

## SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL SENSOR AVHRR DE LA SERIE DE SATÉLITES NOAA

Edison Pariona Silva<sup>1</sup> Carlos Eche Llenque<sup>2</sup> Julio Martín Herrero<sup>3</sup>  
Flavio Carrillo Gomero<sup>1</sup> Joel Rojas Acuña<sup>2</sup>

- (1) *Laboratorio Procesamiento Digital de Señales, Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Electrónica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.*
- (2) *Laboratorio de Teledetección, Departamento de Física Interdisciplinaria Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.*
- (3) *Universidad de Vigo, España.*

**Resumen :** En los últimos años las imágenes de satélites se han transformado en la principal fuente de información para estudios relacionados a la tierra, debido a que estos proveen ventajas únicas, como son: una cobertura global y sinóptica, una frecuencia temporal y homogeneidad de los datos. Los datos obtenidos por el satélite en su trayectoria tienen que ser procesadas y mapeadas dentro de una proyección estándar para producir mapas de datos multitemporales, que pueden luego ser utilizados para estudios de la tierra de manera regional o global. En este artículo, se describe un sistema de software para la generación de mapas de datos ajustados a las necesidades del usuario a partir de los datos obtenidos por el sensor AVHRR (radiómetro avanzado de muy alta resolución). Este software permite la generación de mapas de datos importantes para científicos que deseen desarrollar modelos de sistemas terrestres o analizarlos basado en los datos del sensor AVHRR, tanto en cobertura de área local (LAC) como en cobertura de área global (GAC). Este producto está basado en una metodología básica de procesamiento de imágenes de satélite y está conformado por cuatro componentes: pre procesamiento, mejoramiento, transformación y funciones adicionales para el análisis.

**Abstract:** In the last years the satellite images have become the main source of information for studies related to the earth, since they provide unique advantages, like a global and synoptic covering, a temporary frequency and data homogeneity. The raw data obtained by the satellite in its orbit is processing and mapping inside a standard projection to produce maps of multitemporal data that can be used for researches of the earth in a regional or global coverage. In this article, we will describe a software system used to generate maps of product data adjusted to the user's necessities starting from the data obtained by the sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). This software allows the generation of rich product data maps with information for scientists that want to develop terrestrial system models or to analyze them based on the data of the AVHRR sensor, than in local area coverage (LAC) as in global area coverage (GAC). This software is based on a basic methodology of digital image processing and it is compose by four structures: pre processing, enhancement, transformation and additional functions for the analysis.

**Palabras Claves :** Teledetección, *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)*, *Local Area Coverage (LAC)*, *Global Area Coverage (GAC)*, procesamiento de datos, ciencia de información física, *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*.

## I. INTRODUCCIÓN

El Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) se puede definir como la manipulación de los valores digitales contenidas en una imagen utilizando un microcomputador con el fin de corregir, perfeccionar y/o extraer los rasgos característicos de ésta. Sin duda la técnica es aplicable en muchos campos del conocimiento tales como medicina, biología, astronomía, agricultura y oceanografía.

Para comprender el trabajo que involucra el PDI en teledetección es sin duda importante mencionar algunas características básicas de esta área, debido a la poca difusión y trabajos al respecto en nuestro medio. Por Teledetección se entiende, la adquisición de información de un objeto a distancia, esto es, sin que exista contacto material entre el objeto o el sistema observado y el observador. Es parte del principio de la existencia de una perturbación (energía electromagnética) que el sistema receptor registra para ser interpretada posteriormente [Richards, 1999]. Desde el punto de vista físico, esta energía se transmite al sistema receptor que capta una señal que será registrada, almacenada y posteriormente interpretada. Desde el punto de vista práctico, tiene por objeto el reconocimiento de las características de la superficie terrestre y de los fenómenos que en ella tienen lugar a partir de los datos registrados por el sensor [Sobrinó, 2001].

En los últimos años, la teledetección basada en satélites ha llegado a ser la principal fuente de información en escalas regionales para estudios geográficos, meteorológicos y ambientales, ya que ellos proveen de una vista temporal dinámica de la superficie terrestre. Un sensor particularmente importante es el AVHRR, a bordo de la serie de satélites NOAA, que ha sido utilizado para supervisar el ambiente terrestre en un rango de resolución por encima de los 1.1 Kms. Estos datos de gran resolución son el único tipo de información satelital disponible globalmente en un periodo de tiempo diario por más de 16 años. Sin duda, la serie NOAA constituye una de las misiones espaciales de mayor éxito, y hoy en día el uso de este tipo de imágenes se ha extendido entre otras aplicaciones terrestres y marinas, como son: seguimiento de la vegetación a escala global y regional, en cartografía de superficies cubiertas de hielo y nieve, en oceanografía dinámica, hidrología, geología, detección de incendios, control de polución atmosférica y marina, etc.

## II CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR AVHRR DE LA SERIE NOAA

Los datos multicanal del sensor AVHRR pueden ser adquiridos en cuatro modalidades, *Automatic Picture Transmission (APT)*, *High Resolution Picture Transmission (HRPT)*, *Local Area Coverage (LAC)* y *Global Area Coverage (GAC)*. Sin embargo, no se encuentran en un formato que puedan estar disponibles para ser usado en estudios científicos regionales o globales. Los datos AVHRR sin procesar son también referidos como datos *level 1B* y contienen números digitales no calibrados de los cinco canales del sensor AVHRR, los cuales son: información de calibración y localización de la tierra, información de telemetría, geometría satelital y geometría solar. Los datos *level 1B* han sido procesados y mapeados en un estándar de proyección, siendo almacenados para producir conjuntos de datos multitemporales.

La serie de satélites NOAA operan en órbitas heliosíncronas, casi polares, situadas a una altitud entre los 830 y 870 Km, con un periodo orbital de 101 minutos. Funcionan en parejas, es decir, existen dos satélites que operan en órbitas complementarias, de forma que uno de ellos cruza el ecuador aproximadamente a las 7.30 y 19.30 horas (satélite de número par) y el otro a las 2.30 y 14.30 horas (satélite de número impar). Convencionalmente los satélites con número par cubren la órbita de la mañana y los de número impar los de la tarde. Dadas sus características orbitales, la posibilidad de dos pasadas diurnas y dos nocturnas en cualquier punto del ecuador está asegurada y el doble (8 órbitas) en latitudes medias [Sobrinó, 2001].

El sensor a bordo del satélite se comporta como un sistema compuesto de imágenes que detecta la señal a través de dispositivos opto-electrónicos. La señal de entrada es la radiancia de la escena procedente de la superficie terrestre, incluida la contaminación atmosférica, y la salida, viene a ser la radiancia de la imagen, representado en un nivel digital conferido a cada celda o pixel de la imagen. Los sistemas opto-electrónicos, a diferencia de los fotográficos, carecen de soporte físico para almacenar en forma analógica la imagen adquirida. Pero mediante sus detectores, el sensor actúa como conversor analógico-digital, generando una corriente eléctrica cuya intensidad

es directamente proporcional a la radiancia detectada en un determinado rango de longitudes de onda y en un determinado instante la imagen digital es formada por un sistema de conversión analógico-digital.

Además, durante el proceso de grabación se introducen ruidos de procedencia térmica. La restauración o corrección de la imagen es el proceso inverso al de la grabación y por lo tanto, se trata de un proceso de deconvolución, en donde es imposible la eliminación completa del ruido sin eliminar parte de la señal útil. En consecuencia, en la restauración de una imagen habrá que mantener una relación señal-ruido acorde con las exigencias del usuario.

Las imágenes digitales suministradas por los sensores a bordo de los satélites a menudo contienen errores geométricos y de tipo sistemático. Algunos de estos pueden ser corregidos usando los parámetros orbitales del satélite y las conocidas características de distorsión interna del sensor.

En este artículo se describe un esquema eficiente para obtener datos AVHRR corregidos radiométrica y geoméricamente. La meta de trabajo fue desarrollar un programa que procese datos AVHRR tomando como base los módulos de procesamiento estándar del NOAA 14.

### III SISTEMAS DE PROCESAMIENTO

Actualmente el avance de la tecnología ha permitido que los datos almacenados en teledetección se encuentren en forma digital, tanto es así que hoy en día casi todas las interpretaciones y análisis de las imágenes involucran los elementos del procesamiento digital. El procesamiento digital de imágenes involucra numerosos subprocesos tales como: dar un formato a los datos, corregirlos, mejorarlos para permitir una mejor interpretación visual, o incluso automatizar la clasificación de los objetivos y las características de estos [Jähne, 1997]. Para poder procesar digitalmente las imágenes obtenidas por teledetección se debe contar con un sistema de procesamiento de imágenes computarizado.

La mayoría de las funciones desarrolladas en un sistema de procesamiento de imágenes puede ser clasificados en cuatro grupos:

1. Pre procesamiento.
2. Mejoramiento de la imagen.
3. Transformación de la imagen.
4. Clasificación y análisis de la imagen.

Durante el desarrollo de este trabajo se implementaron funciones que permiten desarrollar el procesamiento, el cual se muestra en la figura 1, donde se muestra la jerarquía del sistema. Seguidamente se especifica las funciones más importantes.

#### **3.1 Pre Procesamiento.**

##### **3.1.1 Lectura de los Datos Almacenados**

Los archivos en formato LAC/HRPT contienen información de cinco valores (uno por cada canal) para cada uno de los 2048 puntos que toma el satélite por línea de barrido (e.d, 2048 puntos x 5 canales=1024 muestras por línea). Los datos son empaquetados en palabras de 10 bits, al ser leídos se toman 4 bytes (32 bits), donde los dos primeros bits de la derecha son ceros y de esta manera los bits restantes se pueden agrupar en palabras de 10 bits que representan los pixeles de cada canal. Los datos LAC/HRPT están ordenados así, punto de barrido 1 (canal 1, 2, 3,4, 5), punto de barrido 2 (canales 1, 2, 3,4,5), etc., lo cual es conocido también como bandas intercaladas por pixel (BIP), tal como se muestra en la figura 2.

Dentro de la cabecera de las imágenes se pueden obtener los datos de referencia para la navegación y los valores de calibración de los canales del sensor.

### 3.1.2. Corrección Radiométrica

Debido a que existe una dispersión de radiación durante el registro de datos, la corrección radiométrica modifica los valores de los niveles de grises en la imagen digital, a fin de que la información sea percibida con la mayor claridad posible o bien para destacar las características de interés para el estudio (ver figura 4).

El radiómetro del satélite está diseñado para producir un voltaje relacionado con la radiancia recibida mediante una función lineal. Los valores de voltaje se asocian a niveles digitales. La radiancia medida por el satélite en el canal  $i$  para un píxel de la imagen  $N$ , puede expresarse en función del nivel digital  $C$ , mediante la siguiente ecuación:

$$N = S_i \cdot C + I_i \quad (3.1)$$

donde:

$S_i$  e  $I_i$  son los parámetros de la recta de calibración correspondiente al canal  $i$ , que aparecen codificados en la cabecera de la imagen.



Figura 1. Principales procesos y funciones desarrolladas por cada bloque.

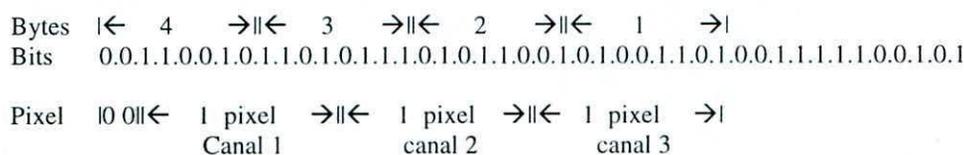


Figura 2. Organización de los datos origen.

Los parámetros de calibración del sensor varían con el tiempo y la calibración del radiómetro se realiza a partir de la detección de una referencia fría (el espacio profundo), y de una referencia cálida (el lugar de ubicación del propio radiómetro, cuya temperatura puede controlarse gracias a un termostato). Luego esta radiancia puede convertirse en temperatura mediante la ecuación de la ley de Planck:

$$T = \frac{C_2 \eta}{\ln\left(1 + \frac{C_1 \eta}{N_i}\right)} \quad (3.2)$$

siendo:

- $N_i$  : la radiancia espectral detectada por el radiómetro del satélite para el canal  $i$ ,
- $\eta$  : el número de onda de inversión,
- $C_1$  :  $1.1910659 \times 10^{-5} \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ cm}^{-1}$
- $C_2$  :  $1.438786 \text{ cm K}$ .

La estimación de las temperaturas del cuerpo negro  $T_{bb}$ , y del espacio  $T_{sp}$ , se realiza a partir de las medidas obtenidas por los cuatro termómetros de resistencia de platino a bordo del satélite. Ambas estimaciones permiten obtener la ecuación de calibración lineal (3.3):

$$N_{in} = S \cdot C + I \quad (3.3)$$

donde:

- $N_{in}$  : radiancia
- $S$  : pendiente de la recta de calibración
- $I$  : constante que determina el punto de intersección
- $C$  : valor digital medido por el radiómetro ( $0 \leq C \leq 1023$ )

### 3.1.3. Geocodificación

Las imágenes digitales proporcionadas por el sensor AVHRR presentan una serie de distorsiones con respecto a una imagen real de la superficie observada. Las operaciones de corrección permite minimizar en la medida de lo posible estas alteraciones. Son múltiples las fuentes que provocan la deformación sufrida en la imagen digital, como son: la rotación de la tierra durante el tiempo de adquisición de la imagen, la curvatura de la tierra, el barrido del sensor, la distorsión panorámica, la orientación del satélite, las variaciones en la altitud del satélite, irregularidades en la distribución de la masa de la tierra, fricción atmosférica, etc. [Richards, 1999].

La geocodificación consistió en corresponder dos sistemas de coordenadas, una referida al sistema de referencia de la imagen donde la posición de la imagen se define como Fila ( $y$ ) y Columna ( $x$ ) y el otro una proyección geográfica o mapa cuya posición es definida por la Latitud ( $\theta$ ) y la Longitud ( $\lambda$ ). Los dos sistemas de coordenadas se relacionan por un par de funciones  $f$  y  $g$ , de esta manera:

$$\begin{cases} \theta = f(x, y) \\ \lambda = g(x, y) \end{cases} \quad (3.4)$$

Si las funciones  $f$  y  $g$  son conocidas entonces se puede localizar un punto en la imagen conociendo su posición en el mapa y viceversa. Las imágenes obtenidas por el sensor contienen información de la ubicación en latitud y longitud de los píxeles dentro de cada línea de la imagen. Una vez obtenidos estos valores se proceden a ubicarlos en una proyección de la imagen utilizando los métodos que se describen a continuación.

### 3.1.3.1 Método del vecino más próximo

Este método consiste en aplicar un algoritmo que asigna a cada píxel corregido la cuenta digital correspondiente al píxel transformada cuyo centro esté más cercano a la corregida. Este procedimiento no supone alteración en las cuentas digitales de la imagen original, sino solamente la traslación a otra digitalización

### 3.1.3.2. Método de interpolación bilineal

El algoritmo de interpolación bilineal asigna al píxel corregido la media ponderada de las cuentas digitales correspondiente a los cuatro píxeles más cercanos de la imagen transformada. Este método produce resultados suavizados, pues las cuatro posiciones más próximas a cada píxel corregido contribuyen al nivel de gris de la misma.



Figura 3. Imagen del Perú sin procesar, obtenida con el canal 3 del Sensor AVHRR.

### 3.2. Procesamiento

#### 3.2.1 Mejoramiento Lineal del Contraste Ecualizando el Histograma

Esta es una función que permite obtener una representación gráfica bidimensional de la relación que existe entre un valor de brillo (cuenta digital) y el número de pixeles que contienen este valor de brillo en una imagen.

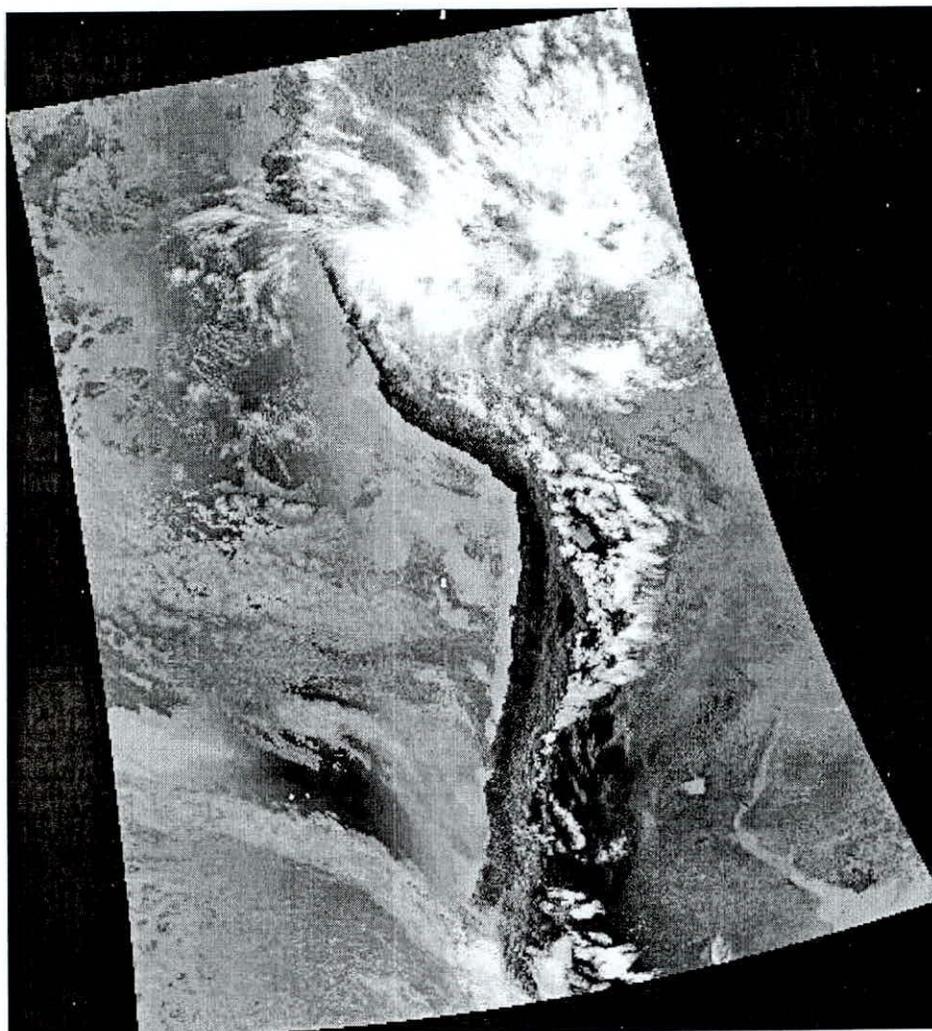


Figura 4. Imagen del Perú obtenida con el canal 3 del Sensor AVHRR corregida radiométrica y geoméricamente.

Las imágenes pueden ser visualizadas en un monitor de un computador usando valores de pixel para controlar la intensidad de vídeo de cada pixel sobre la pantalla. Comúnmente, la intensidad está en el rango de 0 (muy oscuro) a 255 (muy brillante) [Verbyla, 1995]. Las imágenes LAC AVHRR tiene cuentas digitales de 16 bits, por esta razón se debe realizar una operación de ajuste de estos valores con el fin de visualizar como una imagen. Para lo cual utilizamos la ecuación matemática (3.5).

$$I_{(i,j)} = \frac{(P_{(i,j)} - m)}{(M - m)} \times 255 \quad (3.5)$$

donde:

- $I_{(i,j)}$  : Intensidad de pixel en la posición  $(i, j)$
- $M$  : Valor máximo de cuenta digital en la imagen.
- $m$  : Valor mínimo de cuenta digital en la imagen
- $P_{(i,j)}$  : Valor de cuenta digital del pixel en la posición  $(i, j)$ .

En el software es posible ajustar el valor de brillo de los pixeles, cambiando los valores máximos y mínimos de las cuentas digitales de los pixeles mediante la función (3.6).

$$I_{(i,j)} = \frac{(P_{(i,j)} - m)}{(M - m)} \times 255 \quad (3.6)$$

donde:

- $I_{(i,j)}$  : Intensidad de pixel en la posición  $(i, j)$ .
- $M$  : Nuevo valor digital máximo de los pixeles en la imagen.
- $m$  : Nuevo valor digital mínimo de los pixeles en la imagen
- $P_{(i,j)}$  : Valor digital del pixel en la posición  $(i, j)$ .

Esta función permite mejorar el contraste de la imagen para efectos de compresión o dispersión de las cuentas digitales de los pixeles sobre un intervalo de visualización.

### 3.2.2. Filtrado Digital

El software permite generar un filtro digital que desarrollara una operación de convolución de la imagen digital original con la función de respuesta del filtro mostradas en las ecuaciones (3.7) y (3.8).

$$z' = h(u, v) * z(x, y) \quad (3.7)$$

$$z'(x, y) = \sum_{-\infty}^{+\infty} h(u, v) f(x+u, y+v) dx dy \quad (3.8)$$

Estos filtros pueden ser diseñados para resaltar o suprimir características específicas de una imagen basada en sus frecuencias espaciales. Esto se refiere a la frecuencia de las variaciones de tono que aparecen en una imagen. Así las áreas de textura rugosas de una imagen, donde los cambios en tono son abruptos sobre un área pequeña, tienen frecuencias espaciales altas, mientras que las áreas lisas con pequeñas variaciones en tono sobre varios pixeles, tienen frecuencias espaciales bajas [Sobrino, 2001]. La función de filtrado permite mover una ventana de unos cuantos pixeles en dimensión (es decir 3x3, 5x5, etc.) sobre cada pixel, aplicando cálculos matemáticos a las cuentas digitales de los pixeles sobre la ventana, y reemplazando el pixel central con el nuevo valor. La ventana es movida un pixel a través de las dimensiones de fila y columna a un tiempo y el cálculo es repetido hasta que la imagen entera haya sido filtrada y una nueva imagen se haya generado. Mediante la variación del

cálculo realizado y los pesos de los píxeles individuales en la ventana de filtrado, los filtros pueden ser diseñados para mejorar y suprimir diferentes tipos de características.

### 3.3. Transformación de la Imagen

#### 3.3.1. Máscara de Nubes

Una de las principales características encontradas en las imágenes de satélite sobre el Perú es la gran cantidad de nubes que cubren la superficie terrestre. El software implementado permite obtener una máscara de nubes para cada imagen de tal manera que las cuentas digitales de los píxeles afectados por las nubes sean llevadas a cero. Esta función se basa en el método de umbrales, el cual realiza una búsqueda de valores basándose en límites o umbrales de las cuentas digitales que representan la radiación electromagnética emitidas al satélite. Mediante la comparación de los valores de las cuentas digitales con este umbral, podemos inferir la presencia o ausencia de nubes. Para esto, el usuario puede visualizar cualquiera de los cuatro canales, luego mediante un análisis visual ubicar la cuenta digital de valor mínimo que representa a las nubes, seleccionar este umbral y aplicar la función. Todas las cuentas digitales que sean mayores a este umbral serán llevadas a cero.

#### 3.3.2. Cálculo de la Temperatura de la Superficie del Mar (Sea Surface Temperature - SST)

Los algoritmos implementados para el cálculo de temperatura superficial oceánica a partir de los datos del sensor AVHRR se basan en fórmulas empíricas (*Mc Clain et al*) cuyos coeficientes  $A$ ,  $B$ ,  $C$  se calculan mediante regresión lineal utilizando pares de medidas de radiancia obtenidas en el sensor a bordo del satélite y medidas "in situ" de temperatura oceánica.

Así los algoritmos implementados para el cálculo de temperatura superficial oceánica son mostrados en las fórmulas (3.9), (3.10) y (3.11) y como ejemplo de resultados se muestra en la figura 6 la temperatura de la superficie del mar peruano.

##### **SPLIT-WINDOW**

$$T_s = A_0 T_{11} + A_1 (T_{11} - T_{12}) + A_2 (T_{11} - T_{12}) (\sec \theta - 1) + A_3 \sec \theta + A_4 \quad (3.9)$$

##### **DUAL-WINDOW**

$$T_s = A_0 T_{11} + A_1 (T_{3.7} - T_{11}) + A_2 (T_{3.7} - T_{11}) (\sec \theta - 1) + A_3 \sec \theta + A_4 \quad (3.10)$$

##### **TRIPLE-WINDOW**

$$T_s = A_0 T_{11} + A_1 (T_{3.7} - T_{12}) + A_2 (T_{3.7} - T_{12}) (\sec \theta - 1) + A_3 \sec \theta + A_4 \quad (3.11)$$

donde:

$T_s$  viene dada en °C.

$T_{3.7}$ ,  $T_{11}$  y  $T_{12}$  son las temperaturas de brillo obtenidas para las medidas de radiancia del sensor AVHRR en los canales 3, 4 y 5, respectivamente.

#### 3.3.3. Cálculo de NDVI

Los satélites de observación suelen transmitir su información simultáneamente en diferentes bandas espectrales. Dos de ellas, a la región del rojo del espectro electromagnético de las radiaciones y la otra en el infrarrojo

(región invisible para el ojo humano) tienen particular interés desde el punto de vista de la evaluación de los cultivos verdes y su biomasa. En la serie NOAA por ejemplo, dichas bandas corresponden a los canales 1 y 2 respectivamente.

La vegetación verde y vigorosa se refleja mucho menos en la banda 1 (del rojo o región de absorción de la clorofila y el caroteno) que en la banda 2, (región de alta reflectancia) debido al componente celulósico de las hojas. Cuando la vegetación sufre estrés los valores de la banda 1 aumentan y los de la banda 2 decrecen [Sánchez, 1999]. Estas propiedades llevaron a definir varios índices de vegetación basados en operaciones algebraicas entre las bandas roja e infrarroja cercana. Uno de los algoritmos más conocidos es el del llamado Índice de Vegetación de Diferencial Normalizada (NDVI) cuya ecuación de cálculo se muestra en (3.10).

$$NDVI = \frac{canal2 - canal1}{canal2 + canal1} \quad (3.10)$$



Figura 5. Índice de vegetación diferencial normalizada obtenida con el canal 1 y 2 del sensor AVHRR.

Los valores del NDVI son mucho mayores para la vegetación que para el suelo descubierto, las nubes y el agua. Los valores mayores corresponden a la vegetación densa y saludable. Estas propiedades hacen que el NDVI se haya constituido en una herramienta de gran valor para la evaluación de cubiertas vegetales, así como para estudiar la clasificación y dinámica vegetal (ver figura 5).

#### IV. APLICACIONES DE LAS IMÁGENES

Aunque en un principio estos satélites se diseñaron con fines meteorológicos, el sensor AVHRR ha resultado ser de gran utilidad para aplicaciones relacionadas con la observación de la Tierra, basándose en datos tales como:

- Temperatura superficial de tierra y mar (SST)
- Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Así por ejemplo, los mapas de NDVI han sido producidos del instrumento AVHRR para estudio de las dinámicas que cubren el suelo. Estos conjuntos de datos han encontrado extensos usos en una variedad de aplicaciones de estudio de la tierra de manera regional y global, tales como: supervisión de regiones agrícolas, variación interanual en vegetación y cambios en la longitud de temporadas de crecimiento, de forestación global y clasificación de cobertura de tierra.



Figura 6. Temperatura superficial del mar del Perú obtenido con los canales 3, 4 y 5 del sensor AVHRR.

Del mismo modo, los mapas de SST son útiles para la ubicación de frentes pesqueros, seguimiento de EDIs, supervisión de mareas rojas y modelamiento del clima. Otras aplicaciones son relacionadas a contaminación marina por inundación de petróleo, cobertura de nubes y precipitaciones, erupciones volcánicas, cobertura de hielo y nieve, etc.

## V. CONCLUSIONES

La meta principal del procesamiento digital imágenes de satélite es generar productos, que comúnmente son mapas de temperaturas de la superficie del mar (SST), y mapas de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Este trabajo de investigación se centró en el desarrollo de una metodología sistemática para el procesamiento de imágenes NOAA-AVHRR, para lo cual se desarrolló un software que permite procesar este tipo de imágenes que se encuentren en formato HRPT y LAC.

Los algoritmos desarrollados en el software tiene como finalidad principal la corrección radiométrica de los datos, el enmascaramiento de nubes, la obtención de los índices de vegetación de diferencia normalizada, la obtención de la temperatura superficial de mar, la obtención de una imagen en falso color y la corrección geométrica.

Las imágenes producto obtenidas con el de software que se ha desarrollado permiten reducir en un 40% el tiempo de procesamiento necesario para obtener estas imágenes en comparación con otros programas comerciales utilizados en el Laboratorio de Teledetección (LABTEL) de la Facultad de Ciencias Físicas.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- Richards J.A., *Remote Sensing Digital Image Analysis*, 1999.
- Jähne Bernd, *Digital Image Processing*, CRC PRESS, Londres, 1997.
- Sánchez Julio, *Space Image Processing*, CRC PRESS, Londres, 1999.
- Sobrino José, *Teledetección*, 2000.
- Verbyla David, *Satellite Remote Sensing of Natural Resources*, 1995