

## ANEXO 1

### Correcciones Radiométricas

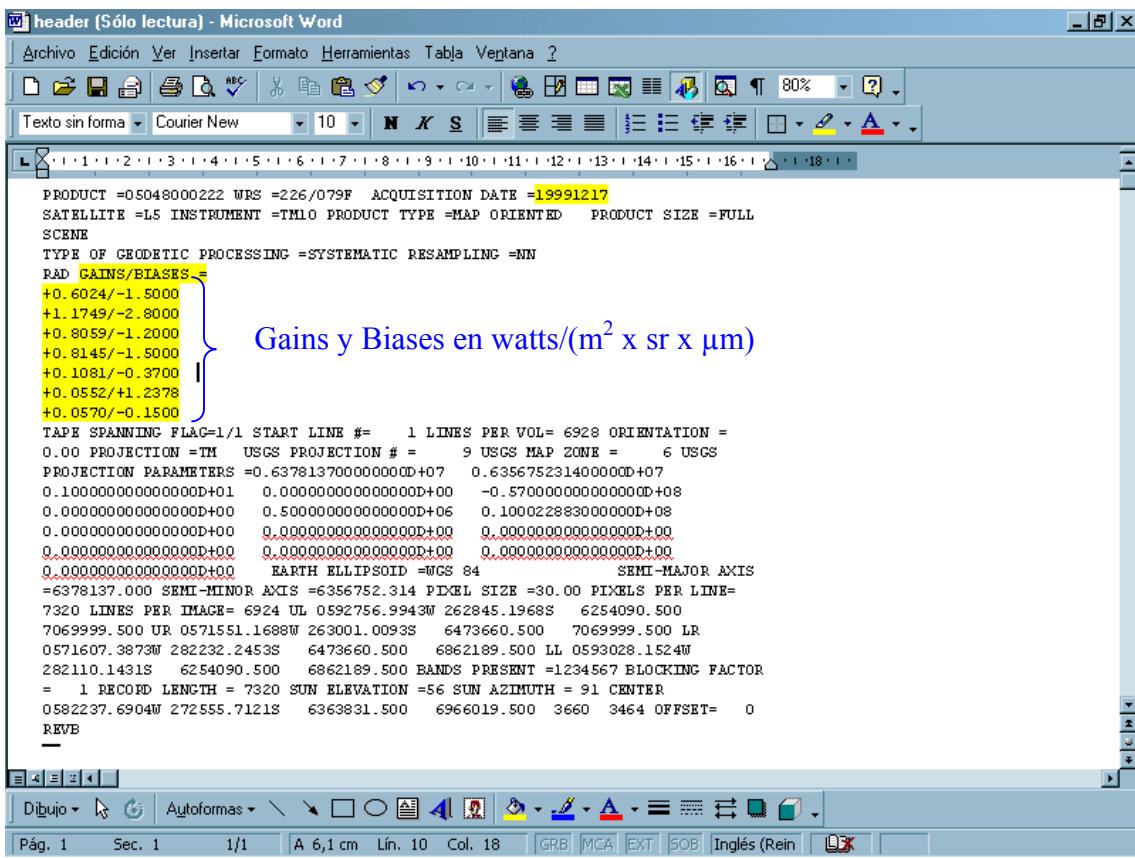
#### 1) Calibración de imágenes Landsat 5

##### 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 [Sólo lectura] - Microsoft Word
[...] PRODUCT =05048000222 WRS =226/079F ACQUISITION DATE =19991217
[...] SATELLITE =L5 INSTRUMENT =TM10 PRODUCT TYPE =MAP ORIENTED PRODUCT SIZE =FULL
[...] SCENE
[...] TYPE OF GEODETIC PROCESSING =SYSTEMATIC RESAMPLING =NN
[...] RAD GAINS/BIASES =
+0.6024/-1.5000
+1.1749/-2.8000
+0.8059/-1.2000
+0.8145/-1.5000
+0.1081/-0.3700
+0.0552/+1.2378
+0.0570/-0.1500
[...] Gains y Biases en watts/(m2 x sr x μm)
[...] TAPE SPANNING FLAG=1/1 START LINE #= 1 LINES PER VOL= 6928 ORIENTATION =
0.00 PROJECTION =TM USGS PROJECTION # = 9 USGS MAP ZONE = 6 USGS
PROJECTION PARAMETERS =0.63781370000000D+07 0.635675231400000D+07
0.10000000000000D+01 0.00000000000000D+00 -0.57000000000000D+08
0.00000000000000D+00 0.50000000000000D+06 0.100022883000000D+08
0.00000000000000D+00 0.00000000000000D+00 0.00000000000000D+00
0.00000000000000D+00 0.00000000000000D+00 0.00000000000000D+00
0.00000000000000D+00 EARTH ELLIPSOID =WGS 84 SEMI-MAJOR AXIS
=6378137.000 SEMI-MINOR AXIS =6356752.314 PIXEL SIZE =30.00 PIXELS PER LINE=
7320 LINES PER IMAGE= 6924 UL 0592756.9943W 262845.1968S 6254090.500
7069999.500 UR 0571551.1688W 263001.0093S 6473660.500 7069999.500 LR
0571607.3873W 282232.2453S 6473660.500 6862189.500 LL 0593028.1524W
282110.1431S 6254090.500 6862189.500 BANDS PRESENT =1234567 BLOCKING FACTOR
= 1 RECORD LENGTH = 7320 SUN ELEVATION =56 SUN AZIMUTH = 91 CENTER
0582237.6904W 272555.7121S 6363831.500 6966019.500 3660 3464 OFFSET= 0
REVB
```

- 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).

w header (Sólo lectura) - Microsoft Word

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Tabla Ventana ?

Texto sin forma Courier New 10 N K S 80% 80%

```

PRODUCT =04336993-01 WRS =228/07800 ACQUISITION DATE =20040923
SELLITE =L5 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)
1

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 6356752.314245179300000
1.0000000000000000 0.0000000000000000 -59.99999999621977 -
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 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

```

Dibujo Autoformas Pág. 1 Sec. 1 1/1 A 6,5 cm Lín. 11 Col. 24 GRB MCA EXT SOB Inglés (Rein)

w header\_2004 (Sólo lectura) - Microsoft Word

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Tabla Ventana ?

Texto sin forma Courier New 10 N K S 80% 80%

```

PRODUCT =05048695-01
WRS =227/08200
ACQUISITION DATE =20040916
SELLITE =L5 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 } Lmax y Lmin en mW/(cm2 sr)
1.76186/-0.0078
2.81771/-0.0193
0.65277/-0.0080
3.20107/0.25994
0.44375/-0.0040
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 6356752.314245179300000
1.0000000000000000 0.0000000000000000 -59.99999999621977 -
-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
REVB

```

Dibujo Autoformas Pág. 1 Sec. 1 1/1 A 6,1 cm Lín. 10 Col. 18 GRB MCA EXT SOB Inglés (Rein)

### -Protocolo Pre-procesamiento de imágenes satelitales-

Lo que en realidad representan estos valores son **Lmax** y **Lmin** en las unidades mW/(cm<sup>2</sup> sr). Por lo tanto, deben ser transformados a las unidades correspondientes, watts/(m<sup>2</sup> x sr x μm), 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**

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

A	B	C	D	E	F	G			
1	BANDA	RADIANCIAS	USGS* W/(m <sup>2</sup> sr μm)	CONAE (header) mW/(cm <sup>2</sup> sr)	Ancho de banda μm	CONAE W/(m <sup>2</sup> sr μm)			
2	banda 1	Lmin	-1,52	-0,01	<b>0,066</b>	-1,515			
3		Lmax	193	12688		<b>192,242</b>			
4	banda 2	Lmin	-2,84	-0,0232	<b>0,082</b>	-2,829			
5		Lmax	365	2,9816		<b>363,610</b>			
6	banda 3	Lmin	-1,17	-0,0078	<b>0,067</b>	-1,164			
7		Lmax	264	176186		<b>262,964</b>			
8	banda 4	Lmin	-1,51	-0,093	<b>0,128</b>	-1,508			
9		Lmax	221	2,81771		<b>220,134</b>			
10	banda 5	Lmin	-0,37	-0,008	<b>0,217</b>	-0,369			
11		Lmax	31,2	0,65277		<b>30,082</b>			
12	banda 6	Lmin	1,2378	0,25934	<b>2,100</b>	1,238			
13		Lmax	15,303	3,20107		<b>15,243</b>			
14	banda 7	Lmin	-0,15	-0,004	<b>0,252</b>	-0,159			
15		Lmax	16,5	0,44375		<b>17,609</b>			
16	*Documento del USGS Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges - Válido desde 5-mayo-2003								
17									
18									
19									
20	Landsat 5 Band with (Full Width at Half Maximum)**								
21	Band 1	0,066	Blue	Valores de Lmin y Lmax en mW/(cm <sup>2</sup> sr)					
22	Band 2	0,082	Green	Valores de Lmin y Lmax en watts/(m <sup>2</sup> . sr . μm)					
23	Band 3	0,067	Red						
24	Band 4	0,128	Near-IR						
25	Band 5	0,217	Mid-IR						
26	Band 6	2,1	Thermal-IR						
27	Band 7	0,252	Mid-IR						
28	** Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospherical Reflectances and At-Satellite Temperatures. Brian L. Markham and John L. Barker								
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
	Base Datos \ Lmax-Lmin L5 \ Gain-Bias L5 \ Dia Juliano \ Rayleigh /								
	Listo								
	NUM								

**Microsoft Excel - APN**

A	B	C	D	E	F	G	H
1		USGS W/(m <sup>2</sup> sr μm)	Gain W/(m <sup>2</sup> sr μm)/DN	Bias W/(m <sup>2</sup> sr μm)/DN			
2	banda 1	Lmin	-1,52	<b>0,762824</b>	<b>-1,520</b>		
3		Lmax	193				
4	banda 2	Lmin	-2,84	<b>1,442510</b>	<b>-2,840</b>		
5		Lmax	365				
6	banda 3	Lmin	-1,17	<b>1,039882</b>	<b>-1,170</b>		
7		Lmax	264				
8	banda 4	Lmin	-1,51	<b>0,872588</b>	<b>-1,510</b>		
9		Lmax	221				
10	banda 5	Lmin	-0,37	<b>0,123804</b>	<b>-0,370</b>		
11		Lmax	31,2				
12	banda 6	Lmin	1,2378	<b>0,055158</b>	<b>1,238</b>		
13		Lmax	15,303				
14	banda 7	Lmin	-0,15	<b>0,065294</b>	<b>-0,150</b>		
15		Lmax	16,5				
16							
17							
18		CONAE W/(m <sup>2</sup> sr μm)	Gain W/(m <sup>2</sup> sr μm)/DN	Bias W/(m <sup>2</sup> sr μm)/DN			
19	banda 1	Lmin	-1,52	<b>0,762802</b>	<b>-1,515</b>		
20		Lmax	192,24				
21	banda 2	Lmin	-2,83	<b>1,442630</b>	<b>-2,829</b>		
22		Lmax	363,61				
23	banda 3	Lmin	-1,16	<b>1,039857</b>	<b>-1,164</b>		
24		Lmax	262,96				
25	banda 4	Lmin	-1,51	<b>0,872581</b>	<b>-1,508</b>		
26		Lmax	220,13				
27	banda 5	Lmin	-0,37	<b>0,119877</b>	<b>-0,369</b>		
28		Lmax	30,08				
29	banda 6	Lmin	1,24	<b>0,055158</b>	<b>1,238</b>		
30		Lmax	15,24				
31	banda 7	Lmin	-0,16	<b>0,069950</b>	<b>-0,159</b>		
32		Lmax	17,61				
33							
	Base Datos \ Lmax-Lmin L5 \ Gain-Bias L5 \ Dia Juliano \ Rayleigh /						
	Listo						
	NUM						

Valores de Gain y Bias en watts/(m<sup>2</sup> sr . μm)/DN

**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			
	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 ( $L_{sat} = DN \times \text{gain} + \text{offset}$ )

$L_p$  = 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<sub>1%</sub>, es posible calcular L<sub>p</sub> y la radiancia en superficie.

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

donde:

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

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

λ es la longitud de onda central de cada banda:

Banda	Landsat 5 (μm)	Landsat 7 (μm)
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.

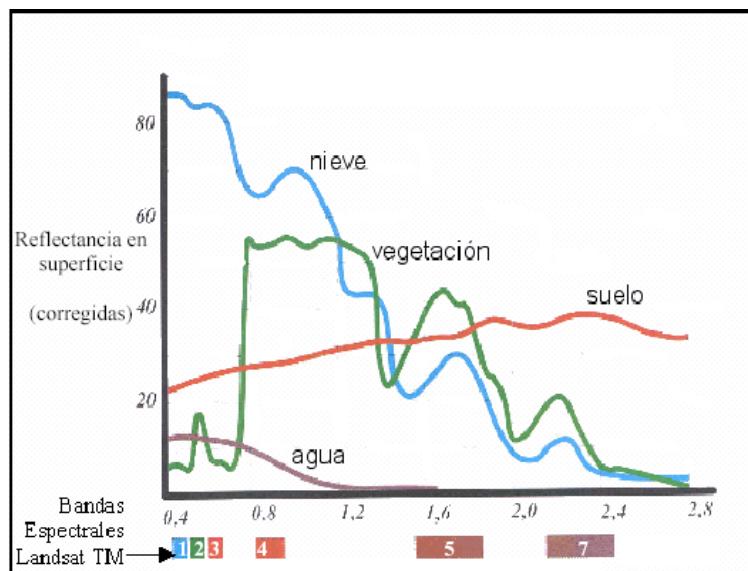
### 3) Correcciones topográficas

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.

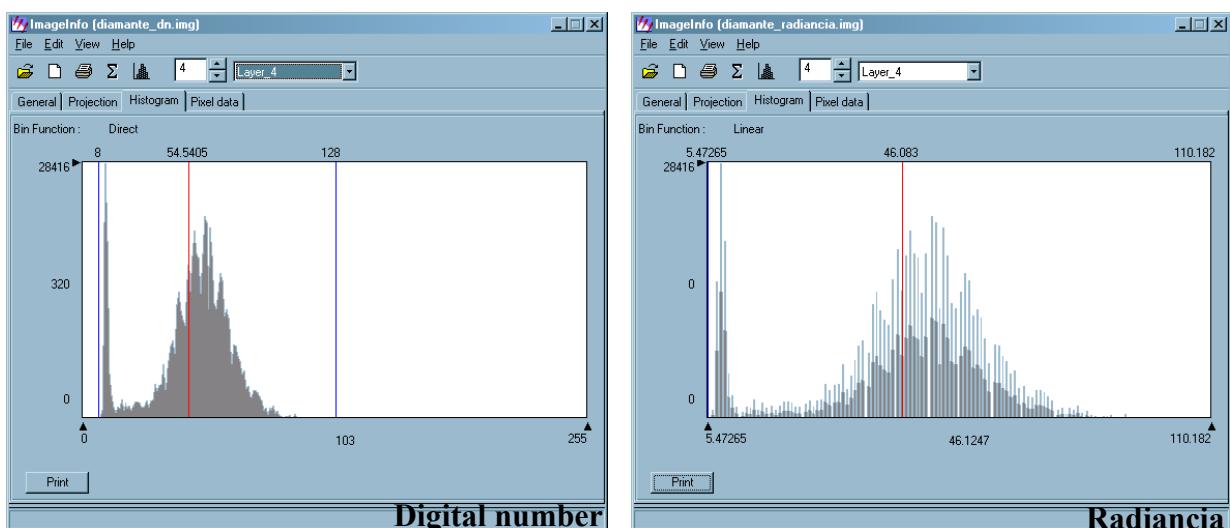
## ANEXO 2

### Ejemplos para verificar la efectividad de las correcciones

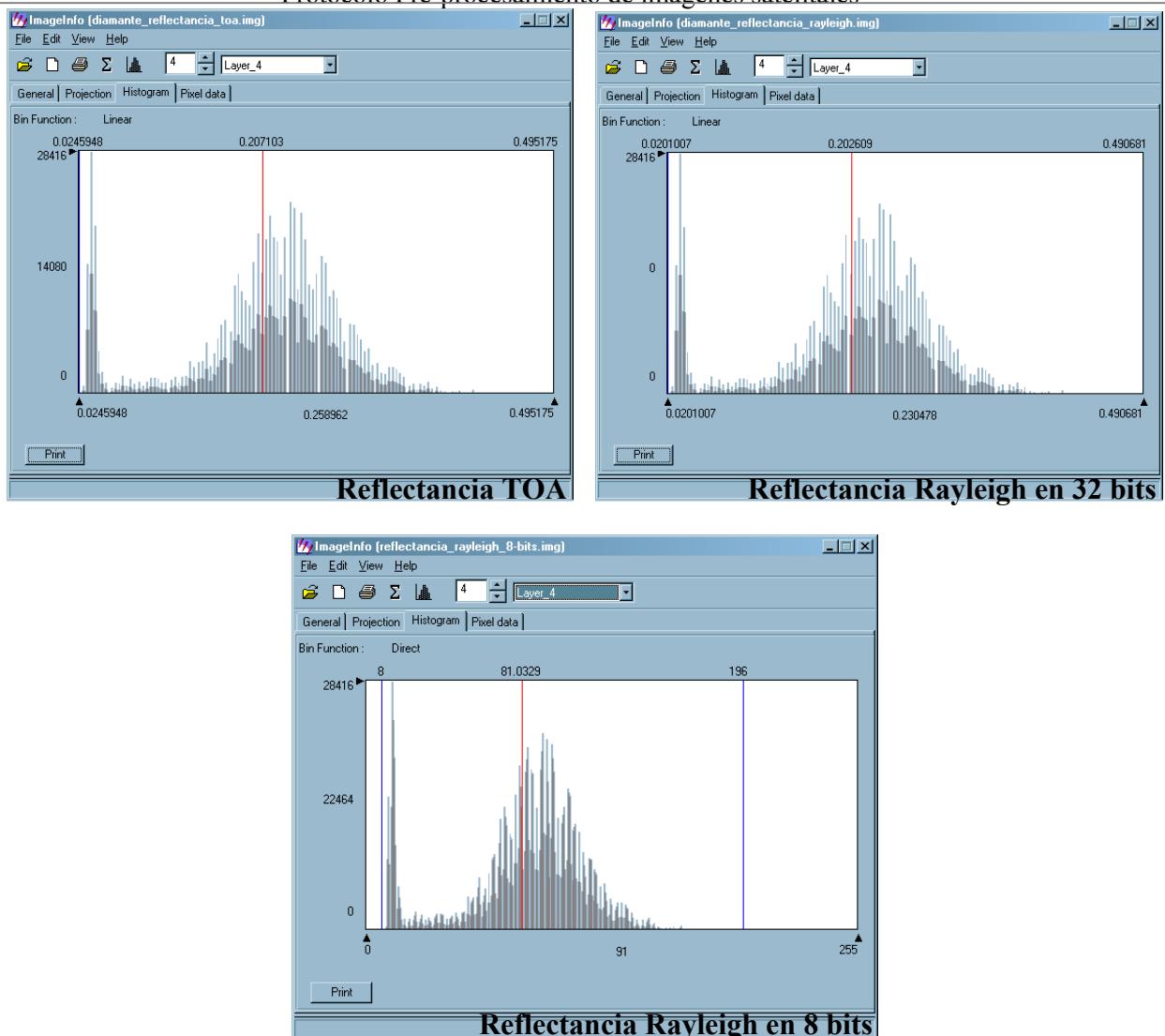
En el gráfico que se presenta a continuación se muestran los patrones espectrales de diferentes elementos en términos del valor de reflectancia espectral en la superficie en función de la variación de la longitud de onda. A pesar de que el sensor del Landsat solo registra en determinadas porciones del 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).



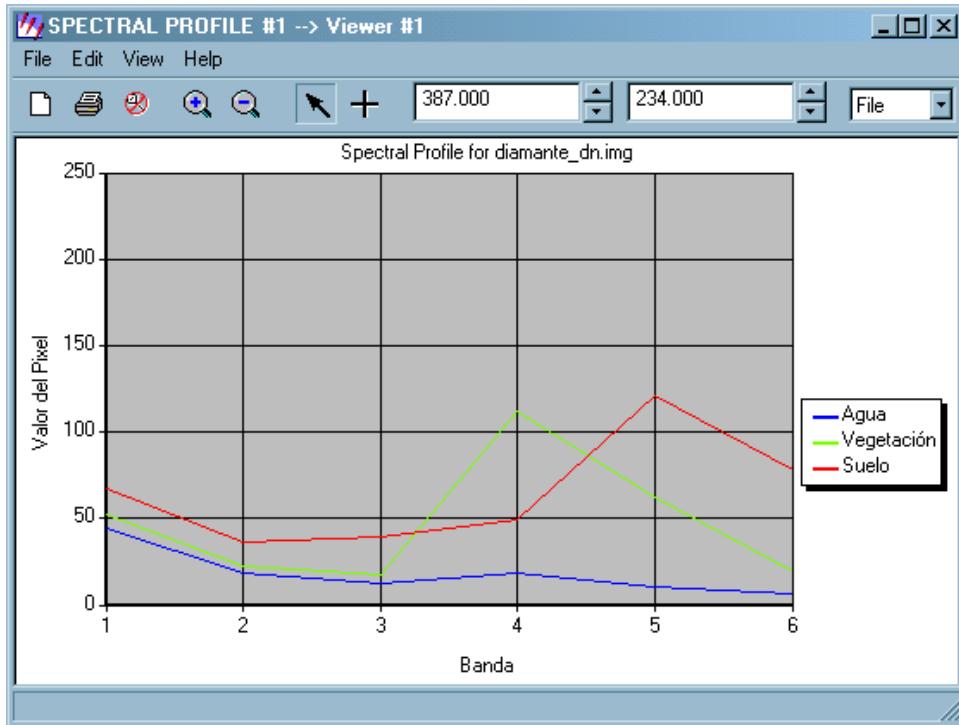
- A continuación se presentan Histogramas de la banda 4 de las imágenes de contajes (ND), radiancias, reflectancia TOA y reflectancia corregida por Rayleigh en float y en 8 bits, de una imagen correspondiente a Landsat 5 TM del 16 de septiembre de 2004, path y row 227/082.



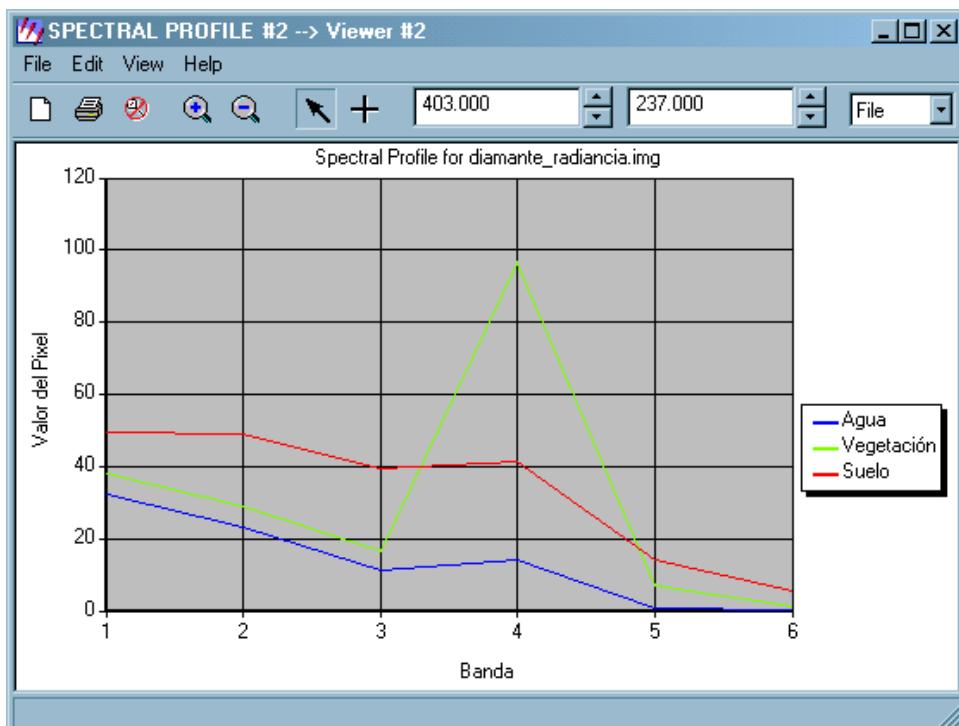
**-Protocolo Pre-procesamiento de imágenes satelitales-**



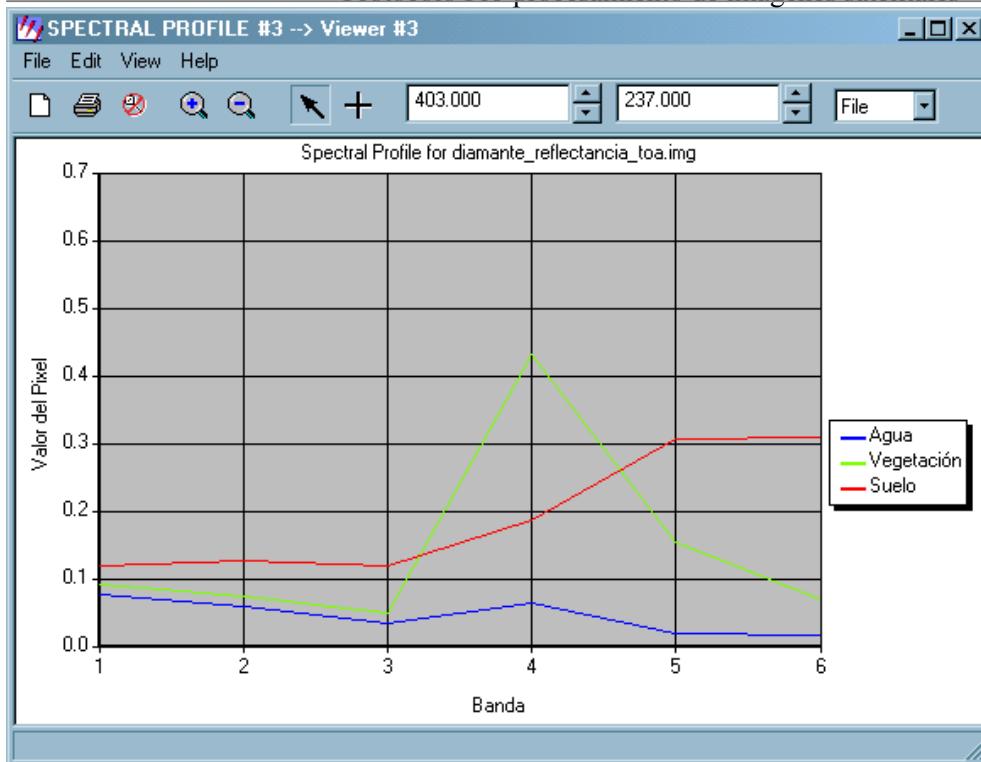
- Patrones espectrales de las imágenes de contajes (ND), radiancias, reflectancia TOA y reflectancia corregida por Rayleigh en float y en 8 bits, para muestras de vegetación, agua y suelo, de la misma imagen Landsat 5 sobre la que se realizó el procedimiento completo.



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

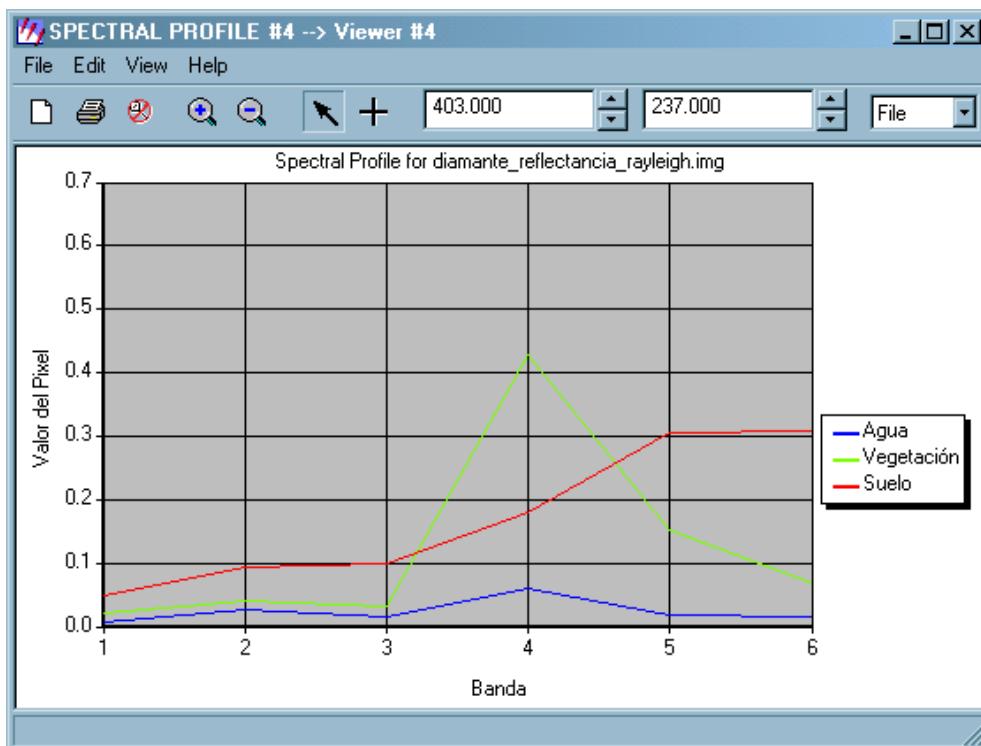


Valores de Radiancia ( $L = Gain \times DN + Bias$ ) en watts/(m<sup>2</sup> x stenradian x μm)



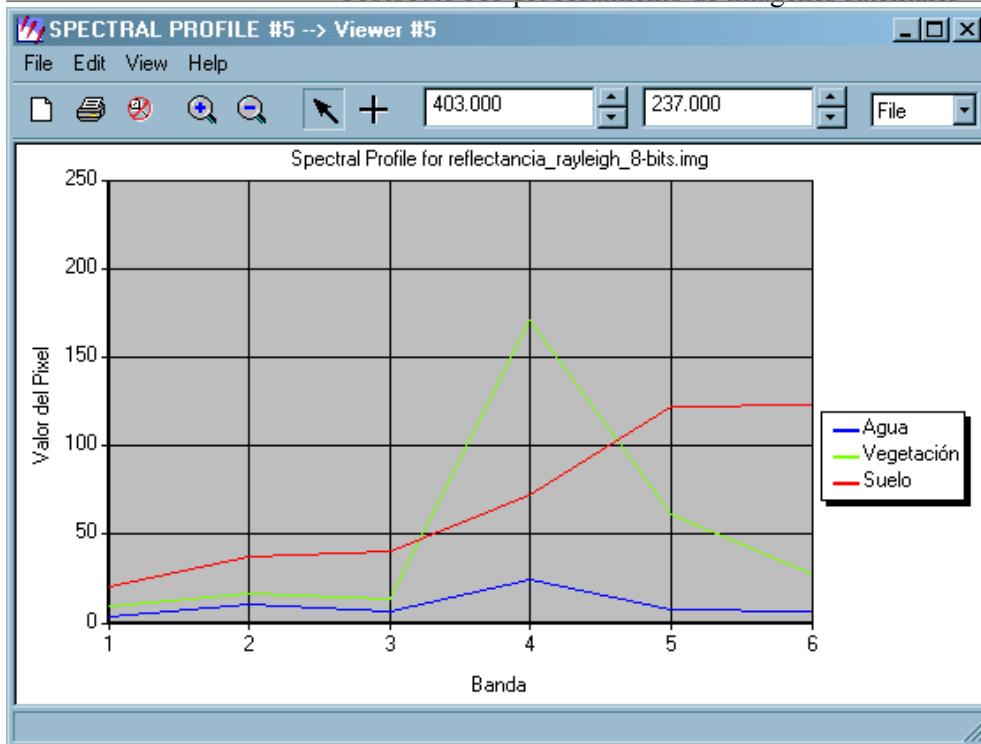
Valores de  
Reflectancia TOA  

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