

## Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal

Brizuela, Armando B.<sup>1,2</sup>; Aguirre, César A.<sup>1,2</sup>; Velasco, Inés<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER,

Ruta 11 km 10, Oro Verde, Entre Ríos

<sup>2</sup> CICyTTP – CONICET

Materi y España, Diamante Entre Ríos

<sup>3</sup> Departamento de Cs. de la Atmósfera – FCEyN UBA,

Ciudad Universitaria – Ciudad Autónoma de Buenos Aires

### RESUMEN

En este trabajo se utilizaron los modelos de 'reflectancia aparente (AR)', 'sustracción del objeto oscuro (DOS)' y 'COST' con datos Landsat 5. El objetivo es conocer el comportamiento de estos métodos y analizar las características de las áreas invariantes. Los resultados muestran que los métodos DOS y COST producen datos de mayor similitud, en todas las bandas, para las distintas fechas analizadas. Ambos proveen igual información pero el método COST proporciona más homogeneidad. Los puntos que mostraron menor diferencia –invariantes– se utilizaron para analizar el patrón espectral que presenta cada banda.

Palabras clave: Corrección atmosférica, Landsat 5, áreas invariantes

### ABSTRACT

In this work the methods of 'Apparent Reflectance (AR)', 'Dark Object Subtraction (DOS)' and 'COST' were used with Landsat 5 data. The objective is to know the behavior these methods and to analyze the characteristics of the invariant areas. The results show that the methods DOS and COST produce data of greater similarity, in all the bands, for the different analyzed dates. Both provide equal information but COST method provides more homogeneity. The points that showed minor differentiate -invariant- were used to analyze the spectral pattern that present each band.

Keywords: Atmospheric correction, Landsat 5, invariants areas

### Introducción

La radiación electromagnética captada por los sensores de los satélites atraviesa la atmósfera y es modificada por efecto de la dispersión debido a la interacción con las moléculas y partículas de la atmósfera. La dispersión Rayleigh es producida por las moléculas de los gases atmosféricos y es una de las principales causas de bruma, lo que genera una disminución del contraste de la imagen. El tamaño de las moléculas es inferior a la longitud de onda de la radiación y afecta más a las longitudes de onda corta (Tagestad, 2000).

Cuando se presentan gotitas de agua ocurre una dispersión de todas las longitudes de onda, tanto en el rango visible como en el infrarrojo (Lillesand and Kiefer, 1987). Las partículas más grandes, como los cristales de hielo o las gotas de agua, no presentan la misma forma de dispersión. Mie descubrió en 1908 que en este caso la luz es dispersada de la misma manera para todas las longitudes de onda y por lo tanto es blanca.

Los valores de los píxeles en las imágenes satelitales expresan la cantidad de energía radiante recibida por el sensor en la forma de valores relativos no calibrados simplemente llamados Números Digitales (ND) o brillo. Para muchas (quizás la mayor parte de las) aplicaciones en la teledetección (como la clasificación de una imagen de fecha única usando clasificación no supervisada), no es necesario convertir estos valores (Eastman, 2004). Pero si se trata de realizar comparaciones entre imágenes de distintas fechas, de las mismas áreas, será necesario realizar las correcciones de los datos de manera que sean comparables. Sin embargo la dispersión y absorción provocada por los aerosoles resulta difícil corregir debido a su variación en el tiempo y el espacio, constituyendo la limitación más severa en la corrección radiométrica de los datos de satélite (Song et al, 2001)

#### Radiancia, reflectividad y dispersión Rayleigh

*Radiancia* es la cantidad de energía electromagnética que pasa a través o es emitida desde un área en particular, confinada en un ángulo sólido en una dirección específica. El ángulo sólido tiene su vértice en la apertura del sistema sensor o del sistema óptico y base en la fuente o superficie de reflexión.

Radiancia es definida por:

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA d\Omega \cos \theta} \simeq$$

Donde:

La aproximación es válida para valores pequeños de  $A$  y  $\Omega$ .

$L$  es radiancia ( $W m^{-2} sr^{-1}$ ),

$\Phi$  flujo radiante o potencia ( $W$ ),

$\theta$  ángulo entre la superficie normal y la dirección especificada,

$A$  es el área de la fuente ( $m^2$ ), y

$\Omega$  es el ángulo sólido ( $sr$ ).

Frecuentemente con  $L_\lambda$  se indica la radiancia espectral -por unidad de longitud de onda- o como  $L_\nu$ -por unidad de frecuencia-.

*Reflectividad* o reflectancia es el cociente entre la energía reflejada y la energía incidente. Los objetos presentan reflexión superficial que combina las dos formas, difusa y especular.

El procedimiento de corrección de los ND a valores de radiancia se utiliza para generar imágenes de reflectividad o temperatura de la superficie. La información en los ND se encuentra en modo relativo, es decir que a mayor ND

mayor reflectividad, pero no es adecuada para comparar bandas o imágenes de distinta fecha. Por el contrario la reflectividad es una variable cuyos valores son comparables para distintos lugares y distintas fechas, esto hace más sólida la interpretación de los datos y el análisis integrado entre imágenes de distintos sensores (Chuvieco, 1996)

*Dispersión de Rayleigh* Las partículas de la atmósfera y las gotitas de las nubes producen la dispersión de la luz del sol. Se conoce como dispersión de Rayleigh de la luz del sol en la atmósfera y explica porque el cielo es azul, ya que las partículas –en función de su tamaño– producen más dispersión en la banda azul del espectro electromagnético. La radiación que llega a la superficie de la tierra (radiación global) se compone de la que llega en forma directa (radiación directa) más la que llega en forma difusa (radiación difusa).

#### Corrección de las imágenes.

Las correcciones que se deben realizar sobre las imágenes tienden a eliminar los ruidos causados a la señal que llega al satélite luego de haber atravesado la atmósfera, el efecto de la distorsión de la señal produce errores en la localización como en los ND de los píxeles. Pueden presentar alteraciones radiométricas y geométricas de forma que no coincida con el tono, posición y tamaño de los objetos. Algunas técnicas, para corregir estos efectos, son incorporadas de modo rutinario por las estaciones receptoras de las imágenes, pero en otros casos se requieren correcciones más detalladas como en los estudios multitemporales o cuando se requiere incorporar información auxiliar (Chuvieco, 1996).

La atmósfera puede afectar la naturaleza de las imágenes de sensores remotos de diferentes formas. Los efectos atmosféricos pueden ser sustanciales por lo que se ofrecen varios enfoques para la corrección atmosférica. En el programa Idrisi Kilimanjaro el módulo más elaborado es ATMOSC (Eastman, 2004).

#### Conversión de los ND a valores de reflectancia:

La señal recibida por los sensores se codifica en los diferentes valores de ND de acuerdo a la reflexión de la radiación electromagnética de las cubiertas. El proceso inverso, conversión de los ND a reflectividades, se realiza en dos fases: primero pasar ND a valores de radiancia, a partir de los coeficientes de calibración, y luego estimar los valores de reflectividad aparente,

conociendo la irradiancia solar y la fecha de adquisición de la imagen.

Chander y Markham (2003) señalan que cuando se comparan imágenes de distintas fechas es ventajoso transformar los valores de radiancia en reflectancia porque se remueve el efecto producido por ángulo solar y se compensan las diferencias en los valores de la irradiancia solar extra-atmosférica. La reflectancia combinada de la superficie y atmósfera se calcula mediante la expresión:

$$\rho_P = \frac{\Pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s}$$

Donde

- $\rho_P$  reflectancia planetaria adimensional
- $L_{\lambda}$  radiancia espectral en apertura del sensor
- $d$  distancia tierra-sol en unidades astronómicas
- $ESUN_{\lambda}$  irradiancia solar exoatmosférica media
- $\theta_s$  ángulo cenital solar en grados

En el mismo trabajo se presentan los valores correspondientes a  $L_{min}$  y  $L_{max}$  de la radiancia espectral y de radiancia espectral solar exoatmosférica para cada banda. También se incluye la distancia tierra-sol en unidades astronómicas. Los datos que dependen de las escenas –fecha, ángulo solar– se obtienen del archivo de metadatos (header) de las mismas.

Para realizar la conversión a radiancia se utilizan los valores de ganancia (Gain) y sesgo (Bias) presentes en el archivo «header» de cada imagen (Vogelmann et al., 2001). Sin embargo, a partir del 5 de mayo de 2003, los valores del Landsat 5 TM se recalibran por lo tanto las imágenes posteriores a esta fecha son transformadas utilizando los valores corregidos

En Idrisi el módulo ATMOSC requiere que se ingresen la fecha y hora de adquisición de la imagen, el ángulo solar y del satélite, los valores de ganancia y sesgo y la longitud de onda media de la banda a corregir. Los valores de ganancias y sesgo son incorporados en las unidades  $mW \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ um}^{-1}$  (milliWatts por centímetro cuadrado por estereoradian y por micrón

### Calibración de la Radiancia

Para el Landsat 5 los detectores están calibrados de manera tal que hay una relación lineal entre los ND y la radiancia espectral. Esta

función lineal es típicamente descrita por tres parámetros: el rango de valores ND en la imagen, la radiación más baja ( $L_{min}$ ) y la radiación más alta ( $L_{max}$ ). En general los datos son distribuidos en formato de 8 bits correspondiente a los 256 niveles DN.  $L_{min}$  es la radiación espectral correspondiente al valor ND mínimo (usualmente 0).  $L_{max}$  es la radiación correspondiente al valor ND máximo (usualmente 255). No solo cada sensor, sino también cada banda dentro del mismo sensor tiene su propio  $L_{min}$  y  $L_{max}$ . La información acerca de los parámetros de calibración de los sensores ( $L_{min}$  y  $L_{max}$ ) es ofrecida con los datos (header) o en el trabajo mencionado de Chander y Markham (2003). La ecuación que relaciona los DN de sensores remotos con la radiancia es:

$$L = \left( \frac{L_{max} - L_{min}}{255} \right) ND + L_{min} \quad (3)$$

La radiancia  $L$  se expresa en  $W \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ .

Alternativamente, la calibración del sensor puede ser expresada en la forma de compensación y ganancia (también denominadas Bias y Gain). En este caso, la radiancia puede calcularse como:

$$L = \text{Compensación} + (\text{Ganancia} \times \text{DN}) \quad (4)$$

También es posible convertir entre una especificación Compensación/Ganancia y  $L_{min}/L_{max}$  de la siguiente manera:

$$\text{Compensación} = L_{min}$$

$$\text{Ganancia} = \frac{L_{max} - L_{min}}{255} \quad (5)$$

o alternativamente:

$$\begin{aligned} L_{min} &= \text{Compensación} \\ L_{max} &= (\text{Ganancia} \times 255) + L_{min} \end{aligned} \quad (6)$$

### Materiales y métodos

Se utilizaron cuatro imágenes Landsat 5 TM, (Escena: 226-082) correspondientes a enero y abril de 1999 y a febrero y abril de 2006 (Tabla 1). Las escenas fueron seleccionadas de forma que representen similares condiciones en cuanto a la misma escena (226-082) y la misma época del año (enero-febrero, abril) en tanto entre las adquisiciones hay hasta siete años de dife-

rencia. Las imágenes fueron corregistradas, tomando la de abril de 1999 como referencia. Se verificó que esta transformación no introduce modificaciones significativas en los valores de los niveles digitales originales. Con esto se logra asegurar una adecuada coincidencia espacial en la localización de los píxeles, aunque no estén georreferenciadas, manteniendo los mismos valores ND.

**Tabla 1.** Fechas de las imágenes Landsat 5 utilizadas

Escena	Fecha
226-82	15/01/1999
226-82	21/04/1999
226-82	19/02/2006
226-82	24/04/2006

Se utilizaron tres modelos para efectuar las correcciones. Son conocidos como Modelo de Reflectancia Aparente (AR), Sustracción del objeto oscuro (DOS) y el Modelo COST que constituye una mejora del anterior pues incorpora una estimación de la transmitancia.

Estos modelos estiman el efecto atmosférico, y corrigen parcialmente los datos de acuerdo a la posición del sol y la transmitancia.

El modelo DOS fue propuesto por Chaves (1988) ha sido utilizado en numerosas aplicaciones probablemente por ser de aplicación simple. Postula que la bruma atmosférica incrementa los ND en áreas de las imágenes de agua limpia, profunda y calma, donde por las características físicas deben presentar reflectancia nula. El valor representativo de esa diferencia se sustrae, en cada banda, en todos los píxeles de la escena.

El modelo COST también propuesto por Chavez (1996) aplica la sustracción del objeto oscuro para el efecto de bruma e incorpora una estimación de la transmitancia ya que esta representa la absorción por parte de los gases atmosféricos y de la dispersión Rayleigh.

Los tres modelos están incorporados en el módulo ATMOSC de Idrisi Kilimanjaro. De la presentación de Eastman et al (2004) se resume:

\* Modelo de Reflectancia Aparente (AR)  
- efectúa un ajuste muy pequeño del efecto atmosférico al contemplar solo la elevación so-

lar, y por consiguiente, el grosor efectivo de la atmósfera.

- convierte los ND a valores aproximados de reflectancia.

- no realiza corrección por absorción o dispersión atmosférica.

Se asume que los valores de transmitancia (T), irradiancia espectral difusa del cielo (IEDC) y camino de radiación debido a bruma (CRB) son los siguientes:

T: 1.0      ISDC : 0.0      CRB : 0.0

\* Modelo de Sustracción de Objetos Oscuros (DOS)

- asume que un valor representativo ND, mayor a cero, en áreas de agua limpia, profunda y calma representa el aporte de la bruma y por lo tanto se puede sustraer en cada banda.

- compensa las variaciones en la radiación solar según el momento del año y el ángulo de elevación del sol.

- requiere estimar el ND que corresponde al objeto oscuro, fecha y hora de toma de la imagen, longitud de onda central de cada banda, elevación solar y coeficientes de conversión de la radiancia.

En este método se asume:

T :1.0      ISDC : 0.0      CRB : ND  
(del objeto oscuro supuesta reflectancia nula)

\* Modelo COST

- utiliza los mismos datos que el método DOS.  
- estima T con el coseno del ángulo cenital del sol ( $90 - \text{elevación solar}$ ).

En este caso se considera:

T :  $T \cdot \cos(90-h)$       ISDC: 0.0      CRB :ND  
(del objeto oscuro supuesta reflectancia nula)

Procedimiento empleado:

Para aplicar los métodos descritos se obtienen los datos y coeficientes requeridos utilizando:

Fecha de la escena y elevación del sol, del header de cada imagen.

Coefficientes de calibración de radiancia espectral: de -según la fecha- en Chander et al (2004) o en Chander y. Markham (2003)

Longitud de onda central de cada banda: presentadas por APN SIB (2005)

Los valores ND correspondientes a los objetos oscuros se extrajeron a partir de los histogramas de frecuencias considerando el valor que corresponde a una frecuencia acumulada que

igual a o supera por primera vez los 4000 píxeles.

Una vez obtenidos los valores corregidos, por banda, para las distintas fechas se calcularon los coeficientes de regresión y de correlación tomando como referencia la imagen de abril de 1999. Luego, a partir de las imágenes corregidas se determinaron las áreas que presentaban menor variación -primer decil de la diferencia entre ambas fechas- de éstos se seleccionaron aleatoriamente 2458 píxeles. Este conjunto de píxeles representa áreas invariantes que se utilizan para conocer en que medida las correcciones proveen valores similares y, por lo tanto, facilitan la comparación entre los métodos.

## Resultados

En primer lugar se muestran los coeficientes de regresión y de correlación de los datos originales entre bandas similares para las distintas fechas. Teniendo en cuenta que aquí se incluyen todos los píxeles que coinciden espacialmente pero cuya reflectividad depende también de otros factores -fenología, ocupación, humedad- no se espera una alta correlación como se confirma (Tabla 2). Se observan valores de la ordenada al origen (a) superiores en las bandas 1, 4 y 5. Por otro lado se observan valores de pendiente de la recta de regresión (b) en un rango de valores entre 0.10 y 0.58 -la mayoría se hallan entre 0.20 y 0.40- y los coeficientes de correlación en general se encuentran por debajo de  $r=0.5$ .

Si bien se trata de una comparación entre valores de píxeles que tienen correspondencia en cuanto a la ubicación presentan diferente respuesta en el tiempo. Las variaciones se deben principalmente a los cambios en la cobertura por el uso de los recursos, el estado fenológico de la vegetación, las condiciones del suelo y de la atmósfera o declinación solar, entre otras.

Para concretar la comparación en una muestra de píxeles invariantes se reescalaron los datos de reflectancia a 8 bits afectando los valores por el escalar 255. Al restringir el análisis a los píxeles considerados como invariantes se debe esperar una correlación relativamente elevada -que indicaría esta condición de no variación- y, también, coeficientes de regresión que muestren el grado de similitud entre bandas iguales de distintas fechas. La situación más favorable es aquella en la cual los valores de los píxeles invariantes sean iguales o muy similares entre sí. Eso significa valores  $a=0$ ,  $b=1$  y  $r=1$ . La Tabla 3 resume los resultados al comparar los datos corregidos de una muestra alea-

toria de 2458 píxeles -considerados como invariantes-.

Efectivamente los coeficientes de correlación son relativamente altos ( $r > 0.7$ ) para los tres modelos. A su vez los valores de 'a' son cercanos a cero. La pendiente 'b' de la recta toma valores en un rango entre 0.59 y 1.24. Los modelos AR, DOS y COST no se diferencian significativamente en los valores de r.

El modelo AR tiene valores de ordenada al origen más cercanos al origen en las bandas 5 y 7. En ambas bandas el efecto atmosférico es mínimo o despreciable, de hecho los ND del objeto oscuro utilizados fueron  $ND=0$ . En las bandas 1 a 3 los valores más bajos de 'a', prácticamente cero, se logran con los modelos DOS y COST. El modelo AR muestra, para la banda 4, un mejor comportamiento de 'a' aunque no sea próximo al valor nulo. Los valores de pendiente en las regresiones, entre la imagen 226-82\_19990421 y las tres restantes, que presentan mejor comportamiento corresponden al modelo COST. También presenta valores de 'r' prácticamente iguales a los otros modelos.

Globalmente el modelo COST tiene un mejor desempeño para los coeficientes 'b' y 'r', en las bandas 1 a 4, por cuanto de su aplicación se obtienen los valores de los píxeles invariantes con mayor similitud. A su vez en las bandas 5 y 7 el modelo AR y DOS mejoran levemente a COST -iguales valores de 'b' y de 'r' pero menores valores de 'a'.

Estos resultados ayudan a reunir estas evidencias pero no son suficientes estadísticamente por tratarse de pocas fechas y -principalmente- porque se requiere un mayor conocimiento sobre las características de los invariantes.

Con el objeto de avanzar en este sentido se analizaron las firmas espectrales de la muestra de píxeles invariantes.

Como datos relevantes se observa:

Los píxeles invariantes se presentan aislados o en grupos de pocos píxeles. En el área de trabajo -escena 226-82- se distribuyen principalmente en áreas cubiertas con bosques nativos o vegetación ribereña. Los píxeles que corresponden a otras categorías de cobertura -agua, suelo sin vegetación- tienen menor peso en la distribución pero aportan en las regresiones.

**Tabla 2.** Coeficientes de regresión y de correlación entre valores originales de la imagen 226-082 19990421 con las restantes tres fechas.

Banda	19990115			20060219			20060424
	a	b	r	a	b	r	a
1	29.76	0.254	0.450	32.01	0.233	0.363	26.20
2	11.62	0.289	0.486	13.94	0.232	0.392	9.97
3	14.87	0.210	0.327	16.35	0.191	0.309	11.57
4	31.95	0.169	0.290	36.30	0.111	0.198	28.80
5	25.17	0.346	0.585	29.06	0.322	0.500	18.93
7	14.68	0.240	0.405	17.05	0.217	0.325	11.21

**Tabla 3.** Coeficientes de regresión y de correlación entre los valores corregidos -por los tres métodos- entre la imagen 226-082 19990421 y las tres fechas restantes, para una muestra de píxeles 'invariantes',

Modelo: ARM

Banda	19990115			20060219			20060424		
	a	b	r	a	b	r	a	b	r
1	6.923	0.631	0.827	3.064	0.633	0.750	2.420	0.660	0.705
2	5.209	0.618	0.868	3.671	0.599	0.785	-0.339	0.796	0.780
3	3.251	0.719	0.824	2.429	0.666	0.758	0.435	0.752	0.760
4	5.967	0.602	0.923	7.629	0.621	0.872	6.919	0.808	0.866
5	2.666	0.824	0.799	2.362	0.794	0.793	2.544	0.817	0.830
7	1.359	0.847	0.808	1.874	0.797	0.785	2.212	0.742	0.806

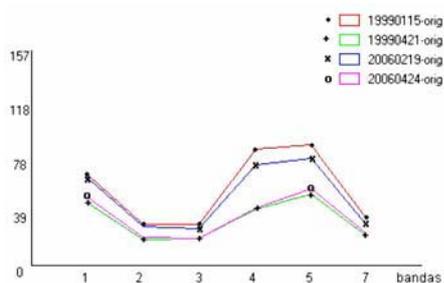
Modelo DOS

Banda	19990115			20060219			20060424		
	a	b	r	a	b	r	a	b	r
1	-	0.694	0.828	-	0.657	0.755	0.589	0.716	0.707
2	0.154	0.650	0.869	0.069	0.590	0.794	-	0.831	0.775
3	0.526	0.755	0.827	-	0.671	0.761	1.219	0.752	0.763
4	1.118	0.629	0.923	0.774	0.618	0.871	0.646	0.804	0.867
5	4.289	0.841	0.798	6.615	0.811	0.793	5.941	0.835	0.830
7	2.976	0.847	0.808	2.634	0.797	0.785	2.814	0.742	0.805

Modelo COS(T)

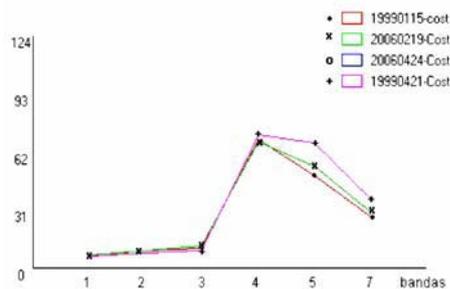
Banda	19990115			20060219			20060424		
	a	b	r	a	b	r	a	b	r
1	-	1.027	0.839	-0.463	0.961	0.765	0.493	0.816	0.720
2	0.383	0.943	0.865	0.490	0.843	0.785	-0.936	0.808	0.784
3	0.536	1.112	0.825	1.808	0.954	0.758	-1.299	0.787	0.761
4	2.326	0.921	0.923	11.916	0.871	0.872	11.123	0.842	0.865
5	7.824	1.235	0.799	4.593	1.145	0.792	5.053	0.881	0.831
7	5.361	1.238	0.807	3.328	1.123	0.783	3.977	0.785	0.804

Al comparar las firmas espectrales de los invariantes, antes y después de aplicar los modelos, se observa que luego de las correcciones los datos resultan homogéneos. Las firmas espectrales de los invariantes para las imágenes originales tienen un patrón similar pero los valores medios son diferentes en las distintas fechas (Figura 1).



**Fig. 1.** Firmas espectrales de invariantes sin corrección.

Luego de aplicar los modelos se obtienen datos cuyas firmas además de tener un mismo patrón presentan los mismos valores medios, en las bandas 1,2,3 y 4, o próximos en las bandas 5 y 7, (Figura 2). Puesto que en estas bandas el efecto atmosférico es mínimo se debe analizar que modelo aplicar. A priori parece razonable utilizar el modelo COST para las cuatro primeras bandas y el modelo AR para las bandas 5 y 7.



**Fig. 2.** Firmas espectrales de invariantes luego de la corrección con el modelo COST.

## Conclusiones

Al aplicar los modelos de corrección atmosférica AR, DOS y COST a 4 imágenes de la misma ubicación espacial (L5 TM 226-082) pero distintas en el tiempo, se comprueba que los modelos DOS y COST producen datos corregidos homogéneos. El modelo COST presenta globalmente mejor comportamiento salvo en la banda 4 donde el valor de la ordenada al origen de la regresión es alto.

Al comparar, para distintas fechas, las firmas espectrales de una muestra de píxeles invariantes, corregidos por el modelo COST se observan los mismos valores medios en las bandas 1 a 4 y cercanos en las bandas 5 y 7.

El patrón espectral –dominante– que presentan los invariantes, en estas imágenes, corresponde a bosques nativos o selvas ribereñas.

## Agradecimientos

Las imágenes utilizadas en este trabajo fueron proporcionadas por la CONAE en el marco de los convenios CONAE-UNER y CONAE-CO-NICET.

## Referencias

- APN-SIB, 2005. Administración de Parques Nacionales. Sistema de Información de Biodiversidad. Protocolo para el pre-procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires.
- Chander, G., and B. Markham. 2003. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41:2674 - 2678.
- Chander G., Helder D. L., Markham B. L., Dewald J. D., Kaita E., Thome K. J., Micijevic E. and Ruggles T. A., 2004 Landsat-5 TM Reflective-Band Absolute Radiometric Calibration, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 42, pp. 2747–2759, Dic.
- Chavez, J. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24:459-479
- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de Teledetección. 3ª edición revisada ed. Ediciones RIALP, Madrid.
- Eastman (2004), IDRISI Kilimanjaro, Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes Clark Labs Clark University, Worcester, MA, USA

- Lillesand, T.M., and R.W. Kiefer. 1987. Remote sensing and image interpretation, New York.
- Song, C., C.E. Woodcock, K.C. Seto, M.P. Lenney, and S.A. Macomber. 2001. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? *Remote Sensing of Environment* 75:230-244.
- Tagestad, J. 2000. Radiometric standardization of adjacent Landsat Thematic Mapper Image for multi-scene mosaics. master of science, Utah State University, Logan, Utah.
- Vogelmann, J.E., D. Helder, R. Morfitt, M.J. Choate, J.W. Merchant, and H. Bulley. 2001. Effects of Landsat 5 Thematic Mapper and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus radiometric and geometric calibrations and corrections on landscape characterization. *Remote Sensing of Environment* 78:55.