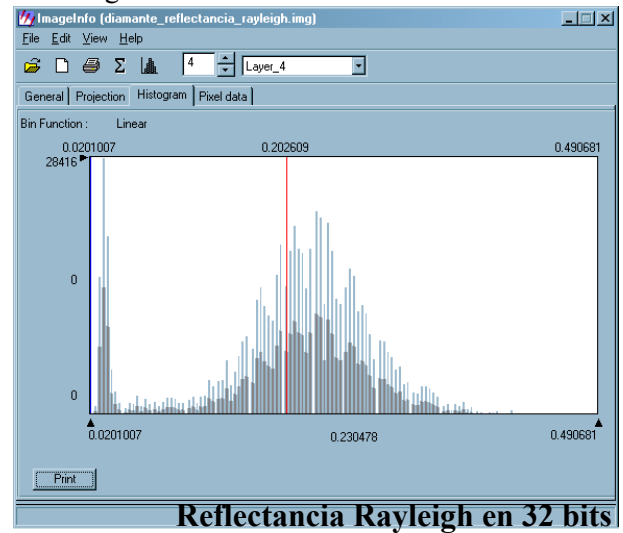
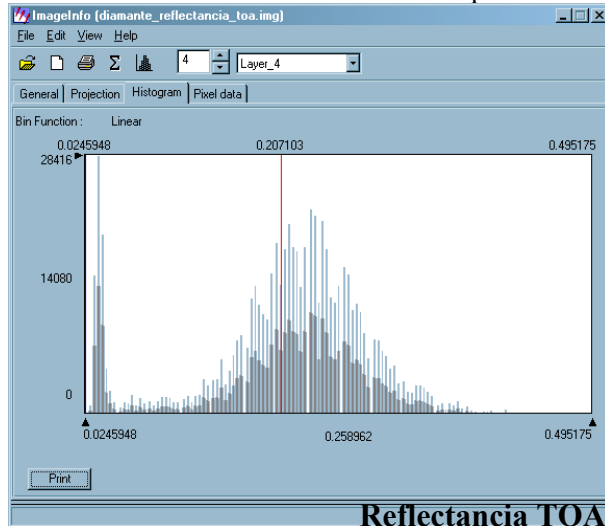
En el gráfico que se presenta a continuación se muestran los patrones espectrales de diferentes elementos en términos del valor de reflectancia espectral en la superficie en función de la variación de la longitud de onda. A pesar de que el sensor del Landsat solo registra en determinadas porciones del espectro, pueden establecerse relaciones entre los valores de la imagen y los presentados en el gráfico. Se presentan aquí estas firmas espectrales a modo de ejemplo para verificar con los valores de la imagen, la efectividad de las correcciones realizadas. Asimismo, compare las firmas que extrajo en los pasos del pre-procesamiento. Compare los valores de reflectancia TOA y Rayleigh y observará el efecto de la corrección atmosférica (los valores de reflectancia son más bajos en Rayleigh).



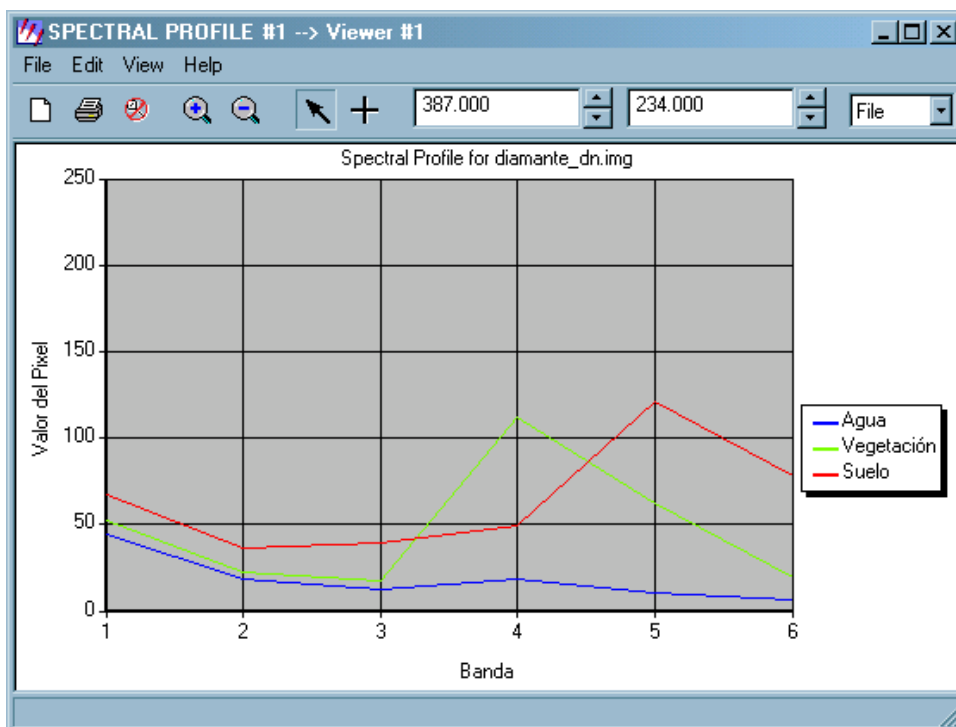
- A continuación se presentan Histogramas de la banda 4 de las imágenes de contajes (ND), radiancias, reflectancia TOA y reflectancia corregida por Rayleigh en float y en 8 bits, de una imagen correspondiente a Landsat 5 TM del 16 de septiembre de 2004, path y row 227/082.



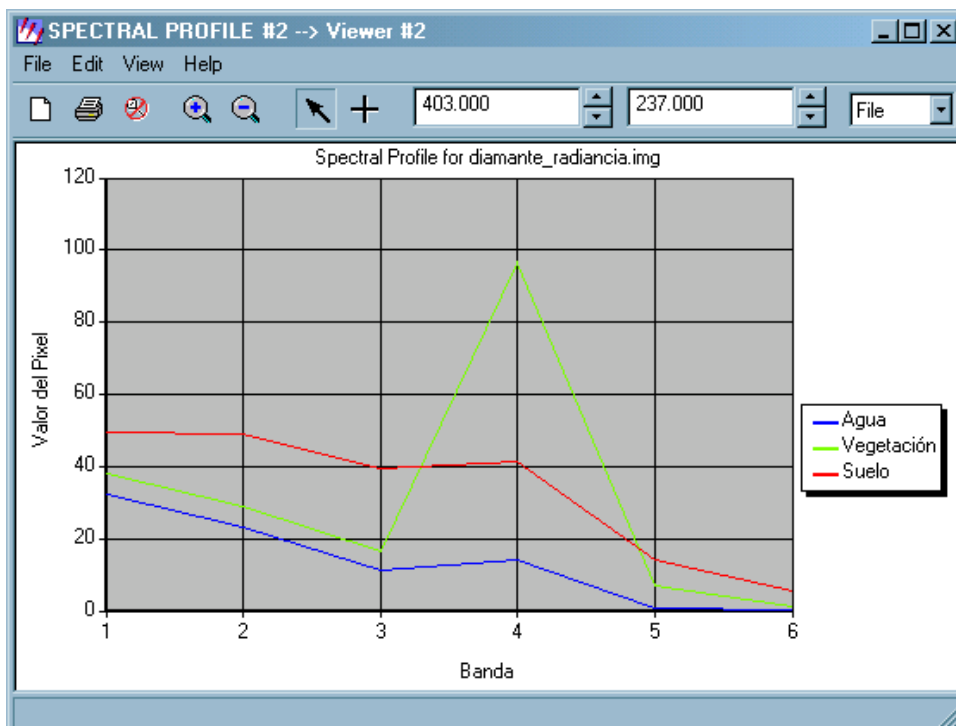
## -Protocolo Pre-procesamiento de imágenes satelitales-



- Patrones espectrales de las imágenes de contajes (ND), radiancias, reflectancia TOA y reflectancia corregida por Rayleigh en float y en 8 bits, para muestras de vegetación, agua y suelo, de la misma imagen Landsat 5 sobre la que se realizó el procedimiento completo.

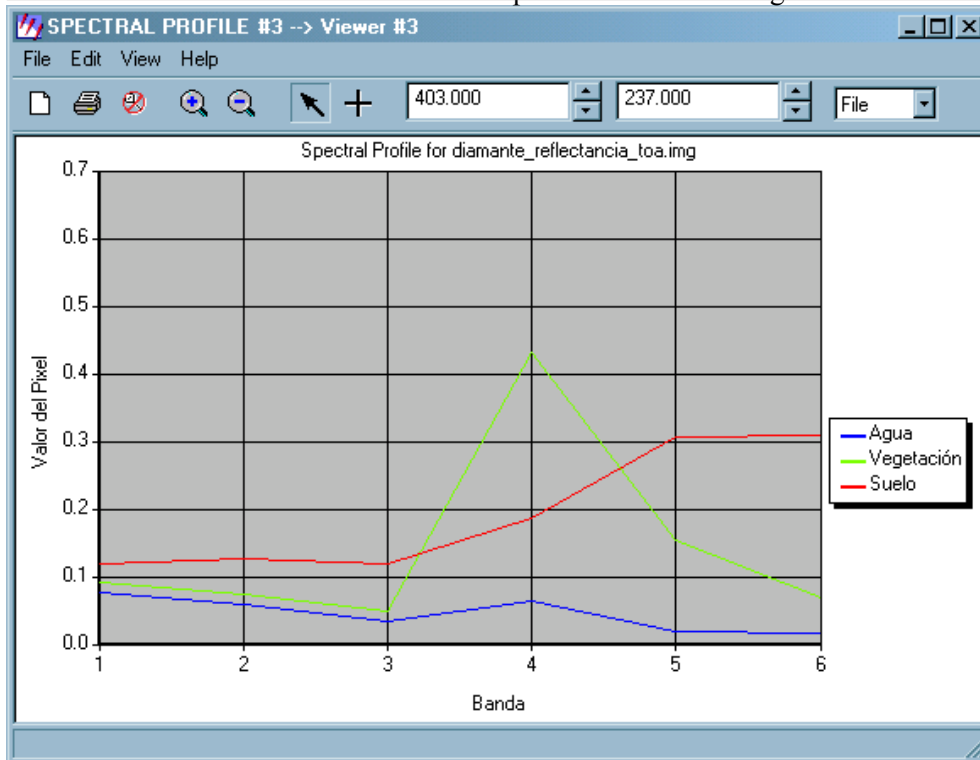


Valores de contaje de niveles digitales (DN) entre 0 y 255



Valores de Radiancia ( $L = Gain \times DN + Bias$ ) en watts/(m<sup>2</sup> x steradian x μm)

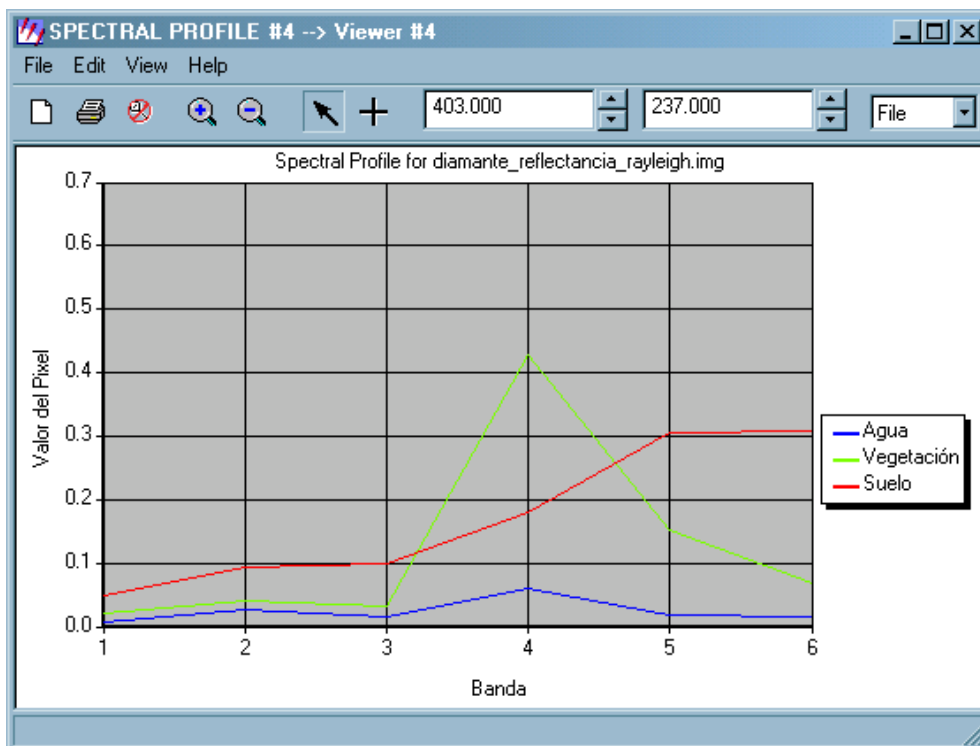




Valores de Reflectancia TOA

$$\rho_{TOA} = \frac{\pi L_{sat} d^2}{(E_0 \cos \theta_z)}$$

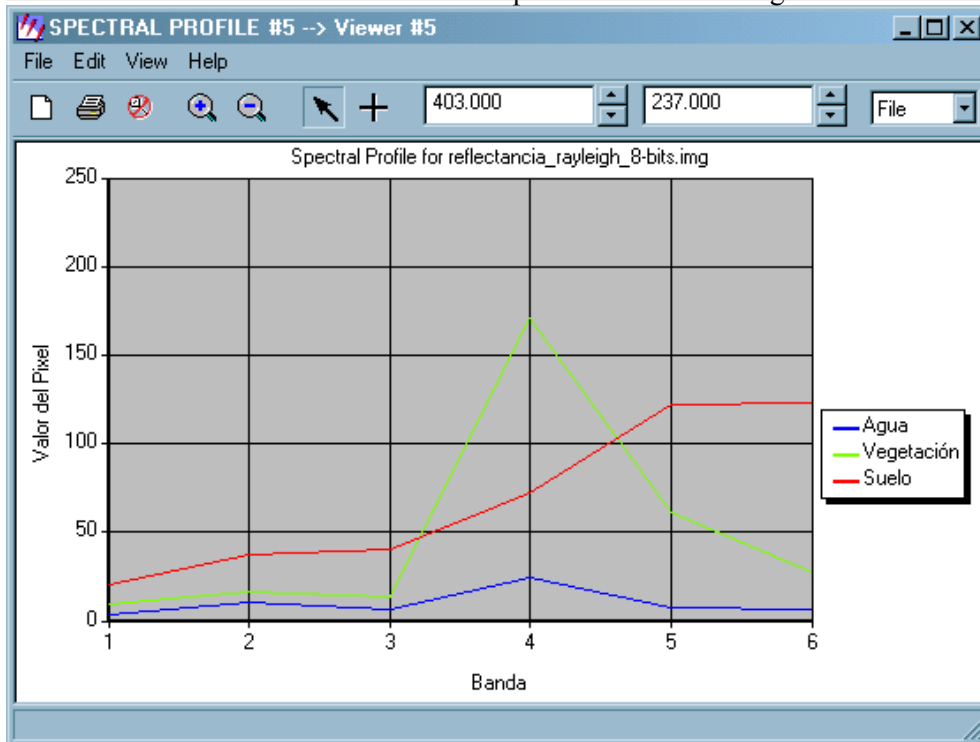
Valores entre 0 y 1 (o como porcentaje).



Valores de Reflectancia corregida por efecto Rayleigh

$$\rho_R = \frac{\pi (L_{sat} - L_R) d^2}{(E_0 \cos \theta_z)}$$

Valores entre 0 y 1 (o como porcentaje).



Valores de Reflectancia corregida por efecto Rayleigh y degradada a 8 bits

$$\rho_R = \frac{\pi (L_{sat} - L_R) d^2}{(E_0 \cos \theta_z)}$$

Valores entre 0 y 255