



*Instituto de Investigaciones
de la Amazonía Peruana*

BIODAMAZ
Perú - Finlandia

**MANUAL PARA LA ELABORACIÓN
DE MOSAICOS DE IMÁGENES DE
SATÉLITE LANDSAT TM PARA
LA SELVA BAJA PERUANA**



Documento
Técnico
Nº 03

SERIE IIAP - BIODAMAZ
Iquitos - Perú

Manual para la elaboración de mosaicos de imágenes de satélite Landsat TM para la selva baja peruana

DOCUMENTO TÉCNICO N° 03

Instituciones ejecutoras:



Instituto de
Investigaciones de la
Amazonía Peruana



Universidad de
Turku, Finlandia



BIOTA BD

Biota BD Oy,
Finlandia

Institución colaboradora:



UNAP
IQUITOS
PERU

Universidad Nacional de
la Amazonía Peruana

BIODAMAZ, Perú - Finlandia
Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana

Comité Editorial

Víctor Miyakawa Solís
José Álvarez Alonso
Filomeno Encarnación Cajañahupa
Jorge Gasché
Víctor Montreuil Frías
Erasmus Otarola Acevedo

Fotografías

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana

El presente documento ha sido realizado con financiamiento del Ministerio de Relaciones Exteriores de Finlandia y del Gobierno del Perú, a través del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP, en el marco del Convenio de Cooperación Técnica Internacional entre Perú y Finlandia: Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana - BIODAMAZ.

© 2004, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP
Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana - BIODAMAZ
Av. Abelardo Quiñones km 2.5
Apto. 784 - Teléfonos: (065) 264060 - 265515 - 265516 Fax: (065) 265527
Iquitos - Perú
Correo electrónico: biodamaz@iiap.org.pe
<http://www.iiap.org.pe/biodamaz>

ISBN N° 9972-667-06-5

Hecho el depósito legal N° 1501052004-6804

Imprenta:

Dominus Publicidad
Telf.: 4450735
dominus@infonegocio.net.pe

Los textos pueden ser utilizados total o parcialmente citando la fuente.
Hecho en el Perú



ÍNDICE

Presentación	5
Resumen ejecutivo	7
Executive summary	9
I. INTRODUCCIÓN	11
II. PARTE I: PRINCIPIOS DE SENSORAMIENTO REMOTO	14
1. Sensoramiento remoto	15
2. Radiación electromagnética	15
2.1 Espectro electromagnético	15
3. Imágenes análogas y digitales	17
3.1 Píxeles e imágenes raster	17
3.2 Resolución	18
3.2.1 Resolución espectral	18
3.2.2 Resolución espacial	19
3.2.3 Resolución radiométrica	19
3.2.4 Resolución temporal	19
3.3. Imágenes multibanda	19
4. Sistemas de sensoramiento remoto	21
4.1 Sensores pasivos ópticos	21
4.2 Sensores activos	22
5. Plataformas espaciales de sensoramiento remoto	23
5.1 Órbitas	23
5.2 Plataformas usuales	24
5.2.1 Landsat	24
5.2.2 SPOT	26
6. Procesamiento de imágenes	27
6.1 Preprocesamiento	27
6.2 Realces de la imagen	27
6.3 Clasificación multiespectral	27
6.4 Mosaicos	28
7. Análisis de las imágenes	28
7.1 Imágenes pancrómicas y multiespectrales	28
7.2 Firma espectral	28
8. Adquisición de imágenes	30
8.1 Sistema de referencia mundial	30
8.2 Consideraciones básicas para adquirir imágenes	30
8.2.1 Identificación de escenas necesarias	30
8.2.2 Proveedores	30
8.2.3 Utilidad de las imágenes	31
8.3 Cobertura de imágenes para el Perú	32
III. PARTE II: PREPROCESAMIENTO DIGITAL DE LAS IMÁGENES UTILIZADAS EN EL MOSAICO SOBRE LA AMAZONÍA PERUANA	33
1. Introducción	35
2. Registro previo de datos	36
3. Preprocesamiento de las imágenes digitales	38
4. Procesos operativos	38
4.1 Correcciones cosméticas	38
4.1.1 Corte de márgenes y de áreas de interés	38
4.1.2 Corrección de líneas faltantes	43

4.2	Selección de bandas	47
4.3	Proceso de georreferenciación	49
4.3.1	Registro de datos	49
4.3.2	Fuente de puntos de control	50
4.3.3	Sistema de proyección	51
4.3.4	Número total de puntos de control	51
4.3.5	Coordinación de puntos de control carta-imagen	52
4.3.6	Error RMS	53
4.3.7	Remuestreo (<i>Resampling</i>)	54
4.3.8	Reproyección	57
4.3.9	Control de calidad	59
IV.	PARTE III: MOSAICOS	63
1.	Introducción	65
2.	Reproyección de las imágenes	65
3.	Mejoramiento de la calidad de las imágenes	68
3.1.	Gradiente interna	68
3.1.1	Corrección de la gradiente interna por interpolación	70
3.1.1.1	Generación de imágenes tipo " <i>floating</i> "	70
3.1.1.2	Interpolación de la gradiente	74
3.1.1.3	Corrección de la gradiente	79
3.1.1.4	Recomposición de imagen corregida	83
4.	Adición de banda de información	86
5.	Generación de mosaicos	90
6.	Mejoramiento de la calidad del mosaico	96
6.1.	Armonización de histogramas por cálculo de diferencias dentro del mosaico	97
7.	Ventanas de corte	106
7.1.	Generación de ventanas	106
7.2.	Cortes utilizando las ventanas AOI	108
	DISCUSIÓN	113
	GLOSARIO	115
	BIBLIOGRAFÍA GENERAL	117
	EQUIPO TÉCNICO DEL PROYECTO	119



PRESENTACIÓN

La tecnología ha sido y sigue siendo el factor generador de muchos de los cambios antrópicos ocurridos en la historia de la humanidad. En la actualidad la tecnología facilita las investigaciones científicas. Los resultados de los estudios científicos proporcionan mayor conocimiento sobre los complejos procesos que afectan los elementos del paisaje, y constituyen los cimientos para la planificación del uso racional y sostenible de la tierra. A partir de dichos estudios es posible la generación de alternativas que permitan reducir el impacto de las actividades humanas sobre el ambiente e incluso revertir procesos dañinos.

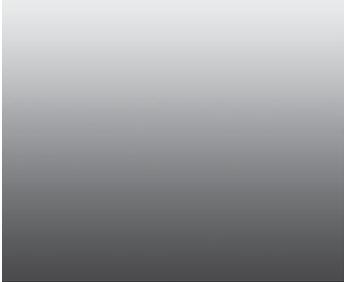
La tecnología de percepción remota posee hoy un alto grado de desarrollo y está equipada con un conjunto de herramientas que, a través de la aplicación adecuada, permiten la obtención de datos y la producción de información. En el tiempo presente la tecnología satelital aplicada a la percepción remota ha logrado grandes avances y facilita la colección de datos y la obtención de información mediante imágenes digitales.

Estas herramientas de percepción remota son claves en estudios de patrones de distribución de la diversidad biológica, especialmente en la Amazonía peruana, donde grandes áreas del territorio son muy lejanas y difícilmente accesibles. Las herramientas de teledetección pueden proporcionar información valiosa sobre tales áreas, facilitando la interpretación de los patrones de distribución de diversidad biológica, particularmente los de vegetación. Con dichas herramientas se pueden monitorear los cambios en la cobertura boscosa ocasionados por deforestación, ayudando de este modo en el control y planificación del uso de recursos naturales. En la Amazonía Peruana dichas herramientas proporcionan información que puede ser utilizada como base para la planificación del ordenamiento territorial.

En este contexto, el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), la empresa de consultorías ambientales, Biota BD Oy de Finlandia, y la Universidad de Turku, Finlandia, en el marco del Convenio Perú-Finlandia, Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana (BIODAMAZ), ha contribuido con la preparación del *Manual para la elaboración de mosaicos de imágenes de satélite Landsat TM* para la selva baja peruana, cuyo propósito es poner a disposición de técnicos, estudiantes y otros agentes, así como de la comunidad científica en general, algunas metodologías que permiten optimizar el uso de las imágenes de satélite Landsat TM. Tales metodologías han sido generadas y experimentadas por el proyecto BIODAMAZ en el proceso de elaboración del mosaico de imágenes de satélite Landsat TM para la selva baja de la Amazonía Peruana, disponible en la Internet a través del Sistema de Información de la Diversidad Biológica y Ambiental de la Amazonía Peruana (SIAMAZONÍA).

Dennis del Castillo Torres
Presidente
Instituto de Investigaciones de la
Amazonía Peruana

Kimmo Pulkkinen
Embajador de Finlandia



RESUMEN EJECUTIVO

La tecnología de percepción remota, de igual modo que la satelital, proporciona productos que permiten la extracción de información facilitando el seguimiento permanente de los sucesos que afectan el ambiente. Con esta tecnología se colecta información a distancia a través de sensores que registran la radiación electromagnética emitida o reflejada por los elementos sobre la superficie de la tierra. Cada cobertura sobre la superficie terrestre emite o refleja energía en una longitud de onda específica, como en el caso de los diversos tipos de vegetación y agua, suelos y otros componentes del paisaje. Esta característica posibilita su medición, análisis, mapeo y monitoreo. Los sensores colectan los datos en formato electrónico, los que luego son procesados en las estaciones terrestres y presentados al usuario como imágenes digitales. Para obtener el mayor beneficio de estos productos electrónicos es necesario que sean mejorados a través de la aplicación de diversas técnicas, mediante el uso de una computadora y un determinado *software*.

Esta publicación forma parte de las actividades del proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana, Perú-Finlandia (BIODAMAZ), y tiene el propósito de fortalecer el conocimiento sobre el ambiente y la vegetación de la Amazonía Peruana por medio de la utilización de las imágenes satélite Landsat TM. Se ha creado un mosaico de decenas de estas imágenes con resolución de 50 metros, cubriendo toda la Amazonía del Perú. Durante la elaboración de este proceso se desarrollaron varios métodos y procedimientos de trabajo, los que se describen en el presente documento.

En la adquisición de las imágenes para el mosaico se utilizaron los bancos de datos de la Internet, que ofrecen imágenes de percepción remota a los usuarios. Se efectuó un análisis previo de las imágenes utilizadas para determinar la cobertura de nubes en las escenas. El primer paso seguido con las imágenes consideradas útiles para el trabajo era su pre-procesamiento digital, que consiste en un conjunto de operaciones de utilidad general que proporcionan a las imágenes características que facilitan la aplicación de técnicas más avanzadas. Por ejemplo, se aplicaron correcciones cosméticas para enmendar anomalías tales como líneas faltantes y se realizó la corrección geométrica para vincular la imagen a un sistema de proyección.

La elaboración del mosaico incluyó la aplicación de diversas metodologías desarrolladas específicamente para este trabajo. Un problema particular en las imágenes sobre la Amazonía es la presencia de una gradiente interna en cada imagen, consecuencia de las condiciones de iluminación atmosférica y vegetal durante la hora de toma de las imágenes. Este fenómeno distorsiona el mosaico que componen diversas escenas satelitales, por lo tanto, se eliminó su influencia con el uso de un modelo particular. Asimismo, se desarrollaron procedimientos para la armonización de histogramas entre las diferentes escenas por medio de coeficientes para corregir la proporcionalidad de los niveles digitales entre imágenes y, finalmente, luego de generar el mosaico, se procedió a ejecutar un ajuste adicional de histogramas por diferencias para rectificar la correspondencia de niveles digitales entre escenas vecinas. El resultado final de todas estas fases de trabajo es un mosaico que presenta la Amazonía del Perú como una gran superficie con abundantes patrones vegetales y ambientales que continúan de una escena satelital a otra. Este mosaico está disponible en el servidor de mapas del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) en la Internet, y es un componente trascendental del Sistema de Información de la Diversidad Biológica y Ambiental de la Amazonía Peruana (SIAMAZONÍA).



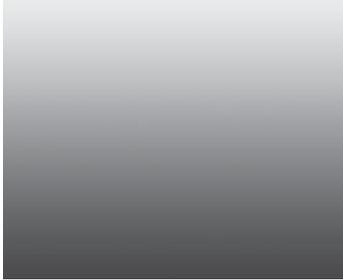
EXECUTIVE SUMMARY

Remote sensing techniques, such as space-borne satellite data, provide useful tools for monitoring of the environment. This technology is based on the use of specific sensors to register radiation emitted or reflected from the Earth. Different types of land surface emit and reflect radiation differently; various forests, water bodies and bare soils are examples of landscape elements with their unique spectral fingerprints. Due to this phenomenon it is possible to map, analyze and monitor these features across the Earth. The remote sensing instruments onboard in the Earth-observing satellites collect such data in electronic form, which is transmitted to the ground level for its use as digital images. In order to make efficient use of these products, it is necessary to apply specific digital image processing techniques using appropriate computer and software facilities.

This publication forms part of the activities of the project Biological Diversity of Peruvian Amazonia (BIODAMAZ), a technical cooperation project between Peru and Finland. The project seeks to strengthen the knowledge concerning the environment and vegetation in the Peruvian Amazonian region by the use of data from Landsat TM. Tens of such images have been joined to form a satellite image mosaic with a spatial resolution of 50 meters, covering the entire Peruvian Amazonian region. During the development of this mosaic several work methods and procedures were developed, and the present publication contains their detailed documentation.

The imageries used in the mosaic were acquired from open archives of remotely sensed data in the Internet. Each acquired image was first evaluated in order to determine their cloud cover and other possible distortions. Passing this examination, the images were pre-processed using several image-processing operations that aimed to improve the quality of the used images in order to make them suitable for later phases of the work. The most important preprocessing steps included cosmetic corrections to compensate missing lines and pixel values, and geometrical rectification of the images.

The construction of the image mosaic comprising tens of Landsat TM scenes involved designing specific work methods particularly to support this work. A typical problem with the images acquired from Amazonia is their internal illumination gradient, probably a result of both atmospheric factors and uneven reflectance and illumination conditions in the forest cover. This problem distorts the mosaic made of several images, thus the influences of this phenomenon were eliminated by the use of a special gradient correction model. Histogram matching was also used to adjust the reflectance values of adjacent images, both prior to creation of the mosaic and making also adjustments within the mosaic later on. As a result of all these work phases, a satellite image mosaic covering the entire Peruvian Amazonian region was formed; showing the region as a large surface where environmental and vegetation patterns can be efficiently seen to extend from one image to another. The mosaic is available for the users through the Internet map service of the Peruvian Amazonian Research Institute (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP), which is an important part of the Peruvian Amazonian Biodiversity and Environmental Information System (SIAMAZONIA).



INTRODUCCIÓN

La tecnología ha sido el factor generador de los cambios suscitados por el hombre en su entorno a lo largo de la historia de la humanidad. En la actualidad la tecnología facilita las investigaciones que realiza la ciencia, y sus resultados proporcionan un mejor conocimiento de los complejos procesos que configuran los elementos del paisaje, sobre cuya base es posible la generación de alternativas que reducen el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente.

La tecnología de percepción remota posee hoy un alto grado de desarrollo y está equipada con un conjunto de herramientas que, a través de la aplicación adecuada, permiten la obtención de datos y la producción de información. Actualmente, la tecnología satelital aplicada a la percepción remota ha logrado grandes avances, facilitando la colección de datos y la obtención de información mediante imágenes digitales, en tiempos tan cortos que hacen posible el monitoreo permanente de los eventos que afectan el medio ambiente.

El propósito del presente documento es poner a disposición de la comunidad científica en general, técnicos, estudiantes y otros agentes, algunas metodologías que permitan optimizar el uso de las imágenes de satélite Landsat TM. Tales metodologías han sido generadas y experimentadas en el proceso de elaboración del mosaico de imágenes de satélite Landsat TM para la selva baja de la Amazonía Peruana. Este mosaico está a disposición de los usuarios en diversas formas, incluso en la Internet (http://www.iiap.org.pe/servidor_mapas), donde forma parte del Sistema de Información de la Diversidad Biológica y Ambiental de la Amazonía Peruana – SIAMAZONIA (<http://www.siamazonia.org.pe>).

La creación del mosaico constituye parte del proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana, Perú-Finlandia – BIODAMAZ (<http://www.iiap.org.pe/biodamaz>), precisamente de su componente 2: *Análisis regional de la diversidad biológica en la selva baja de la Amazonía peruana*. Dicho proyecto se encuentra en el marco del convenio firmado entre los gobiernos del Perú y de Finlandia el año 1999, siendo el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) su ejecutor nacional y un consorcio formado por Biota BD Oy, empresa finlandesa de consultorías ambientales, y la Universidad de Turku la contraparte finlandesa. La Fase I del proyecto fue ejecutada desde 1999 al 2002; se implementará la Fase II a partir del año 2003 (2003-2007). El objetivo general del proyecto en su Fase I fue la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica en la Amazonía Peruana, a través de desarrollo de instrumentos de gestión y metodologías de investigación para el manejo sostenible de la diversidad biológica de la Amazonía Peruana. La creación del mosaico de imágenes de satélite Landsat TM para la Amazonía Peruana facilita el logro de estos objetivos y los resultados basados en ellos, por ejemplo, el mapa de diversidad de vegetación y la interpretación de las unidades ambientales en la selva baja peruana.

El presente documento expone las metodologías utilizadas en la elaboración del mosaico de imágenes satelitales para la Amazonía Peruana. En la Parte I se ofrece una visión general de los conceptos fundamentales del sensoramiento remoto, con el objeto de proporcionar al lector carente de tales conocimientos las bases que le permitan el cabal entendimiento de los procesos que se exponen en las Partes II y III del documento.

En la Parte II se presentan los procesos ejecutados en el preprocesamiento digital de las imágenes de satélite y que básicamente están relacionados con la aplicación de

técnicas tales como las correcciones cosméticas para corregir algunos problemas en las imágenes, el ordenamiento de bandas y el proceso de rectificación geométrica o georreferenciación.

En la Parte III se explican tópicos referidos a procesos tales como reproyección de imágenes, poniendo énfasis en el mejoramiento de la calidad de las imágenes, y en cada uno se da a conocer en forma detallada la metodología empleada. Asimismo, se especifica el proceso de generación del mosaico y se continúa con la exposición del procedimiento adoptado para mejorar la calidad del mosaico.



Principios de sensoramiento remoto

1. SENSORAMIENTO REMOTO

En términos estrictos, el sensoramiento remoto usualmente se refiere a la tecnología de adquisición de información sobre la superficie terrestre (suelos y agua) y la atmósfera, usando sensores colocados a bordo de plataformas de transporte aéreo (aviones, globos aéreos) o transporte espacial (satélites, transbordadores espaciales) sin entrar en contacto con los objetos o eventos observados (Figura 1).



Figura 1. Sensoramiento remoto desde diferentes plataformas: avión, satélite y transbordador espacial. Fuente: NUS, 2002.

2. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Los sensores sobre las plataformas de sensoramiento remoto generalmente registran radiación electromagnética. Las ondas electromagnéticas son energía transportada a través del espacio en forma de campos eléctricos y magnéticos periódicos. Las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz ($c = 2.99792458 \times 10^8$ m/s). Se caracterizan por poseer una frecuencia y una longitud de onda (Figura 2).

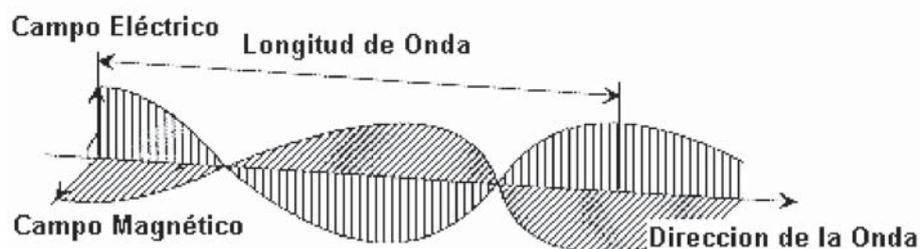


Figura 2. Características de la radiación electromagnética. Fuente: NUS, 2002.

La frecuencia y la longitud de onda están relacionadas con la velocidad de la luz por la ecuación:

$$\text{Velocidad de la luz} = \text{Frecuencia} \times \text{Longitud de Onda.}$$

La frecuencia (por tanto, la longitud de onda) de una onda electromagnética depende de la fuente.

2.1 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Hay un amplio rango de frecuencias en el mundo físico, desde las ondas de radio más largas (incluyendo aquellas en el rango del audio), extendiéndose a través de la luz visible (que es una parte muy pequeña del espectro), hasta todas las formas de las ondas extremadamente cortas de los rayos gamma, que son producto de los átomos radiactivos (Figura 3).

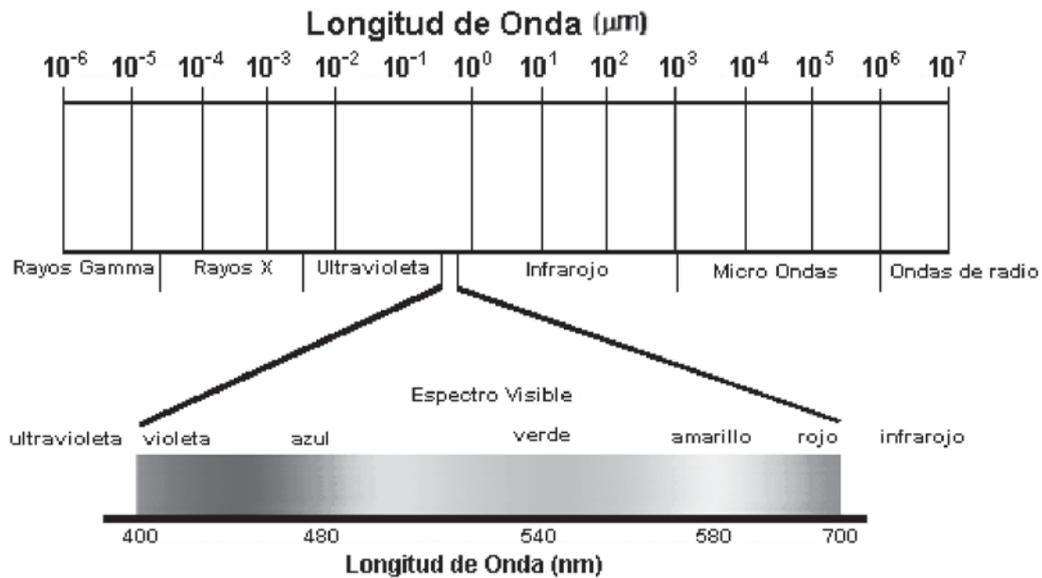


Figura 3. El espectro electromagnético, desde rayos gamma hasta ondas de radio. Fuente: NUS, 2002.

El espectro electromagnético puede ser dividido en algunas regiones de longitud de onda (frecuencia), entre los cuales sólo una franja muy angosta (entre los 400 y 700 nm) es visible al ojo humano. Note que no hay límites claros entre estas fronteras. Las fronteras mostradas en la figura son aproximadas, y hay superposición entre dos regiones adyacentes.

Unidades de longitud de onda:

- 1mm = 1000 μm ;
- 1 μm = 1000 nm;
- 1 GHz = 109 Hz.

Las regiones del infrarrojo cercano y del infrarrojo medio del espectro electromagnético son conocidas como regiones infrarrojas de onda corta (*Short Wave Infrared Region – SWIR*), y se caracterizan por ser regiones de radiación reflejada, mientras que la región del infrarrojo lejano es conocida como región infrarroja de onda larga (*Long Wave Infrared Region – LWIR*) y se caracteriza por ser región de la radiación emitida (Figura 4).

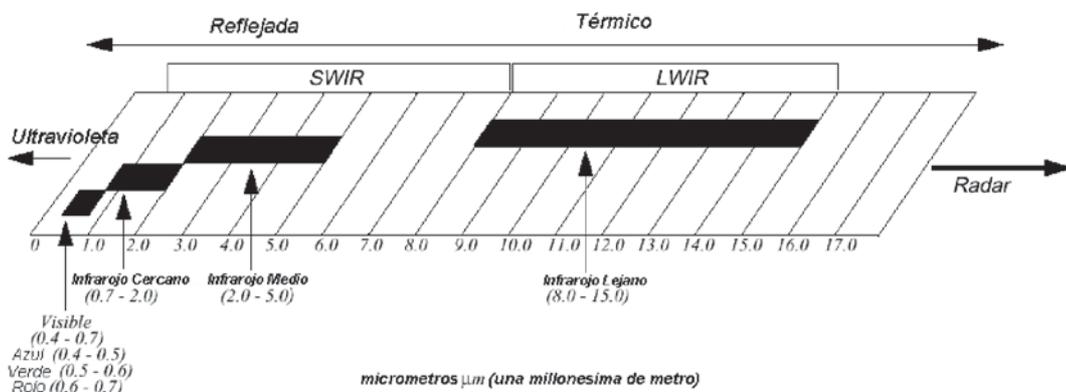


Figura 4. Características de las regiones del infrarrojo. Fuente: ERDAS, 1999a.

Cuando la radiación interactúa con la materia, algunas longitudes de onda son absorbidas y otras son reflejadas. Es necesario el conocimiento de cómo la vegetación, suelos, agua y otras coberturas de la superficie terrestre reflejan y absorben la radiación para aprovechar adecuadamente los productos de los sensores remotos.

La Tabla 1 muestra las características de diversas regiones del espectro electromagnético.

Tabla 1. Características de diversas regiones del espectro electromagnético.

Región	Longitud de onda	Bandas o componentes
Ondas de radio	10 cm a 10 km	
Microondas	1 mm a 1 m Las microondas se dividen en bandas de diferente frecuencia.	P: 0.3 – 1GHz (30 – 100 cm) L: 1 – 2 GHz (15 – 30 cm) S: 2 – 4 GHz (7.5 – 15 cm) C: 4 – 8 GHz (3.8 – 7.5 cm) X: 8 – 12.5 GHz (2.4 – 3.8 cm) Ku: 12.5 – 18 GHz (1.7 – 2.4 cm) K: 18 – 26.5 GHz (1.1 – 1.7 cm) Ka: 26.5 – 40 GHz (0.75 – 1.1 cm)
Infrarrojo	0.7 – 300 μm	Infrarrojo cercano (NIR): 0.7 – 1.5 μm SWIR: 1.5 - 3 μm Infrarrojo Medio (MWIR): 3 – 8 μm LWIR: 8 – 15 μm
Luz visible	400 nm a 700 nm Los componentes de color del espectro visible se encuentran aproximadamente en las regiones siguientes.	Infrarrojo Lejano (FIR): > 15 μm Rojo: 610 – 700 nm Naranja: 590 – 610 nm Amarillo: 570 – 590 nm Verde: 500 – 570 nm Azul: 450 – 500 nm Índigo: 430 – 450 nm Violeta: 400 – 430 nm
Ultravioleta	3 a 400 nm	

Fuente: NUS, 2002.

3. IMÁGENES ANÁLOGAS Y DIGITALES

El producto de un sistema de sensoramiento remoto es, usualmente, una imagen que representa la escena observada.

Una imagen es una representación bidimensional de objetos presentes en un escenario real. Las imágenes de los sensores remotos son representaciones de partes de la superficie terrestre vistas desde el espacio. Las imágenes pueden ser análogas o digitales. Un ejemplo de imágenes análogas son las fotografías aéreas, mientras que las imágenes satelitales obtenidas usando sensores electrónicos son ejemplos de imágenes digitales. Las imágenes digitales se manejan con computadoras, y se puede producir copias análogas de ellas con una impresora.

3.1 PÍXELES E IMÁGENES RASTER

Una imagen digital consiste de un arreglo matricial bidimensional de elementos de imagen llamados píxeles (el término píxel es abreviación de *picture element*) ordenados en filas y columnas formando una malla (grid); las imágenes organizadas de esta manera son conocidas como imágenes raster (Figura 5). Cada píxel representa un área de superficie sobre la tierra. Un píxel tiene un valor de intensidad y una ubicación en la imagen bidimensional.

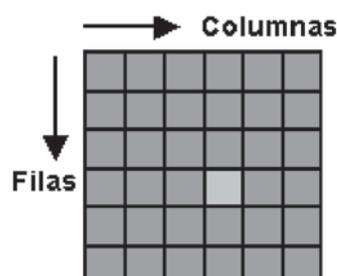


Figura 5. Estructura de una imagen digital de formato raster. Fuente: NUS, 2002.

El valor de intensidad representa la cantidad física de la radiación solar medida en una longitud de onda (banda) dada reflejada desde la tierra, radiación infrarroja emitida o reflejo de intensidades de radar. Normalmente, este valor es el promedio del área total cubierta por el píxel.

La intensidad de un píxel es obtenida y registrada como un número digital. Debido a las limitaciones de la capacidad de almacenamiento, tal número digital es almacenado con un número finito de bits (dígitos binarios). A menudo se utilizan imágenes de 8 bits, que presentan entonces 8 cifras de valor 0 ó 1. Este sistema ofrece 256 posibilidades de organizar los ceros y unos.

La ubicación de un píxel se expresa usando un sistema de coordenadas. Cada ubicación en la malla está expresada como un par de coordenadas X e Y. La coordenada X especifica la columna de la malla, y la coordenada Y se refiere a la fila.

Usualmente se definen dos tipos de sistemas de coordenadas:

- Coordenadas de archivo: indican la ubicación de un píxel dentro de la imagen (fila y columna);
- Coordenadas de mapa: indican la ubicación de un píxel en un mapa (UTM, geográficas, entre otros).

3.2 RESOLUCIÓN

La resolución es un término muy amplio, usado generalmente para describir la presencia de información en las imágenes de percepción remota. En tal sentido, deben considerarse cuatro tipos de resolución (Figura 6).

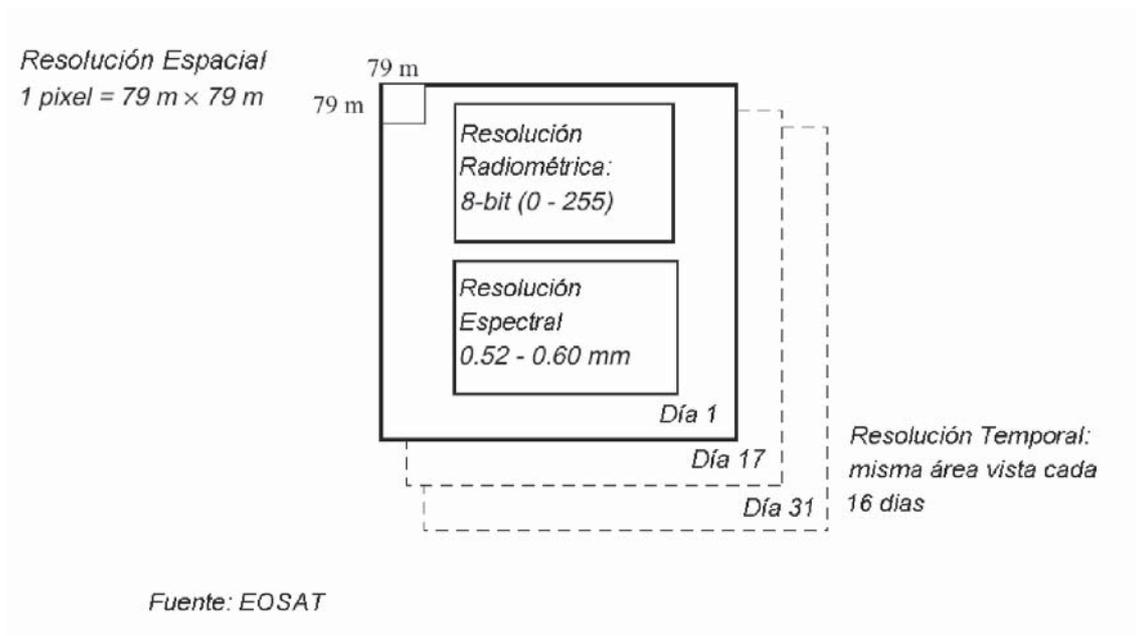


Figura 6. Ejemplo de los cuatro tipos de resolución utilizando la banda 2 de Landsat TM. Fuente: ERDAS, 1999a: EOSAT.

3.2.1 RESOLUCIÓN ESPECTRAL

Se refiere a los intervalos específicos de longitud de onda en el espectro electromagnético que pueden ser registrados por un sensor. Por ejemplo, la banda 1 del sensor TM de Landsat registra energía entre 0.45 y 0.52 μm en la parte visible del espectro.

Amplios intervalos del espectro electromagnético son conocidos como de resolución espectral gruesa, e intervalos reducidos son conocidos como de resolución espectral fina. Por ejemplo, se considera que el sensor pancromático del SPOT tiene una resolución espectral gruesa por registrar radiación electromagnética entre 0.51 y 0.73 μm . Mientras que la banda 3 del sensor TM de Landsat tiene resolución espectral fina, pues registra radiación electromagnética entre 0.63 y 0.69 μm (Figura 7).



Figura 7. Ventana de la banda 3 de la imagen Landsat TM 006 063. Fuente: IIAP - BIODAMAZ.

3.2.2 RESOLUCIÓN ESPACIAL

La resolución espacial se refiere al objeto más pequeño que puede ser registrado por el sensor, o al área sobre la tierra que representa cada píxel. En una imagen digital, la resolución espacial está limitada por el tamaño del píxel; por ejemplo, el objeto más pequeño que puede ser registrado por el sensor no puede ser menor que el tamaño del píxel.

La resolución espacial intrínseca de un sistema de registro de imágenes está determinada principalmente por el campo de visión instantánea (IFOV – *Instantaneous Field of View*) del sensor, el cual es una medida del área de terreno examinado por un elemento detector simple en un intervalo. Esta resolución intrínseca puede ser degradada por diversos factores que introducen borrones en la imagen, tales como el enfoque inapropiado, la dispersión atmosférica y el movimiento del objetivo, entre otros. El tamaño del píxel está determinado por la distancia de muestreo.

Una imagen de “alta resolución” se refiere a aquella que tiene un tamaño de resolución pequeña, y en la cual se pueden observar detalles finos. Por otro lado, una imagen de “baja resolución” es la que tiene un tamaño de resolución grande, y en la cual se pueden observar detalles grandes (Figura 8).

3.2.3 RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA

La resolución radiométrica se refiere al cambio más pequeño en el nivel de intensidad que puede ser detectado por el sistema sensor. En una imagen digital, la resolución radiométrica está limitada por el número de valores usados para registrar los valores discretos de intensidad. Por ejemplo, en datos de 8 bits los valores van de 0 a 255 por cada píxel, mientras que para datos de 7 bits se tendrán valores de 0 a 127 por cada píxel (Figura 9).

3.2.4 RESOLUCIÓN TEMPORAL

La resolución temporal se refiere a la frecuencia con que un sensor obtiene imágenes de un área en particular. Por ejemplo, el satélite Landsat puede ver la misma área cada 16 días; mientras que SPOT lo hace cada tres días.

3.3 IMÁGENES MULTIBANDA

Algunos tipos de mediciones e interpretaciones de un área de terreno pueden hacerse a partir de una imagen simple, que registra radiación de luz reflejada o calor emitido en una porción específica del espectro electromagnético (rojo, verde, azul, infrarrojo cercano, infrarrojo, térmico); esta imagen se conoce como banda. Cada imagen proporciona información específica sobre tal área. Superponiendo estas bandas se forma la imagen multibanda. Las imágenes multibanda se pueden formar por la superposición de imágenes obtenidas por diferentes sensores (Figura 10).

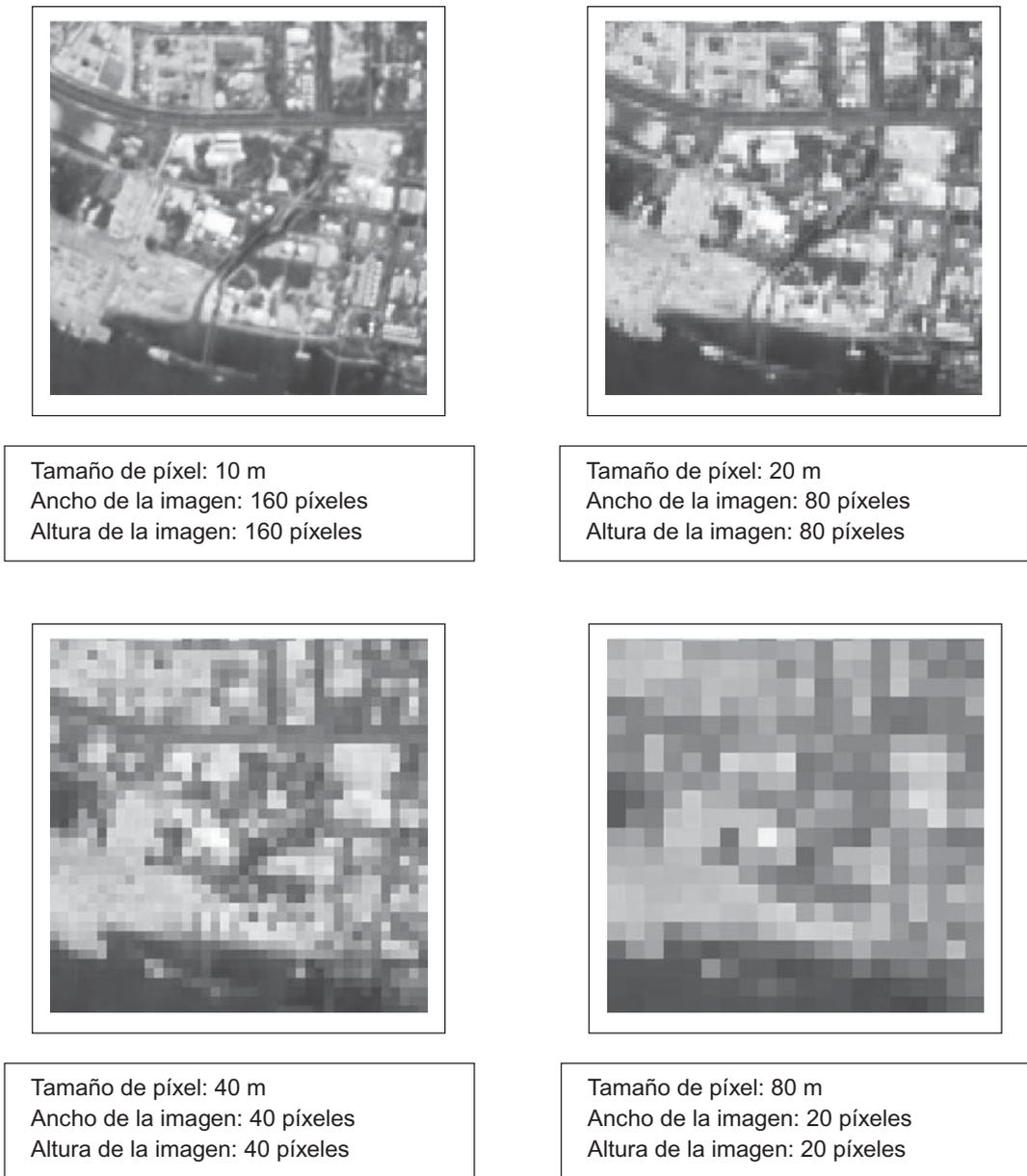


Figura 8. Ejemplos de imágenes con diferente resolución espacial. Fuente: NUS, 2002

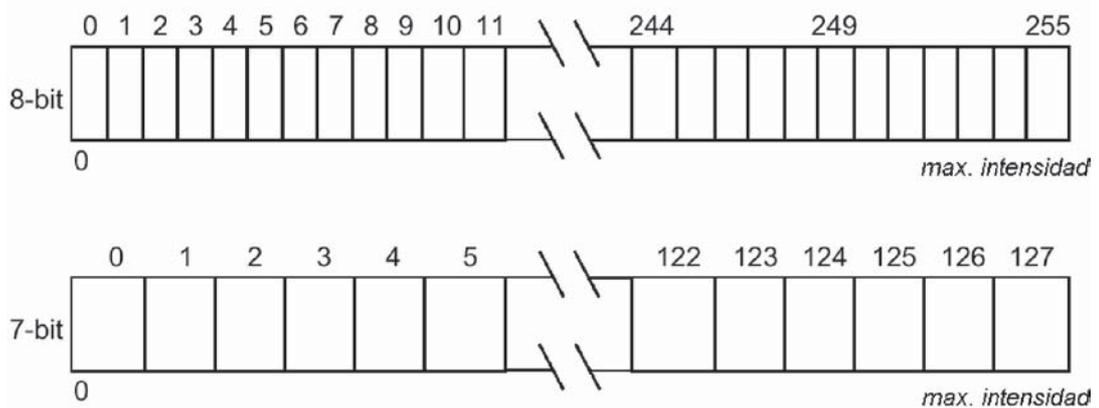


Figura 9. Resolución radiométrica en imágenes de 8 y 7 bits. Fuente: ERDAS, 1999a.

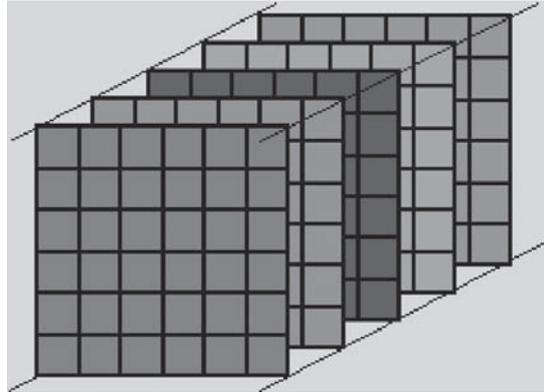


Figura 10. Representación esquemática de una imagen multibanda que consta de 5 bandas, que registra valores digitales en diferentes partes del espectro (rojo, verde, azul, infrarrojo cercano, infrarrojo medio). **Fuente:** NUS, 2002.

4. SISTEMAS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Un sistema de observación remota requiere, al menos, de tres componentes: foco energético, superficie terrestre y sistema de sensoramiento. El sistema de sensoramiento está compuesto de un escáner, sensores y una plataforma de transporte.

Los detectores del sistema de sensoramiento son:

- El escáner, que es el sistema de obtención de la información, tal como el escáner Landsat TM o el escáner pancromático SPOT. Incluye al sensor y los detectores.
- Un sensor, que es un dispositivo que recoge energía, la convierte en una señal digital y la presenta en forma conveniente para obtener información sobre el medio ambiente.
- Un detector, que es el dispositivo en un sistema sensor que registra radiación electromagnética. Por ejemplo, en el sistema sensor del Landsat TM hay 16 detectores para las longitudes de onda de cada banda, excepto para la banda 6, que tiene 4 detectores.

Una de las formas más habituales de clasificar los sensores remotos considera un procedimiento para recibir la energía procedente de la superficie terrestre; en tal sentido, se habla de dos tipos de sensores:

- **Pasivos:** Cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos. A su vez, estos sensores se clasifican en función del procedimiento que utilizan para grabar la energía recibida en:
 - Fotográficos;
 - Ópticos;
 - De antena.
- **Activos:** Cuando son capaces de emitir su propio haz de energía.

4.1 SENSORES PASIVOS ÓPTICOS

Los sensores remotos ópticos hacen uso de sensores para los colores visibles infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta, para formar imágenes de la superficie terrestre detectando la **radiación solar** reflejada por los objetos del terreno (Figura 11). Los materiales reflejan y absorben en forma diferente la radiación electromagnética. Cuerpos como el agua, el suelo, la vegetación, los edificios y las vías, entre otros, reflejan la luz visible e infrarroja de diferentes formas. Estos objetos tienen diferentes colores y brillo cuando son observados bajo el sol, de modo que esta particularidad permite diferenciarlos en las imágenes.

Hay dos tipos de sistemas ópticos comúnmente en uso:

Sistema pancromático: El sensor tiene un canal detector simple sensitivo a la radiación dentro de un amplio rango de longitudes de onda. Si la longitud de onda coincide con el rango visible, entonces la imagen resultante se parece a una fotografía en blanco y negro tomada desde el espacio. La cantidad física medida es el brillo aparente de los objetos. Se pierde la información espectral o color de los objetos. Ejemplos son: SPOT HRV-PAN.

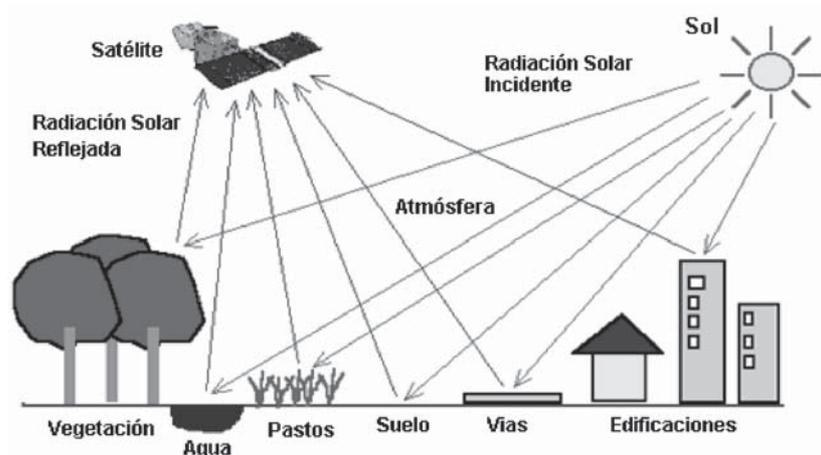


Figura 11. Reflexión de la radiación solar y su captura por los sensores en el satélite. Fuente: NUS, 2002.

Sistema multiespectral: El sensor tiene un detector multicanal. Cada canal es sensible a la radiación en una estrecha banda de longitud de onda. La imagen resultante es una imagen multibanda que contiene información de brillo e imagen espectral (color) de los objetos observados. Ejemplos son: Landsat MSS, Landsat TM, SPOT HRV-XS.

4.2 SENSORES ACTIVOS

La radiación electromagnética en la región de las microondas es usada en sensoramiento remoto para obtener información sobre la atmósfera terrestre, tierra y océanos.

Un sistema de **radar** envía pulsos de microondas y registra la señal reflejada desde la superficie terrestre. La altura de la superficie puede ser medida por el tiempo que tarda la señal de retorno.

Algunas de las ventajas del uso del radar son:

- Las microondas pueden penetrar la atmósfera de día o de noche, virtualmente bajo cualquier condición de tiempo, registrando información en presencia de neblina, llovizna, nieve, nubes o humo.
- Bajo ciertas condiciones, el radar puede penetrar parcialmente superficies áridas e hiperáridas.
- Aunque el radar no penetra el agua, puede reflejar la acción de la superficie de océanos, lagos y otros cuerpos de agua. Fenómenos como remolinos, subidas y bajadas, y olas, que ocurren sobre la superficie de los cuerpos de agua, son muy perceptibles. El análisis cuidadoso de la actividad superficial puede proporcionar detalles precisos de las características superficiales.

Las imágenes de radar son generadas por dos tipos de sensores:

SLAR (Side-Looking Airborne Radar), utiliza una antena que es colocada debajo de un avión, dirigida hacia un lado para transmitir y recibir la señal de radar.

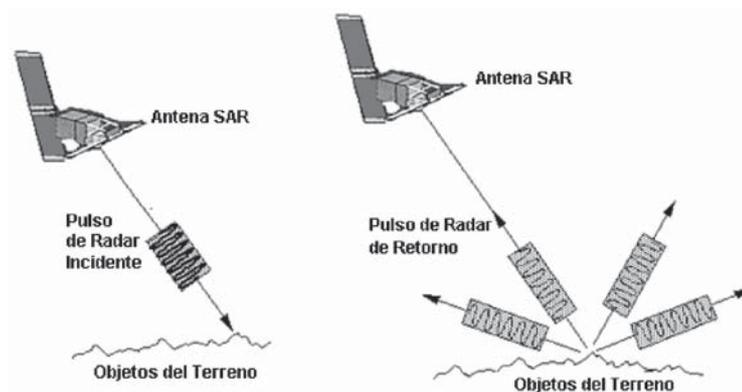


Figura 12. Principio general de un sensor activo radar, en este caso SAR. Fuente: NUS, 2002.

SAR (Synthetic Aperture Radar), dispositivo usado en aviones o satélites para generar imágenes de alta resolución de la superficie terrestre. Los pulsos de microondas son transmitidos por una antena hacia la superficie de la tierra (Figura 12). Registra las microondas retornadas. Usa el tiempo que tarda la señal de retorno para generar una imagen.

5. PLATAFORMAS ESPACIALES DE SENSORAMIENTO REMOTO

Hay diversas opciones para la adquisición de imágenes, incluyendo la fotografía aérea, los sensores aéreos y los escáneres satelitales sofisticados. Sin embargo, los sistemas espaciales, que son los más usuales en la actualidad, ofrecen las ventajas siguientes:

- Los datos coleccionados por un sensor satelital pueden ser transmitidos a través de diversos medios de comunicación (microondas e Internet, entre otros) y almacenados en diversos medios (discos compactos, cintas magnéticas, disquetes), de modo que pueden ser fácilmente transportados.
- Procesamiento y análisis computarizado semiautomático.
- Es posible obtener información regular sobre un área de interés.
- Cobertura de grandes áreas.
- Medición cuantitativa de características, usando sensores calibrados radiométricamente, y
- Costos relativamente menores por unidad de área cubierta.

5.1 ÓRBITAS

Las plataformas de sensoramiento remoto espacial están referidas a los sensores montados sobre transportes espaciales (transbordadores o satélites) que están orbitando la Tierra.

Un satélite generalmente sigue una órbita elíptica alrededor de la Tierra. El tiempo que toma para completar una revolución completa de la órbita se denomina período orbital. El satélite traza una ruta sobre la superficie terrestre denominada "*ground track*". Como la Tierra está en movimiento, traza sobre el terreno una ruta diferente en cada ciclo subsiguiente. Los satélites de sensoramiento remoto son lanzados al espacio sobre órbitas especiales, de modo que la ruta se repite en intervalos fijos (Figura 13). Este intervalo se denomina ciclo de repetición del satélite.

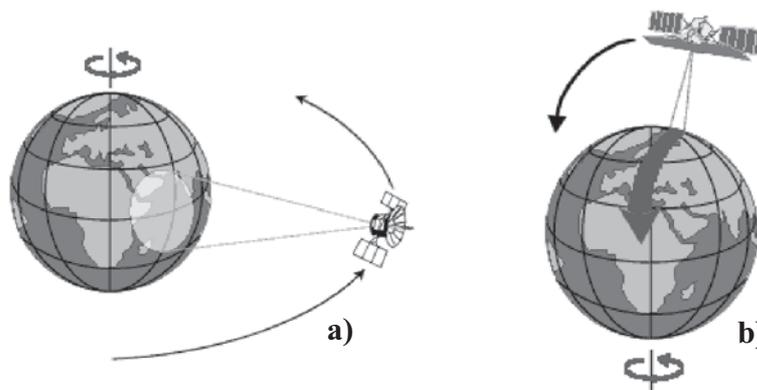


Figura 13. Diferentes órbitas de satélites de percepción remota: (a) órbita geoestacionaria, (b) órbita cuasi-polar. Fuente: NUS, 2002.

Órbitas geoestacionarias: Se denomina así cuando el satélite sigue una órbita paralela al ecuador siguiendo la dirección de rotación de la Tierra y con el mismo período de 24 horas, pareciendo estacionario con respecto a la superficie terrestre. Los satélites en órbita geoestacionaria están localizados a una altitud de 36 000 km. Esta órbita permite al satélite ver siempre la misma superficie de la tierra y pueden cubrir grandes áreas. Este tipo de órbitas generalmente son usadas por los satélites meteorológicos.

Órbitas cuasi-polares: Es aquella con el plano orbital inclinado con un ángulo pequeño respecto al eje de rotación de la Tierra. Están ubicadas a altitudes entre 600 y 800 km. Un satélite siguiendo una órbita cuasi polar diseñada apropiadamente pasará cerca de los polos y cubrirá casi toda la superficie terrestre en un ciclo de repetición.

Órbita sincrónica solar: Los satélites de observación de la Tierra siguen usualmente órbitas sincrónicas solares (Figura 14). Esta es una **órbita cuasi polar** cuya altitud es tal que el satélite pasará siempre sobre una ubicación en una latitud dada a la misma hora solar local. De este modo puede conseguirse la misma condición de iluminación solar (excepto por variaciones estacionales) para las imágenes tomadas por el satélite en una ubicación dada.

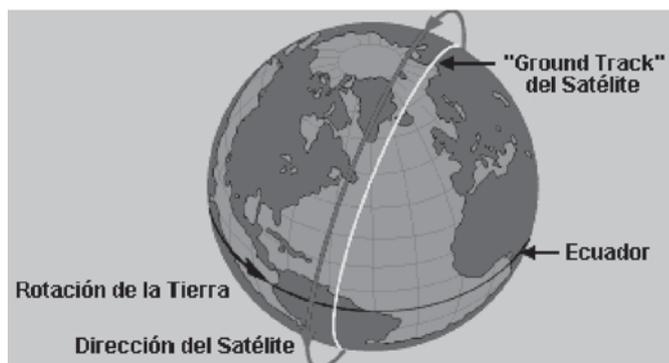


Figura 14. Órbita cuasi polar con sincronización solar. Fuente: NUS, 2002.

5.2 PLATAFORMAS USUALES

Landsat (EE.UU.) y SPOT (Europa) son dos de los más importantes satélites de adquisición de información. Hoy en día, estos dos satélites proporcionan la mayoría de las imágenes digitales utilizadas en el mundo. Tienen algunas características en común:

- Tienen órbitas sincrónicas solares.
- Registran radiación electromagnética en una o más bandas. Los datos multibanda están referenciados como imágenes multiespectrales. La banda simple o monocromática se denomina pancromática.
- Ambos escáneres pueden producir imágenes nadir. Nadir es el área sobre el terreno directamente debajo de los detectores del escáner.

5.2.1 LANDSAT

Los satélites Landsat fueron puestos en órbita desde 1972. Los Landsat 1, 2 y 3 están fuera de servicio y colectaban datos en formato MSS (*MultiSpectral Scanner*), mientras que el 4 y el 5 aún están recolectando información, y lo hacen en formato MSS y TM (*Thematic Mapper*).

Sensor MSS

Tiene una cobertura aproximada de 185 x 170 km desde una altitud de 705 km (Landsat 4, 5). Esta información es ampliamente usada para estudios geológicos generales, así como para inventarios de vegetación.

La resolución espacial es de 56 x 79 m, con un IFOV de 79 x 79 m. Una escena contiene aproximadamente 2340 filas y 3240 columnas. La resolución radiométrica es de 6 bits, pero es almacenada con un volumen como de 8 bits. El ciclo de repetición es de 16 días.

Los detectores registran radiación electromagnética en cuatro bandas:

- Las bandas 1 y 2 están en la región visible del espectro, y son útiles para detectar características culturales, tal como vías. Muestran detalles en el agua.
- Las bandas 3 y 4 están en la región infrarrojo cercano del espectro, y pueden ser usadas para discriminar vegetación y tierra / agua.

1 = Verde, 0.50 - 0.60 μm

Esta banda recorre la región entre el azul y la banda de absorción del rojo clorofila. Corresponde a la reflectancia verde de la vegetación sana, y es útil para mapear cuerpos de agua.

2 = Rojo, 0.60 - 0.70 μm

Es la banda de absorción del rojo clorofila de la vegetación verde sana. Es una de las más importantes bandas útiles para la discriminación de la vegetación. Asimismo, es útil para determinar límites de suelos y delinear límites geológicos y características culturales.

3 = Infrarrojo reflectivo, 0.70 - 0.80 μm

Esta banda es especialmente sensible a la cantidad de biomasa vegetal presente en una escena. Es útil para la identificación de cultivos, y enfatiza el contraste suelo / agua y suelo / cultivo.

4 = Infrarrojo reflectivo, 0.80 - 1.10 μm

Esta banda es útil para el reconocimiento de la vegetación y para penetrar en la neblina.

Sensor TM

El scanner TM es un sistema multiespectral parecido al MSS, con la excepción de que el sensor TM registra energía electromagnética emitida / reflejada desde las regiones del visible, infrarrojo reflectivo, infrarrojo medio e infrarrojo térmico del espectro. El TM tiene mayor resolución espacial, espectral y radiométrica que el MSS.

Tiene una cobertura aproximada de 185 km desde una altitud de 705 km. Es útil para determinar los tipos y el estado de la vegetación, humedad del suelo, diferenciación nieve / nube y discriminación de tipos de roca, entre otros.

La resolución espacial de TM es de 28.5 x 28.5 m para todas las bandas, excepto para la termal (banda 6), cuya resolución espacial es de 120 x 120 m. La resolución radiométrica es 8-bits, lo cual significa que cada píxel tiene un valor entre 0 y 255.

Los detectores registran la energía electromagnética en 7 bandas:

- Las bandas 1, 2 y 3 están en la región visible del espectro, y son útiles para detectar características culturales tales como las vías de comunicación. También muestran detalles en el agua.
- Las bandas 4, 5 y 7 están en la región infrarrojo reflectivo del espectro, y pueden ser útiles en la discriminación de tierra / agua.
- La banda 6 está en la región termal del espectro y es útil para el mapeo de la temperatura.

1 = Azul, 0.45 - 0.52 μm

Esta banda es útil para mapear áreas costeras y cuerpos de agua, permite la diferenciación entre suelo y vegetación, tipos de bosque, y ayuda a detectar características culturales.

2 = Verde, 0.52 - 0.60 μm

Esta banda corresponde al verde reflejado por la vegetación sana. Es útil para la identificación de características culturales.

3 = Rojo, 0.63 - 0.69 μm

Esta banda es útil para discriminar algunas especies de plantas. También es útil para determinar límites de suelos y delinear límites geológicos, así como características culturales.

4 = Infrarrojo reflectivo, 0.76 - 0.90 μm

Esta banda es especialmente sensible a la cantidad de biomasa vegetal presente en una escena. Es útil para la identificación de cultivos y enfatizar los contrastes suelo / cultivo y tierra / agua.

5 = Infrarrojo medio, 1.55 - 1.75 μm

Esta banda es sensible a la cantidad de agua en las plantas, y es útil en estudios de períodos de sequía y análisis de la salud de las plantas. Es una de las pocas bandas que se pueden utilizar para discriminar entre nubes, nieve y hielo.

6 = Infrarrojo térmico, 10.40 - 12.50 μm

Esta banda es útil para detectar el estrés en cultivos y vegetación, la intensidad del calor, y la aplicación de insecticidas. Es útil para detectar la actividad geotérmica.

7 = Infrarrojo lejano, 2.08 - 2.35 μm

Esta banda es útil en la discriminación de tipos de roca y límites de suelos, así como el contenido de humedad del suelo y la vegetación.

Sensor ETM+

El satélite Landsat 7, que fue puesto en órbita en 1999, usa el ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) e incluye entre sus mejoras las siguientes:

- Banda pancromática con resolución espacial de 15 m.
- Calibración radiométrica del 5% con apertura total.
- Canal termal IR con resolución espacial de 60 m.

Tiene una cobertura de 185 km, el ciclo de repetición es de 16 días, y tiene su órbita a 705 km.

La Tabla 2 muestra el rango espectral y la resolución de las bandas de este satélite.

Tabla 2. Rangos espectrales y resolución de bandas del satélite Landsat 7.

Banda	Rango espectral (micrones)	Resolución (m)
1	0.45 – 0.515	30
2	0.525 – 0.605	30
3	0.63 – 0.690	30
4	0.75 – 0.90	30
5	1.55 – 1.75	30
6	10.40 – 12.5	60
7	2.09 – 2.35	30
Pancromática	0.52 – 0.90	15

Fuente: ERDAS, 1999a.

5.2.2 SPOT

El último satélite de la serie SPOT fue puesto en órbita en 1993. Sus sensores operan en modo pancromático y multiespectral. Puede observar la misma área cada 26 días. Sin embargo, tiene capacidad para visualizar áreas fuera del nadir, lo que le proporciona capacidad para visualizar la misma área del terreno cada 3 días. Tiene una cobertura de 60 km para vistas nadir y de 80 km para vistas fuera del nadir a una altitud de 832 km.

- SPOT Pancromática (significa sensible a todos los colores visibles): tiene una resolución espacial de 10 x 10, está compuesta de una banda (0.51 - 0.73 μm), y es similar a una fotografía en blanco y negro. Su resolución radiométrica es de 8 bits.
- SPOT Multiespectral (XS): tiene una resolución espacial de 20 x 20, resolución radiométrica de 8 bits, y está compuesta de tres bandas.

1 = Verde, 0.50 - 0.59 μm

Corresponde a la reflectancia verde de la vegetación sana.

2 = Rojo, 0.61 - 0.68 μm

Banda útil para discriminar especies de plantas. También es útil para delinear límites de suelos y límites geológicos.

3 = Infrarrojo reflectivo, 0.79 - 0.89 μm

Esta banda es especialmente sensible a la cantidad de biomasa vegetal presente en una escena. Es útil para la identificación de cultivos y enfatiza el contraste suelo / cultivo y tierra / agua.

6. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Se han desarrollado diversas técnicas que ayudan en la interpretación de las imágenes de los sensores remotos y facilitan la obtención de información desde las mismas. La elección de la técnica que debe ser empleada y de los algoritmos que se aplicarán depende de las metas que se pretenden alcanzar en cada proyecto.

6.1 PREPROCESAMIENTO

Previo al análisis de datos, es necesario efectuar algunos procesos iniciales sobre las imágenes originales, con el objeto de corregir distorsiones derivadas de las características del sistema de colección de datos y de las condiciones de la imagen.

Dependiendo de los requerimientos del usuario, los proveedores pueden ejecutar algunos procedimientos de corrección estándar. Estos procedimientos incluyen la rectificación radiométrica sobre la totalidad de la imagen, para corregir la respuesta irregular del sensor o para corregir la distorsión geométrica debido a la rotación de la Tierra, así como otras condiciones de la imagen (tal como la oblicuidad de la misma).

Asimismo, la imagen puede ser transformada con el fin de adecuar los datos a un sistema de proyección específico (UTM, Latitud – Longitud, entre otros). Este proceso, denominado de corrección geométrica, también es conocido como de georreferenciación.

6.2 REALCES DE LA IMAGEN

Con el objeto de mejorar los resultados de la interpretación, es necesario mejorar las formas de los elementos del paisaje; en tal sentido, se utilizan técnicas para realzar los objetos, tales como el “*stretching*” a nivel de grises, que permite optimizar el contraste entre elementos, y la aplicación de filtros espaciales, que intensifican los bordes de los componentes.

Con el conocimiento del comportamiento espectral de los materiales es posible su identificación a través de las **composiciones de color**. En una composición de color se utilizan los tres colores primarios (rojo, verde y azul). Cuando estos tres colores son combinados en diversas proporciones producen diferentes coloraciones en la región visible del espectro. Asociando cada banda espectral (no necesariamente del visible) a un color primario por separado, resulta una imagen con combinaciones de color.

En el caso de las bandas del satélite Landsat TM, es posible combinarlas para obtener diferentes efectos. Las siguientes combinaciones son muy usuales:

- **Bandas 3, 2, 1.** Generan una composición de color verdadero. Esto significa que los objetos pueden verse como en una fotografía en color.
- **Bandas 4, 3, 2.** Generan una composición de falso color. Una composición de falso color es parecida a una fotografía infrarroja, donde los objetos no tienen los colores y los contrastes naturales. Por ejemplo, en una imagen infrarroja, la vegetación aparece roja, el agua azul oscuro o negro, entre otros.
- **Bandas 5, 4, 2.** Generan una composición de pseudo color (una imagen temática es una imagen de seudocolor). En seudocolor, los colores no reflejan los colores naturales de las características del paisaje. Por ejemplo, las vías podrían ser rojas, el agua amarilla y la vegetación azul.

Es posible el uso de esquemas que permitan mejorar las características en estudio. La combinación de bandas es determinada por las necesidades de cada aplicación.

6.3 CLASIFICACIÓN MULTIESPECTRAL

Las diversas coberturas sobre una imagen pueden ser discriminadas empleando algoritmos de clasificación, los que operan usando las características espectrales de los componentes del paisaje; esto es, la información de brillo y color contenido en cada píxel. Cada tipo de cobertura es conocido como un “tema”, y el producto de la clasificación se conoce como un “mapa temático”. Los procedimientos de clasificación pueden ser “supervisados” o “no supervisados”.

En una **clasificación supervisada**, las características espectrales de algunas áreas de coberturas conocidas son extraídas de la imagen; éstas se denominan “áreas de entrenamiento” y definen clases. Luego cada píxel de la ima-

gen es clasificado como perteneciente a una de las clases predefinidas, dependiendo de cuán cercana está su característica espectral a las características espectrales del área de entrenamiento.

En una **clasificación no supervisada**, el computador agrupa los píxeles de la imagen en “clusters” separados, en función de sus características espectrales. Seguidamente, cada “cluster” es definido como una clase por el analista.

6.4 MOSAICOS

Un mosaico es un conjunto de dos o más imágenes enlazadas en forma contigua; tal ensamblaje es necesario cuando el área de interés supera el área cubierta por una sola imagen (Figura 15). En un mosaico, los píxeles presentan diferentes fechas de adquisición, de modo que es muy importante tener en cuenta esta característica al hacer la interpretación del mismo. Por otro lado, al elaborar mosaicos de diversas imágenes será necesario ajustar las tonalidades entre las escenas que se deben unir. La figura 15 muestra tal característica, y se puede observar un fuerte contraste entre imágenes. Posteriormente, se documentan las metodologías utilizadas para mejorar la calidad del mosaico sobre la Amazonía, que fue generado en el marco del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia.

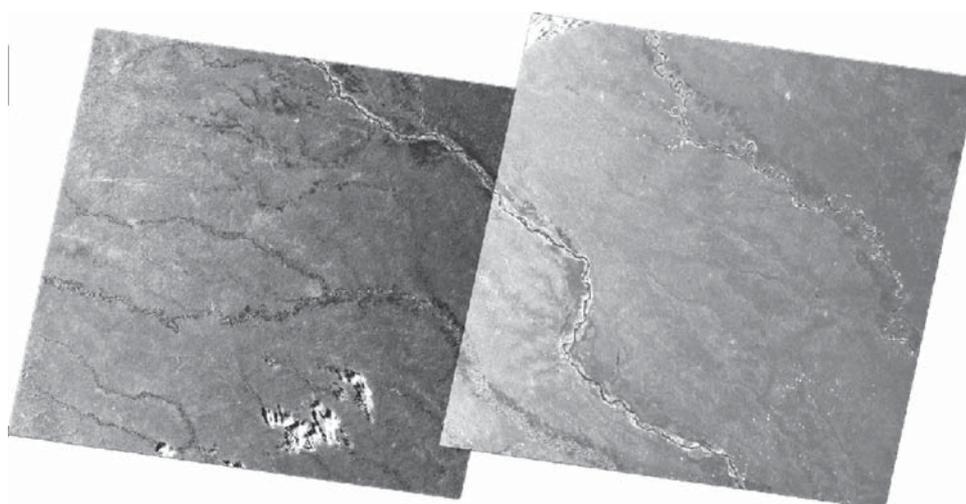


Figura 15. Ejemplo de mosaico con dos imágenes; nótese la continuidad de los grandes ríos. Fuente: IIAP - BIODAMAZ.

7. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES

7.1 IMÁGENES PANCROMÁTICAS Y MULTIESPECTRALES

Una **imagen pancromática** consiste de una sola banda. Generalmente se exhibe como una imagen en escala de grises, es decir, que el brillo exhibido por un píxel en particular es proporcional al número digital del píxel, el cual está relacionado con la intensidad de la radiación solar reflejada por los objetos en el píxel y registrados por el detector. De modo que una imagen pancromática puede ser interpretada como una fotografía aérea en blanco y negro, pero a baja resolución.

Una **imagen multiespectral** consta de varias bandas. Cada banda puede ser exhibida como una imagen en escala de grises o en combinación de tres bandas, a la vez como una composición de color. El análisis de una imagen multiespectral requiere del conocimiento de la firma espectral de los objetos en la escena.

7.2 FIRMA ESPECTRAL

Cuando la radiación solar golpea una superficie, ésta puede ser transmitida, absorbida o reflejada. Los diversos materiales reflejan y absorben de modo diverso las radiaciones solares. El espectro de reflectancia de un material se traza con la fracción de radiación reflejada como una función de la longitud de onda incidente, y sirve como una firma identificadora única para tal material. En principio, un material puede ser identificado por su reflectancia espectral si el sistema sensor tiene la suficiente resolución espectral para discriminar tal reflectancia de las de otros materiales. Esta premisa proporciona el fundamento del sensoramiento remoto multiespectral (Figura 16).

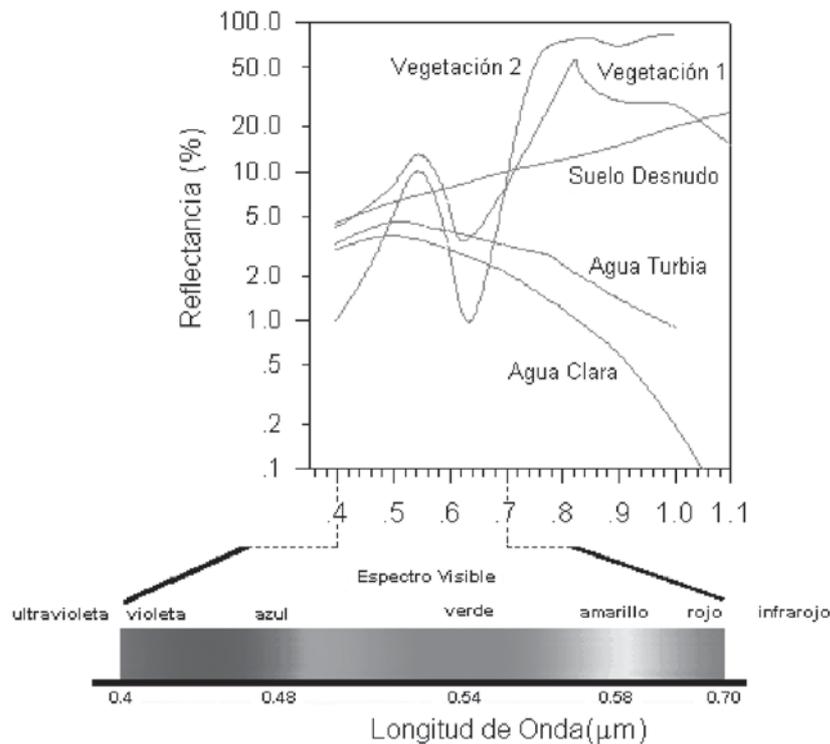


Figura 16. El espectro de reflectancia de cinco materiales: agua clara, agua turbia, suelo desnudo y dos tipos de vegetación. Adaptado de: NUS, 2002.

La reflectancia del agua clara generalmente es baja. Sin embargo, la reflectancia es máxima hacia los límites superiores del azul en el espectro, y decrece cuando la longitud de onda se incrementa. Por consiguiente, el agua clara adquiere una tonalidad oscura en las imágenes. El agua turbia tiene sedimentos en suspensión, que incrementan la reflectancia hacia los límites del rojo en el espectro, lo cual explica su tonalidad amarroada. La reflectancia del suelo desnudo generalmente depende de su composición. En el ejemplo mostrado, la reflectancia se incrementa en forma constante con el incremento de la longitud de onda. Por consiguiente debe aparecer a la vista con una tonalidad amarilla rojiza.

La vegetación tiene una signatura espectral única, lo cual facilita su distinción de otros tipos de cobertura en una imagen del infrarrojo cercano de un satélite óptico. La reflectancia es baja en las regiones azul y rojo del espectro, debido a la absorción por la clorofila en la fotosíntesis. Exhibe un pico en la región verde. En la región del infrarrojo cercano (NIR) la reflectancia es mucho mayor que en las bandas del visible, debido a la estructura celular de las hojas. Por consiguiente, la vegetación puede ser identificada por su alta reflectancia en el infrarrojo cercano y generalmente baja en el visible.

El modelo del espectro de reflectancia puede ser usado para identificar tipos de vegetación. Por ejemplo, los espectros de reflectancia de la vegetación 1 y 2 en la Figura 16 pueden distinguirse, pues éstas exhiben la característica general de reflectancias altas en el infrarrojo cercano y bajas en el visible. La vegetación 1 tiene mayor reflectancia en la región visible, pero baja en la región NIR. Para el mismo tipo de vegetación, el espectro de reflectancia también depende de otros factores, tal como la humedad de las hojas y el estado de las plantas. Estas propiedades permiten que la condición de la vegetación sea monitoreada usando imágenes de satélite.

La signatura espectral es clave en la interpretación de imágenes de percepción remota. Las diferentes técnicas de realce, como composiciones de color, pueden apoyar la interpretación visual de las imágenes. El especialista interpretará los patrones en la imagen en función de su orientación profesional y del nivel de referencia o conocimientos que posee sobre la región que observa. Al aplicar la clasificación supervisada, que consiste en agrupar píxeles en correlación a los diferentes tipos de cobertura definidas por el usuario, será necesario el levantamiento de información de campo antes y después de la clasificación, con el objeto de ratificar o rectificar las clases o coberturas consideradas en el análisis.

8. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

8.1 SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL

El sistema de referencia mundial (*Worldwide Reference System – WRS*) es un sistema de notación global para datos Landsat. Permite al usuario indagar sobre imágenes de este satélite sobre cualquier área del mundo, especificando el centro nominal de una escena designada por un número PATH y un número ROW.

La notación WRS-1 para Landsat 1-3 asigna números PATH secuenciales de este a oeste para 251 pistas (*tracks*) orbitales de satélite, iniciándose con el número 1 para la primera pista que cruza el Ecuador a 65.48 grados de longitud oeste. Una pista orbital específica puede variar debido al movimiento y otros factores, de modo que una línea PATH es sólo aproximada. La órbita es periódicamente ajustada con el objeto de colocar al satélite sobre una órbita lo más aproximada a la inicial.

El número ROW se refiere a la línea latitudinal central de una imagen. Como el satélite se mueve a lo largo de su path, los instrumentos están escaneando continuamente el terreno que se encuentra debajo. Las señales generadas son transmitidas a la Tierra, donde son correlacionadas con datos de efemérides telemétricas para formar imágenes individuales conocidas como escenas. El centro de escenas Landsat 1-3 es ubicado a intervalos de 25 segundos aproximadamente. Una órbita completa de 6196 segundos dividida entre 25 segundos genera 247.84 intervalos, por lo que fueron elegidas 248 escenas por órbita completa (ascendente y descendente) como el estándar.

La combinación de un número PATH y un número ROW identifica únicamente el centro nominal de una escena. El número PATH siempre va primero, seguido por el número ROW. Por ejemplo, la notación 127-043 está relacionada con el número PATH 127 y el número ROW 043.

Los satélites Landsat 4 y 5 proporcionan una cobertura similar a la de los Landsat 1-3; no obstante, la menor altitud de vuelo proporciona un modelo diferente de franja observada.

El WRS para Landsat 4 y 5 es una extensión del WRS-1. Sin embargo, hay grandes diferencias en el ciclo, cobertura, modelo de franja observada y designadores PATH / ROW debido a las grandes diferencias orbitales. El ciclo de cobertura de la Tierra de 16 días para el Landsat 4 y 5 esta acompañado de 233 órbitas. De modo que para Landsat 4 y 5, el sistema WRS-2 tiene 233 PATHs numerados de 001 a 233, de este a oeste, con el PATH 001 cruzando el Ecuador a 64.60 grados de longitud oeste.

8.2 CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA ADQUIRIR IMÁGENES

Para adquirir imágenes es preciso observar algunas consideraciones básicas con el objeto principal de minimizar los costos de adquisición de este material.

8.2.1 IDENTIFICACIÓN DE ESCENAS NECESARIAS

Al ejecutar un proyecto que involucre el uso de imágenes de satélite Landsat 4-7 TM, es necesario identificar las imágenes necesarias que cubran el área de estudio. Se recomienda la elaboración de un mapa base con coberturas que proporcionen características particulares y que faciliten la identificación de las áreas correspondientes. Sobre éste debe superponerse la cobertura de escenas para la zona en consideración.

Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, que forma la base del presente trabajo, las coberturas fundamentales fueron la hidrografía y los centros poblados urbanos ubicados en la zona de selva baja peruana (por debajo de los 500 metros sobre el nivel del mar). Se debe tomar nota cuidadosa del path y el row de cada una de las escenas, las cuales servirán para ubicar y cotizar el material.

8.2.2 PROVEEDORES

En la actualidad el uso de la Internet proporciona amplias facilidades que permiten la ubicación y cotización de imágenes de satélite, especialmente de los productos Landsat. Se proporcionan algunas direcciones electrónicas que pueden ser consultadas:

EARTH OBSERVING SYSTEM DATA GATEWAY, servidor o sitio web en el que están disponibles las herramientas que permiten la búsqueda de imágenes de percepción remota de todo el mundo, y que son ofertadas por nueve centros de datos distintos. <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/plain.html>.

TROPICAL RAIN FOREST INFORMATION CENTER – TRFIC; ubicado en **Michigan State University**, posee una gran colección de imágenes Landsat. <http://www.bsrsi.msu.edu/trfic/index.html>.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS; oferta productos Landsat 7 en el sitio web <http://landsat7.usgs.gov/>.

Otros sitios web útiles son:

- INPE: <http://www.inpe.br>.

Otras direcciones de utilidad:

- CLIRSEN, clcotopaxi@clirsen.com;
- BMP Geomática, jmattos@bmp.com.pe;
- GD Sistemas, gdsistemas@terra.com.pe;
- EUROIMAGEN, albani@eurimagen.com;
- INTERSAT, saraujo@intersat.com.br;
- UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO, rafael@exodo.upr.clu.edu;
- CONAE, menes@conae.gov.ar.

Los proveedores tienen sus propias colecciones en venta, y los precios varían mucho, dependiendo principalmente de la fecha de adquisición de la imagen, el nivel de preprocesamiento, y las ofertas que los diversos distribuidores puedan tener. En el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se obtuvieron imágenes muy económicas del Tropical Rain Forest Information Center y del Earth Observing System Data Gateway.

Por otro lado, es necesario tener en consideración que las imágenes de satélite se distribuyen bajo convenios y principios internacionales de propiedad intelectual. En tal sentido es muy importante establecer las previsiones que el caso amerita. Algunos proveedores permiten el uso irrestricto de los productos que ofertan; tal es el caso de la USGS, que declara sin restricciones de uso, reprocesamiento y redistribución las imágenes Landsat 7 compradas a tal entidad. En el caso del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se establecieron contactos con los proveedores a fin de obtener los permisos correspondientes para el uso de las imágenes proporcionadas.

8.2.3 UTILIDAD DE LAS IMÁGENES

El principal parámetro para juzgar la utilidad de las imágenes es la cobertura de nubes. Es obvio que cuanto menor sea esta cobertura, mayor será el número de elementos del paisaje visibles en la escena.

Con el objeto de observar esta anomalía se recomienda al usuario que, una vez hecho el contacto con el o los proveedores, solicite un “quicklook” de las escenas de su interés. Un quicklook es una copia de la escena en formato convencional (tif, jpg, bmp, entre otros), la cual puede ser analizada usando un procesador de imágenes común (Photoshop, Corel, entre otros). Generalmente los proveedores informan, mediante un valor porcentual, sobre el contenido de nubes de la escena (Figura 17).



Fecha de adquisición: Sep 12, 1985	
Sensor: TM	
Porcentaje de cobertura de nubes	
Cuadrante sup. izq.:	100
Cuadrante sup. der.:	50
Cuadrante inf. izq.:	80
Cuadrante inf. der.:	20

Figura 17. Ejemplo de imagen con alto contenido de nubes. Fuente: TRFIC, 2002.

Asimismo, es necesario determinar la presencia de ruido y los errores de píxeles individuales (“sal y pimienta” – píxeles carentes de información) en la imagen. Si la imagen presenta estas irregularidades, será necesario evaluar cuidadosamente el efecto sobre los resultados esperados.

8.3 COBERTURA DE IMÁGENES PARA EL PERÚ

La figura 18 muestra la cobertura de escenas Landsat 4-7 TM para el Perú, que involucra imágenes comprendidas entre el ROW 60 y 79 y entre el PATH 1 al 11. El número de escenas para cubrir el Perú es de 75. Note que algunas cubren espacios pequeños del territorio (p. ej. 004 066). La necesidad de adquirir tales escenas está ligada a los objetivos del proyecto.

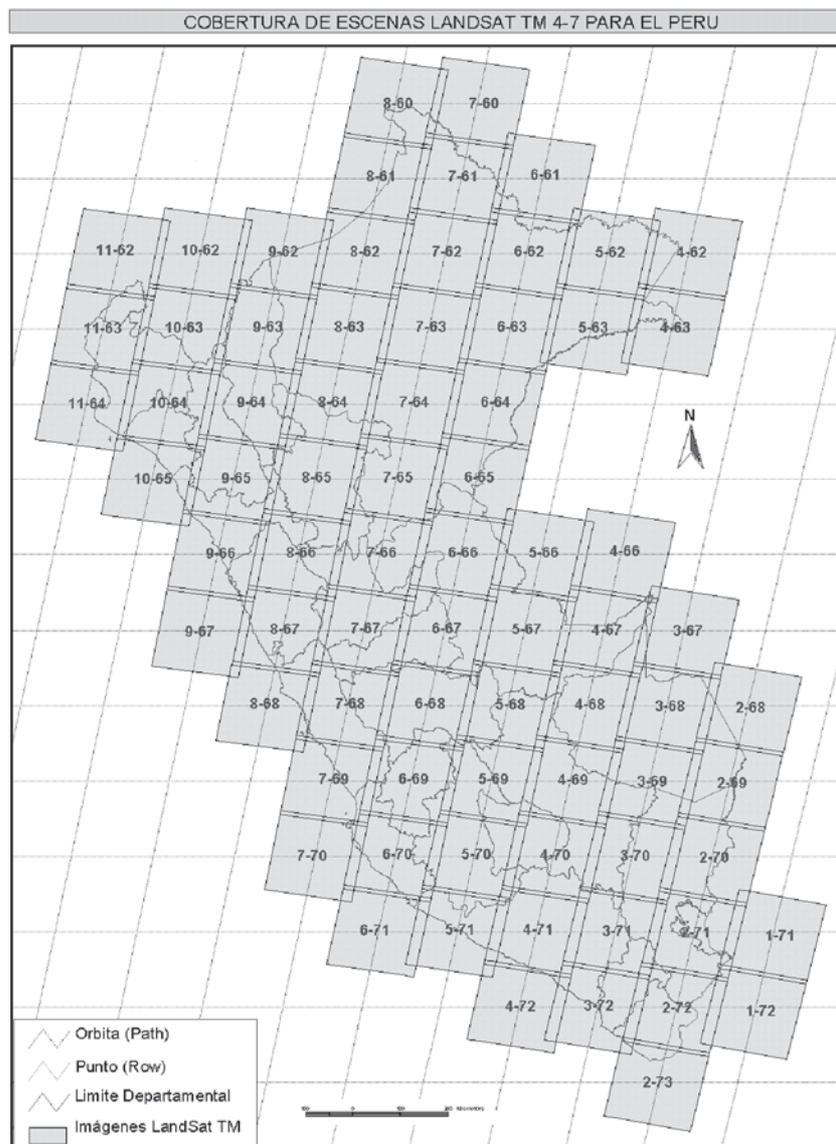


Figura 18. Cobertura de imágenes Landsat 4-7 para el Perú. Fuente: IIAP - BIODAMAZ.



**Preprocesamiento
digital de las
imágenes
utilizadas en el
mosaico sobre la
Amazonía
Peruana**

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se ha elaborado un mosaico que cubre la Amazonía Peruana con imágenes Landsat TM (Figura 19). A base de la experiencia adquirida en este proceso, se presentan a continuación las fases del preprocesamiento de estas imágenes. Los temas que se tratarán en este capítulo son:

- La georreferenciación (corrección geométrica), que es un proceso a través del cual se asigna un determinado sistema de coordenadas a cada una de las imágenes;
- Los procesos de mejoramiento de la imagen, cuyas técnicas (corrección radiométrica, corrección espacial y corrección multibanda, entre otros) permiten optimizar las particularidades de color, textura y forma, entre otros elementos del paisaje, facilitando su caracterización.

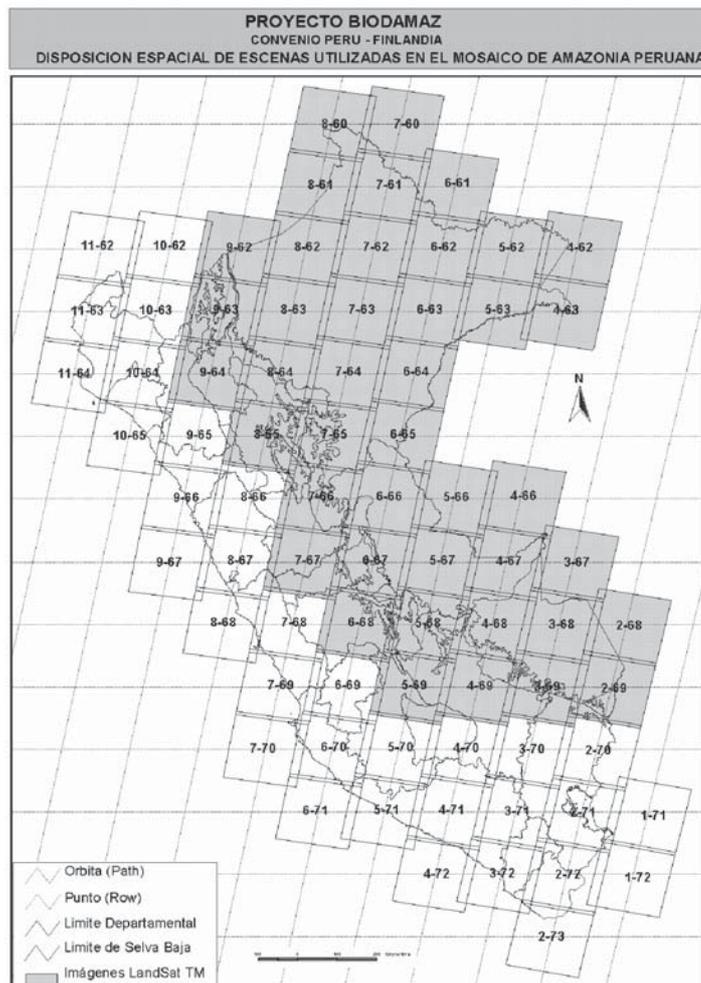


Figura 19. Disposición espacial de escenas utilizadas en el mosaico de Amazonía Peruana. Fuente: IAP - BIODAMAZ.

2. REGISTRO PREVIO DE DATOS

Con el objeto de registrar algunos datos iniciales sobre las imágenes especificadas, se hizo un reconocimiento previo de las anomalías presentes en las imágenes que cubren el área de estudio.

Para tal fin se han tomado como referencia los parámetros de chequeo siguientes:

- Reconocimiento de nubes y ruidos (líneas faltantes, sal y pimienta – píxeles carentes de información).
- Expresión porcentual de resultados.
- Resultados por cuadrantes.

Asimismo, es pertinente delinear algunos aspectos operativos para esta fase:

- *Software* por usar para el análisis visual *ArcView* u otro que el usuario considere pertinente.
- Formato para el registro de la información. En este caso particular se utilizó como marco referencial una cuadrícula dividida en 100 partes iguales, cada una representado el 1% del área de la imagen, agrupadas en cuatro cuadrantes. En la Figura 20 se pueden apreciar diversos detalles, así como la cuantificación de las áreas (ruido y nubes) digitalizadas. Es obvio que tal cuantificación guarda cierta subjetividad, por cuanto está sujeta a la capacidad, experiencia e ingenio del analista para medir áreas visualmente.

Al utilizar *ArcView* para el análisis visual de las imágenes no georreferenciadas se recomienda seguir el procedimiento operativo siguiente:

- a. Ejecución de *ArcView*.
- b. Despliegue de la imagen.
- c. Superposición de la cuadrícula.
- d. Ampliación de la cuadrícula n ($1 = n = 100$).
- e. Digitalización de nubes, ruido y otras anomalías.
- f. Despliegue total de la imagen.
- g. Los pasos d. al f. se repiten en cada una de las cuadrículas.
- h. Impresión preliminar de resultados.
- i. Valoración porcentual de anomalías.
- j. Composición del mapa de evaluación.
- k. Ploteo del mapa de evaluación.
- l. Los pasos h. a k. se repiten en cada una de las escenas.

Por otro lado, es necesario registrar la calidad de las imágenes incluidas en el proyecto, por lo que se sugiere elaborar una tabla de registro y establecer el tipo de calificación de las imágenes. La tabla de registro podría contar con los ítems siguientes:

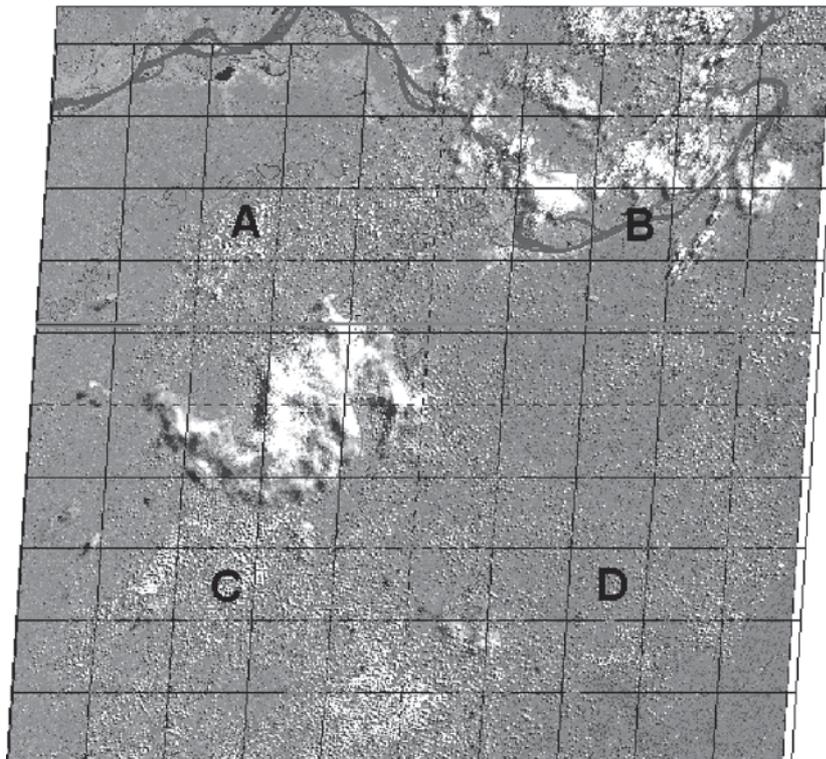
- Posición en el proceso de calificación (número correlativo).
- *Path*.
- *Row*.
- Año de adquisición.
- Código de la imagen (siglas, números, etc.).
- Calificación de la imagen, que podría estar referido a cada cuadrante (A, B, C, D).
- Observaciones.

Un rango adecuado de clasificación puede estar referido a un ordenamiento ordinal, tal como se indica a continuación:

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
1	Excelente
2	Bueno
3	Regular
4	Malo

PROYECTO BIODAMAZ
FICHA DE EVALUACION DE IMAGENES

ESCENA : 09TM_46386 FECHA DE ESCENA : 04-08-1986
NOMBRE DE LA IMAGEN : CABALLOCOCHA ANALISTA : JOSE SANJURJO



CUADRANTES	NUBES (%)	RUIDO (%)
CUADRANTE A :	7.72	0.50
CUADRANTE B :	11.20	0.50
CUADRANTE C :	13.51	-----
CUADRANTE D :	8.10	-----
FULL SCENE :	40.53	1.00

OBSERVACIONES : (*) Bruma + Sombra (En algunos casos con nubes densas).
El Cuadrante A es el de inter es para el estudio

Figura 20. Ejemplo del registro previo de datos de una escena Landsat TM en la Amazonía Peruana. Fuente: IIAP - BIODAMAZ.

Asimismo, se podría utilizar para cada cuadrante, cuando fuera necesario, la calificación nominal siguiente:

NO: No necesario.

ADQ: Adquirir nueva imagen para reemplazo.

Un procedimiento operativo recomendable es el siguiente:

- a. Ordenamiento de las escenas según su posición espacial.
- b. Observación de la imagen en función de:
 - Área de la imagen incluida dentro del área de estudio.
 - Porcentaje de anomalías (nubes, ruido, otros) de las áreas de interés.
 - Calificación según los rangos pre-establecidos, en consulta con el equipo evaluador.
- c. Repetición de los pasos en **b** para cada una de las escenas.

3. PREPROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES DIGITALES

Para proceder a la ejecución de las técnicas de preprocesamiento de imágenes es necesario tomar en cuenta las siguientes:

Correcciones cosméticas. Para cada imagen, según la necesidad, se realizarán las correcciones cosméticas que permitan enmendar problemas como “sal y pimienta” (píxeles carentes de información), líneas faltantes y cifras marcadas en las imágenes, y corte de márgenes no relevantes en las imágenes, que pueden causar problemas.

Ordenamiento de bandas. Hay que seleccionar para cada imagen las bandas que satisfacen las necesidades del proyecto. Además es recomendable crear una banda adicional para indicar el origen de la misma, ya que el contenido de información es el código de la imagen.

Rectificación geométrica. Es necesario lograr la más alta precisión en el proceso, por lo que se sugiere que el número de GCP (*Ground Control Point*) sea = 30 GCP; obtenidas de la Carta Nacional (p.ej. escala 1:100 000). Pueden presentarse dificultades para determinar los puntos GCP; por tanto, para cada imagen hay que documentar los inconvenientes encontrados y las soluciones adoptadas. Los errores RMS (*Root Mean Square error*, error medio de la raíz cuadrática) tienen que ser minimizados y documentados para cada imagen, y esta información se incluye en la base de datos de las mismas. En las rectificaciones que se realizarán, el tamaño del píxel se define como 30 m x 30 m. El chequeo de la calidad de la rectificación es inmediato. Debe estimarse adecuadamente la duración de este trabajo en términos de horas / hombre. Detalles sobre el proceso de rectificación se muestran en el acápite 12.3. Con el objeto de garantizar la disponibilidad de la información, todas las imágenes rectificadas deben ser grabadas en CD y ordenadas de una manera precisa, incluyendo sus metadatos en la base de datos.

4. PROCESOS OPERATIVOS

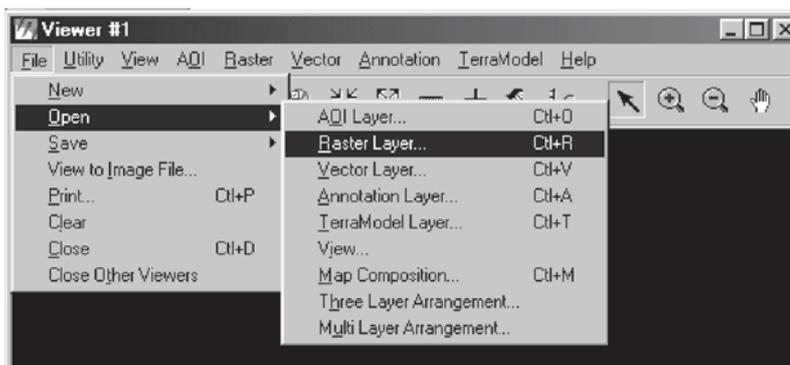
Los procesos operativos han sido efectuados con ERDAS Imagine 8.4.

4.1 CORRECCIONES COSMÉTICAS

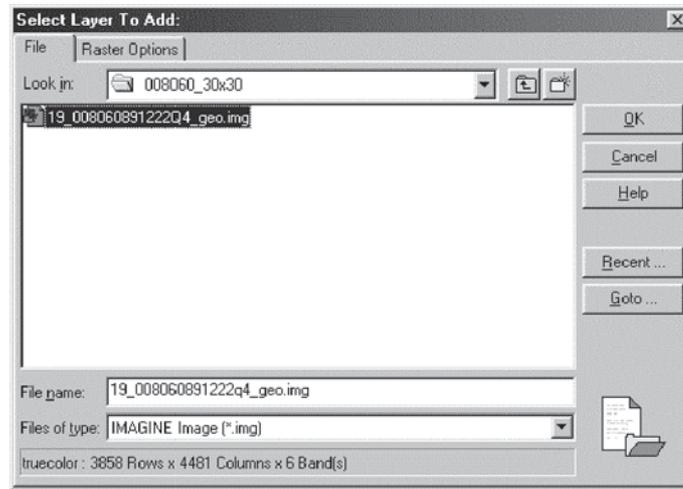
4.1.1 CORTE DE MÁRGENES Y DE ÁREAS DE INTERÉS

Si algunas imágenes exhiben márgenes que no satisfacen las exigencias del proyecto (p.ej. de color blanco), deben cambiarse de modo que no ocasionen problemas (p.ej. al color negro). Asimismo, es necesario cortar áreas de interés para desechar partes de la imagen carentes de valor para el proyecto. Proceda del modo siguiente:

- a. Active ERDAS. Para exhibir la imagen por tratar accione el menú **File** de la barra de menú del **Viewer**, luego elija la opción **Open** y después la alternativa **Raster Layer**.



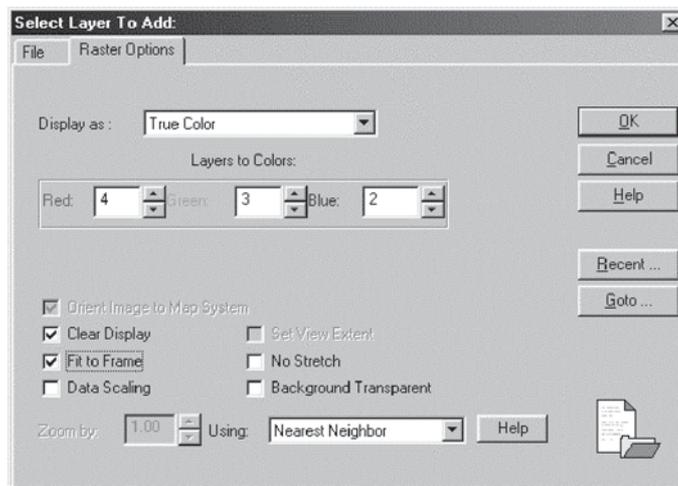
- b. En la ventana **Select Layer to Add**, que tiene activada la lengüeta **File** por defecto, seleccione la imagen a la que desea tratar.



Con **Look in**: navegue hasta la carpeta donde se encuentra la imagen por tratar; en el listado de la ventana haga doble click sobre el nombre de la imagen o escriba el nombre de la misma en **File Name**: si el tipo de imagen por tratar es diferente a *.img, accione el menú de persiana **Files of type**: y seleccione el que sea de su interés.

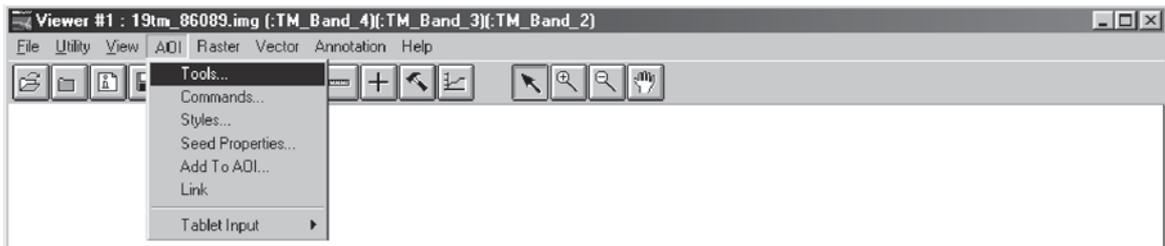
Luego accione la lengüeta **Raster Options**; en la ventana resultante y en la sección **Layers to Colors** elija la combinación de bandas que mejor se adecúe a sus fines; asimismo, active la caja de control **Fit to Frame** para exhibir la imagen a ventana completa.

Finalmente, para aplicar las opciones elegidas, cliquee sobre el botón **OK**.

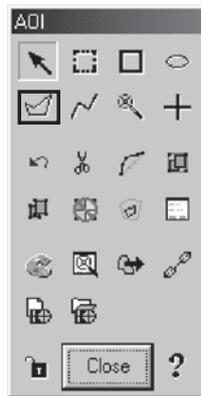


Para cambiar la combinación de bandas, luego de haber desplegado la imagen sobre el **Viewer**, accione el menú **Raster** del **Viewer** y después active la alternativa **Band Combinations...**; asimismo, para desplegar la imagen a ventana completa, accione el menú **View** del **Viewer**; luego elija la opción **Scale** y finalmente cliquee sobre la alternativa **Image to Window**.

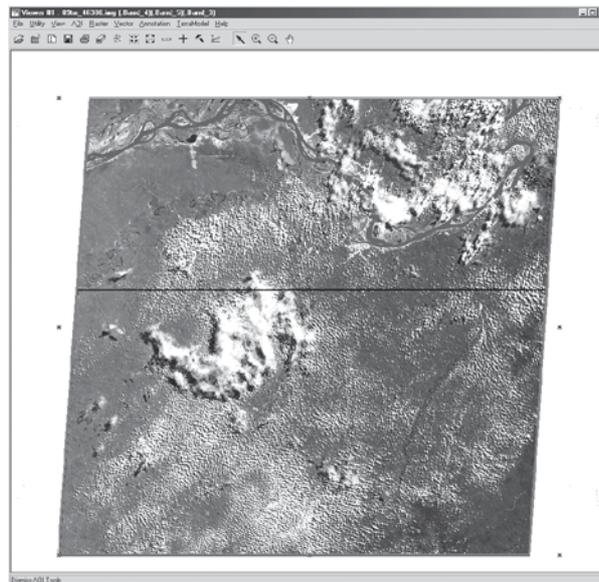
- c. Active el grupo de herramientas **Tools** del menú **AOI** (*area of interest*, área de interés) de la ventana del **VIEWER**.



- d. En la ventana de instrumentos **AOI** active la herramienta  para crear un AOI poligonal,



- e. Con la herramienta activada, posicione en el punto inicial sobre la imagen y presione el botón izquierdo del ratón para añadir el vértice inicial del polígono deseado;

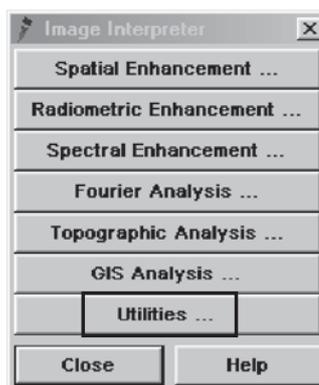


a continuación desplácese por el perímetro planeado presionando el botón izquierdo en el lugar donde desea generar vértices adicionales. Presione dos veces consecutivas dicho botón para cerrar el polígono.

- f. Para **cortar el área de interés**, active el botón **Interpreter** de la barra **IMAGINE**.



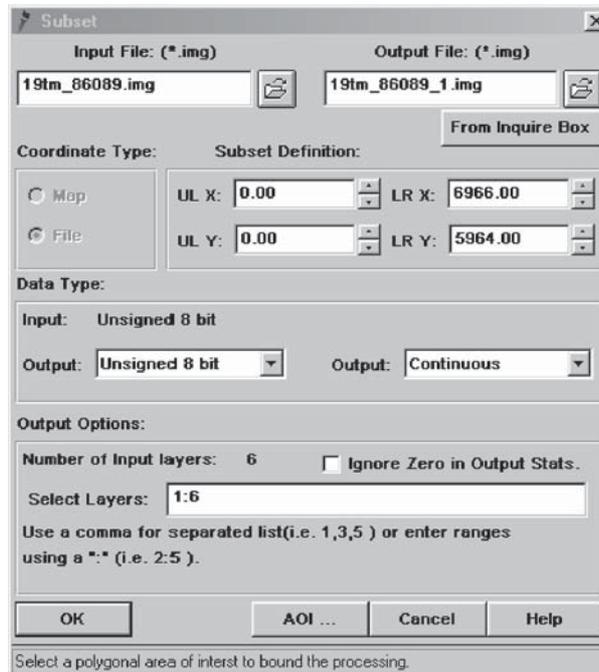
- g. Del menú **Image Interpreter** elija la opción **Utilities**.



- h. En la ventana **Utilities** seleccione la alternativa **Subset**.



- i. En la ventana de diálogo **Subset**,



Rellene los campos en función de las consideraciones siguientes:

Input File: Digite el nombre del archivo fuente, o use la ventana de diálogo para abrir archivos. Por defecto la extensión del archivo es .img.

Output File: Digite el nombre del archivo destino, o use la ventana de diálogo para definir el archivo destino. Por defecto, la extensión del archivo es .img.

Coordinate Type: Active el botón de radio para seleccionar el tipo de coordenadas por usar. Si el archivo fuente no tiene coordenadas, por defecto el tipo de coordenadas es File.

Subset Definition: Use este grupo para definir una área rectangular de los datos que deben ser utilizados como referencia del archivo destino. Por defecto, el área total del archivo fuente es usado como dato de referencia.

From Inquire Box: Active este campo para delimitar una subárea definida con **Inquire Box** del menú **Utility** del **Viewer**. Al activarlo las coordenadas debajo (Subset Definition) son actualizadas en función del área delimitada en el Viewer.

Data Type: Proporciona información sobre los tipos de archivo de entrada y salida (menú emergente, presione el botón izquierdo del ratón sobre la flecha a la derecha de la ventana para seleccionar opciones).

- **Input:** Muestra el tipo de archivo fuente.
- **Output:** Menú emergente para seleccionar el tipo de archivo destino.
- ✓ **Thematic:** El archivo destino será un archivo raster temático.
- ✓ **Continuous:** El archivo destino será un archivo raster continuo.

Output Options: Opciones para el archivo destino.

- **Number of Input layers:** Muestra la cantidad de capas en el archivo fuente.
- **Select Layers:** Digite el número de las capas que serán importadas.
- **Ignore Zero in Output Stats:** Cuando la caja está activada, los píxeles con valor 0 serán ignorados al calcular las estadísticas del archivo destino.

OK: Ejecuta el programa.

AOI: Active esta opción; aparecerá la ventana de diálogo **Choose AOI**.



Aquí es donde el usuario puede seleccionar el área de interés sobre el cual se aplicará la función. Para este caso particular se selecciona el botón **Viewer**.

OK: Activa el uso de la opción seleccionada y cierra esta ventana de diálogo.

Cancel: Cancela el proceso y cierra la ventana de diálogo.

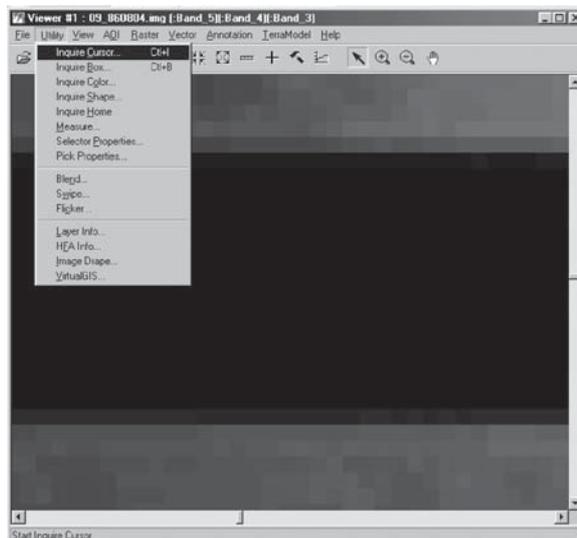
Help: Muestra la ayuda en línea para esta ventana.

4.1.2 CORRECCIÓN DE LÍNEAS FALTANTES

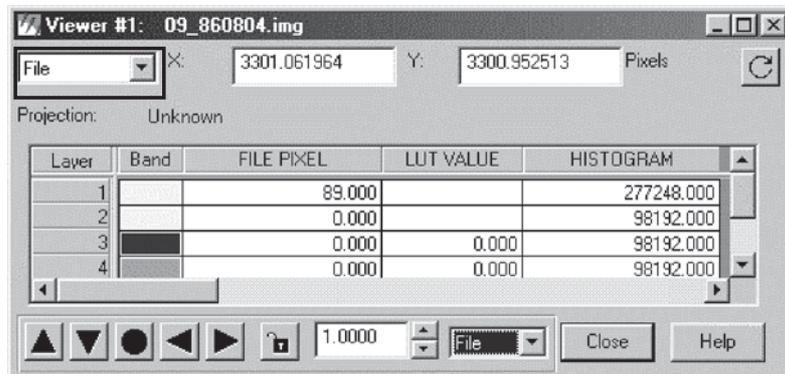
Si las imágenes muestran líneas faltantes, para corregir tal problema se procede operativamente del modo siguiente:

- Active ERDAS. Despliegue la imagen accionando el menú **File** de la barra de menú del **Viewer**, luego elija la opción **Open** y después la alternativa **Raster Layer**.
- En la ventana **Select Layer to Add**, seleccione la imagen que desea tratar.
- Con la imagen desplegada en el **Viewer** ejecute una aproximación a nivel de píxel sobre la línea faltante

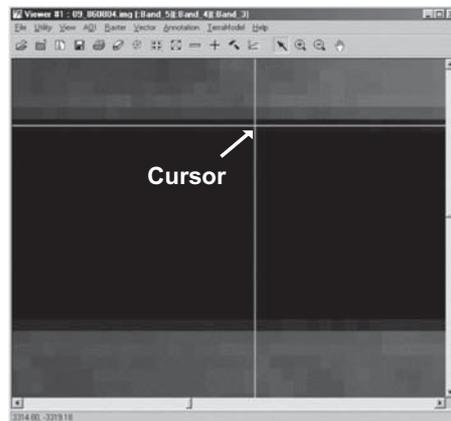
utilizando la herramienta , luego del menú **Utility**, accione la alternativa **Inquire Cursor**.



- d. En la ventana resultante, asegúrese de que el menú emergente **Coordinate Type** exhiba la alternativa **File**. Asimismo, considere que **X** muestra el valor de columnas e **Y** presenta el valor de filas (en píxeles).



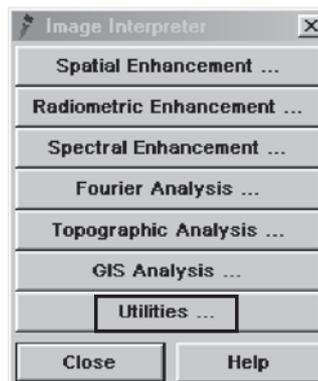
- e. Desplace el cursor sobre el Viewer hasta la línea o columna faltante y anote el valor resultante que se muestra en la ventana anterior.



- f. Active el menú **Interpreter** de la barra **IMAGINE**.



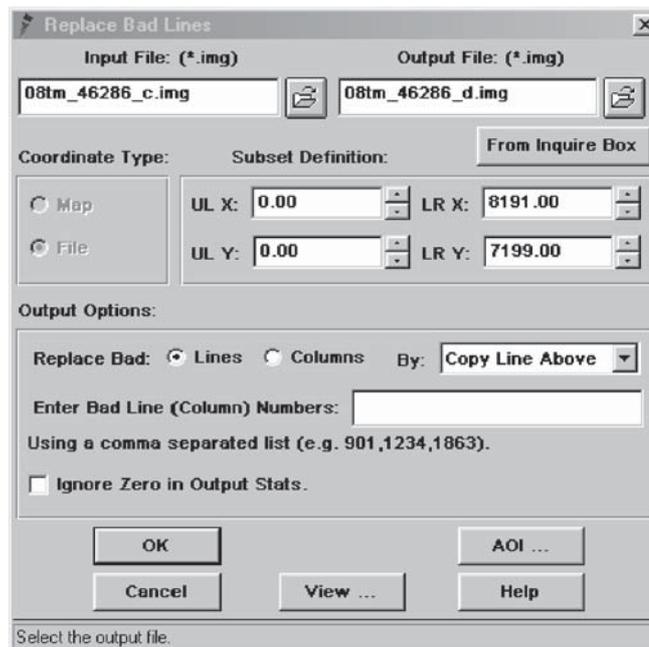
- g. Del menú **Image Interpreter** elija la opción **Utilities**.



- h. En la ventana **Utilities** seleccione la alternativa **Replace Bad Lines**.



- i. En la ventana de diálogo **Replace Bad Lines**,



rellene los campos en función de las consideraciones siguientes:

Input File: Digite el nombre del archivo fuente, o use la ventana de diálogo para abrir archivos. Por defecto, la extensión del archivo es .img.

Output File: Digite el nombre del archivo destino, o use la ventana de diálogo para definir el archivo destino. Por defecto, la extensión del archivo es .img.

Coordinate Type: Active el botón de radio para seleccionar el tipo de coordenadas por usar. Si el archivo fuente no tiene coordenadas, por defecto el tipo de coordenadas es File.

Subset Definition: Use este grupo para definir una área rectangular de los datos que deben ser usados como referencia del archivo destino. Por defecto, el área total del archivo fuente es usado como dato de referencia.

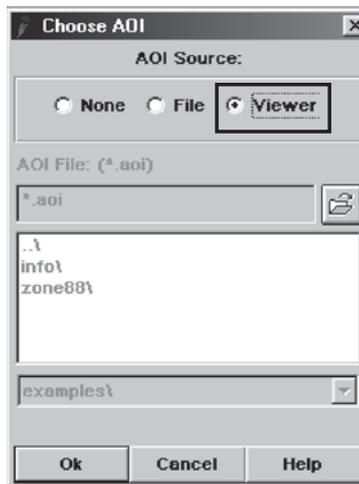
From Inquire Box: Active este campo para delimitar una subárea definida con **Inquire Box** del menú **Utility** del **Viewer**. Al activarlo, las coordenadas que están debajo (Subset Definition) son actualizadas en función del área delimitada en el **Viewer**.

Output Options: Especifica cómo reemplazar las líneas defectuosas.

- **Replace Bad:** Elija el botón pertinente para especificar si desea reemplazar líneas (rows) o columnas.
- **By:** Menú emergente, enumera las opciones para calcular las nuevas líneas o columnas.
 - ✓ **Average:** La línea faltante será reemplazada por el promedio de las líneas inmediatamente por encima y debajo de la misma. Para el caso de columnas, éstas serán sustituidas por el promedio de las columnas inmediatamente a la izquierda y a la derecha de tal columna.
 - ✓ **Copy Line Above:** Cada línea será reemplazada por una copia de la línea inmediatamente por encima de ella. En el caso de columnas, la copia será de la columna inmediatamente a la izquierda de la columna defectuosa.
 - ✓ **Copy Line Below:** Cada línea será reemplazada por una copia de la línea inmediatamente por debajo de ella. En el caso de columnas, la copia será de la columna inmediatamente a la derecha de la columna defectuosa.
- **Enter Bad Line (Column) Numbers:** Digite el número de línea o columna faltante. Es la que debe ser reemplazada.
- **Ignore Zero in Output Stats:** Cuando la caja está activada, los píxeles con valor 0 serán ignorados al calcular las estadísticas del archivo destino.

OK: Ejecuta el programa.

AOI: Al activar esta opción aparecerá la ventana de diálogo **Choose AOI**;



en esta ventana el usuario puede seleccionar el área de interés sobre la cual se aplicará la función.

OK: Activa el uso de la opción seleccionada y cierra esta ventana de diálogo.

Cancel: Cancela el proceso y cierra la ventana de diálogo.

Help: Muestra la ayuda en línea para esta ventana.

Cancel: Cancela el proceso y cierra la ventana de diálogo.

View: Al activar este botón se abrirá la ventana **Model Maker** y exhibirá el modelo gráfico usado para ejecutar esta función.

Help: Muestra la ayuda en línea para esta ventana.

NOTA: Cuando las líneas o columnas faltantes configuran franjas de más de una línea o columna no es posible aplicar las opciones de cálculo tal como son recomendadas.

En tal sentido, se sugiere iniciar la sustitución de la franja defectuosa utilizando los criterios siguientes:

Para líneas faltantes: comience reemplazando la línea superior de la franja utilizando la opción de cálculo **Copy Line Above**, con lo cual se generará un nuevo archivo.

Para columnas faltantes: comience reemplazando la columna más a la derecha de la franja utilizando la opción de cálculo **Copy Line Below**, con lo cual se generará un nuevo archivo.

La operación se repite sobre este nuevo archivo, y así sucesivamente sobre cada uno de los archivos que se van generando hasta cubrir la franja en su totalidad. En la franja resultante se observarán secuencias de píxeles que guardan la misma información, es decir, los que exhiben el mismo nivel de reflectancia y a una escala grande configuran áreas sin un patrón muy bien definido, mientras que a escala pequeña no son notorios.

Tal situación ocasionará presumiblemente problemas de interpretación y de clasificación, al aplicar procedimientos basados en patrones homogéneos de reflectancia. En tal sentido, se tomarán decisiones sobre la utilidad de la corrección de tales franjas.

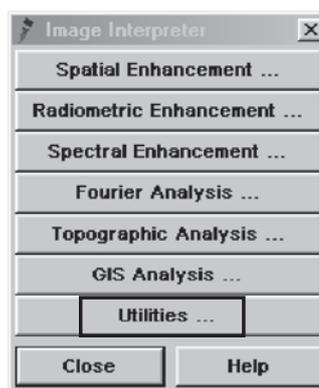
4.2 SELECCIÓN DE BANDAS

Cuando la imagen incluye bandas que no son relevantes para el proyecto es necesario separarlas. Por ejemplo, en una escena con siete bandas, en la cual la banda seis resulta irrelevante para los objetivos que se persiguen, será necesario excluir esta banda. Para eliminar tal banda se procede del modo siguiente:

- a. Active el menú **Interpreter** de la barra **IMAGINE**.



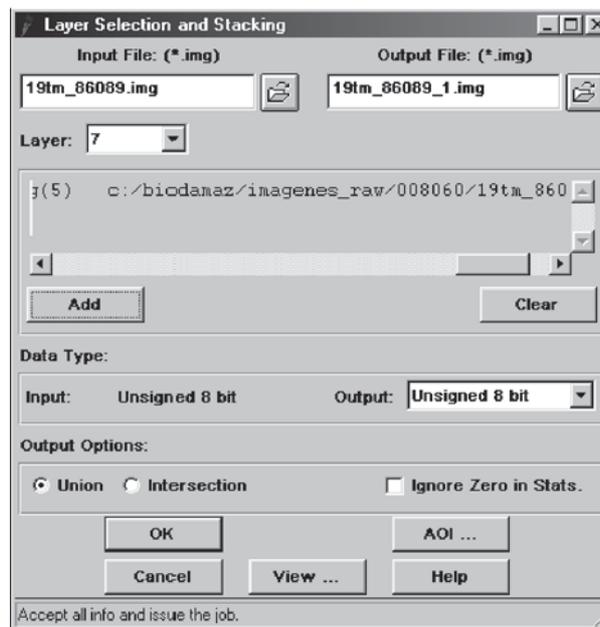
- b. Del menú **Image Interpreter** elija la opción **Utilities**.



c. En la ventana **Utilities** seleccione la alternativa **Layer Stack**.



d. En la ventana de diálogo **Layer Selection and Stacking**,



rellene los campos en función de las consideraciones siguientes:

Input File: Digite el nombre del archivo fuente, o use la ventana de diálogo para abrir archivos. Por defecto, la extensión del archivo es .img.

Output File: Digite el nombre del archivo destino, o use la ventana de diálogo para definir el archivo destino. Por defecto, la extensión del archivo es .img.

Layer: Menú emergente donde podrá seleccionar las bandas que incluirá en el conjunto y que forman parte del archivo fuente. La banda seleccionada por defecto es 1.

(Lista del Conjunto de Bandas): Al seleccionar una banda debe añadirla a la lista de abajo, activando el botón **Add**. Puede seleccionar bandas de varios archivos fuente.

- **Add:** Active este botón para añadir la banda seleccionada a la lista. Los ítems de la lista no se pueden editar, pero se pueden borrar y luego seleccionar archivos y bandas diferentes.
- **Clear:** Borra el contenido de la lista de bandas.

Data Type: Proporciona información sobre los tipos de archivos fuente y destino.

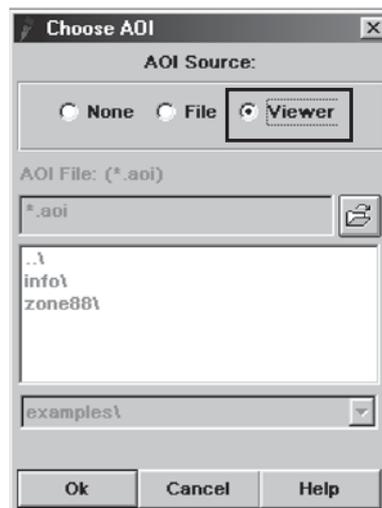
- **Input:** Muestra el tipo de archivo fuente.
- **Output:** Menú emergente para seleccionar el tipo de archivo destino.

Output Options: Este grupo le permite seleccionar opciones de salida para el archivo destino.

- **Union:** Utiliza el área total de todas las imágenes fuente.
- **Intersection:** Utiliza el área común de todas las imágenes fuente.
- **Ignore Zero in Stats:** Cuando está activada, los píxeles con 0 serán ignorados al ser calculadas las estadísticas del archivo destino.

OK: Ejecuta el programa.

AOI: Al activar esta opción aparecerá la ventana de diálogo **Choose AOI**,



donde el usuario seleccionara el área de interés sobre el cual se aplicará la función.

OK: Activa el uso de la opción seleccionada y cierra esta ventana de diálogo.

Cancel: Cancela el proceso y cierra la ventana de diálogo.

Help: Muestra la ayuda en línea para esta ventana.

Cancel: Cancela el proceso y cierra la ventana de diálogo.

View: Al activar este botón se abrirá la ventana **Model Maker** y exhibirá el modelo gráfico usado para ejecutar esta función.

Help: Muestra la ayuda en línea para esta ventana.

4.3 PROCESO DE GEORREFERENCIACIÓN

El proceso de georreferenciación (rectificación geométrica) de las imágenes permitirá asignar, a cada una de las escenas consideradas, el sistema de proyección elegido para los fines pertinentes.

4.3.1 REGISTRO DE DATOS

El registro de todos los parámetros considerados y de los valores generados en el proceso de georreferenciación, garantizará la disponibilidad de fuentes que permitan evaluar la calidad del trabajo efectuado y, consecuentemente, determinar la precisión del mismo. En tal sentido se sugiere registrar los siguientes:

- Path/Row.
- Fecha de adquisición de la imagen.

- Tipo de sensor.
- Nombre de la imagen.
- Elipsoide.
- Datum.
- Proyección.
- Zona geográfica.
- Número de puntos de control.
- Nombre y escala de la fuente de puntos de control.
- Código de la fuente de puntos de control.
- Fila, Columna en la imagen RAW (imagen cruda u original).
- Coordenadas de los puntos de control (X, Y; Latitud, Longitud; entre otros).
- Error total de georeferenciación (RMS Total).

4.3.2 FUENTE DE PUNTOS DE CONTROL

La fuente de donde se extraerán los puntos de control debe ser seleccionada teniendo especial cuidado en la calidad de la misma, con relación a precisión y registro de parámetros de proyección; asimismo, debe considerarse adecuadamente la escala, puesto que debe entenderse que es necesaria la mayor exactitud en la ubicación de los elementos del paisaje. Es preciso tomar en cuenta la mayor cantidad de información disponible.

Es recomendable utilizar una superposición digital de la cobertura de imágenes y de la cobertura de la fuente sobre el área de trabajo con el objeto de definir, aproximadamente, los componentes de la fuente que deben utilizarse con una determinada escena.

La Figura 21 muestra la disposición de imágenes y la cobertura de hojas de la Carta Nacional 1:100 000 para el caso particular de la zona de selva baja de la Amazonía peruana.

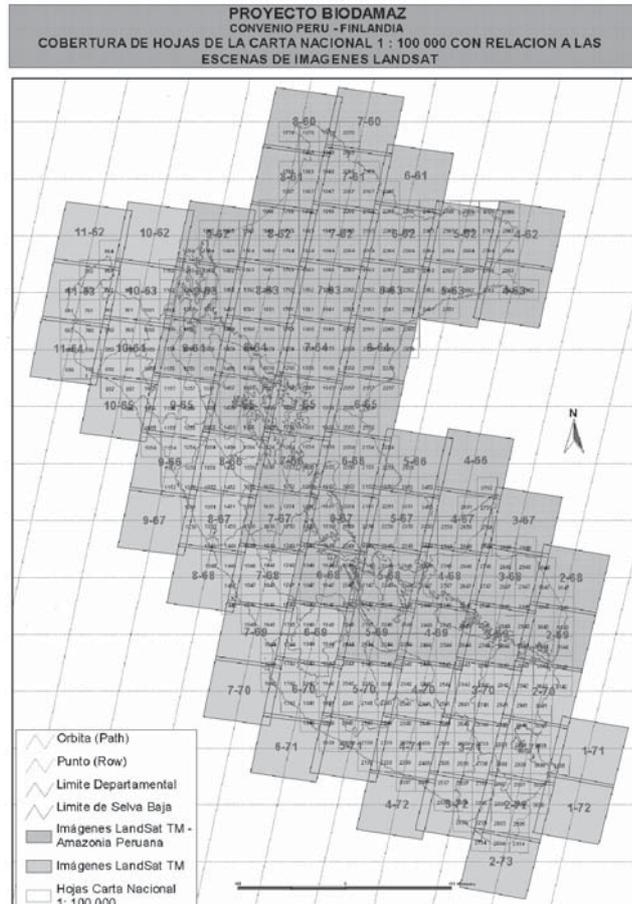


Figura 21. Cobertura de hojas de la Carta Nacional 1:100 000 con relación a las imágenes Landsat TM. Fuente: IAP - BIODAMAZ.

4.3.3 SISTEMA DE PROYECCIÓN

Es recomendable elegir el sistema de proyección en función de los más usuales, para la zona de trabajo, a nivel oficial (órgano rector nacional), con el objeto de compatibilizar la información resultante con la información generada en el país. Por otro lado, deben definirse con claridad las necesidades de reproyección de las imágenes a fin de garantizar la continuidad espacial de las imágenes consideradas en el proyecto.

Por ejemplo, en el proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se determinó que debería usarse el sistema de proyección siguiente:

- Esferoide WGS84
- Datum horizontal WGS84
- Proyección UTM
- Zona 18 Sur

Fundamentalmente, esto se debe a que los parámetros referentes a esferoide, datum horizontal y proyección son los más usuales por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) del Perú.

Por otro lado, por la proyección utilizada (UTM), el territorio del Perú se ubica a través de las zonas 17, 18 y 19 (Figura 22); tal ocurrencia desequilibra la secuencia espacial de los elementos geográficos cuando se georreferencian conservando tales posiciones, por lo que fue necesario elegir una zona de proyección única (Zona 18 Sur) para proporcionar continuidad espacial a las escenas.

4.3.4 NÚMERO TOTAL DE PUNTOS DE CONTROL

Para fijar el número máximo de puntos de control (GCP – *Ground Control Points*) se recomienda observar las apreciaciones siguientes:

- a. El número mínimo de puntos que cada software requiere para ejecutar los cálculos estadísticos correspondientes. Por ejemplo, ERDAS Imagine requiere, para una transformación polinomial de 1er orden, el uso de un mínimo de 3 GCP.
- b. Las recomendaciones del software respecto a la distribución de puntos sobre la escena. En este caso ERDAS recomienda usar muchos puntos y su más amplia dispersión a través de la escena, sin especificar un máximo.
- c. Algunos conceptos estadísticos, tal como el de la media estadística verdadera que se obtendría al medir todos los elementos de la población; de modo que podemos suponer que cuanto más grande sea la muestra, la media estimada estará más próxima a la media verdadera.

En tal sentido, si se admite que se logra un georreferenciamiento perfecto al registrar un GCP aplicado en el centroide por cada uno de los píxeles de la imagen, entonces se admitirá que cuanto mayor sea el número de puntos de control el georreferenciamiento será más preciso.

Tomando en cuenta tales apreciaciones, para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, el número máximo de GCP fue fijado entre $30 \cdot n \cdot 60$ por cada escena; sin embargo, se debe señalar que en muy pocos casos se sobrepasaron los cuarenta puntos. Asimismo, para imágenes menores a una escena se fijó un rango proporcional; así, para un cuarto de escena el rango fue de $(8 \cdot n \cdot 15)$. Finalmente, se debe hacer notar que el criterio del analista fue muy importante para fijar el número límite de GCP.

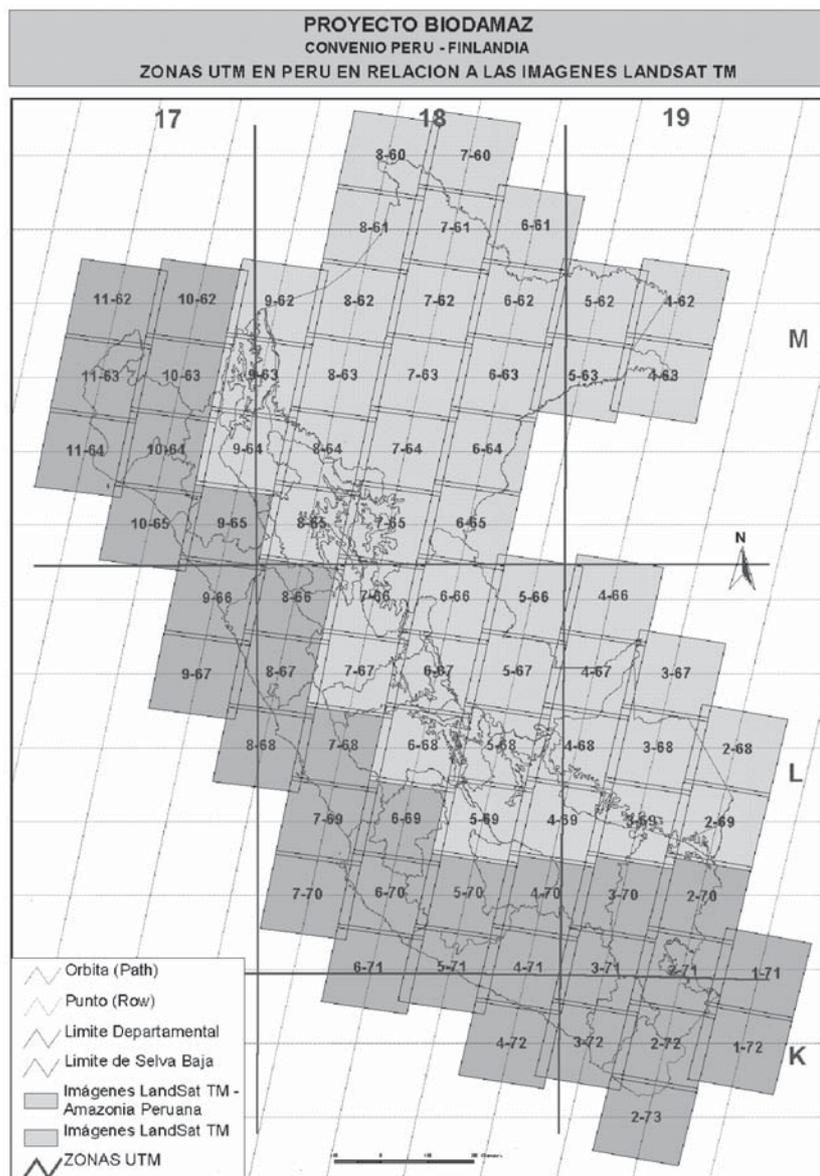


Figura 22. Zonas UTM en el Perú con relación a las imágenes Landsat. Fuente: IIAP - BIODAMAZ.

4.3.5 COORDINACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL CARTA-IMAGEN

Para coordinar los puntos (GCPs) carta-imagen, es recomendable el uso de puntos de referencia significativos e invariables en el tiempo tal como intersección de carreteras, pistas de aterrizaje y edificaciones diversas. En la literatura, muchas veces se especifica que no deben usarse puntos de referencia que pueden variar, tales como orillas de lagos y otros cuerpos de agua, vegetación, entre otros.

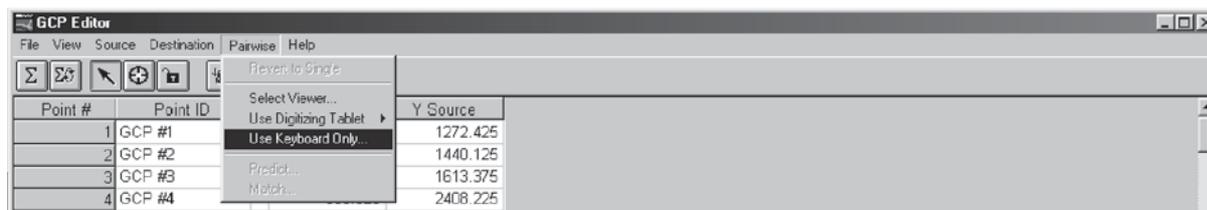
Sin embargo, las consideraciones en cuanto a la elección de puntos referenciales invariables, no es válida para gran parte de la selva baja peruana; tal es el caso de las carreteras, pues las existentes están ubicadas sobre áreas específicas de la región, como el Aguaytía (carretera Federico Basadre), Iquitos (carretera Iquitos-Nauta), Madre de Dios (la vía que viene del Cusco pasa por Puerto Maldonado y va hacia Iñapari), Yurimaguas (la vía que va hacia Tarapoto que está ubicada en la selva alta), y Napo-Putumayo (inconclusa y no tiene mayor trascendencia). Igualmente, no es posible considerar grandes conjuntos de edificaciones, pues esta región exhibe uno de los índices más bajos de densidad poblacional que se traduce en la existencia de un número reducido de centros poblados significativos, tales como Iquitos, Pucallpa, Puerto Maldonado y Yurimaguas.

En tal sentido, en el proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se decidió, para las áreas donde no sea posible ubicar puntos referenciales invariables, utilizar la red hídrica; valiéndose de las confluencias de quebradas y ríos, con especial atención a las variaciones derivadas de la dinámica fluvial. Esta decisión significó dedicar mayor tiempo que el convencional a la ubicación de puntos referenciales de coordinación carta-imagen, puesto que es necesario desarrollar un trabajo minucioso para localizar confluencias de quebradas, quebradas / ríos, ríos; y luego determinar, en forma visual, los efectos de la dinámica fluvial e inmediatamente definir la validez de tal punto y registrarlo. Por otro lado, la operación está ligada a ampliaciones y/o reducciones sucesivas de la imagen, que dependiendo de la escala, la capacidad del software y del hardware, toma su tiempo. Se ha comprobado que el registro de GCP para una escena completa (30 = n = 60) toma dos días, y cuando hay complicaciones se amplía a dos días y medio alcanzando en algunos casos tres días. También se ha verificado que la dispersión de puntos a través de toda la imagen es necesaria, pues la concentración de los mismos en áreas restringidas, por lo general resulta en imágenes distorsionadas con fuertes desplazamientos hacia uno u otro lado.

Para el registro de los GCP determine con precisión el Modelo Geométrico y el Método de *Resampling* que utilizar. Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se consideró el uso del:

- Modelo Geométrico Polinomial de 1er orden.
- Método de *Resampling* del vecino más cercano (*Nearest Neighbor*).

Asimismo, para el registro de GCP se aplicó el modo **Use Keyboard Only** del menú **Pairwise** de la ventana **GCP Editor**.



4.3.6 ERROR RMS

El error RMS es la diferencia entre la coordenada deseada de un punto (GCP) y la coordenada actual del mismo, cuando tal punto es transformado por corrección geométrica.

Para fijar el error RMS considere:

- a. El uso final que tendrá la base de datos.
- b. Las necesidades de precisión para los fines del proyecto.

En el proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, la tolerancia del error RMS fue fijada en el rango de $0.8 \cdot n \cdot 1$. Dentro de este rango el analista puede fijarse un valor de trabajo.

Calcule el Error RMS luego de registrar el cuarto GCP. Para tal efecto utilice la herramienta **Calculate Transform** de la ventana **GCP Tool**.



Analice el valor resultante, si se encuentra dentro del rango prefijado o alcanza el valor tomado por el analista, entonces acepte los valores registrados y continúe con los valores del siguiente GCP. Si sucede lo contrario se procede a transformar los valores registrados, hasta alcanzar el rango preestablecido. Para tal efecto ensaye uno de los dos procedimientos siguientes:

- a. Manipulación de los valores fila, columna; considere un variación máxima de ± 15 píxeles;
- b. Manipulación de los valores de las coordenadas x, y, considere una variación máxima de ± 500 metros.

Para modificar los valores se recomienda el procedimiento operativo siguiente:

- a. Detectar el GCP que exhibe el mayor error RMS individual.
- b. Incrementar o reducir el valor fila, columna o de las coordenadas x, y; según sea el procedimiento adoptado, en pequeños valores (entre 0.05 y 1 píxel o entre 50 y 100 m).
- c. Recalcular el error RMS.
- d. Reiniciar el procedimiento hasta alcanzar el rango de error RMS especificado.

Calcule el error RMS continuamente, es decir, evalúelo y ajústelo; si fuera necesario, por cada GCP adicional que registre.

4.3.7 REMUESTREO (RESAMPLING)

Para el *Resampling* defina las consideraciones básicas siguientes:

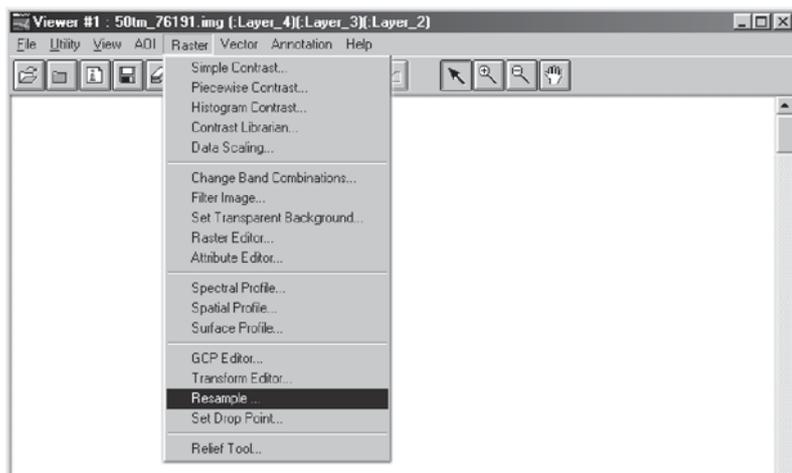
- a. El Modelo Geométrico.
- b. El método de *Resampling*.
- c. El tamaño de píxel.

Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se definieron del siguiente modo:

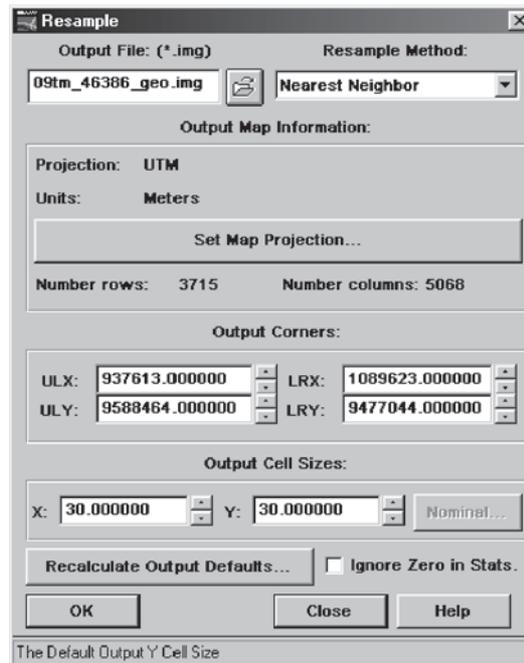
- Modelo Geométrico Polinomial de 1er orden.
- Método de *Resampling* del vecino más cercano (*Nearest Neighbor*).
- Tamaño de píxel 30 x 30.

El procedimiento operativo fue el siguiente:

- a. Del menú **Raster** en el **Viewer** se eligió la opción **Resample..**



b. En la ventana **Resample**,



rellene los campos en función de las consideraciones siguientes:

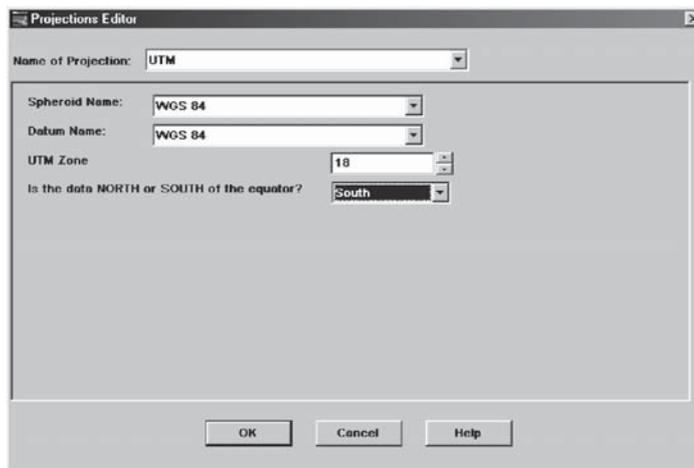
Output File: Digite el nombre del archivo destino, o use la ventana de diálogo para definir el archivo destino. Por defecto, la extensión del archivo es .img.

Resample Method: Seleccione el método de *Resampling*.

- **Nearest Neighbor:** Usa el valor del píxel más próximo para asignarlo al píxel destino.
- **Bilinear Interpolation:** Usa el valor de cuatro píxeles en una ventana 2 x 2 para calcular, con una función bilineal, un valor destino.
- **Cubic Convolution:** Usa el valor de 16 píxeles en una ventana 4 x 4 para calcular, con una función cúbica, un valor destino.

Output Map Information: Muestra parámetros del archivo destino, de acuerdo a la transformación especificada.

- **Projection:** Exhibe la proyección del archivo destino. Puede ser especificado en la ventana de diálogo **Transformation Type** o en la ventana de diálogo **Projections Editor** activada con el botón **Set Map Projection**.
- **Units:** Unidades de mapeo para el archivo destino. Estas unidades son definidas de acuerdo a la proyección especificada.
- **Set Map Projection:** Activa la ventana de diálogo **Projections Editor**. Permite definir parámetros de proyección del archivo raster de destino.



En esta ventana defina los parámetros del sistema de proyección.

Name of Projection: Nombre de la proyección.

La información solicitada en la ventana que está debajo cambiará en función de la proyección; para el caso de la proyección UTM los datos solicitados son:

Spheroid Name: Nombre del esferoide.

Datum Name: Nombre del Datum.

UTM Zone: Zona UTM.

Is the data NORTH or SOUTH of the equator? Datos al NORTE o SUR del Ecuador.

OK: Activa el uso de la opción seleccionada y cierra esta ventana de diálogo.

Cancel: Cancela el proceso y cierra la ventana de diálogo.

Help: Muestra la ayuda en línea para esta ventana.

- **Number rows:** Número de filas.
- **Number columns:** Número de columnas.

El número de filas y columnas de píxeles es calculado de las dimensiones del archivo destino, que está definido por la matriz de transformación y el tamaño de píxel.

Output Corners: Cambia las coordenadas de la esquina superior izquierda y de la esquina inferior derecha, cuando sea necesario. Por defecto se calculan en función del área total del archivo fuente.

- **ULX:ULY:** Coordenadas del centro del píxel en la esquina superior izquierda.
- **LRX:LRY:** Coordenadas del centro del píxel en la esquina inferior derecha.

Output Cell Sizes

- **X: Y:** Especifica el tamaño de celdas (píxel) en los ejes X, Y. El tamaño de píxel es especificado en las unidades definidas previamente. Los valores por defecto son calculados de la matriz de transformación. Si no hay proyección destino entonces el tamaño de celda es 1 y los campos no se pueden editar.
- **Nominal:** Este botón será habilitado cuando la proyección sea Geographic (Geográfica) (Lat/Lon). Actívelo para acceder a la ventana de diálogo **Nominal Cell Sizes**. Esta ventana le muestra el tamaño de celda en metros. Al cambiar el tamaño de celda a metros, el programa calculará automáticamente el tamaño equivalente en grados decimales. El tamaño de celda destino cambiará automáticamente.

Recalculate Output Defaults: Active este botón para recalculer **Output Corners** y **Output Cell Sizes**. Exhibe la ventana de diálogo **Recalculate Output Defaults**.

Ignore Zero in Stats: Si la caja es activada, los píxeles con valor cero serán ignorados al calcular las estadísticas del archivo destino.

OK: Ejecuta el programa.

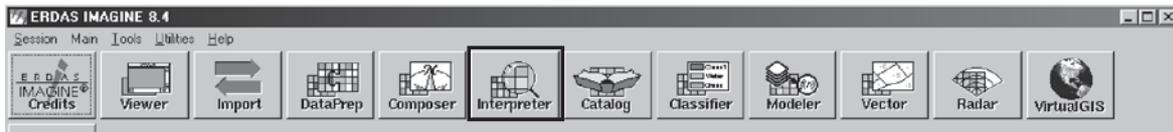
Close: Cierra la ventana.

Help: Muestra la ayuda en línea para esta ventana.

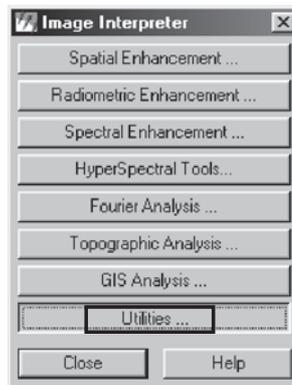
4.3.8 REPROYECCIÓN

Si el sistema de proyección utilizado implica la aplicación de procesos de reproyección, con el objeto de garantizar la continuidad espacial de las imágenes empleadas en el proyecto, proceda del modo siguiente **luego** del **Resampling**.

- a. Active el menú **Interpreter** de la barra **ERDAS IMAGINE 8.4**.



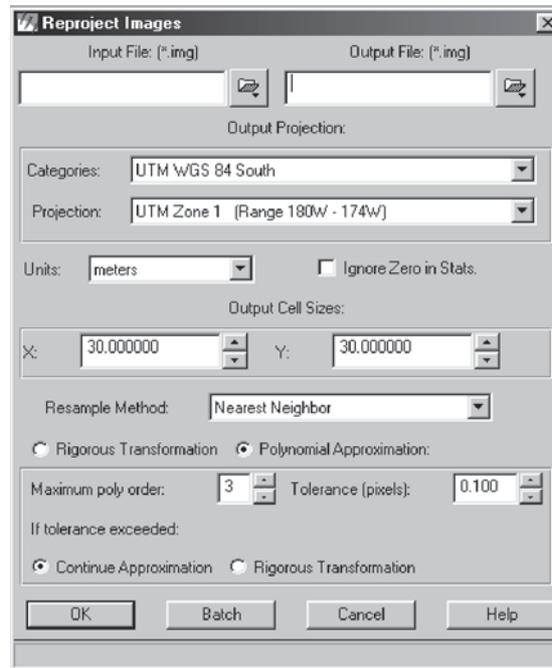
- b. Del menú **Image Interpreter** elija la opción **Utilities**.



- c. En la ventana **Utilities** seleccione la alternativa **Reproject Images...**



d. En la ventana de diálogo **Reproject Images**,



rellene los campos en función de las consideraciones siguientes:

Input File: Digite el nombre de la imagen fuente, o utilice el botón **File Selector**. La extensión por defecto es .img.

Output File: Digite el nombre de la imagen destino o imagen reproyectada. Alternativamente puede utilizar el botón File Selector. La extensión .img es añadida a este nombre automáticamente.

Output Projection: Sistemas de proyección y sus categorías.

- **Categories:** Seleccione la categoría de la proyección de este menú desplegable.
- **Projection:** Seleccione el nombre de la proyección de este menú desplegable.

Units: Unidades de la imagen destino:

- **Meters:** metros.
- **Feet:** pies.
- **Degrees:** grados.

Ignore Zero in Stats: Ignora los ceros cuando calcula las estadísticas de la imagen destino.

Output Cell Sizes: Tamaño de píxel de la imagen destino.

- **X:** Acepte el valor por defecto, o digite el de su preferencia.
- **Y:** Acepte el valor por defecto, o digite el de su preferencia.

Resample Method: Seleccione el método de *Resampling*.

- **Nearest Neighbor:** Usa el valor del píxel más próximo para asignarlo al píxel destino.
- **Bilinear Interpolation:** Usa el valor de cuatro píxeles en una ventana 2 x 2 para calcular, con una función bilineal, un valor destino.
- **Cubic Convolution:** Usa el valor de 16 píxeles en una ventana 4 x 4 para calcular, con una función cúbica, un valor destino.

Rigorous Transformation: Utiliza directamente la fórmula matemática original de proyección para reproyectar sin aproximaciones. Es un proceso lento, pero con exactitud geométrica.

Polynomial Approximation: Usa polinomios para aproximar la transformación entre proyecciones. Es un proceso rápido y usual. En términos de precisión geométrica, la aproximación trabaja para muchas imágenes raster, especialmente cuando éstas cubren pequeñas áreas geográficas.

Maximum poly order: Es el máximo orden permitido para la aproximación polinomial. Cuando deriva la solución polinomial, usa aquéllos que tienen el orden más bajo posible y que satisfacen la tolerancia permitida.

Tolerance (píxeles): Es la tolerancia RMSE (*Root Mean Square Error*, error medio de la raíz cuadrática) para la aproximación polinomial. La búsqueda del polinomio correcto es un proceso secuencial que se inicia con el polinomio de primer orden. El proceso finaliza una vez que la tolerancia es satisfecha.

If tolerance exceeded: Si la tolerancia no es satisfecha después de procesar desde el primero hasta el máximo orden polinomial, entonces el sistema utiliza una de las opciones siguientes.

- **Continue Approximate:** Si la tolerancia no es satisfecha, entonces continúa y usa la aproximación polinomial, cuya solución tiene el más bajo RMSE.
- **Rigorous Transformation:** Si la tolerancia no es satisfecha, usa la transformación directa.

OK: Ejecuta la reproyección y cierra la ventana de diálogo.

Batch: Coloca el proceso de reproyección en el Batch Wizard. Este permite proyectar múltiples imágenes con el mismo sistema de proyección en el mismo proceso.

Cancel: Cancela el proceso y cierra la ventana de diálogo.

Help: Exhibe la ayuda en línea para esta ventana.

4.3.9 CONTROL DE CALIDAD

El control de la calidad de la georreferenciación es importante por cuanto es la única forma de garantizar que el producto posee características adecuadas de precisión y exactitud. Es necesario definir metódicamente el procedimiento para efectuar el control de calidad, el cual debe ejecutarse inmediatamente después del *Resampling* y de la reproyección, cuando ésta fue aplicada.

Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, el procedimiento fue:

- a. Digitalización en ARC/Info, de las áreas alrededor de los puntos GCP, de cada una de las Hojas de la Carta Nacional consideradas como fuente. La amplitud de la digitalización se dejó a criterio del analista.
- b. Generación de topología (en ARC/Info), recomendándose el de líneas.
- c. Reproyección de la cobertura a la zona 18 para los casos en que fue necesario, por lo cual se elaboró el programa siguiente, en Simple Macro Language de ARC/Info:

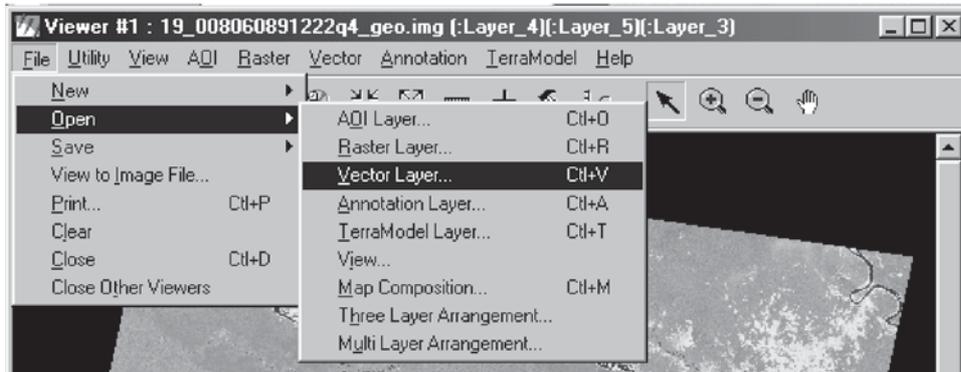
```
input
projection utm
units meters
zone 19
parameters 6378388 6356911.9462
output
projection utm
units meters
zone 18
parameters 6378388 6356911.9462
end
```

Se utilizará **zone 19** cuando el origen es tal zona, y se utilizará **zone 17** para el caso en que fuera éste el origen.

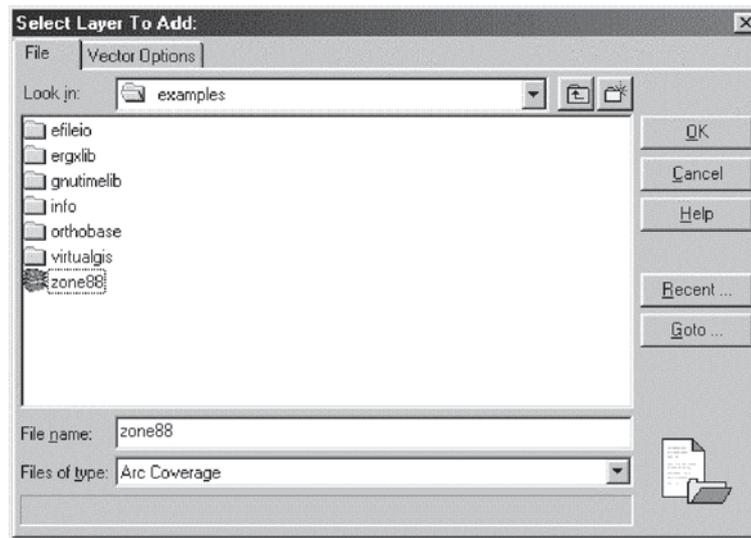
d. Superposición del archivo vectorial sobre la imagen correspondiente.

d.1 Despliegue de la imagen georreferenciada.

d.2 En el **Viewer** active el menú **File**, luego elija la opción **Open** y seleccione la alternativa **Vector Layer**.



d.3 En la ventana **Select Layer to Add**, que tiene activada la lengüeta **File** por defecto, seleccione la cobertura que será superpuesta.

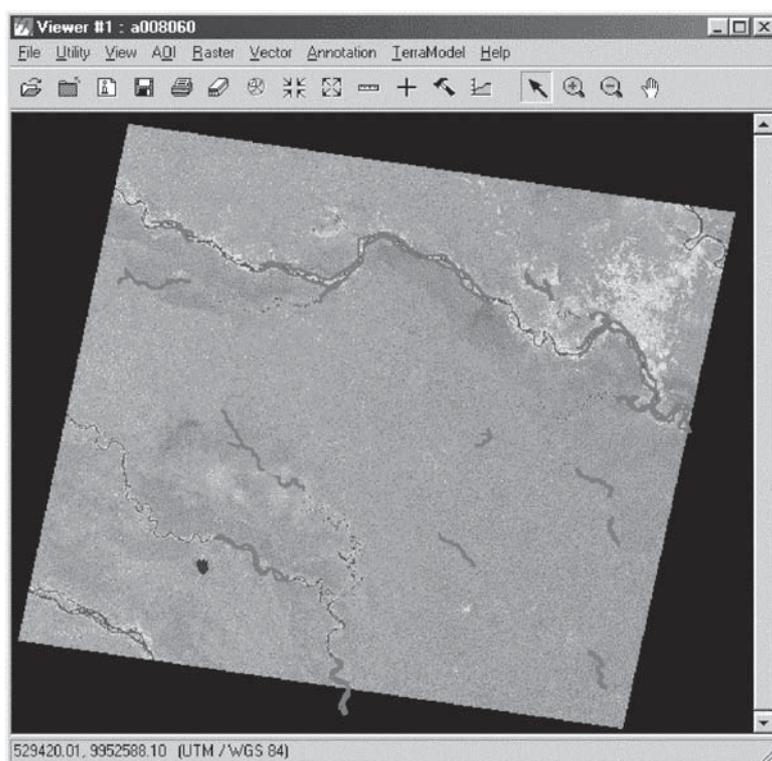


Con **Look in:** navegue hasta la carpeta donde se encuentra su cobertura; en el listado de la ventana haga doble clic sobre el nombre de la cobertura o escriba el nombre de la misma en **File Name:** si el tipo de cobertura a tratar es diferente a Arc Coverage, accione el menú de persiana **Files of type:** y seleccione el que sea de su interés.

Luego accione la lengüeta **Vector Options**; en la ventana resultante active (•) las cajas de control **Use Symbolology** y **Clear Display** si fuera necesario.

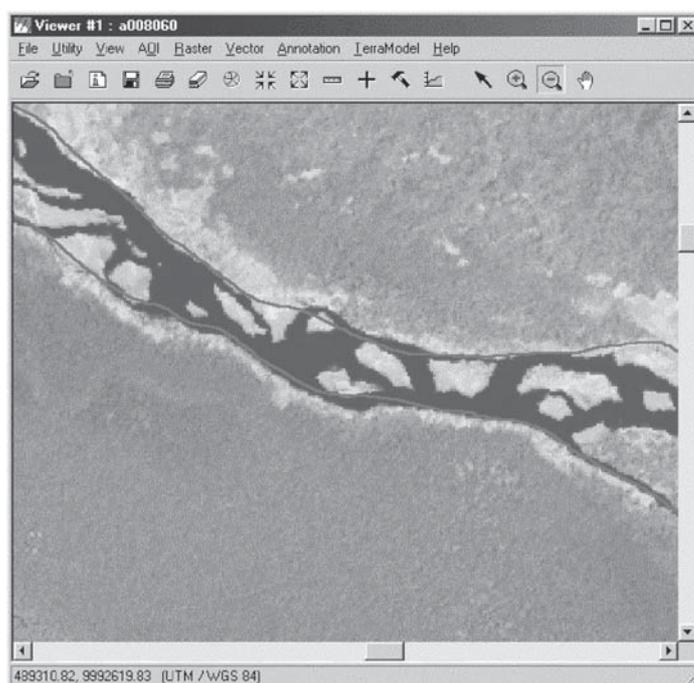
Finalmente, para aplicar las opciones elegidas, cliquee sobre el botón **OK**.

d.4 La cobertura vectorial se desplegará sobre la imagen.



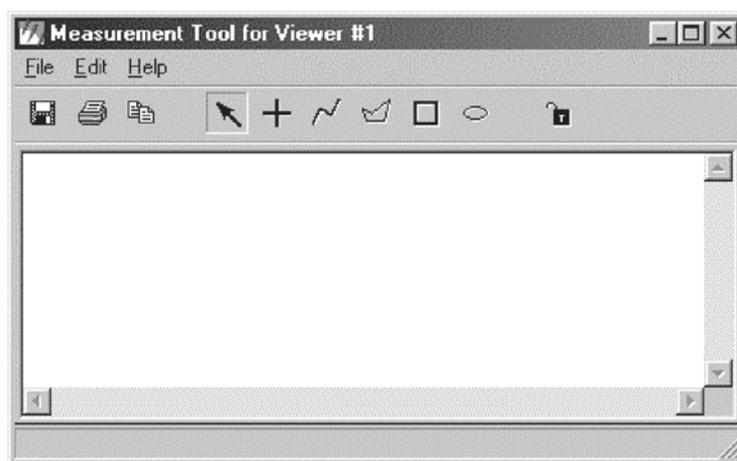
NOTA: Al superponer las coberturas reproyectadas, ERDAS genera un error de reconocimiento de parámetros de proyección. Se resuelve borrando el archivo prj de la cobertura ARC/Info.

e. Para evaluar la precisión de la superposición, sobre algún elemento vectorial, ejecute una aproximación a una escala que considere adecuada utilizando la herramienta .



- f. Luego del menú **Utility**, accione la alternativa **Measure...**, y obtendrá el mismo resultado si usa la

herramienta , para activar la ventana **Measurement Tool for Viewer # 1**.



- g. Utilice la herramienta , para realizar mediciones del desplazamiento existente entre la imagen y el vector; realice estas mediciones en diversas áreas y en un número adecuado de repeticiones, y luego calcule el desplazamiento medio. Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se consideró admisible un desplazamiento = a 100 metros (3 píxeles).



Mosaicos

1. INTRODUCCIÓN

Un mosaico es un conjunto de dos o más imágenes enlazadas en forma contigua. Tal ensamblaje es necesario cuando el área de interés supera el área cubierta por una sola imagen.

La elaboración de un mosaico de imágenes implica la ejecución de diversas operaciones técnicas (corrección radiométrica, corrección espacial y corrección multibanda, entre otros), que permiten el mejoramiento de la imagen optimizando las particularidades de color, textura y forma, entre otros, de los elementos del paisaje, y facilitando su caracterización.

2. REPROYECCIÓN DE LAS IMÁGENES

El volumen final del mosaico depende del número de escenas consideradas en el proyecto, del número de bandas utilizadas y del tamaño de píxel propuesto; en tal sentido, es necesario definir con precisión estos parámetros, puesto que de ello dependerá la modalidad que se empleará para ejecutar los procesos de generación del mosaico.

En el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se utilizaron 41 escenas (involucrando escenas totales y cuartos de escena) con seis bandas (1, 2, 3, 4, 5, 7). Asimismo, se ensayaron diversos tamaños de píxel (30 x 30, 50 x 50, 100 x 100, entre otros) con el objeto de calcular el volumen de información generado con el producto final. Se ensayó la ecuación recomendada por ERDAS para el cálculo del espacio de disco necesario para almacenar una imagen, la misma que está expresada como:

$$[(x \cdot y \cdot b) \cdot n] \cdot 1.2 = \text{Tamaño de archivo destino}$$

Donde:

- x = Número de filas
- y = Número de columnas.
- b = Número de bytes por píxel.
- n = Número de bandas.
- 1.2 Factor que añade 10% al tamaño del archivo.
Debe añadir 10% por capas en pirámide (*pyramid layers*), iniciándose con el segundo, y 10% por modificaciones misceláneas, tales como histogramas y tablas de contraste (*lookup tables*), entre otros.

La tabla siguiente muestra el resultado de ensayar una imagen escena total, considerando 1.0 bytes por píxel.

Tabla 3. Resultado ensayo de imagen escena total
(1.0 bytes por pixel)

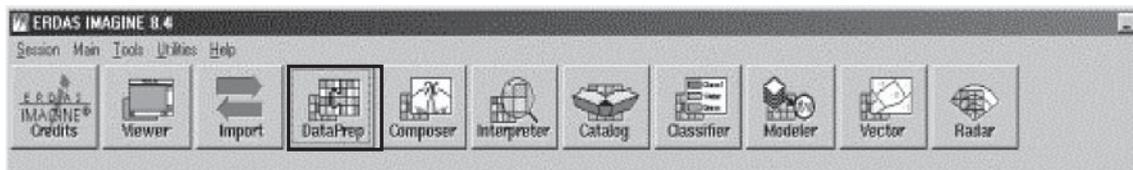
Tamaño de Píxel	Filas	Columnas	Bandas	Espacio (KB)	
				Calculado	Observado
30 x 30	7895	8679	6	411,124	406,147
50 x 50	4737	5208	6	177,626	151,690
100 x 100	2369	2605	6	37,027	37,548
250 x 250	948	1042	6	5,927	6,169
500 x 500	475	522	6	1,487	1,762
750 x 750	317	348	6	661	750

Elaborada por el equipo del proyecto

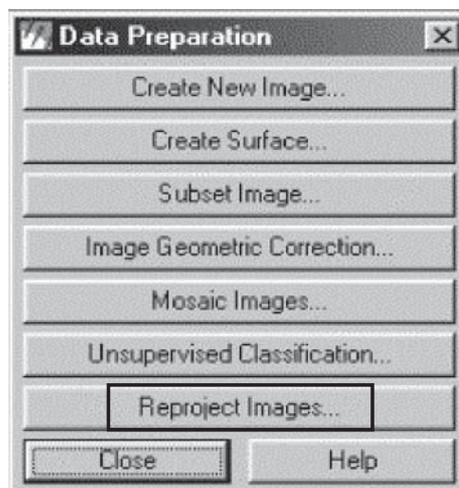
Como consecuencia del análisis de resultados se adoptó el de 50 x 50 m, ya que permite la reducción significativa de los tiempos de procesamiento y del espacio de almacenamiento necesario, y porque el efecto sobre los elementos del paisaje resultó insignificante.

Para modificar el tamaño del píxel proceda del modo siguiente:

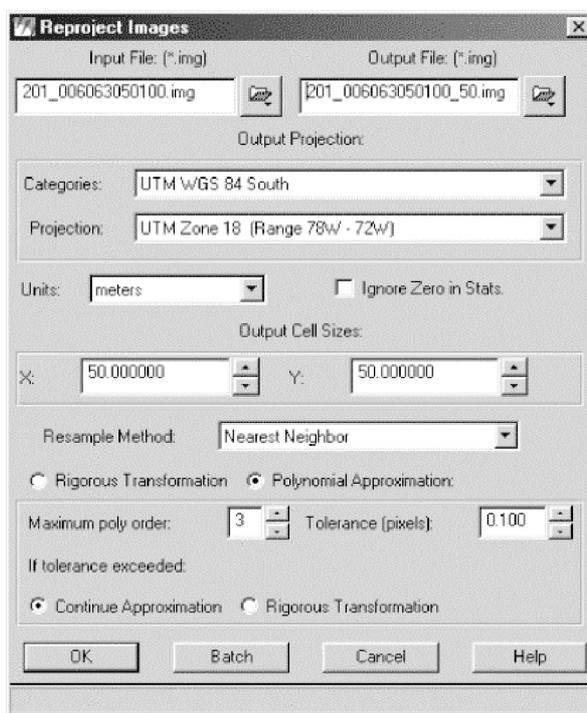
- a. Active **ERDAS**.
- b. De la barra **ERDAS IMAGINE 8.4** accione el botón **DataPrep**.



- c. En la ventana **Data Preparation** seleccione la opción **Reproject Images**.



d. En la ventana de diálogo **Reproject Images**, rellene los campos en función de las consideraciones siguientes:



Input File: Digite el nombre de la imagen fuente que debe ser reproyectada; o use la ventana de diálogo para abrir archivos. Por defecto la extensión es .img.

Output File: Digite el nombre de la imagen destino, o use la ventana de diálogo para definir el archivo destino. Por defecto la extensión del archivo es .img.

Output Projections:

- **Categories:** De la lista emergente elija la categoría del datum de proyección y el hemisferio (UTM WGS 84 South).
- **Projection:** Del menú emergente seleccione el tipo de proyección y la zona. Por defecto UTM Zone 18 (Range 78E – 72W).

Units: Menú emergente que define las unidades de medida.

- **Meters:** Las unidades del mapa de salida estarán en metros.
- **Feet:** Las unidades del mapa de salida estarán en pies.
- **Degrees:** Las unidades del mapa de salida estarán en grados.

Ignore Zero in Stats: Cuando la caja está activada, los píxeles con valor 0 serán ignorados al ser calculadas las estadísticas del archivo destino.

Output Cells Sizes: Define el **tamaño del píxel**.

- **X:** Digite el tamaño de píxel en el eje X para la imagen resultante.
- **Y:** Digite el tamaño del píxel en el eje Y para la imagen resultante.

Resample Method: Define el tipo de corrección.

- **Nearest Neighbor:** Usa el valor del píxel más próximo para asignarlo al píxel destino. Es el tipo por defecto.
- **Bilinear Interpolation:** Usa el valor de cuatro píxeles en una ventana 2 x 2 para calcular, con una función bilineal, un valor destino.
- **Cubic Convolution:** Usa el valor de 16 píxeles en una ventana 4 x 4 para calcular, con una función cúbica, un valor destino.

Rigorous Transformation: Utiliza directamente la fórmula matemática original de proyección para reproyectar sin aproximaciones. Es un proceso lento, pero de gran exactitud geométrica.

Polynomial Approximation: Usa polinomios para aproximar la transformación entre proyecciones. Es un proceso rápido y usual. En términos de precisión geométrica, la aproximación trabaja para muchas imágenes raster, especialmente cuando éstas cubren pequeñas áreas geográficas.

Maximum poly order: Es el máximo orden permitido para la aproximación polinomial. Cuando deriva la solución polinomial, usa aquellos que tienen el orden más bajo posible y que satisfacen la tolerancia permitida.

Tolerance (píxeles): Es la tolerancia RMSE para la aproximación polinomial. La búsqueda del polinomio correcto es un proceso secuencial que se inicia con el polinomio de primer orden. El proceso finaliza una vez que la tolerancia es satisfecha.

If tolerance exceeded: Si la tolerancia no es satisfecha después de procesar desde el primero hasta el máximo orden polinomial, entonces el sistema utiliza una de las opciones siguientes.

- **Continue Approximate:** Si la tolerancia no es satisfecha, entonces continúa y usa la aproximación polinomial cuya solución tiene el más bajo RMSE.
- **Rigorous Transformation:** Si la tolerancia no es satisfecha, usa la transformación directa.

OK: Ejecuta la reproyección y cierra la ventana de diálogo.

Batch: Coloca el proceso de reproyección en el Batch Wizard. Este permite múltiples imágenes que serán reproyectadas con el mismo sistema de proyección en el mismo proceso.

Cancel: Cancela el proceso y cierra la ventana de diálogo.

Help: Exhibe la ayuda en línea para esta ventana.

3. MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS IMÁGENES

Los valores de los píxeles, en promedio, no necesariamente se relacionan entre sí dentro de las imágenes y entre imágenes. Entre las razones que pueden causar este problema se puede mencionar las condiciones atmosféricas a la hora de toma de las imágenes, el ángulo de la luz solar en el mismo momento y el estado de los instrumentos en el satélite (su calibración varía con el tiempo; en Internet existe información sobre esto). Por estas razones es necesario realizar algunas correcciones, a fin de lograr que las imágenes exhiban un alto grado de homogeneidad dentro de ellas y entre ellas.

En el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se distinguieron dos condiciones que deben ser corregidas con el objeto de mejorar la calidad de las imágenes:

- la gradiente interna exhibida por cada imagen y
- la correspondencia de histogramas entre imágenes.

3.1 GRADIENTE INTERNA

Está relacionada con la **Reflectancia bidireccional (BDRF)**, que es un fenómeno causado por el ángulo de la luz solar en relación con las características de los gases atmosféricos, así como con el ángulo de la radiación solar en el dosel del bosque; se manifiesta en la desigual iluminación de la imagen. Por ejemplo, un margen es más oscuro que otro (Figura 23).

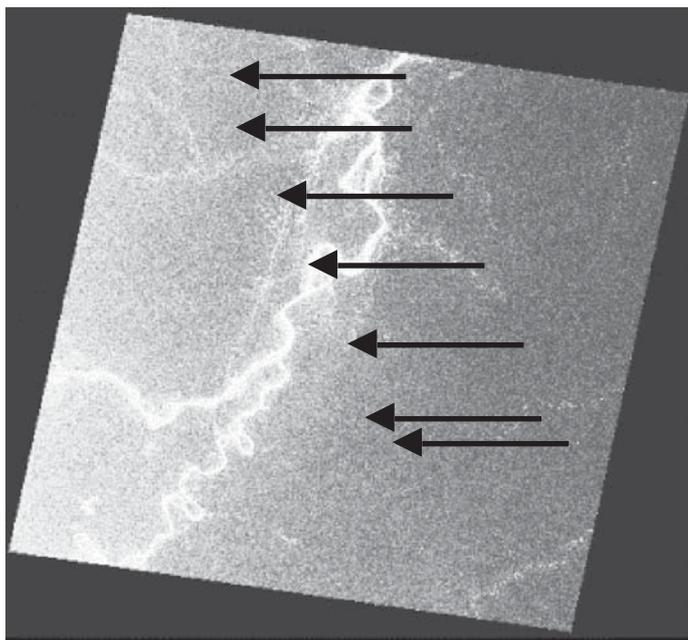


Figura 23. Gradiente interna en una imagen Landsat TM (banda 1) de la zona de Iquitos. **Fuente:** IIAP - BIODAMAZ.

En tal sentido, la gradiente interna se define como un cambio gradual de los niveles digitales (ND), a menudo en la dirección de este a oeste. Se ha comprobado que el rango de valores en las imágenes varía entre pocos ND hasta cerca de 10 ND. Asimismo, se ha verificado que la gradiente es fuerte en las bandas 1, 2 y 3, mientras que es poco visible o ausente en las bandas 4, 5 y 7. Este fenómeno es particularmente problemático en la creación de mosaicos de diversas imágenes (Figura 24).

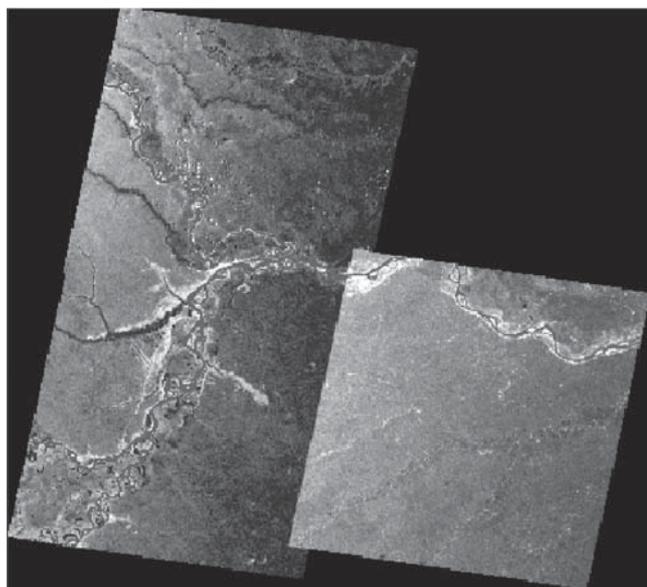


Figura 24. Mosaico generado con tres escenas cuyas gradientes no han sido corregidas, donde se puede apreciar la iluminación desigual en cada una de las escenas, lo que, obviamente, no permite la observación objetiva de los elementos del paisaje. **Fuente:** IIAP - BIODAMAZ.

Probablemente la gradiente pueda ser corregida con algún programa especial que considere la aplicación de un modelo basado en teorías físicas que expliquen las causas del fenómeno. No obstante, será necesario ensayar cuidadosamente tal programa con el objeto de determinar su utilidad real.

Utilizando el software **ERDAS Imagine**, se puede lograr resultados aceptables; sin embargo, la herramienta disponible en tal software tiene sus restricciones específicas. Es necesario, por tanto, precisar que el proceso que se describe subsiguientemente intenta eliminar la alteración introducida por este fenómeno “cosméticamente”, es decir, sin utilizar ningún modelo físico que explique el fenómeno.

3.1.1 CORRECCIÓN DE LA GRADIENTE INTERNA POR INTERPOLACIÓN

La interpolación se fundamenta en la estimación de valores desconocidos de un fenómeno en particular, en función de valores conocidos u obtenidos en muestreos de campo. En tal sentido, en este proceso se muestrean puntos en la imagen, con los que se pretende crear una superficie correspondiente a la gradiente de cada escena; por cada banda en particular; y con esta superficie, se busca distribuir proporcionalmente el valor de los ND a través de toda la imagen, a partir de los ND originales.

Es recomendable ser cuidadoso al utilizar esta herramienta, puesto que producirá cambios permanentes en las imágenes, es decir, no generará una nueva imagen. Por otro lado, se recomienda documentar cuidadosamente, por cada banda, cada fase operativa, registrando todos los datos incluidos en el procedimiento, tales como código de imagen, path, row, banda, fecha, nombre del analista, número de puntos digitalizados, función polinomial utilizada y observaciones, entre otros. Igualmente, se sugiere almacenar en una carpeta diferente las imágenes resultantes por cada fase operativa y por cada escena.

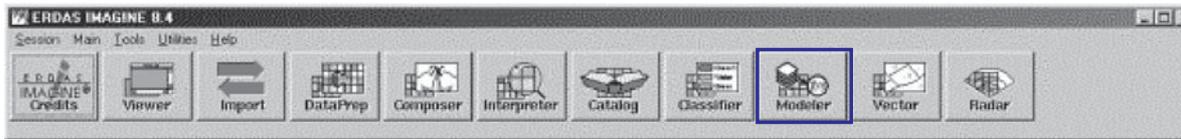
El procedimiento operativo se ajusta a las fases siguientes:

3.1.1.1 GENERACIÓN DE IMÁGENES TIPO “FLOATING”

Como la interpolación debe efectuarse sobre cada banda en particular, es necesario descomponer la imagen en sus bandas. Cada una de éstas debe albergar datos de tipo “float double”.

Se recomienda crear una carpeta con un nombre definido (p. ej. **Temporal**) donde se almacenen los resultados de esta fase.

- a. De la barra **ERDAS IMAGINE 8.4**, active el botón **Modeler**.

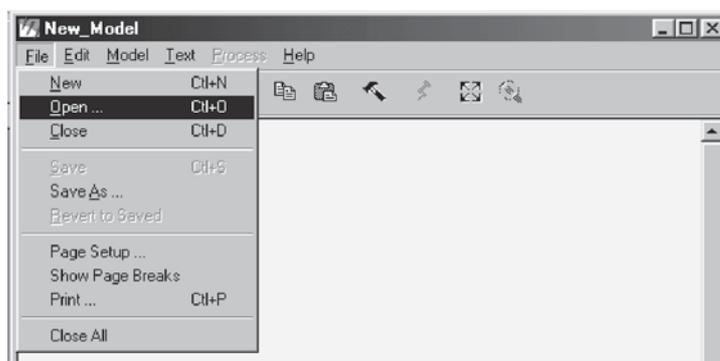


- b. En la ventana **Spatial Modeler**, active la opción **Model Maker**.

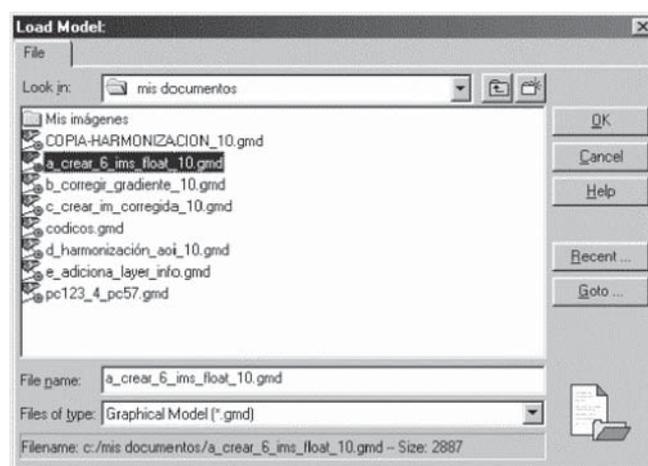


Spatial Modeler permite crear y ejecutar modelos para el procesamiento de imágenes y análisis SIG (Sistema de Información Geográfica). Es una herramienta muy flexible. **Model Maker** es un interfaz gráfico de usuario que permite definir operaciones simples o complejas.

- c. En la ventana **New_Model** active el menú **File** y seleccione la opción **Open**.



- d. En la ventana de diálogo **Load Model** seleccione el modelo por ejecutar.



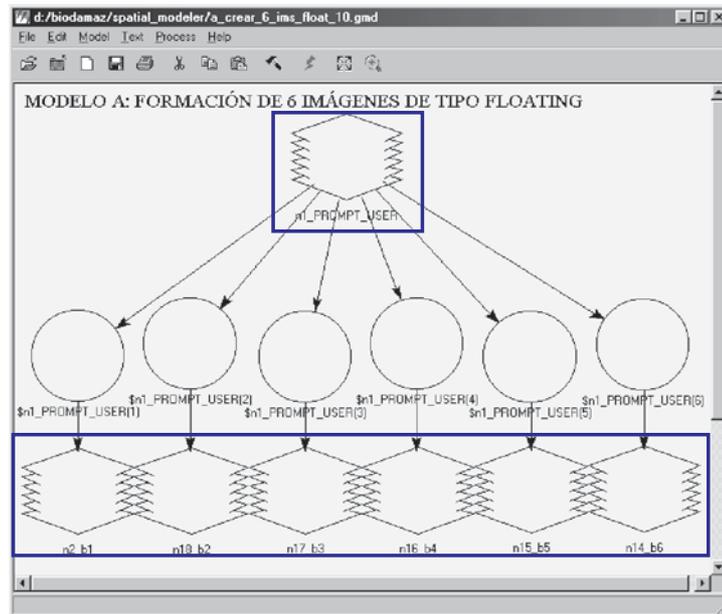
Con **Look in:** navegue hasta la carpeta donde se encuentra el modelo que utilizará (ayúdese con la

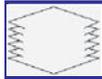


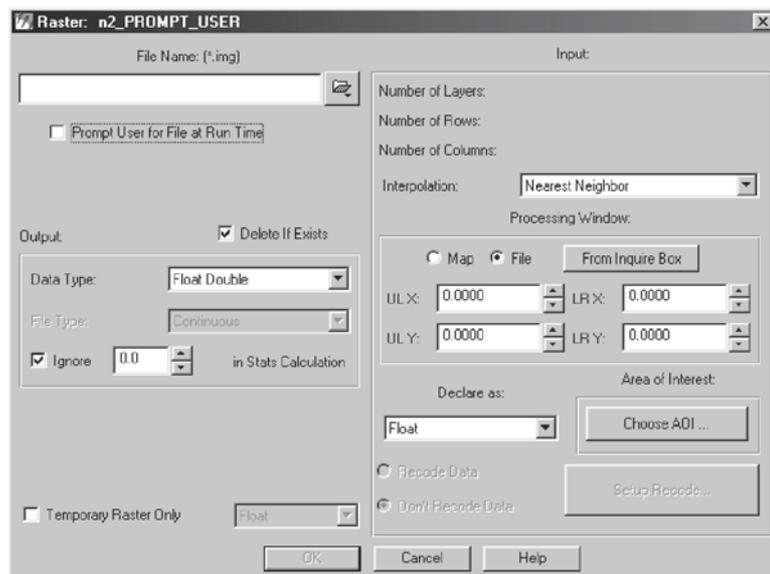
herramienta); en el listado de la ventana haga doble clic sobre el nombre de tal modelo o escriba el nombre de la misma en **File Name:**; si el tipo de modelo por seleccionar es diferente a *.gmd accione el menú de persiana **Files of type:** y seleccione el que sea de su interés. Finalmente, para aplicar las opciones elegidas, cliquee sobre el botón **OK**.

Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se utilizó el modelo “**a_crear_6_ims_float_10.gmd**”. Este modelo descompone la imagen en sus seis bandas, generando bandas con datos tipo “float double”.

- e. El modelo será desplegado sobre la ventana **New_Model**.



- f. Cliquee dos veces sobre el objeto **n1_PROMPT_USER**  para crear formatos raster; a continuación, en la ventana **Raster: n1_PROMPT_USER** especifique la imagen que debe ser interpolada.



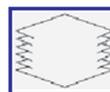
Desactive la caja de control **Prompt User for File at Run Time**. Luego en la ventana **File Name**

(* .img) escriba el nombre de la imagen con ayuda de la herramienta , y navegue hasta el directorio donde se encuentra tal imagen y selecciónela. Por último, cliquee sobre el botón **OK** para aplicar las opciones elegidas.

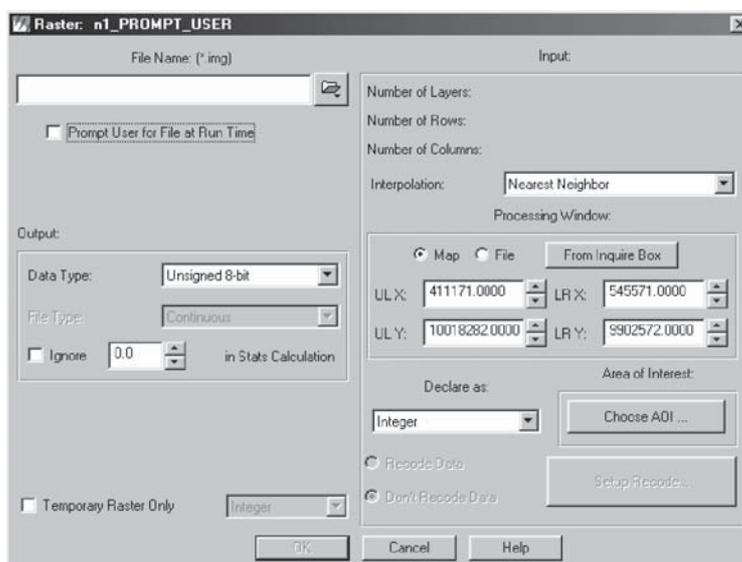


En el nivel de definición de función (function definition) el modelo descompone automáticamente la imagen en sus seis bandas [n1_PROMPT_USER(1), ..., n1_PROMPT_USER(6)]. En este nivel el usuario especifica las operaciones que el modelo debe ejecutar para obtener resultados de acuerdo a sus necesidades.

Observe que PROMPT_USER es sustituido por el nombre de la imagen.



- g. Luego cliquee dos veces sobre cada uno de los objetos (n2_PROMPT_USER,... , n18_PROMPT_USER) para crear formatos raster para definir el nombre de las imágenes de salida.

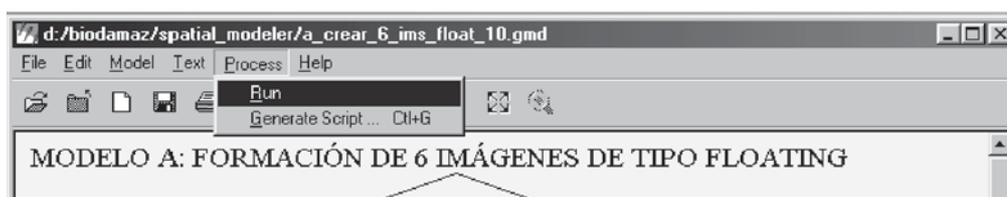


Desactive la caja de control **Prompt User for File at Run Time**. A continuación, en la ventana **File Name**



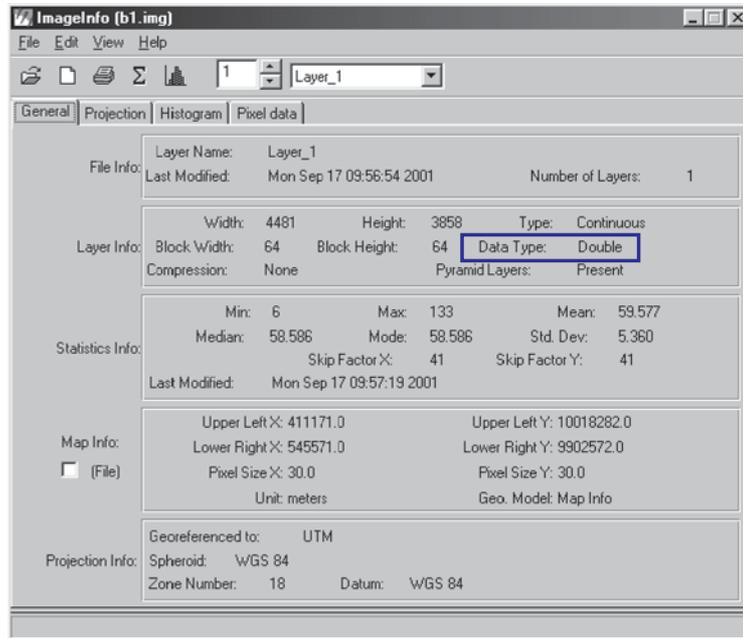
- (* .img) escriba el nombre de la imagen de salida, o con ayuda de la herramienta navegue hasta el directorio donde almacenará tal imagen y escriba el nombre (p. ej. B1, B2, ..., B6) de la imagen de salida. Asegúrese de que la caja de control **Delete if Exists** se encuentre activada (•). También, cerciórese de que la ventana **Data Type** de la sección **Output** exhiba la opción **Float Double**, o en caso contrario despliegue el menú emergente y selecciónelo. Active (•) la caja de control **Ignore**, luego digite el valor **0** en la ventana adjunta, con el objeto de ignorar tales valores en el cálculo de las estadísticas. Por último, cliquee sobre el botón **OK** para aplicar las opciones elegidas.

- h. Finalmente, en la ventana **New Model** (cuya barra de título exhibe el nombre del modelo seleccionado), active el menú **Process**, luego elija la opción **Run** para ejecutar el modelo.



Para verificar el tipo de dato que almacenan las imágenes resultantes, abra un nuevo **Viewer** de la barra **ERDAS IMAGINE 8.4**. Para exhibir la imagen, accione el menú **File** de la barra de menú del **Viewer**, luego elija la opción **Open** y después la alternativa **Raster Layer**; navegue hasta la carpeta **Temporal** y seleccione cualquiera de las imágenes

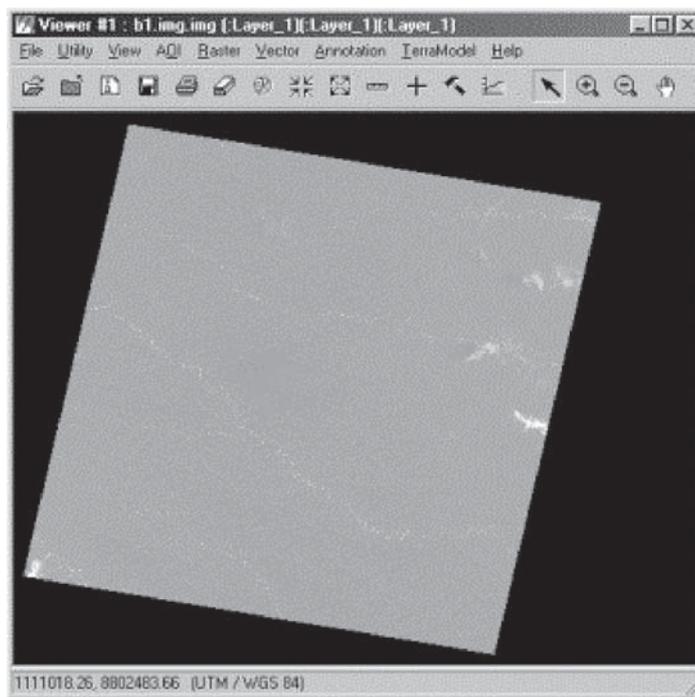
producto (b1, ..., b6). A continuación, en el **Viewer** de esta imagen, active el menú **Utility** y en él elija la opción **Layer Info**. Note el tipo de dato (**Data Type**).



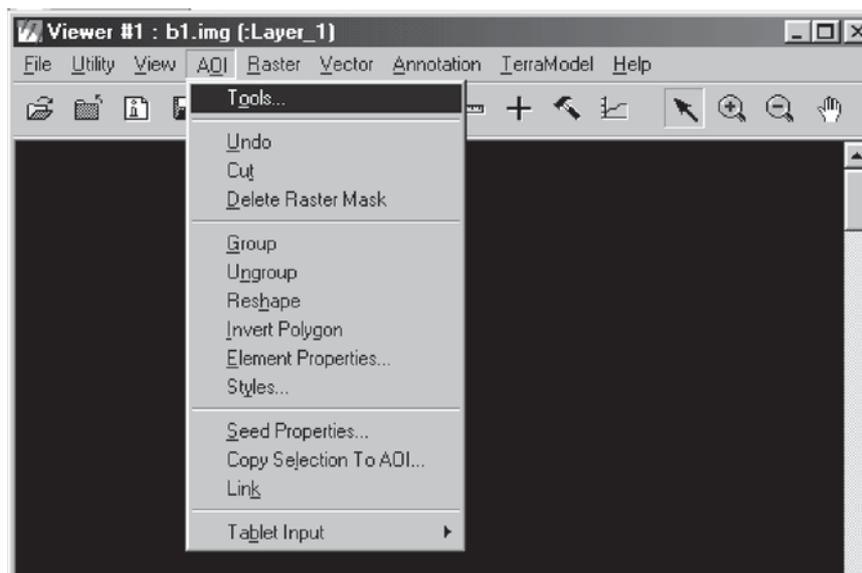
3.1.1.2 Interpolación de la gradiente

Se recomienda crear una carpeta con un nombre definido (p. ej. **Grad_Interpo**), y dentro de ésta crear una carpeta con el path y el row de la imagen por corregir (p. ej. **008060**), donde se almacenarán los resultados de esta fase.

- a. Despliegue una imagen producto de la carpeta **Temporal** (p. ej. **b1.img**).



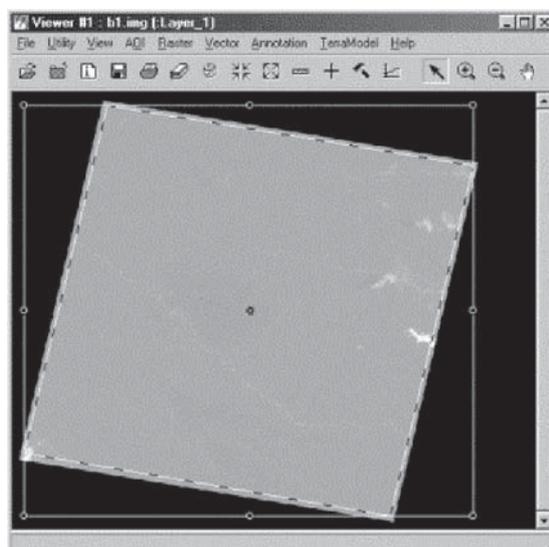
- b. Active el menú **AOI** de la barra de menús del **Viewer**, y luego seleccione la opción **Tools**.



- c. En la caja de instrumentos **AOI** elija la herramienta , para generar áreas de interés poligonales.

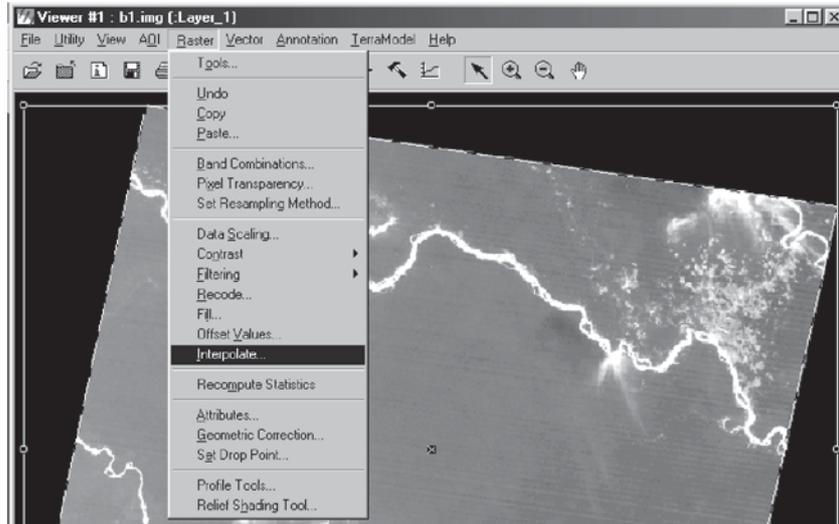


- d. Con la herramienta activada, colóquese en el punto inicial sobre la imagen, y presione el botón izquierdo del ratón para adicionar el vértice inicial del polígono deseado;



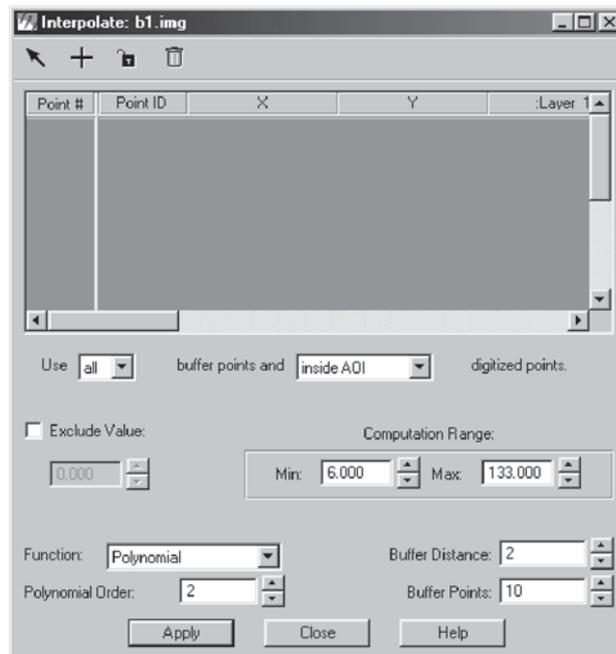
a continuación desplácese por el perímetro planeado, presionando el botón izquierdo en el lugar donde desea generar vértices adicionales. Presione dos veces consecutivas tal botón para cerrar el polígono.

- e. Definida el área de interés; active el menú **Raster** del **Viewer**, y luego elija la opción **Interpolate**

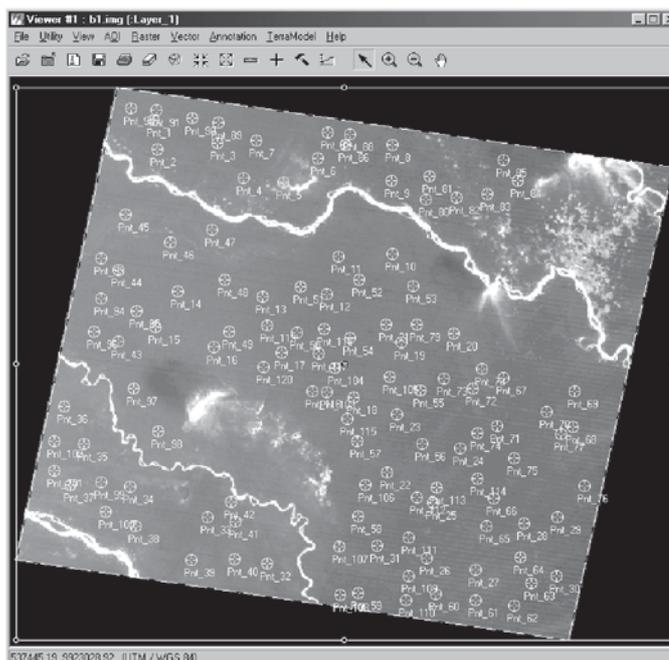


- f. En la ventana de diálogo **Interpolate**, cliquee sobre la herramienta  de digitalización de puntos, luego

cliquee sobre la herramienta  para fijar  el uso permanente del instrumento de digitalización de puntos.



- g. Colóquese sobre la imagen y proceda a digitalizar alrededor de 100 puntos distribuidos proporcionalmente sobre toda el área de interés. Incluya únicamente áreas boscosas sin nubes, descarte las zonas de ríos, cochas (lagos), pantanos y áreas deforestadas. Por cada punto que digitalice se genera un registro en la ventana **Interpolate**.



h. Generados los puntos de interpolación retorne a la ventana **Interpolate**.

Point #	Point ID	X	Y	:Layer 1
112	Pnt_112	493184	9.93267e+006	
113	Pnt_113	497162	9.93475e+006	
114	Pnt_114	505306	9.93646e+006	
115	Pnt_115	478979	9.94877e+006	
116	Pnt_116	471971	9.95445e+006	
117	Pnt_117	473296	9.96203e+006	
118	Pnt_118	474243	9.96635e+006	
119	Pnt_119	462879	9.96771e+006	
120	Pnt_120	462121	9.95938e+006	

Use **no** buffer points and **all** digitized points.

Exclude Value: Computation Range: Min: 6.000 Max: 133.000

Function: **Polynomial** Buffer Distance: 2

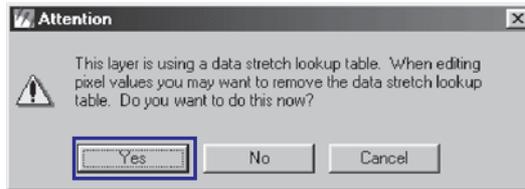
Polynomial Order: 1 Buffer Points: 10

Apply Close Help

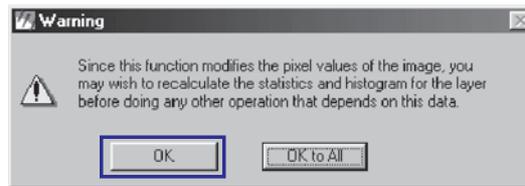
Especifique las opciones siguientes:

- ✓ Use **selección1** buffer points and **selección2** digitized points.
Asegúrese de que **selección1** exhiba la opción **no**, y **selección2** exhiba la alternativa **all**; en caso contrario active los respectivos menús emergentes y selecciónelos.
- ✓ La ventana **Function** debe exhibir **Polynomial**; en caso contrario active el menú emergente y selecciónelo.
- ✓ Seleccione o escriba **1** en la ventana **Polynomial Order**.
- ✓ Cliquee sobre el botón **Apply** para ejecutar el proceso.

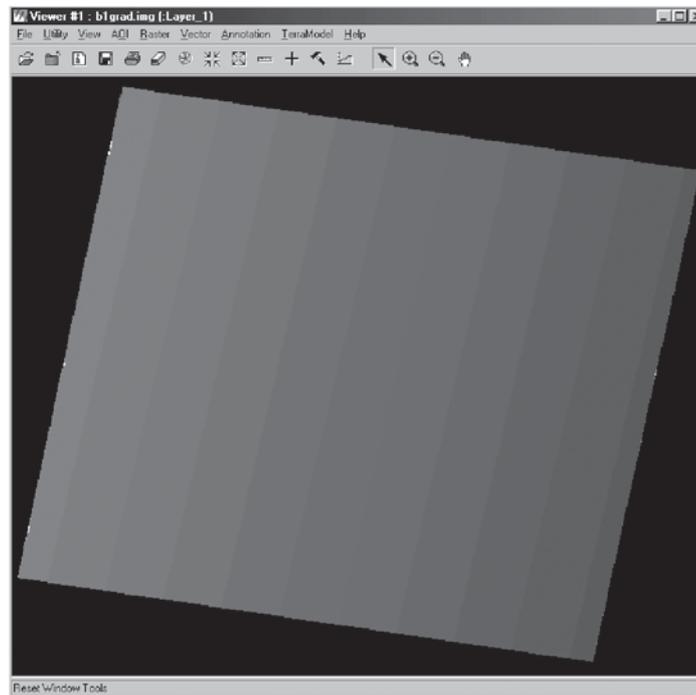
- i. Cliquee sobre el botón **Yes** para responder al mensaje de atención.



- j. Cliquee sobre el botón **OK** para responder al aviso de advertencia.

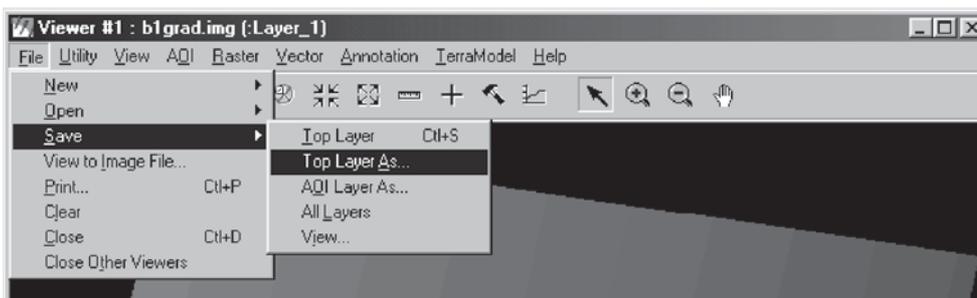


- k. Luego de algunos minutos, se desplegará sobre la pantalla una nueva imagen.

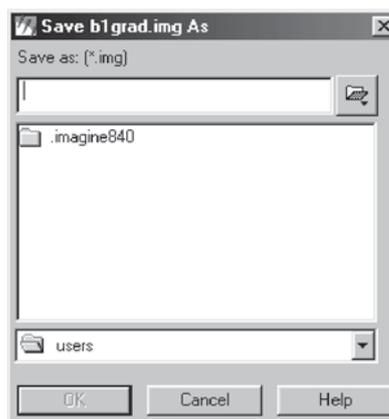


Cierre la ventana **Interpolate**. Observe que la imagen resultante ha perdido los elementos del paisaje y exhibe franjas aparentemente con los mismos ND. Verifique que el modelo resultante sea equivalente a la forma general de la gradiente (dirección y forma). Si no existe tal correspondencia, es necesario reiniciar el proceso redefiniendo el número de puntos (incremento o disminución) y redistribuyéndolos adecuadamente sobre la imagen. Si persiste la desproporción, posiblemente es necesario utilizar una función polinomial de segundo orden.

- I. Para grabar la imagen resultante, active el menú **File** del **Viewer**, elija la opción **Save** y luego la alternativa **Top Layer As...**



- m. En la ventana **Save (nombredeimagen) As**, escriba el nombre de la imagen en la ventana **Save as:**, o con ayuda de la herramienta  o el instrumento , navegue hacia el directorio donde guardará la imagen (p. ej. **Grad_Interpo/008060**). Para finalizar la operación cliquee sobre el botón **OK**.



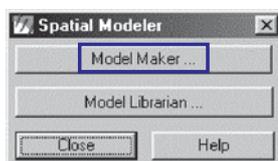
3.1.1.3 Corrección de la gradiente

Se sugiere crear una carpeta con un nombre definido (p. ej. **Grad_Corr**), y dentro de ésta crear una carpeta con el path y el row de la imagen a corregir (p. ej. **008060**), donde se almacenarán los resultados de esta fase.

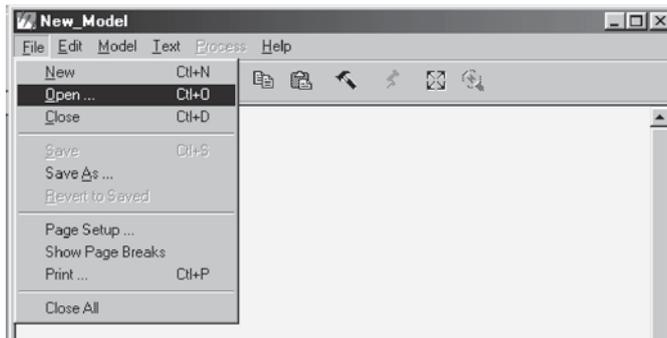
- a. De la barra **ERDAS IMAGINE 8.4**, active el botón **Modeler**.



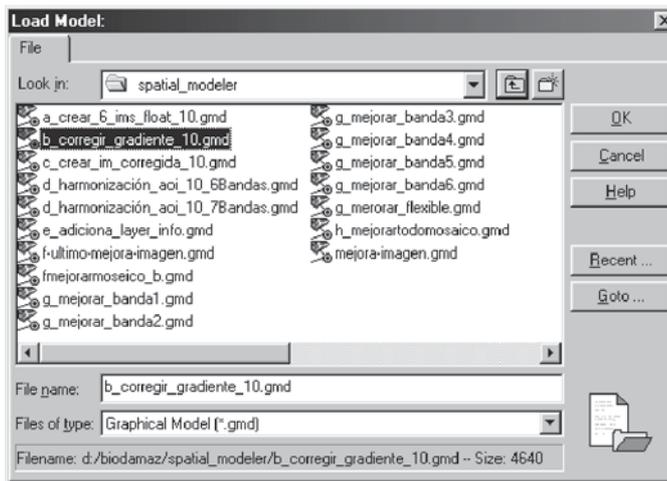
- b. En la ventana **Spatial Modeler**, active la opción **Model Maker**.



- c. En la ventana **New_Model** active el menú **File** y seleccione la opción **Open**.

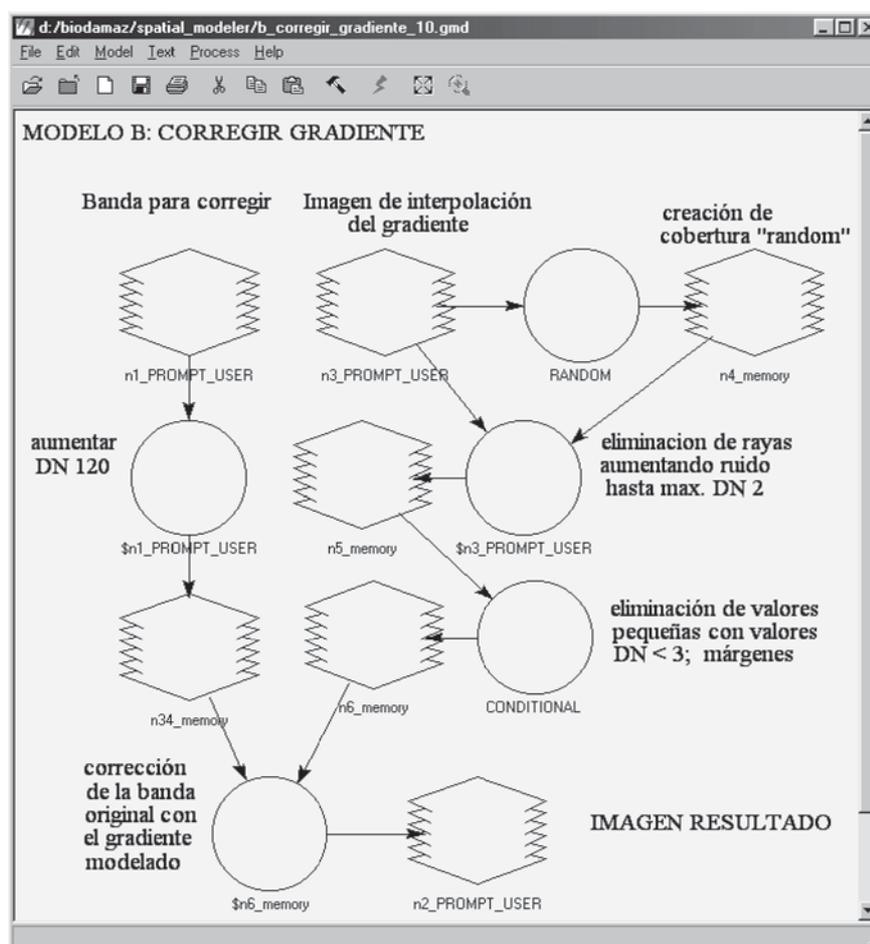


- d. En la ventana de diálogo **Load Model** seleccione el modelo por ejecutar.



Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se usó el modelo **"b_corregir_gradiente_10.gmd"**. Este modelo utiliza las bandas interpoladas para generar coberturas random; asimismo, elimina las fajas generadas al crear esta cobertura, excluye los valores no deseados, reajusta los valores válidos y corrige finalmente las bandas originales correspondientes.

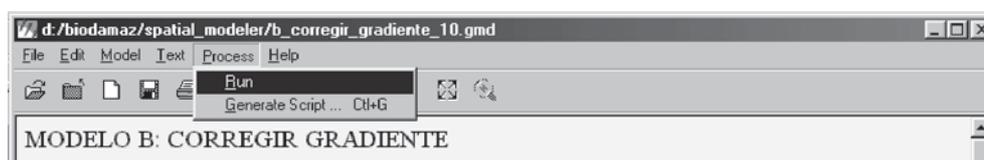
e. El modelo será desplegado sobre la ventana **New_Model**.



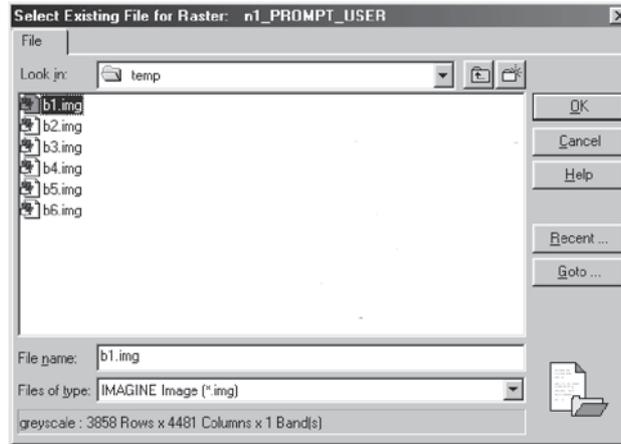
Las principales funciones del modelo son:

- ✓ Genera una nueva cobertura **“random”**.
RANDOM (\$n3_PROMPT_USER)
- ✓ Elimina las franjas aumentando el ruido (máx. DN = 2) producido por la cobertura **“random”**.
 $\$n3_PROMPT_USER + 2 * \$n4_memory$
- ✓ Elimina valores menores de 3 que representan los márgenes de la imagen.
CONDITIONAL {(\$n5_memory <= 3) 0, (\$n5_memory > 3) \$n5_memory}
- ✓ Añade 100 ND a los valores de la imagen a corregir (para que los valores sean > 0).
 $\$n1_PROMPT_USER + 100$
- ✓ Corrige la banda original, disminuyendo la gradiente de la banda por corregir (multiplica y divide para que los valores cero queden en los márgenes de la imagen)
 $\$n6_memory * \$n34_memory / \$n6_memory - \$n6_memory * \$n34_memory / \$n34_memory$

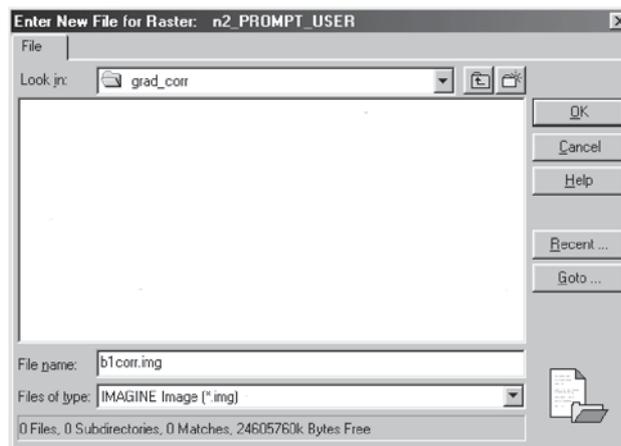
f. En la ventana **New_Model** active el menú **Process** y luego elija la opción **Run** para ejecutar el modelo.



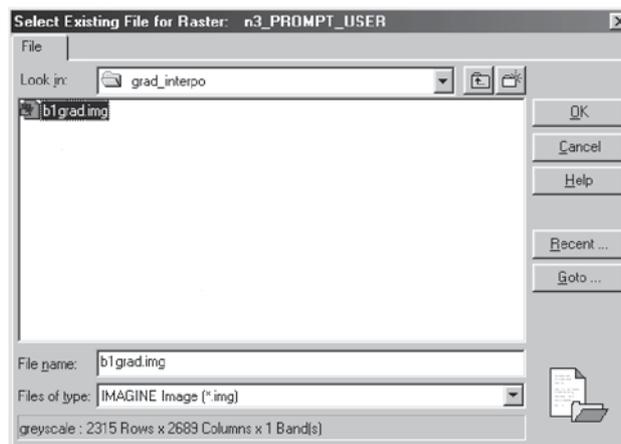
- g. En la ventana **Select Existing File for Raster: n1_PROMPT_USER** navegue hasta el directorio donde se encuentran las bandas de la **imagen por corregir** (p. ej. **Temporal**), seleccione una de las bandas (p. ej. **B1.img**). A continuación cliquee sobre el botón **OK**.



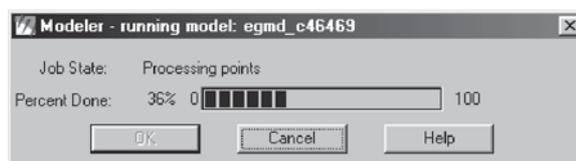
- h. En la ventana **Enter New File for Raster: n2_PROMPT_USER**, navegue hasta el directorio donde guardará la **nueva imagen** (p. ej. **Grad_Corr/008060**) y escriba el nuevo nombre (p. ej. **B1corr.img**). A continuación cliquee sobre el botón **OK**.



- i. En la ventana **Select Existing for Raster: n3_PROMPT_USER**, navegue hasta el directorio donde se encuentran la **imagen de gradiente** (p. ej. **Grad_Interpo**), seleccione el archivo correspondiente a la imagen por corregir (p. ej. **B1grad.img**). A continuación cliquee sobre el botón **OK**.



- j. Se iniciará la ejecución del modelo, lo cual toma algunos minutos.

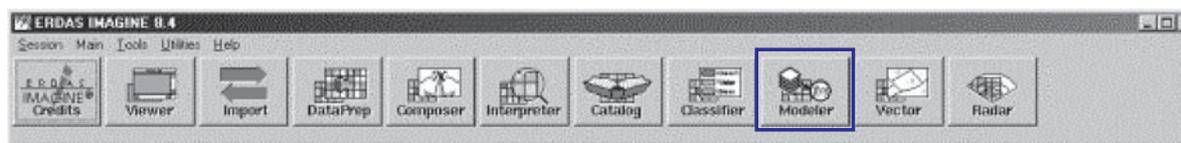


- k. Navegue hasta el directorio donde guardó la imagen resultante (p. ej. **Grad_Corr/008060**). Verifique que la distribución de la luminosidad sea proporcional en toda la imagen. Para ello aplique alguna técnica para resaltar el contraste (Ecuación del histograma o Reescalamiento de los histogramas y tablas look-up). Si no existe una distribución aceptable, será necesario reiniciar el proceso desde la interpolación de la gradiente.
- l. Repita el proceso de corrección de gradientes por cada una de las bandas de la imagen.

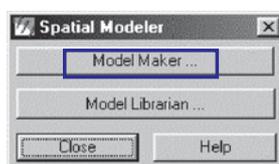
3.1.1.4 Recomposición de imagen corregida

Se sugiere crear una carpeta con un nombre definido (p. ej. **Grad_Corr_Recomp**), y dentro de ésta crear una carpeta con el path y el row de la imagen por recomponer (p. ej. **008060**), donde se almacenarán los resultados de esta fase.

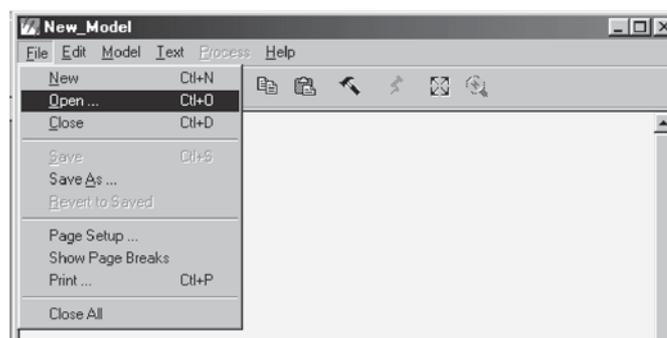
- a. De la barra **ERDAS IMAGINE 8.4**, active el botón **Modeler**.



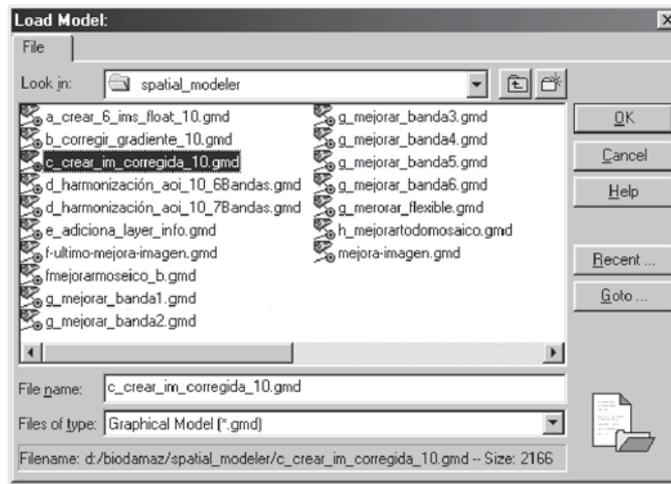
- b. En la ventana **Spatial Modeler** active la opción **Model Maker**.



- c. En la ventana **New_Model** active el menú **File** y seleccione la opción **Open**.

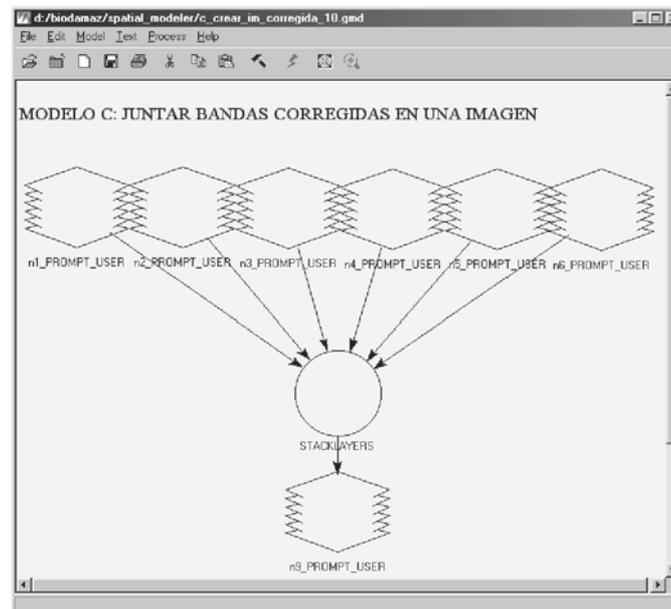


- d. En la ventana de diálogo **Load Model** seleccione el modelo por ejecutar.



Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se utilizó el modelo “**c_crear_im_corregida_10.gmd**”. Este modelo agrupa las bandas corregidas en una imagen con seis bandas.

- e. El modelo será desplegado sobre la ventana **New_Model**.

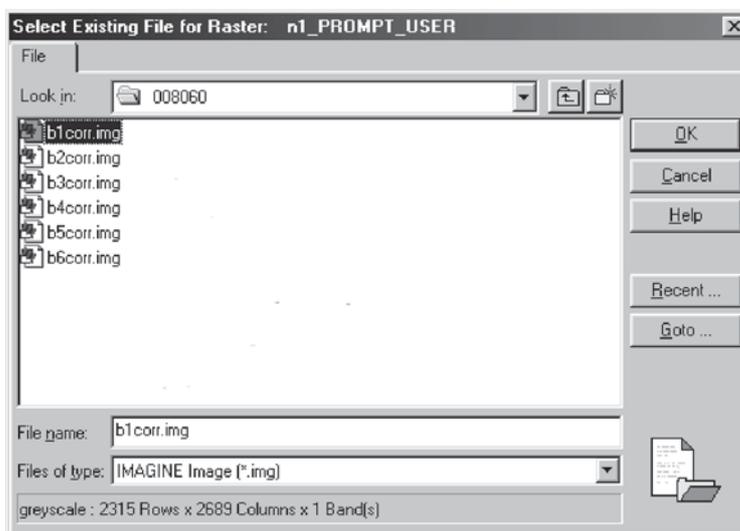


- f. En la ventana **New_Model** active el menú **Process** y luego elija la opción **Run** para ejecutar el modelo.

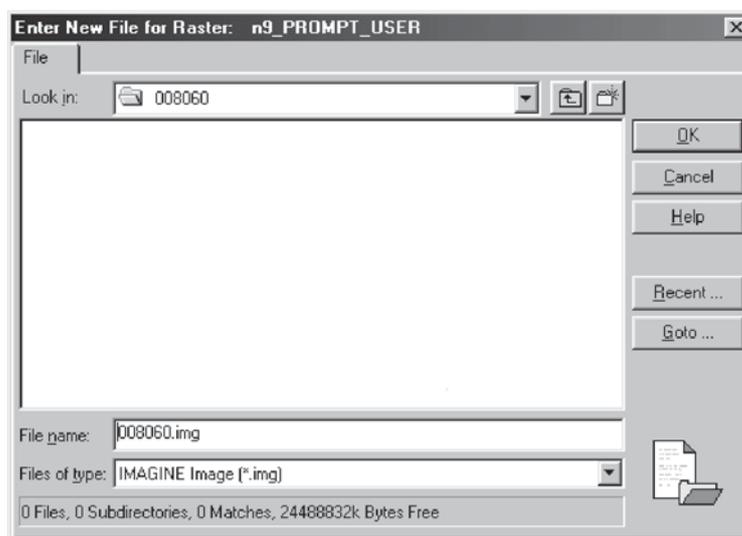


- g. En la ventana **Select Existing File for Raster: n1_PROMPT_USER**, navegue hasta el directorio donde se encuentran las bandas con gradiente corregida (p. ej. **Grad_Corr/008060**), seleccione la banda 1 (p. ej. **B1corr.img**). A continuación cliquee sobre el botón **OK**.

Se repetirá el despliegue de ventanas tantas veces como bandas se haya considerado en la recomposición. Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se analizaron 6 bandas, por lo que se produjeron seis repeticiones; podrá observar que en la barra de título **n1_PROMPT_USER** será substituido por **n2_PROMPT_USER**, ..., **n6_PROMPT_USER**.



- h. Al concluir con la última banda, se despliega la ventana **Enter New File for Raster: n9_PROMPT_USER**; navegue hasta la carpeta donde grabará la imagen resultado (p. ej. **Grad_Corr_Recompo/008060**), escriba el nombre para la nueva imagen en la ventana **File name:** (p. ej. **008060.img**), luego cliquee sobre el botón **OK** para iniciar la ejecución del modelo.



- i. Finalmente, active la imagen resultante (**Viewer | File | Open | Raster Layer**), efectúe algunas combinaciones de bandas (**Raster | Band Combinations...**), y luego verifique que la distribución de la luminosidad sea proporcional en toda la imagen. Para ello aplique alguna técnica a fin de resaltar el contraste (Ecuación del histograma o Reescalamiento de los histogramas y tablas look-up). Si no existe una distribución aceptable, será necesario reiniciar el proceso desde la interpolación de la gradiente.

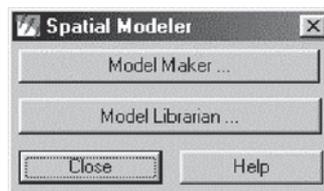
4. ADICIÓN DE BANDA DE INFORMACIÓN

Con el objeto de identificar con facilidad cada escena componente del mosaico, se recomienda agregar a cada imagen con gradiente corregida una banda adicional de información denominada **banda siete (7)** o **banda info**. Esta banda registrará el código identificador de cada escena.

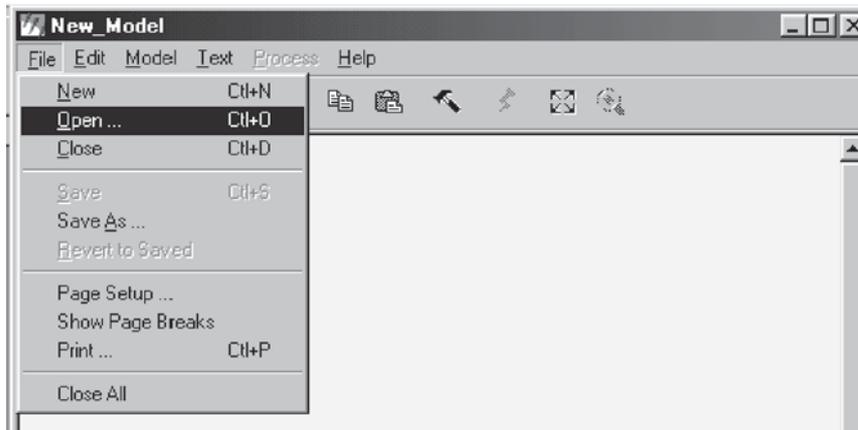
- a. De la barra **ERDAS IMAGE 8.4** active el botón **Modeler**.



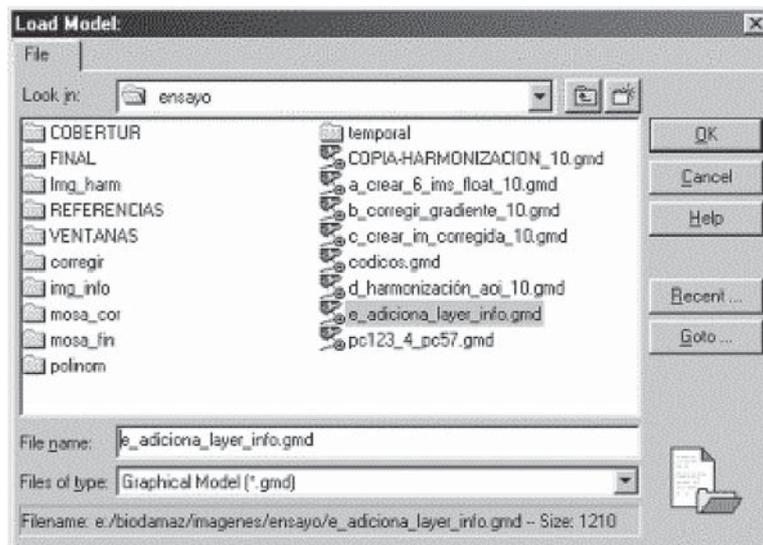
- b. En la ventana **Spatial Modeler** cliquee sobre el botón **Model Maker**.



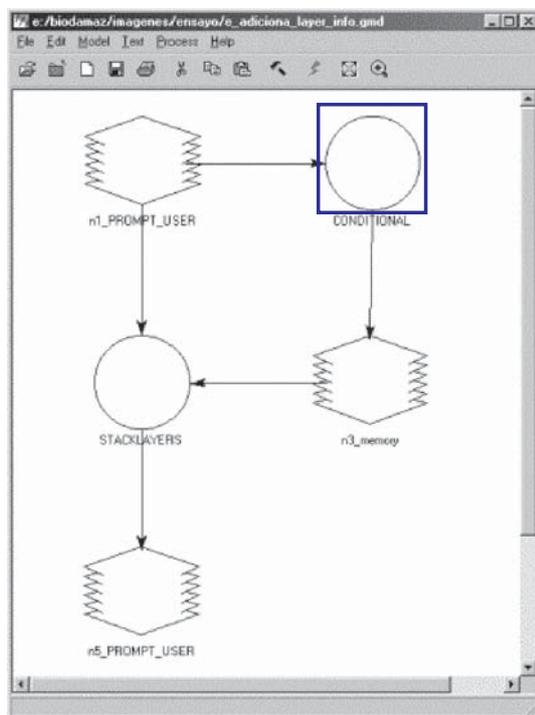
- c. En la ventana **New Model** active el menú **File**, luego elija la alternativa **Open**.



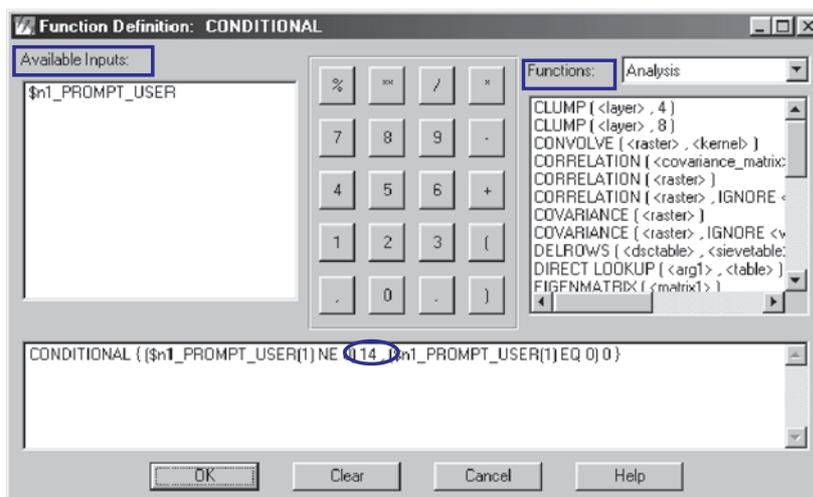
- d. En la ventana de diálogo **Load Model**, seleccione el modelo por ejecutar.



Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se utilizó el modelo “e_adiciona_layer_info.gmd”. Este modelo genera una banda cuyos píxeles contienen el código de la escena y la añade al conjunto de la imagen original.



- e. El modelo será desplegado sobre la ventana **New_Model**.
- f. Cliquee dos veces sobre el objeto de definición de función  **CONDICIONAL**. En la ventana **Function Definition** en la **sección edición de texto** proceda a sustituir el coeficiente por defecto  con el nuevo valor identificador de la escena.

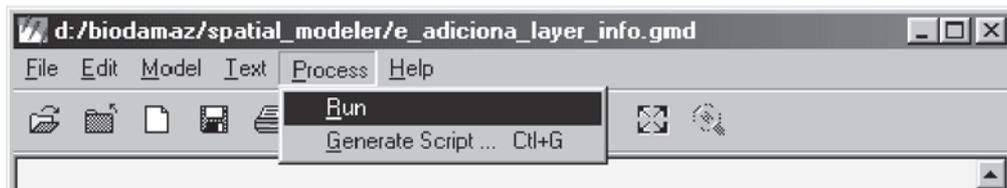


La ventana Function Definition presenta las secciones:

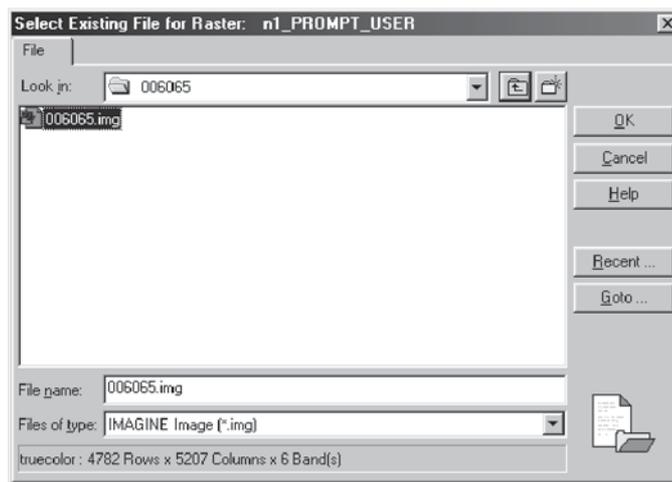
- ✓ **Available Inputs**  : Muestra un listado de todos los objetos disponibles sobre los cuales es posible aplicar funciones. Para nuestro caso observamos una variable correspondiente a la banda 1. Para usar un objeto de la lista cliquee sobre el nombre elegido y éste será exhibido en la sección edición de textos.

- ✓ **Functions** : El menú emergente, al lado izquierdo, muestra las categorías de funciones útiles. Al elegir una de aquéllas se despliegan, en la ventana que está debajo, todas las funciones disponibles para tal categoría con su respectiva sintaxis.
- ✓ **Text Edition (Sección Edición de Textos)** : Área sobre la cual se define la ecuación de la función.

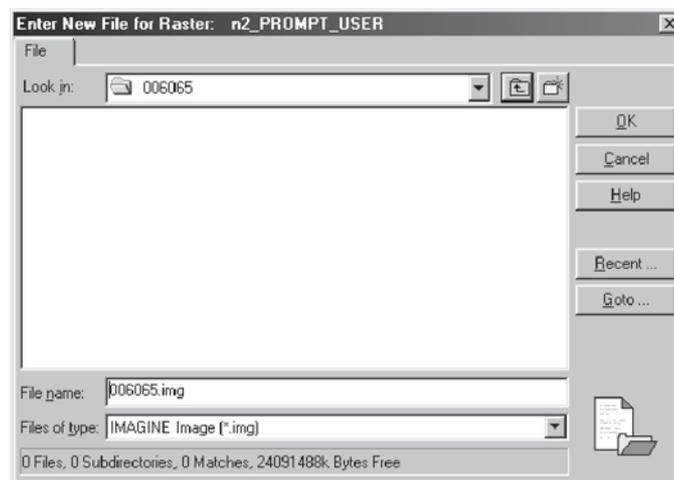
- g. Luego de efectuar la sustitución, en la ventana **New_Model**, active el menú **Process** y luego elija la opción **Run** para ejecutar el modelo.



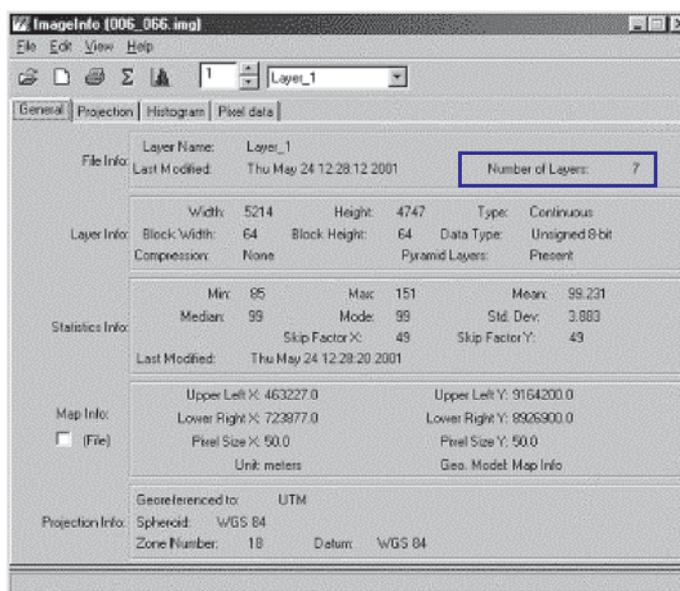
- h. En la ventana **Select Existing File for Raster: n1_PROMPT_USER**, navegue a la carpeta que aloja la imagen a la que se añadirá la banda info (p. ej. **Grad_Corr_Recompo/006065/006065.img**), selecciónela y cliquee sobre el botón **OK**.



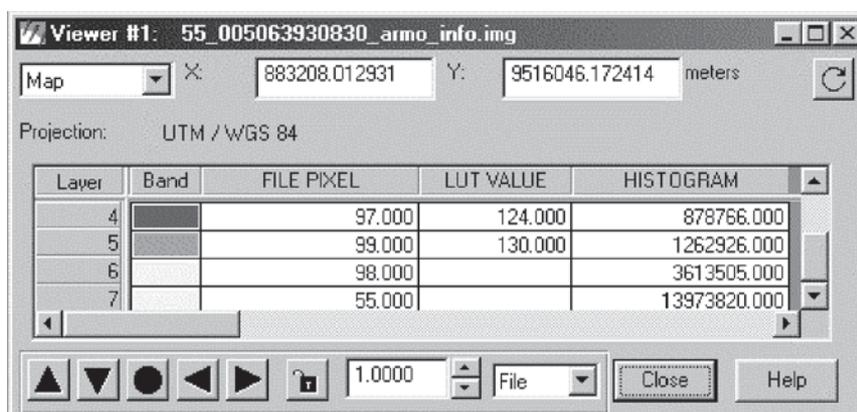
- i. En la ventana **Enter New File for Raster: n2_PROMPT_USER**, navegue a la carpeta donde guardará la imagen resultante con la banda info incluida (p. ej. **Grad_Corr_Layer_Info/006065**), escriba el nombre de la imagen en la ventana **File name:** (p. ej. **006065.img**), luego cliquee sobre el botón **OK**.



- j. El proceso toma algunos minutos. Luego cierre todas las ventanas excepto la barra **ERDAS IMAGINE 8.4**. Para comprobar que la imagen resultante presenta una banda adicional, active el botón **Viewer** y luego active **File | Open | Raster Layer...**
- k. En la ventana **Select Layer To Add**, navegue hasta el directorio donde se encuentra la imagen resultado (p. ej. **Grad_Corr_Layer_Info/006065/006065.img**), selecciónela y luego cliquee sobre el botón OK para desplegarla sobre el **Viewer**.
- l. Despliegue la imagen en toda la ventana con **View | Scale | Image to Window**.
- m. En el Viewer active **Utility | Layer Info**. En la ventana **ImageInfo**, observe que **Number of Layers** presenta el valor 7.



- n. Para verificar si la banda 7 efectivamente almacena el valor correspondiente a la escena, accione **Utility | Inquire Cursor**; esta acción despliega una ventana en cuya barra superior se observa el número del **Viewer** y el nombre de la imagen.

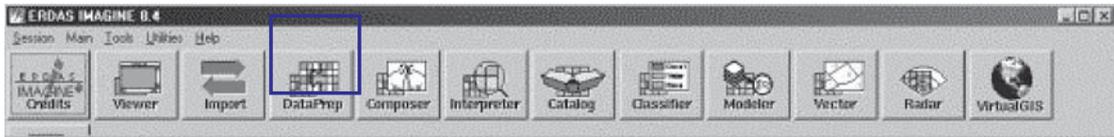


Con la barra de desplazamiento vertical, ubicada al lado derecho, mueva la ventana de exhibición hacia abajo hasta ubicar en la columna **Layer** la banda 7; luego observe en la columna **FILE PIXEL** el valor que almacena tal banda. Para comprobar que tal valor se distribuye a través de toda esta banda, ubique el cursor sobre un punto cualquiera en la imagen y notará que tal valor permanece invariable.

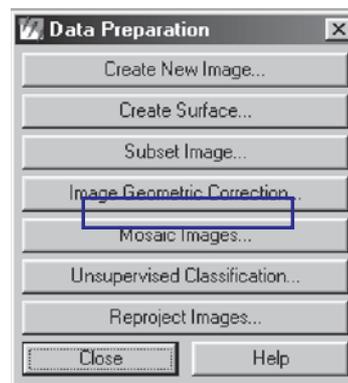
5. GENERACIÓN DE MOSAICOS

Los mosaicos se generan a partir de las imágenes armonizadas por coeficientes. Se sugiere guardar los mosaicos resultantes en una carpeta (p. ej. Mosaicos), así como documentar detalladamente el proceso.

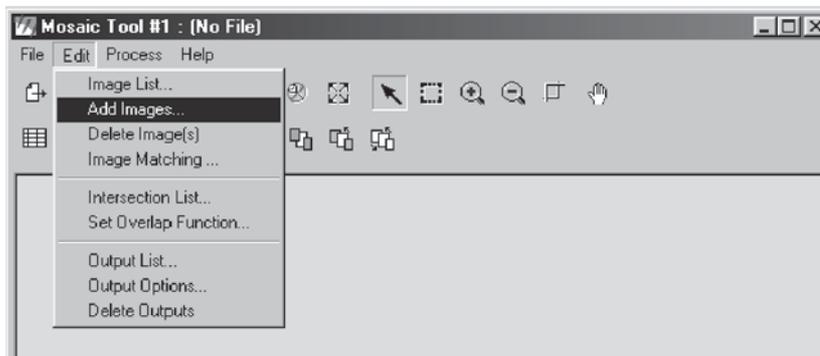
- a. De la barra **ERDAS IMAGINE 8.4** active el botón **DataPrep**.



- b. En la ventana **Data Preparation** se elige la opción **Mosaic Images**.



- c. En la ventana **Mosaic Tool**, active el menú **Edit**, luego seleccione la alternativa **Add Images**.



- d. En la ventana **Add Images for Mosaic**, utilice la herramienta  para navegar hasta la carpeta (p. ej. **Grad_Armoniza_Coef**) donde se encuentra la imagen corregida y armonizada, y seleccione la imagen correspondiente (p. ej. **007061.img**) directamente de la carpeta o de la lista desplegada en la ventana de abajo.

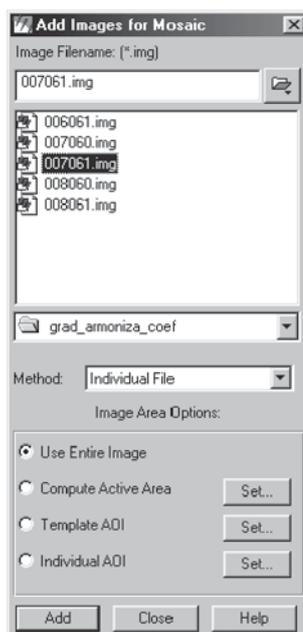
Cerciórese de que la ventana **Method** exhiba la alternativa **Individual File**; en caso contrario active el menú de persiana y seleccione tal opción.

En la sección **Image Area Options** active el botón que más convenga a sus necesidades. Observe las referencias siguientes:

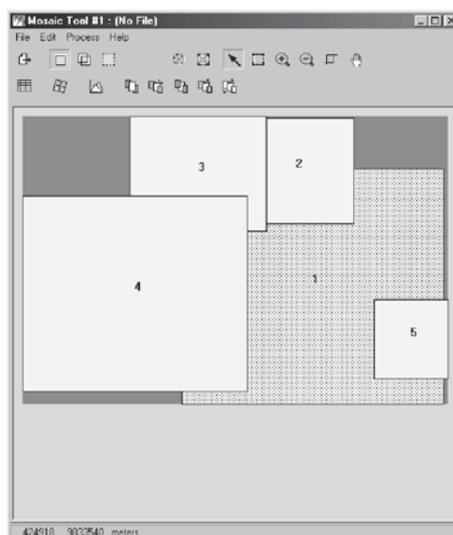
- ✓ **Use Entire Image**: Utiliza toda el área de la imagen.
- ✓ **Compute Active Area**: Por defecto utiliza el área activa de la imagen.
 - **Set...** : Active este botón para abrir la ventana de diálogo **Active Area Options** y elegir la opción del área que se debe considerar.

- ✓ **Template AOI:** Active el botón para cortar el área activa de la imagen fuente usando el mismo AOI para cada una de las imágenes.
 - **Set...** : Seleccione un modelo AOI para aplicarlo a todas las imágenes.
- ✓ **Individual AOI:** Active el botón para cortar el área que hay que considerar en la imagen fuente usando un AOI arbitrario.
 - **Set...** : Seleccione el área de interés (AOI) para la imagen.

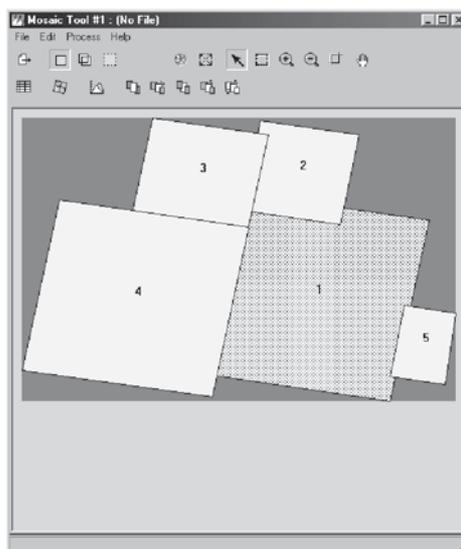
Finalmente, cliquee sobre el botón **Add** para añadir la imagen o imágenes seleccionadas para definir el mosaico. Si alguna imagen no esta georreferenciada, ERDAS exhibirá un mensaje de error y desactivará el botón hasta que seleccione otra imagen.



- e. A medida que vaya añadiendo imágenes al mosaico, la ventana **Mosaic Tool** exhibirá una aproximación de la ubicación espacial de cada una de ellas. Al activar el botón **Use Entire Image** la disposición será la siguiente



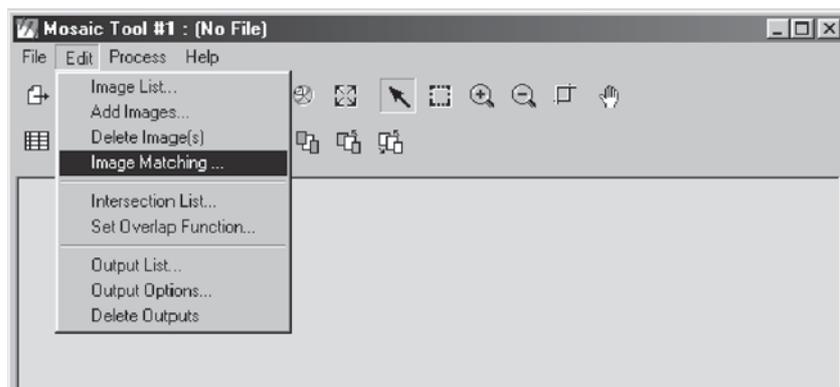
Mientras que el botón **Compute Active Area**, exhibirá:



Observe las diferencias en la ubicación espacial.

Finalmente, cliquee sobre el botón **Close** para cerrar la ventana de diálogo **Add Images for Mosaic**.

- f. Del menú **Edit**, en la ventana **Mosaic Tool**, seleccione la alternativa **Image Matching**



- g. En la ventana **Matching Options**,



elija las opciones según las consideraciones siguientes:

En la sección **Matching Method**, elija uno de los métodos de ajuste.

- ✓ **No Matching:** No se ejecutarán ajustes entre las imágenes.
- ✓ **For All Images:** Las tablas de contraste (*lookup tables*) para el ajuste se derivan del histograma del total de la imagen para todas las imágenes.
- ✓ **Overlap Areas:** Las tablas de contraste para el ajuste se derivan únicamente del histograma de las áreas de traslape.

En la sección **Histogram Type** seleccione el tipo de histograma.

- ✓ **Band by Band:** Utiliza los valores del histograma de los datos raw para el ajuste.
- ✓ **Intensity (RGB):** Utiliza histogramas de intensidad en el espacio HIS para el ajuste. Esta opción sólo está disponible para imágenes en Color Verdadero (True Color), p. ej. de tres capas.

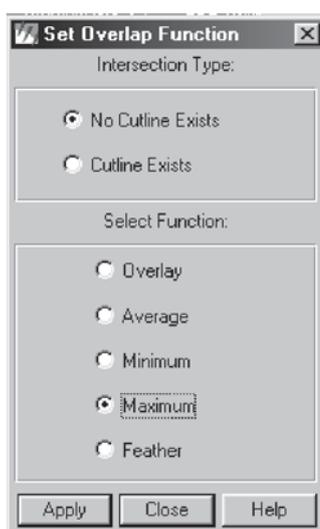
En la sección **Pixel Value Type** determine si debe ser usada la tabla de contraste existente.

- ✓ **Pixel Value:** Utiliza los valores de píxel actuales para el histograma de ajuste.
- ✓ **Contrast Table:** Utiliza los valores de los píxeles en las imágenes (*Pixel Map*) a través de las tablas de contraste (*lookup table*) para el histograma de ajuste. Estas tablas de contraste deben ser creadas y guardadas previamente, usando las herramientas de contraste del **Viewer**.

OK: Aplica las opciones seleccionadas sobre la imagen.

Help: Exhibe la ayuda en línea para esta ventana de diálogo.

h. En la ventana **Mosaic Tool** active **Edit | Set Overlap Function...** En la ventana **Set Overlap Function**,



elija las opciones según las consideraciones siguientes:

En la sección **Intersection Type** activa funciones por realizar sobre las intersecciones, si tienen o no líneas de corte definidas o indefinidas.

- ✓ **No Outline Exists:** Actívelo si no existen líneas de corte para las intersecciones seleccionadas.

Este tipo de intersección está relacionado con las opciones de la sección **Select Function** siguientes:

- **Overlay:** El área de traslape procede de la última imagen abierta, la cual se encuentra encima del conjunto.
- **Average:** El valor de cada píxel en el área de traslape es reemplazado por el promedio de los valores de los píxeles correspondientes a las imágenes traslapadas.
- **Minimum:** El valor de cada píxel en el área de traslape es reemplazado por el valor menor de los píxeles correspondientes en las imágenes traslapadas.

- **Maximum:** El valor de cada píxel en el área de traslape es remplazado por el valor mayor de los píxeles correspondientes en las imágenes traslapadas.
 - **Feather:** El área de traslape es reemplazada por una interpolación lineal de los píxeles en el traslape. Un píxel en el centro del área de traslape es el 50% de cada uno de los píxeles correspondientes en las imágenes traslapadas. Un píxel en el área de traslape a 1/10 del borde puede ser 90% de una imagen y 10 % de otra.
- ✓ **Cutline Exists:** Actívelo si existen líneas de corte para las imágenes seleccionadas.

Al activar esta opción, la sección **Select Function** exhibirá:

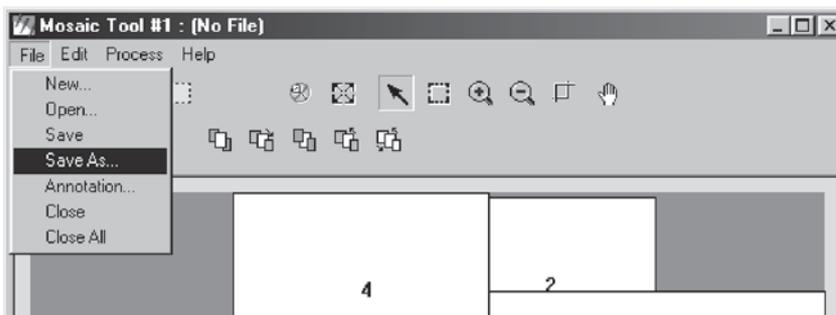
- **Cut Only:** Una simple operación de corte se efectuará por la línea de corte.
- **Cut / Feather:** Una operación *Feathering* será ejecutada desde la línea de corte a través de toda el área de intersección.
- **Cut / Feather by Distance:** Una operación *Feathering* será ejecutada desde la línea de corte a una distancia especificada por el usuario.
 - ❖ **Distance:** Especifica la distancia para **Cut/Feather by Distance**.

Apply: Aplica las opciones elegidas para las intersecciones seleccionadas.

Close: Cierra esta ventana de diálogo.

Help: Exhibe la ayuda en línea para esta ventana de diálogo.

- i. De la ventana **Mosaic Tool** active **File | Save as** para guardar la lista de imágenes utilizadas para generar el mosaico cuya extensión es **.mos**.



- j. En la ventana de diálogo **Save Mosaic File**,



utilice el área de texto **Mosaic Filename** para navegar hasta el directorio (p. ej. **Mosaicos**) donde guardará tal lista, luego digite el nombre correspondiente o selecciónelo de la lista. Finalmente, cliquee sobre uno de los botones siguientes:

OK: Guarda el archivo y cierra esta ventana de diálogo.

Cancel: Cancela el proceso y cierra esta ventana de diálogo.

Help: Exhibe la ayuda en línea para esta ventana de diálogo.

En la ventana **Mosaic Tool** active el menú **Process**, luego elija la opción **Run Mosaic**.



En la ventana de diálogo **Run Mosaic** observe las referencias siguientes:

Output Root Name: Digite el nombre de la imagen mosaico de destino o selecciónelo de la lista que se muestra al

activar el icono . Esta sección es exhibida cuando se procesan mosaicos para múltiples imágenes destino.

Output File Name: Digite el nombre de la imagen mosaico de destino o selecciónelo de la lista que se muestra al

activar el icono . Esta sección se exhibe cuando se hacen mosaicos para una imagen destino simple.

Which Outputs: Es útil cuando hay más de una imagen mosaico destino.

- ✓ **All:** Procesa todas las imágenes destino.
- ✓ **Selected:** Procesa las imágenes destino seleccionadas.

Ignore Input Values: Indica qué valores serán ignorados al procesar el mosaico. Se recomienda ignorar los valores 0.

Output Background Value: Valor de segundo plano para el (los) archivo(s) destino.

Stats Ignore Value: Active (•) la caja y luego ingrese el valor que debe ser ignorado al calcular las estadísticas de la imagen destino. Se recomienda ignorar los valores 0.

OK: Ejecuta el proceso del mosaico y cierra esta ventana de diálogo.

Batch: Coloca el proceso del mosaico en un archivo *batch* para consulta.

Cancel: Cancela las selecciones y cierra esta ventana de diálogo. Consecuentemente el mosaico no será generado.

Help: Exhibe la ayuda en línea para esta ventana de diálogo.

La Figura 25 muestra el mosaico resultante, en su primera versión, con imágenes mejoradas, para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia.

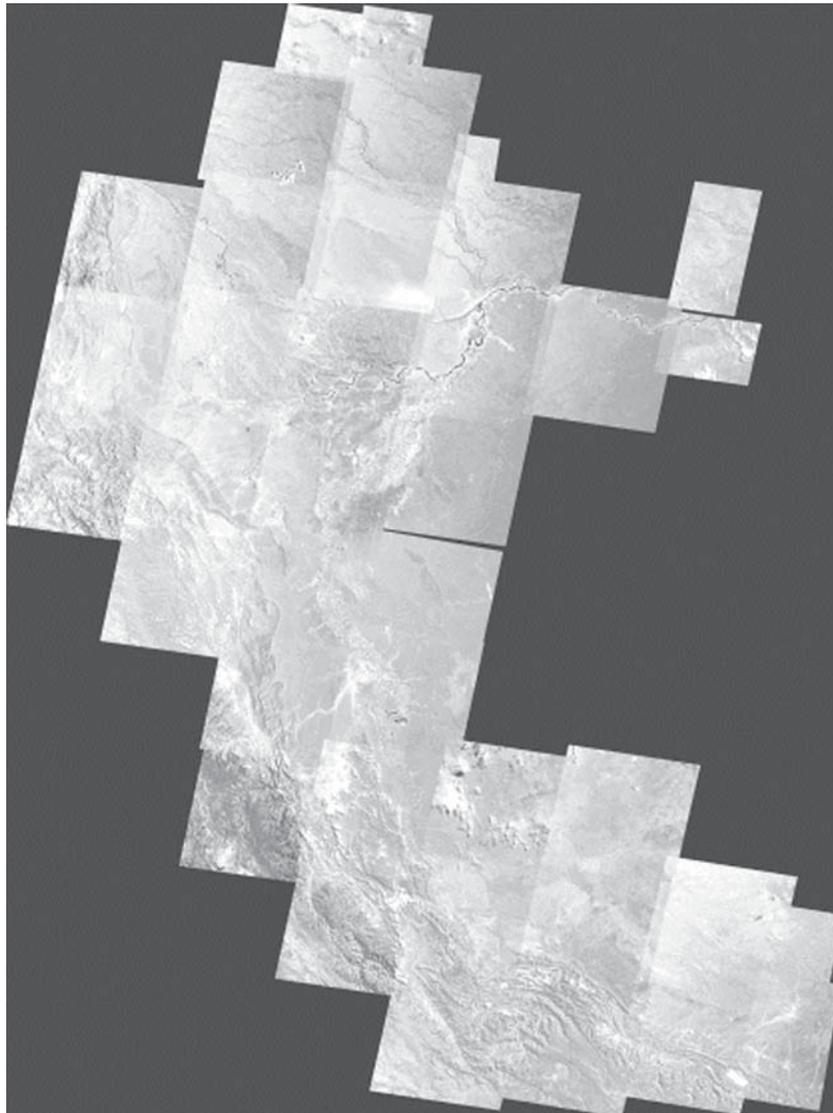


Figura 25. Mosaico generado con escenas cuyas gradientes han sido corregidas y armonizadas por coeficientes; el mosaico se presenta en su primera versión. **Fuente:** IIAP - BIODAMAZ.

6. MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL MOSAICO

La ejecución de las fases anteriormente descritas presupone que las imágenes deberían tener píxeles con valores proporcionales, de modo que sea posible elaborar un mosaico con una presentación adecuada. Sin embargo, al agrupar diversas escenas en un mosaico, con frecuencia se obtienen resultados en los que es notoria la presencia de imágenes diferentes a las de sus vecinas.

La Figura 26 muestra algunas de las discrepancias resultantes al generar el mosaico de la Amazonía peruana en el marco del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia. En ella se puede observar los límites entre algunas escenas, así como escenas cuyos valores digitales son notablemente mayores o menores con respecto a las escenas circundantes.

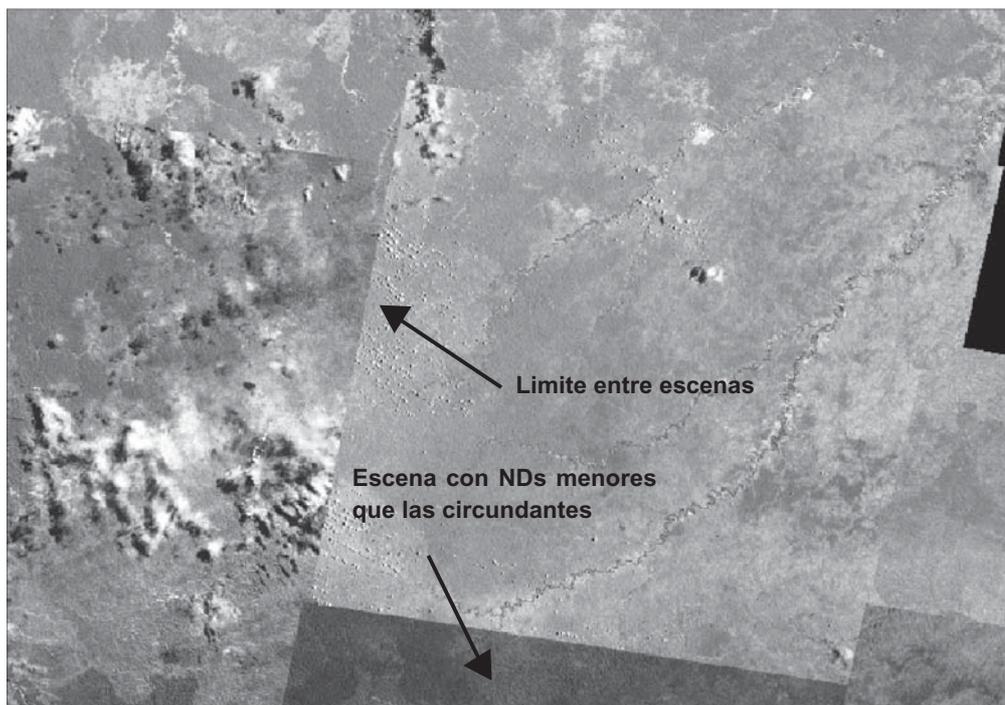


Figura 26. Algunos contrastes detectados en el mosaico generado con escenas cuyas gradientes han sido corregidas y armonizadas por coeficientes. **Fuente:** IIAP - BIODAMAZ.

6.1. ARMONIZACIÓN DE HISTOGRAMAS POR CÁLCULO DE DIFERENCIAS DENTRO DEL MOSAICO

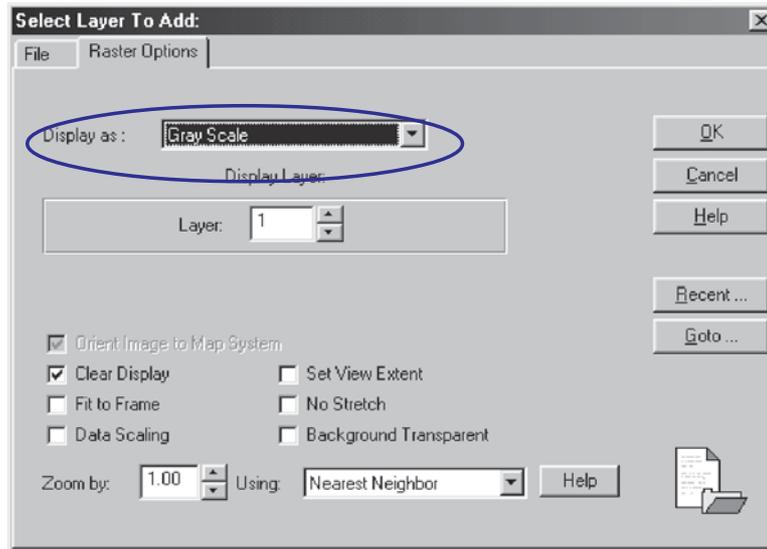
Para corregir las variaciones antes señaladas se ha desarrollado una metodología para la armonización de los histogramas, que se fundamenta en el incremento o decremento de los ND de las escenas elegidas como candidato, para lo cual deben observarse los criterios siguientes:

- Aplicar un decremento en los ND de la escena, **candidato** cuando estos valores sean mayores a los correspondientes a la escena **pasivo**;
- Aplicar un incremento en los ND de la escena **candidato** cuando estos valores sean menores a los correspondientes a la escena **pasivo**.

Las operaciones se desarrollan sobre cada una de las bandas. Con el objetivo de ilustrar adecuadamente esta fase se supondrá que, como resultado del proceso de armonización por coeficientes, se obtuvo el mosaico de imágenes **mosaico10.img**.

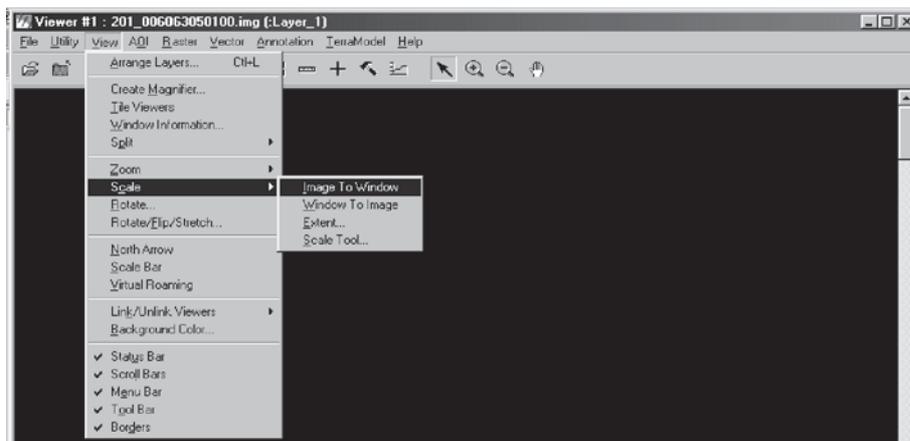
Se sugiere crear una carpeta con un nombre definido (p. ej. **Grad_Armoniza_Dife**), y dentro de ésta crear una carpeta con el número correlativo de proceso (p. ej. **PROCESO01**) donde se deben almacenar los resultados de esta fase, o nombrar la imagen resultante con un correlativo (p. ej. **resultado001**). No olvide documentar detalladamente el proceso.

- a. Despliegue la imagen **mosaico10.img**; para ello active, si no tiene un ventana **Viewer** desplegada, el botón **Viewer** de la barra **ERDAS IMAGINE 8.4**; a continuación, en la ventana **Viewer** seleccione **File | Open | Raster layer**. En la ventana **Select Layer to Add** resalte el nombre de la imagen correspondiente.
- b. Active la lengüeta **Raster Options**.

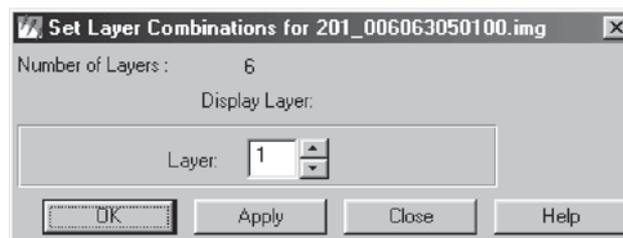


En la ventana **Display as:** seleccione la alternativa **Gray Scale**, mantenga las demás opciones con sus valores por defecto, y observe que en la ventana **Layer** automáticamente es seleccionada la banda 1; luego cliquee sobre el botón **OK**.

- c. Expanda la ventana del **Viewer** a la máxima capacidad de la pantalla. En seguida despliegue la imagen en todo el área activa con **View | Scale | Image to Window**.



- d. Se desplegará la imagen en tonalidades de gris. Obsérvela detenidamente, podrá apreciar las diferencias de luminosidad entre escenas; para verificar tal fenómeno banda por banda, en la ventana del **Viewer** active **Raster | Band Combinations...** para acceder a la ventana de diálogo **Set Layer Combinations for nombre de imagen**.



En la ventana **Layer** seleccione la banda por visualizar, luego cliquee sobre el botón

- **Apply**; para desplegar la imagen sobre el **Viewer**; o
- **OK**; para desplegar la imagen sobre el **Viewer** y cerrar esta ventana de diálogo.

- e. Con el objetivo de apreciar mejor las diferencias de luminosidad, ejecute, banda por banda, una técnica para resaltar el contraste (Ecuilización del histograma o Reescalamiento de los histogramas y tablas look-up), luego verifique la luminosidad y tome nota de las escenas donde tales diferencias resulten muy significativas; sobre ellas se aplicará el proceso. Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, la banda de información denominada **banda info** añadida (Ver sección 16) a cada escena facilitó mucho el trabajo en esta fase.
- f. Localizada la escena que posee el mayor o menor contraste con respecto a las escenas circundantes, y que representará el papel de **Candidato** (ver ejemplo en la Figura 27, el área bordeada de rojo), se busca entre las escenas adyacentes una que presente la menor cobertura de nubes, sombras, cuerpos de agua y otros elementos del paisaje no deseados, y que hará de **Pasivo** (ver ejemplo en la Figura 27, el área limitada de amarillo).

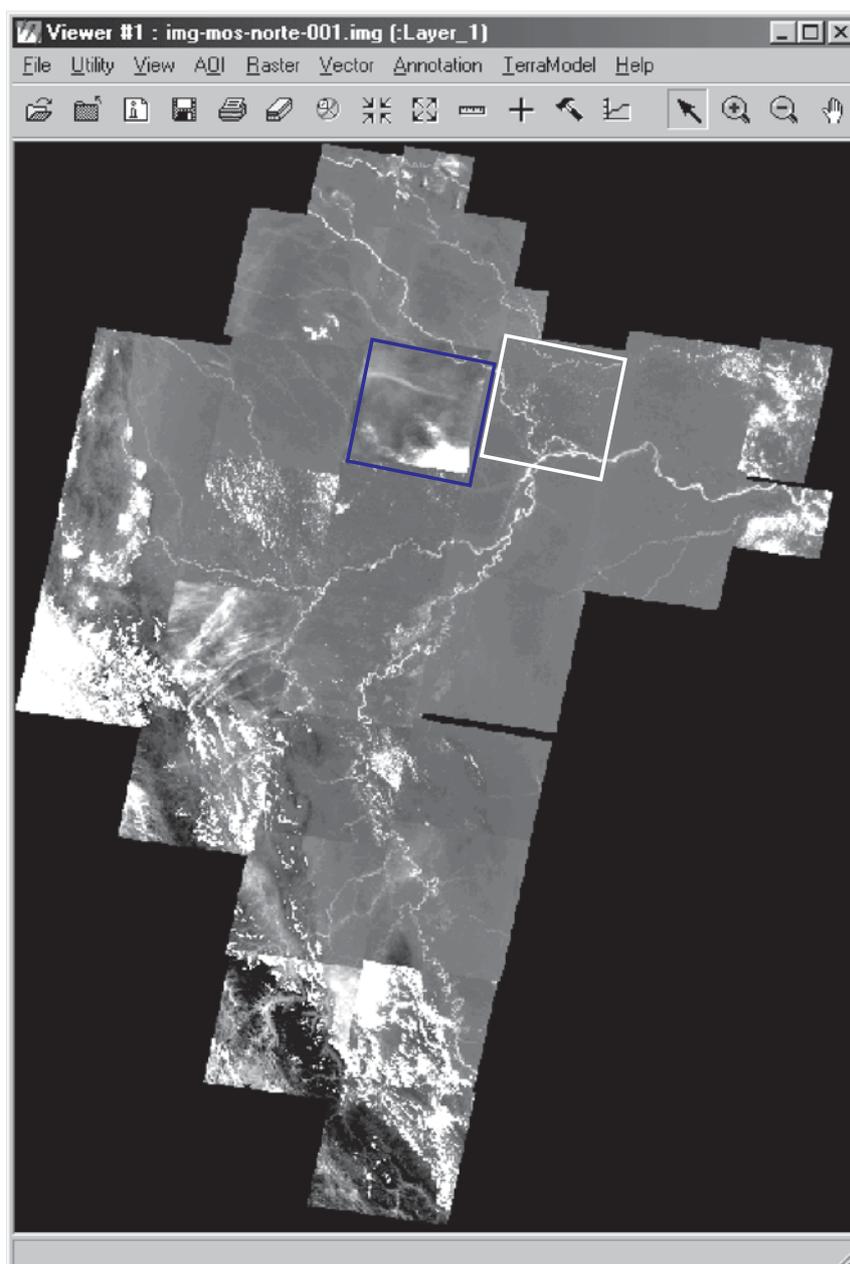
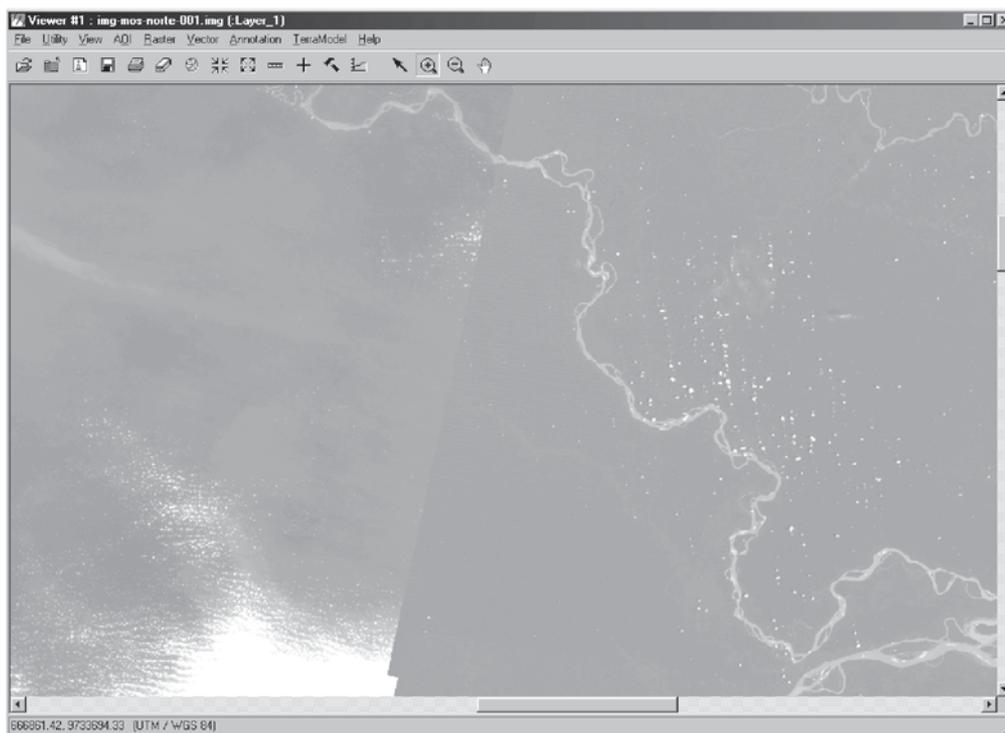


Figura 27. Ejemplo de localización de escenas contrastantes. Fuente: IIAP - BIODAMAZ

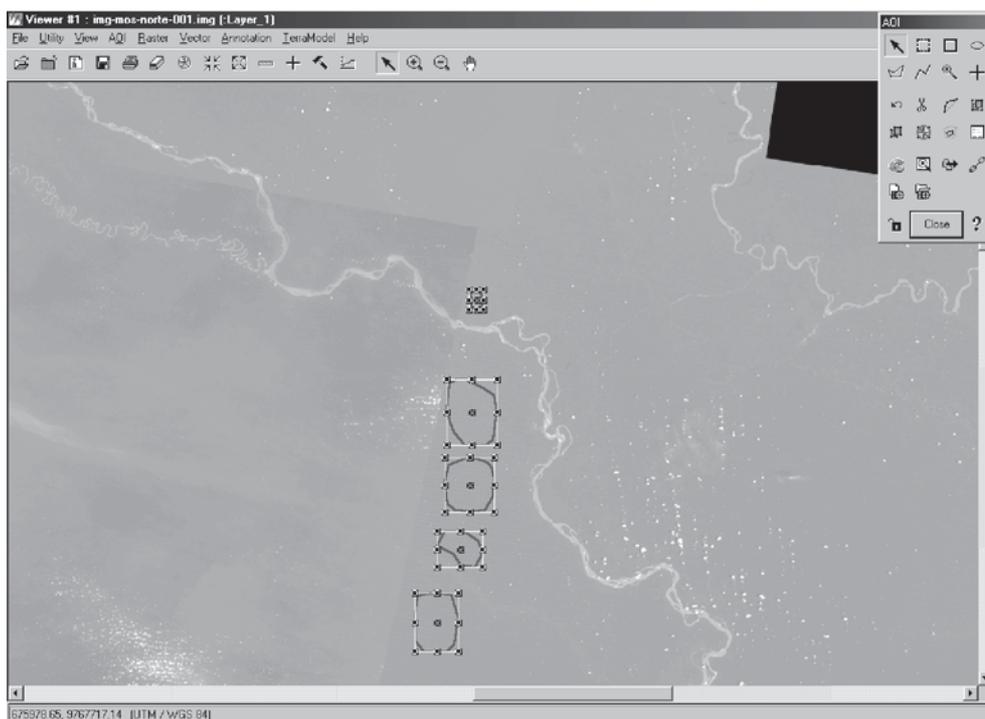
- g. Cierre la imagen sin salvar los cambios; esto se hace con la finalidad de desactivar los cambios por aplicación de las técnicas de mejoramiento del contraste. Luego vuelva a desplegarla, siempre en la modalidad de banda por banda, seleccione la banda 1 y amplíela a la máxima capacidad de la pantalla.

- h. De la barra de herramientas del **Viewer** active el instrumento de aproximación  y ejecute acercamientos sucesivos sobre el área contigua a las dos escenas, hasta lograr una visión adecuada de los elementos del paisaje. Amplíe la extensión de la ventana **Viewer** para lograr la máxima aproximación.

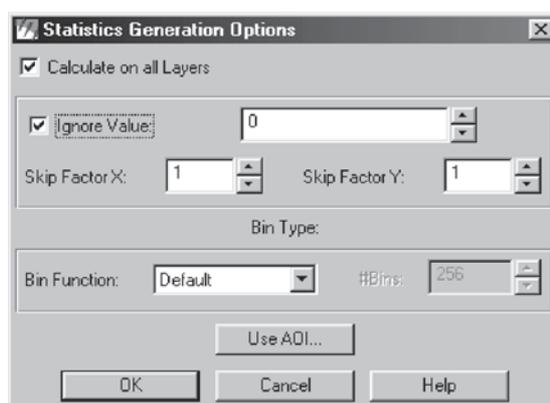


- i. A continuación, en la ventana **Viewer** active **AOI | Tools**.

- j. En la ventana de herramientas AOI, active el instrumento para crear áreas de interés poligonales . Delimite áreas en la escena **pasivo**; ponga especial cuidado en no circundar áreas con ríos, nubes u otros elementos no deseados.

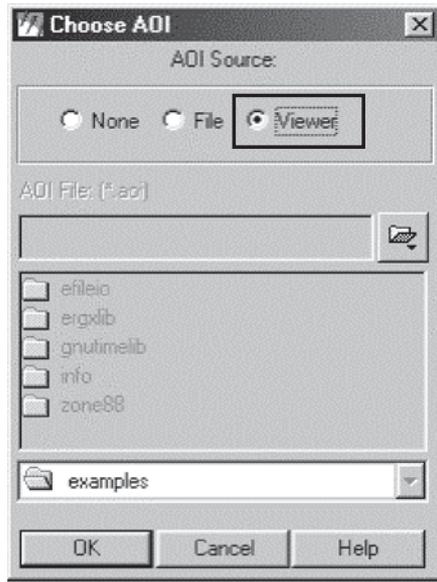


- k. Proceda a calcular los valores estadísticos de los píxeles en las áreas de interés (**AOIs**) de la escena. De la ventana del **Viewer**, active **Utility | Layer Info**.
- l. En la ventana **ImageInfo**, active **Edit | Compute Statistics...**
- m. En la ventana **Statistics Generation Options**,

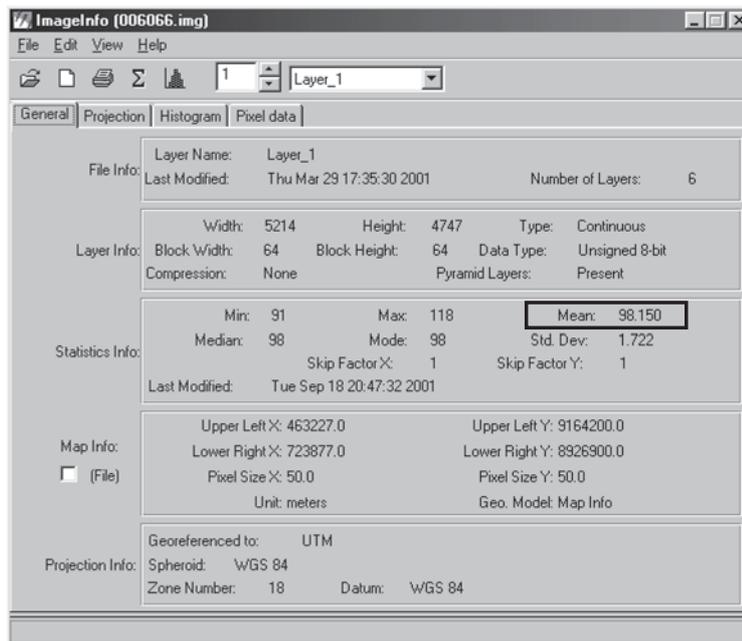


asegúrese:

- Calculate on All Layers;** que esta caja de control se encuentre activada (•).
 - Ignore Value;** de activar (•) esta caja de control, y que la ventana al lado derecho registre el valor **0**; en caso contrario digítelo o selecciónelo.
 - Skip Factor X;** que la ventana al lado derecho exhiba el valor 1; en caso contrario digítelo o selecciónelo.
 - Skip Factor Y;** que la ventana al lado derecho exhiba el valor 1; en caso contrario digítelo o selecciónelo.
- n. Cliquee sobre el botón **Use AOI** para activar la ventana de diálogo **Chose AOI**, luego active el botón **Viewer**, y finalmente cliquee sobre el botón **OK**.



- o. En la ventana **Statistics Generation Options** cliquee sobre el botón **OK** para iniciar, en la ventana **ImageInfo**, el cálculo de las estadísticas, lo cual tomará algunos segundos.

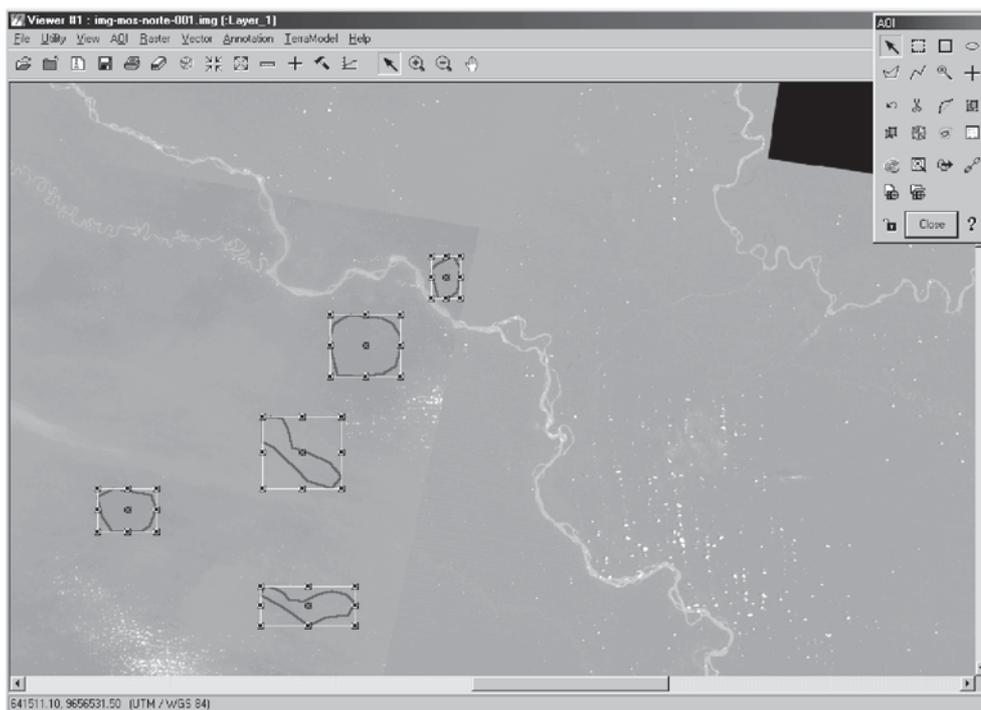


Registre el valor medio (**Mean**), con redondeo a la unidad, de cada banda. Se sugiere el uso del formato siguiente:

Bandas	Imagen Pasivo 2	Imagen Candidato 38
1	93.00	
2	106.00	
3	95.00	
4	127.00	
5	92.00	
6	137.00	

Note que se utilizó el identificador de la escena (2) y no el path/row de la misma como medio de referencia; tal dato es obtenido de la banda info.

- p. Ahora utilice la herramienta  para borrar los AOI de la escena **pasivo**; es recomendable guardar los AOI. Seguidamente, con la herramienta correspondiente, delimite áreas sobre superficies similares a las áreas trazadas en la escena **pasivo** sobre la escena **candidato**; ponga especial cuidado en no circundar áreas con ríos, nubes u otros elementos no deseados.



- q. Retorne al punto k. para proceder con el cálculo de los valores estadísticos de los píxeles en las áreas de interés (AOI) de la escena **candidato**.
- r. Registre los valores medios en el formato usado para tal fin.

Bandas	Imagen Pasivo 2	Imagen Candidato 38
1	93.00	92.00
2	106.00	104.00
3	95.00	94.00
4	127.00	125.00
5	92.00	91.00
6	137.00	138.00

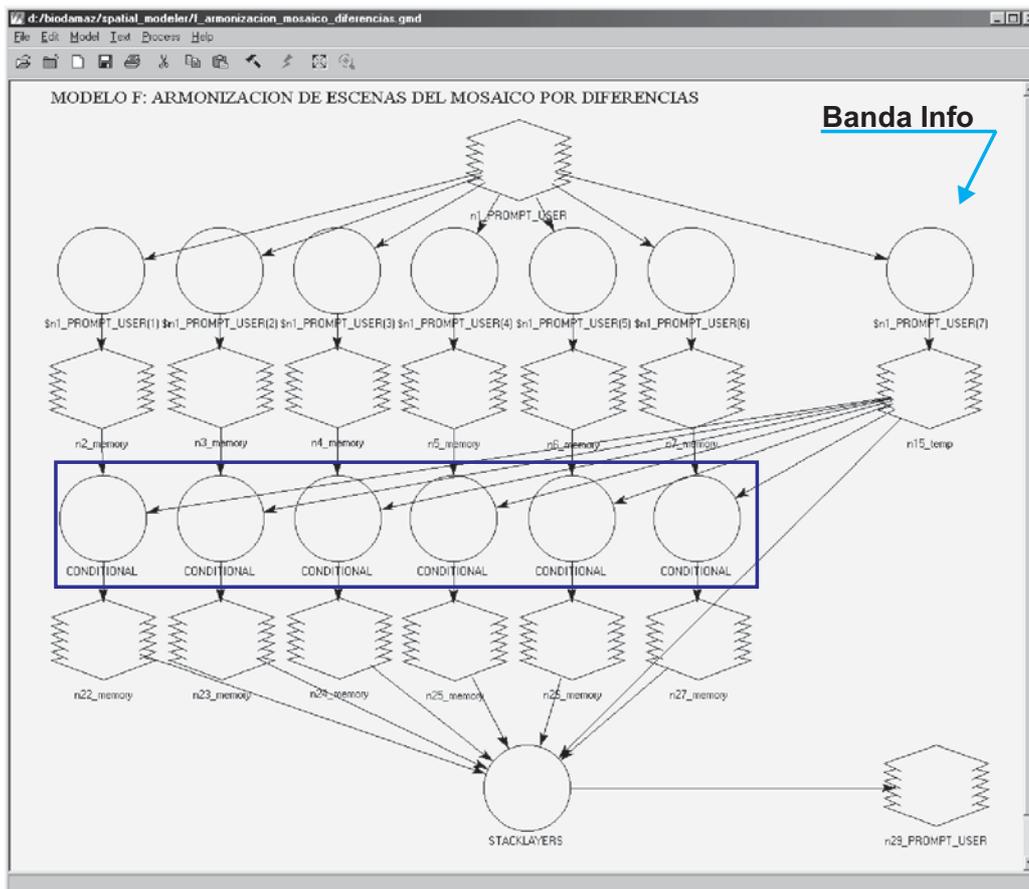
- s. Para calcular los coeficientes utilizamos la tabla, elaborada en Excel, **diferencias para armonización de imágenes** (Difer_para_armo_imgs.xls), a la cual se incorporan los valores medios de las imágenes pasivo y candidato.

**Formula para armonizar dos imágenes
nivelando los NDs por diferencias**

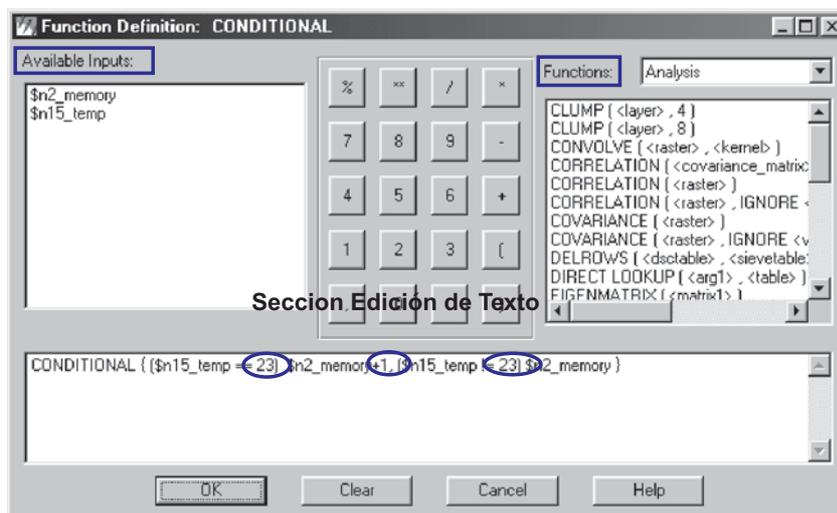
Valores de DN computadas en AOI no compartidas
candidato = imagen para modificar
pasivo = imagen de destino
diferencia = prom. img. pasivo - prom. img. candidato

bandas	pasivo	candidato	diferencia
1	93.000	92.000	1.00
2	106.000	104.000	2.00
3	95.000	94.000	1.00
4	127.000	125.000	2.00
5	92.000	91.000	1.00
6	137.000	138.000	-1.00

- t. Tome nota de los valores resultantes por cada banda, con los cuales se procederá a ejecutar el proceso de armonización. Observe tales valores: los positivos indican que los ND de tal banda serán incrementados en la cantidad mostrada, mientras que los negativos revelan que los ND de tal banda serán reducidos en la cantidad exhibida. Se recomienda guardar los AOI utilizados. Cierre todas las ventanas excepto la barra **ERDAS IMAGINE 8.4**, de donde activará el botón **Modeler**.
- u. En la ventana **Spatial Modeler**, active la opción **Model Maker**.
- v. En la ventana **New_Model** active **File | Open**.
- w. En la ventana de diálogo **Load Model** seleccione el modelo a ejecutar. Para el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se utilizó el modelo **f_armonización_mosaico_diferencias.gmd**". Este modelo descompone la imagen en sus siete bandas, recalcula los valores de los píxeles de la escena candidato, la cual es identificada por el modelo a través del código registrado en la banda info, y finalmente reagrupa las bandas.
- x. El modelo será desplegado sobre la ventana **New_Model**.



- y. Cliquee dos veces sobre el objeto de definición de función  **CONDITIONAL**, que corresponde a cada banda, uno por vez. En la ventana **Function Definition** en la **sección edición de texto** proceda a substituir el código identificador de la escena  obtenido de la banda info. Luego substituya el valor de la diferencia por defecto  con el nuevo valor.
- z. Al concluir con las seis bandas, en la ventana **New_Model** active el menú **Process**, y luego elija la opción **Run** para ejecutar el modelo.



- aa. En la ventana **Select Existing File for Raster: n1_PROMPT_USER**, navegue a la carpeta que aloja el mosaico que contiene las escenas que deben ser armonizadas (p. ej. **Grad_Armoniza_Dife/mosaico10.img**), selecciónela y cliquee sobre el botón **OK**.



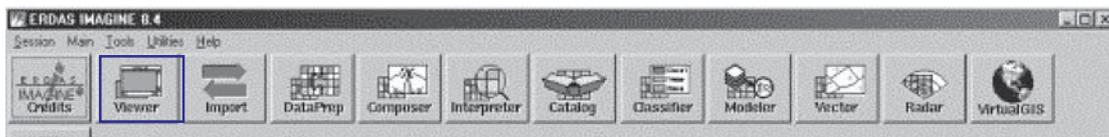
- bb. En la ventana **Enter New File for Raster: n2_PROMPT_USER**, navegue a la carpeta donde guardará la imagen resultante armonizada (p. ej. **Grad_Armoniza_Dife/**), escriba el nombre de la imagen en la ventana **File name:** (p. ej. **resultado001.img**), y luego cliquee sobre el botón **OK**.
- cc. El proceso toma algunos minutos o algunas horas, dependiendo del tamaño del mosaico y del equipo en uso. Al finalizar, despliegue la nueva imagen (p. ej. **resultado001**). Compruebe los resultados obtenidos con una combinación de bandas adecuada a sus necesidades. Retorne al acápite **e.**, y sobre esta nueva imagen verifique la luminosidad de otras escenas. Ejecute el proceso de armonización por diferencias tantas veces como considere necesario. **No olvide guardar las imágenes resultantes en un file nuevo cada vez y documentar adecuadamente el proceso, de modo que sea posible tener un historial de esta fase.**
- dd. Una vez lograda una correspondencia aceptable entre las escenas componentes del mosaico se da por finalizada esta fase.

7. VENTANAS DE CORTE

Cuando el volumen de información es grande es importante definir estrategias que permitan manipular el producto final con facilidad y rapidez. Para el caso específico del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, en el cual se procesaron 42 escenas Landsat TM, fue necesaria la generación de ventanas de corte con el objeto de facilitar el manejo y optimizar la generación de productos secundarios.

7.1. GENERACIÓN DE VENTANAS

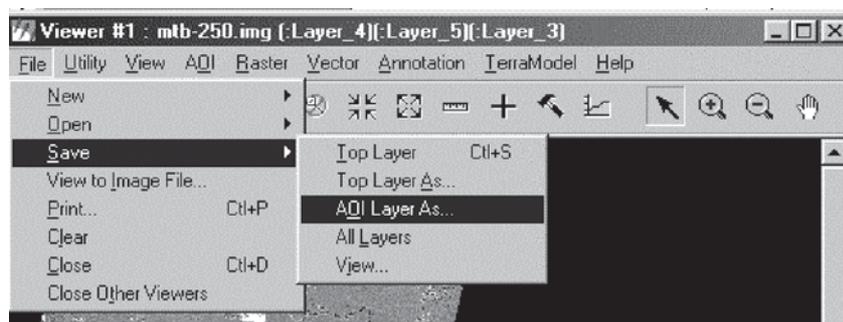
- a. De la barra **ERDAS IMAGINE 8.4** active el botón **Viewer**.



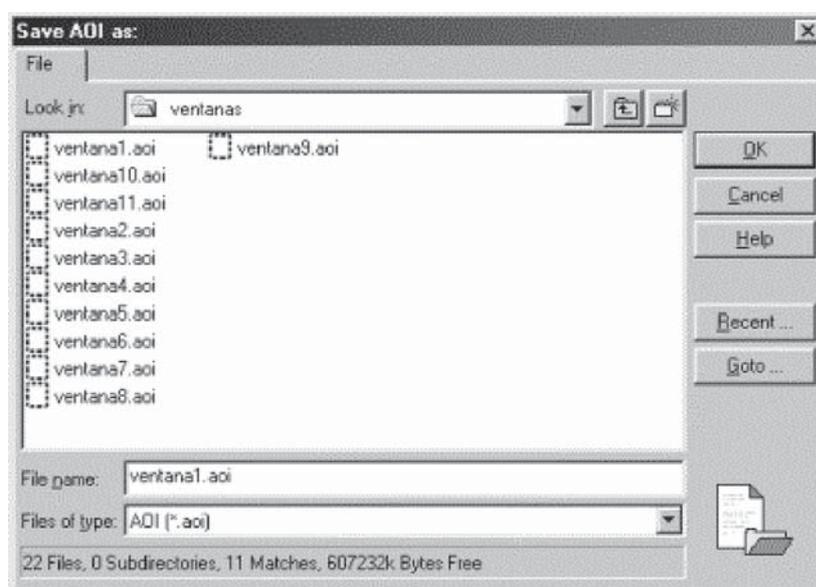
- b. En la ventana **Viewer** active **File | Open | Raster Layer** para desplegar el mosaico sobre el cual se generarán las ventanas.
- c. En la ventana **Viewer** active **AOI | Tools**.
- d. En la caja de herramientas **AOI** active el instrumento  para crear un AOI rectangular.



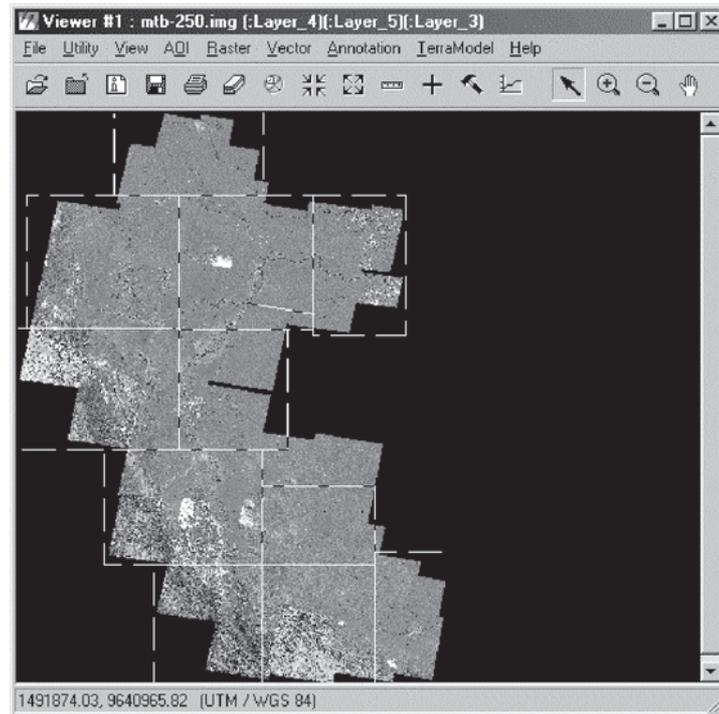
- e. Sobre la imagen arrastre el puntero diagonalmente desde la esquina superior izquierda del área considerada hasta la esquina inferior derecha de la misma. Para dibujar un cuadrado perfecto mantenga presionada la tecla **shift** mientras arrastra el puntero. Si desea redelimitar el área de interés utilice la herramienta  para borrar el AOI no deseado y luego proceda a redefinir la nueva área.
- f. Después de digitalizar cada ventana guárdela activando el menú **File** del **Viewer**, luego elija la opción **Save**, y después la alternativa **AOI Layers As**.



- g. En la ventana de diálogo **Save AOI as:**, rellene los campos de acuerdo a las instrucciones siguientes:

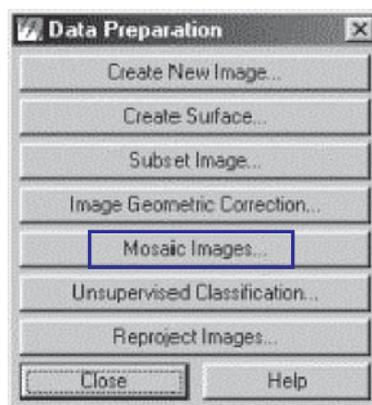


- ✓ Con **Look in**: navegue a la carpeta donde guardará el AOI.
 - ✓ En la ventana de texto **File name**: escriba un nombre para el AOI. En este caso particular se los nombra con ventana1, ventana2, ...,ventana11.
 - ✓ La ventana **Files Type**: por defecto mostrará la extensión *.aoi; tal extensión es típica de las coberturas AOI.
 - ✓ Finalmente cliquee sobre el botón **OK**.
- h. Repita el procedimiento para todas las ventanas que desee hasta cubrir el mosaico. Observe cuidadosamente los empalmes entre ventanas a fin de garantizar la exactitud de los acoplamientos. En el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se generaron 11 ventanas.

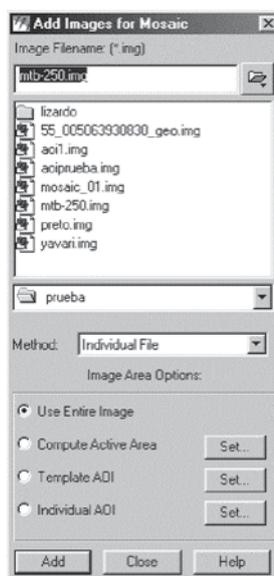


7.2. CORTES UTILIZANDO LAS VENTANAS AOI

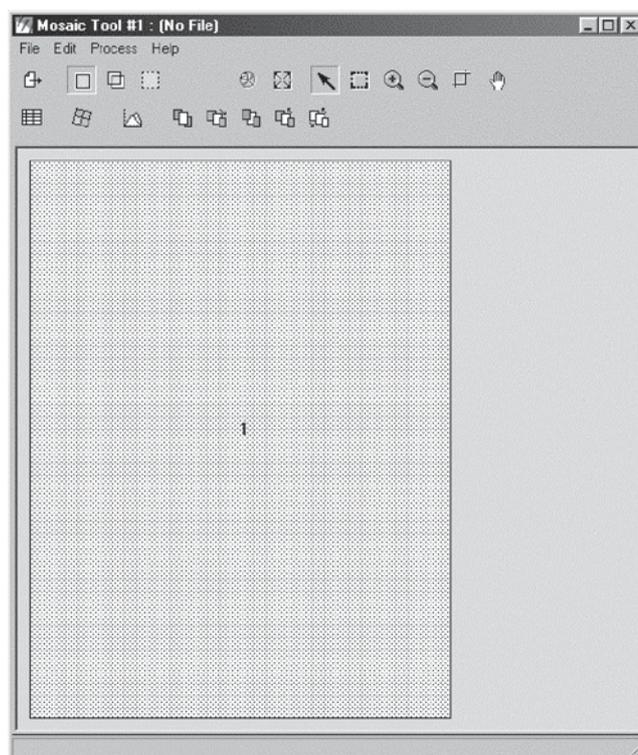
- a. En la barra **ERDAS IMAGINE 8.4** active el botón **DataPrep**. En la ventana **Data Preparation** elija la opción **Mosaic Images**.



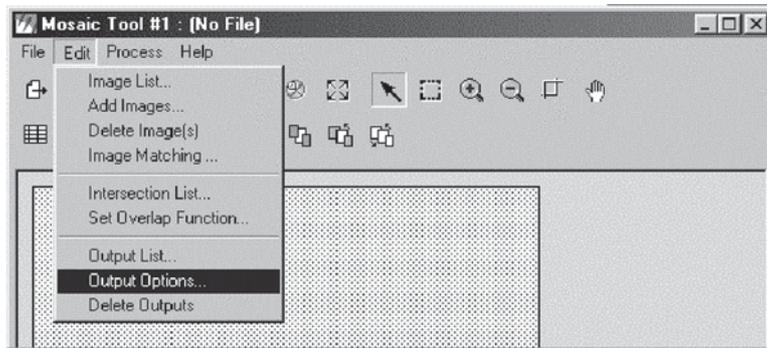
- b. En la ventana **Mosaic Tool**, active la herramienta  (obtendrá el mismo resultado al activar **Edit | Add Images ...** de la barra de menús). En la ventana de diálogo **Add Images for Mosaic** navegue hasta la carpeta donde se encuentra el mosaico correspondiente y selecciónelo. Luego active el botón **Use Entire Image**.



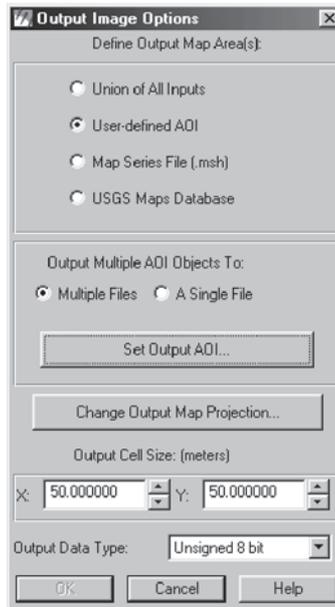
- c. Cliquee sobre el botón **Add** para exhibir, sobre la ventana **Mosaic Tool**, la ubicación espacial aproximada del mosaico. Finalmente, cliquee sobre el botón **Close** para cerrar la ventana de diálogo **Add Images for Mosaic**.



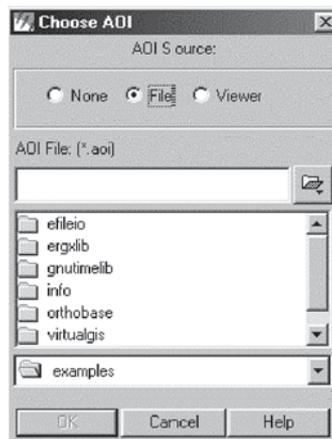
d. En la ventana **Mosaic Tool** active **Edit | Output Options**.



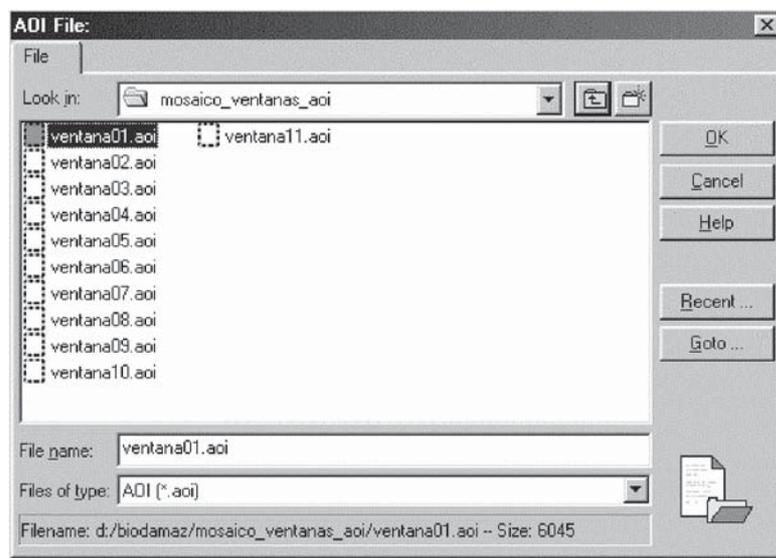
e. En la ventana de diálogo **Output Image Options**, active el botón **User-defined AOI**; de inmediato se activará la sección **Output Multiple AOI Objects To:**, cliquee sobre el botón **Set Output AOI...**



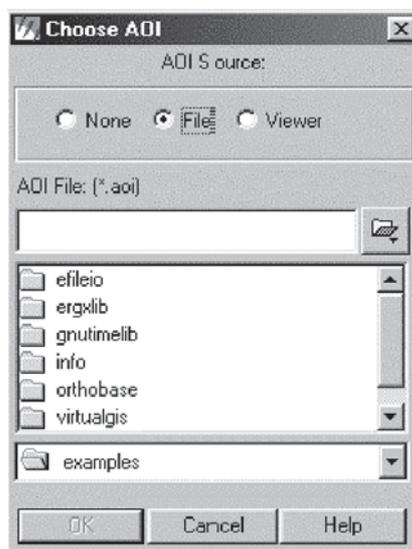
f. En la ventana de diálogo **Choose AOI**, active el botón **File**



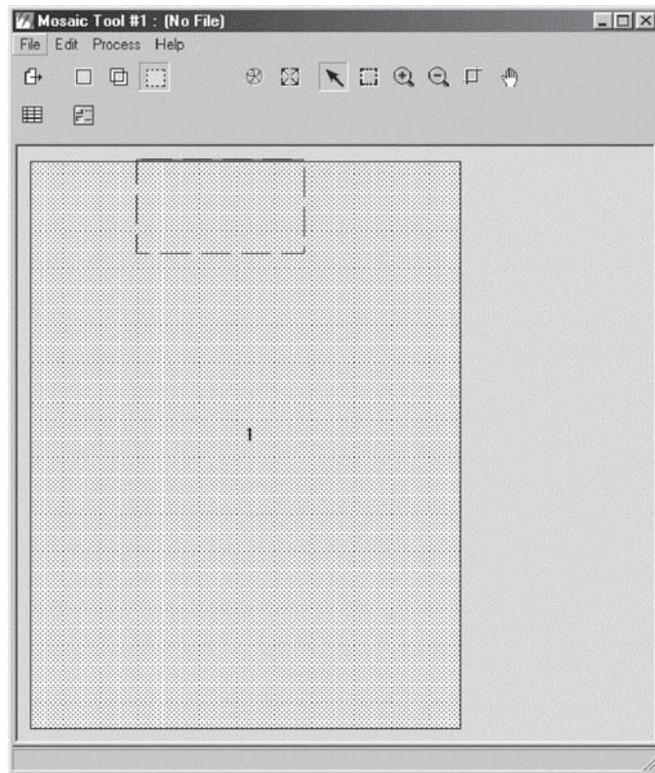
- g. Utilice la herramienta  para acceder a la ventana de diálogo **AOI File**, y navegue hasta la carpeta donde guarda las ventanas. Resalte la ventana elegida o escriba el nombre en la ventana de edición de texto **File name:** y finalmente cliquee sobre el botón **OK**.



- h. Sobre la ventana **Choose AOI**; si desea cambiar la elección resalte la nueva ventana elegida para seleccionarla; cliquee sobre el botón **OK**.

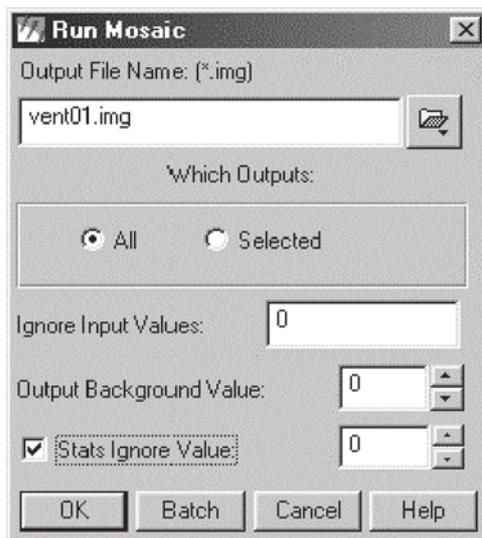


- i. En la ventana **Mosaic Tool**, cliquee sobre la herramienta  para activar el modo de visualización para imágenes de salida, que le mostrará la posición que ocupa la ventana seleccionada sobre la imagen.



- j. En la ventana **Mosaic Tool** active **Process | Run Mosaic**. Escriba el nombre de la imagen de salida en la

ventana **Output File Name**; o con la herramienta  navegue hasta la carpeta donde guardará la imagen de salida, escriba el nombre correspondiente en **File Name**: o resáltelo en el listado y finalmente cliquee sobre el botón **OK**. En la ventana **Run Mosaic** active (•) la caja de control **Stats Ignore Value** y coloque el valor 0 en la caja a continuación.



- k. El mismo procedimiento es válido para todas las ventanas que fueran generadas.



DISCUSIÓN

El procesamiento digital de imágenes de satélite agrupa un conjunto de técnicas que permiten mejorar las imágenes facilitando la interpretación y, obviamente, obtener los diversos tipos de información incluidos en cada una de ellas. Para lograr el mosaico de imágenes de la selva baja de la Amazonía Peruana se aplicaron diversas técnicas. Se inició el proceso con la aplicación de operaciones de carácter general, tales como el de análisis de la calidad de la imagen en función de la cobertura de nubes y presencia de líneas o píxeles perdidos y su respectiva corrección, así como otras rutinas usuales de acondicionamiento. Posteriormente, se ejecutaron procedimientos para mejorar la calidad de cada una de las imágenes incluidas en el proyecto, así como del mosaico resultante, que estuvieron básicamente relacionados con técnicas de corrección radiométrica.

La clasificación de las imágenes por la calidad en cuanto a la visibilidad de los elementos del paisaje es muy importante, puesto que permitirá al analista excluir escenas que no ofrecen facilidades para la obtención de información y le proporcionará una visión general de los procesos y técnicas que debe aplicar para conseguir sus propósitos. En el caso del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, se descartaron algunas escenas para ser reemplazadas por otras. Asimismo, se detectaron imágenes con márgenes no válidos y otras con líneas perdidas. Los márgenes fueron definidos como no válidos por presentar niveles digitales (ND) altos (255 = color blanco), que fueron eliminados con la herramienta de corte de áreas de interés (AOI), proporcionada por el *software*, obteniéndose finalmente una imagen con ND = 0 en los márgenes.

Por otro lado, al restaurar las líneas perdidas se observó que, para el caso de un conjunto de líneas perdidas mayores a tres, la sustitución de los ND de tales líneas a partir de las precedentes no produce resultados satisfactorios, pues se generaron amplias superficies con ND uniformes. Tal resultado es de esperar, puesto que la literatura sobre el fenómeno de la autocorrelación espacial, en el que se fundamenta el proceso de sustitución, si bien precisa que muchas variables tienden a presentar una fuerte asociación espacial, también señala que cuanto mayor es la distancia entre ellas tal asociación es más reducida. Visualmente, tales superficies no son significativas a pequeña escala, mientras que son muy notorias a gran escala. Asimismo, es de presumir que al aplicarse procesos de clasificación multiespectral los resultados estarán fuertemente influenciados por estas áreas, debido a que estos procedimientos se apoyan en patrones de reflectancia para caracterizar las coberturas incluidas en la imagen.

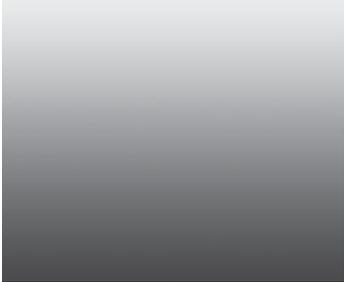
Con el objeto de georreferenciar las imágenes durante el proceso de elaboración del mosaico de imágenes de la selva baja de la Amazonía Peruana, se siguieron las recomendaciones de la literatura para seleccionar las fuentes de donde pudieran obtenerse los puntos de control, así como para determinar la distribución y número mínimo y máximo de éstos. Para la ubicación de tales puntos y debido a las particularidades de la selva baja, se utilizó la red hídrica, aprovechando la confluencia de quebradas, quebradas / ríos, y ríos, con lo que se obtuvo resultados muy buenos.

Las imágenes exhiben un cambio gradual de los ND, a menudo en la dirección este-oeste, que es conocida como gradiente interna. Esta gradiente se debe al efecto dis-

persor de la radiación electromagnética de los componentes de la atmósfera (aerosoles, vapor de agua, gases y otros). Obviamente, también las diferentes condiciones de iluminación en el dosel del bosque en las diferentes partes de la imagen contribuyen a este patrón. Este fenómeno es particularmente problemático en la elaboración de mosaicos de diversas imágenes, por la gran variación que presenta entre éstas. Lograr una corrección exacta del efecto atmosférico requiere un modelo que considere mediciones de todas las variables físicas causantes del fenómeno. En el caso particular del proyecto BIODAMAZ, Perú-Finlandia, para eliminar este fenómeno se utilizó la técnica de interpolación, proporcionada por el *software*, que es una técnica “cosmética” por cuanto no considera el conocimiento profundo de los componentes físicos que ocasionan tal perturbación. Para facilitar esta tarea fueron diseñados diversos modelos que permitieron alcanzar resultados satisfactorios.

A continuación se ejecutaron técnicas de armonización de histogramas con el objeto de eliminar los notorios desajustes exhibidos entre imágenes. Posteriormente se elaboró el mosaico de imágenes, sobre el cual fueron ejecutados algunos procedimientos de corrección radiométrica para mejorar su calidad. Con estos procedimientos se lograron buenos resultados en términos visuales, puesto que al realizar una clasificación supervisada se lograron resultados no deseados. Atribuimos este efecto a la diferencia radiométrica de los patrones de reflectancia para imágenes adquiridas en distintas fechas.

Los procedimientos descritos en este documento pueden ser replicados fácilmente. Sin embargo, será necesario seguir ensayando metodologías que permitan optimizar la corrección de la gradiente interna, y mejorar el proceso de armonización entre imágenes y dentro del mosaico. La razón es que aún es posible la presencia de diversas anomalías, cuyos efectos son evidentes cuando se aplican técnicas para mejorar la calidad de la imagen, tales como ajustes fuertes del contraste y clasificaciones multiespectrales.



GLOSARIO

AOI – Área de interés, un punto, una línea o polígono seleccionado como una muestra de entrenamiento o como el área de una imagen que será usada en una operación espacial.

Banda – Grupo de datos que representan valores de intensidad de la luz reflejada o del calor emitido en una zona o fracción específica del espectro electromagnético (rojo, verde, azul, infrarrojo cercano e infrarrojo térmico, entre otros). También se conoce como “canal”.

Bit – Dígito binario que puede tener uno de dos valores posibles, 0 y 1, o apagado y encendido. Un grupo de bits puede expresar diversos valores dependiendo del número de bits usados. El número de valores que pueden ser representados por un grupo de bits puede ser conocido al elevar 2 a la potencia denotada por el número de bits. Por ejemplo, los valores que pueden ser expresados por 4 bits son 16 (2^4), por 8 bits son 256 (2^8).

Byte – Grupo de ocho bits. Los más usuales son los de 8 bytes, 16 bytes, y 32 bytes.

Clusters – agrupamiento natural de píxeles cuando son trazados en el espacio espectral.

Datum – Es un conjunto de parámetros que definen un sistema de coordenadas y un conjunto de puntos de control, cuyas relaciones geométricas son conocidas, sea a través de mediciones o cálculos. Todos los datums están basados en un esferoide que representa a la forma de la tierra.

Firma espectral – También conocida como curva de reflectancia espectral, es un modelo generalizado de las características de absorción y reflexión de las diversas longitudes de onda de la energía electromagnética, exhibida por diversos materiales.

Georreferenciación – Proceso por el cual se sitúan elementos espaciales sobre un sistema de coordenadas.

Imagen multiespectral – Imagen de satélite que registra datos en dos o más bandas.

Imagen pancromática – Imagen de satélite con una banda simple o monocroma (blanco y negro).

Imagen tipo Float (Floating Type) – Imagen en formato de punto flotante.

Mosaico – Conjunto de imágenes ensambladas en forma contigua.

Multitemporal – Conjunto de datos de dos o más fechas diferentes.

Número digital (Digital Number - DN) – Valor registrado en un píxel, generalmente entre 0 y 255, que expresa la intensidad promedio de la radiación electromagnética de los elementos observados por el sensor.

Percepción remota – Ver: Sensoramiento remoto.

Píxel – Abreviación de *picture element*, se refiere a la unidad fundamental del registro de datos, y está representada como una celda rectangular en un arreglo matricial bidimensional.

Procesamiento de imágenes – Conjunto de procedimientos para manipular las imágenes digitales a través de la ejecución de diversas técnicas de mejoramiento, operaciones de rectificación y rutinas de clasificación, facilitando su exhibición, análisis e interpretación.

Punto de control terrestre (Ground Control Point – GCP) – Coordenadas conocidas de un elemento espacial destacable, que se usan para georreferenciar una imagen a través de tales elementos.

Radiometría – Medida de la intensidad de una radiación.

Raster, datos – Modelo que representa los datos espaciales como una matriz de filas y columnas, y donde la posición de un elemento está dada por el par ordenado, fila y columna.

Resolución – Nivel de precisión de los datos.

RMS, error (Root Mean Square error – Error Medio de la Raíz Cuadrática) – Es la distancia entre la ubicación fuente de un GCP y la ubicación retransformada del mismo. Es calculada con una ecuación de distancia.

RMSE (Root Mean Square Error – Error Medio de la Raíz Cuadrática) – Cuantifica el ajuste de una solución calculada a los datos originales. Permite calcular la variación entre la observación actual y el valor calculado para un fenómeno determinado. Cada variación es elevada al cuadrado; luego la suma de estos cuadrados es dividida por el número de observaciones. Finalmente, la raíz cuadrada del valor resultante se toma como el valor RMSE.

Sensoramiento remoto – Medición y obtención de datos sobre el medio ambiente y la superficie de la Tierra desde lo lejos, por ejemplo, desde aviones, satélites y el transbordador espacial, entre otros.

Sensor – Dispositivo que mide energía, la convierte en un valor digital y la presenta de tal forma que facilita la obtención de información.

Sensores activos – Sensores que emiten y miden su propia radiación. El radar emite su propia energía en forma de microondas, las que al ser reflejadas por los elementos del paisaje son medidas y registradas por el dispositivo.

Sensores pasivos – Sensores que miden la radiación disponible naturalmente. Miden y registran la radiación solar reflejada o emitida por los componentes del medio ambiente.

Sistema de coordenadas – Sistema que permite expresar la ubicación de un punto dentro de un área a través de un marco de referencia. Por ejemplo, en un sistema de coordenadas bidimensional enmarcado en el sistema cartesiano, las ubicaciones serán expresadas por pares ordenadas x e y .

Sistema de proyección – Sistema que facilita la representación del mundo real, que es tridimensional, sobre una superficie plana que es bidimensional.

Stretching – Técnica de mejoramiento de imágenes que permite mejorar el contraste entre píxeles, generando nuevos valores a intervalos regulares.

Teledetección – Ver: Sensoramiento remoto.



BIBLIOGRAFÍA GENERAL

ERDAS, Inc. 1999a. ERDAS Field Guide. 5a. Edición. Atlanta, USA. pp. 672.

ERDAS, Inc. 1999b. ERDAS IMAGINE Tour Guides. ERDAS IMAGINE V8.4. 5a. Edición. Atlanta, USA. pp. 672.

NUS. 2002. Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing (CRISP), National University of Singapore (NUS). Spot Asia Pte. Ltda. Principles of Remote Sensing. <http://sci-ctr.edu.sg/ssc/publication/remotesense/rms1.htm>. *Traducido por José Sanjurjo del sitio web.*

TRFIC. 2002. Tropical Rain Forest Information Center – TRFIC; Michigan State University, <http://www.bsrsi.msu.edu/trfic/index.html>.

United States Geological Survey (USGS). Worldwide Reference System. Earth Resources Observation Systems (EROS) Data Center. <http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/wrs.html>. *Traducido por José Sanjurjo del sitio web.*



*Instituto de Investigaciones
de la Amazonía Peruana*

BIODAMAZ
Perú – Finlandia

EQUIPO TÉCNICO DEL PROYECTO

DIRECCIÓN DEL PROYECTO:

Hernán Tello Fernández
Sanna-Kaisa Juvonen
Jukka Salo

Director Nacional
Coordinadora del Proyecto
Coordinador Científico (Universidad de Turku, Finlandia)

COMPONENTE 1: Estrategia, Planes de Acción y Sistema de Información

Luis Campos Baca
Antonietta Gutiérrez-Rosati
Yolanda Guzmán Guzmán
Víctor Hugo Montreuil Frías
Luis Gutiérrez Morales
Hernán Tello Fernández
Víctor Miyakawa Solís
Lissie Wahl
Carlos Linares Bensimon
Ada Ruth Castillo Ordinola
José Maco García
Pedro Gratelly Silva
José Luis Mena Álvarez
Jean Mattos Reaño
Rosana Gonzales Arzubialdes
Jimmy Vargas Moreno
Martín Cárdenas Vásquez

Jukka Salo
Risto Kalliola
Tuuli Toivonen
Sanna-Kaisa Juvonen

COMPONENTE 2: Análisis Regional de la Diversidad Biológica

Fernando Rodríguez Achung
Pekka Soini
Salvador Tello Martín
José Álvarez Alonso
José Luis Hurtado
Hernán Tello Fernández
Luis Cuadros Chávez
León Bendayán Acosta
José Sanjurjo Vílchez
Lizardo Fachín Malaverri
Darwin Gómez Ventocilla
Filomeno Encarnación Cajañaupa
Juan José Rodríguez Gamarra
Edwin Salazar Zapata
Alicia De la Cruz Abarca
Glenda Cárdenas Ramírez
Nelly Llerena Martínez
Carlos Rivera Gonzáles
Víctor Hugo Vargas Paredes
Sandra Ríos Torres
Illich Arista Tuanama

Risto Kalliola
Kalle Ruokolainen
Tuuli Toivonen
Sanna-Kaisa Juvonen
Jukka Salo

COMPONENTE 3: Conservación *In Situ* y *Ex Situ*

Kember Mejía Carhuanca
Roberto Pezo Díaz
Heiter Valderrama Freyre
Ada Ruth Castillo Ordinola
José Maco García
Pedro Gratelly Silva
Nélida Barbagelata Ramírez
Hernán Tello Fernández
Illich Arista Tuanama
Roosevelt García Villacorta
Marcos Oversluijs Vásquez
Julio Villacorta Ramírez
Nélida Valencia Coral
Alicia Julián Benites
Rosana González Arzubialdes
Jimmy Vargas Moreno
Martín Cárdenas Vásquez
Francisco Reátegui Reátegui
Rodolfo Vásquez Martínez

Jukka Salo
Risto Kalliola
Kalle Ruokolainen
Ilari Sääksjärvi
Mari Walls
Matti Räsänen
Tania de la Rosa
Matti Salo
Markku Kanninen
Ari Linna
Tuuli Toivonen
Sanna-Kaisa Juvonen

APOYO A LA GESTIÓN DEL PROYECTO

Diana Tang Tuesta
Miguel Pinedo Arévalo
Jessica Díaz Alvarado
Víctor Chung Bartra
Edwin Arrarte Flores
Carlos Enrique Suárez
Angel Pinedo Flor
Valentín García Ríos

Por:

José Sanjurjo Vílchez y Risto Kalliola

En colaboración con:

León Bendayán Acosta, Darwin Gómez Ventocilla, Lizardo Fachín Malaverri,
Fernando Rodríguez Achung y Tuuli Toivonen

Edición:

Sanna-Kaisa Juvonen (responsable), José Álvarez Alonso, Atilio Vasquez,
Hernán Tello y Jukka Salo

Corrección de pruebas:

Atilio Vasquez

Diagramación:

- Angel Pinedo Flor
- Dominus Publicidad