



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ

DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS
FACULTAD DE CIENCIAS



PROYECTO

CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS CUENCAS DE URABÁ Y SINÚ-SAN JACINTO A PARTIR DE LA INTERPRETACION DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS Y MONITOREO SISMICO

**COMPONENTE DE SENSORES REMOTOS
INFORME DE AVANCE No 1**

Director de Proyecto:

Orlando Hernández Pardo, PhD

Bogotá D.C., 6 de Noviembre de 2008

PROYECTO
CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL
DE LAS CUENCAS DE URABÁ Y SINÚ-SAN JACINTO A PARTIR
DE LA INTERPRETACION DE IMÁGENES DE SENSORES
REMOTOS Y MONITOREO SISMICO

COMPONENTE DE SENSORES REMOTOS
INFORME DE AVANCE No 1

Director de Proyecto:

Orlando Hernández Pardo, PhD

Bogotá D.C., 6 de Noviembre de 2008

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Zona de estudio	2
1.2 Actividades realizadas	2
1.3 Marco teórico:	3
1.3.1 Proceso de registro de información satelital.....	4
1.3.2 Interacción de la energía con la superficie	6
1.3.3 El espectro electromagnético	6
1.3.4 Estructura de la imagen digital	7
1.3.5 Elementos de una imagen digital	7
1.3.6 Resolución espectral	8
1.3.7 Resolución Espacial	8
1.3.8 Resolución Radiométrica	10
1.3.9 Resolución temporal.....	12
1.3.10 Visualización de imágenes.....	12
1.4 Características de algunas imágenes de satélite.....	14
1.4.1 Sistema Landsat	14
1.4.2 Sistema Spot.....	15
1.4.3 Sistema Aster.....	16
1.4.4 Imágenes de alta resolución espacial	18
1.4.5 Quickbird.....	19
2. ANALISIS Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES ÓPTICAS LANDSAT TM Y ETM.	20
3. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES ÓPTICAS LANDSAT	30
3.1 Importación y Compilación de bandas en un solo archivo multibanda	30
3.2 Georeferenciación	30
3.3 Correcciones radiométricas	31
3.4 Sinergismos	31
3.5 Mosaicos.....	31
4. ANALISIS Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES DE RADAR.....	35
4.1 Imagen Radarsat	35
4.2 Planchas de imágenes <i>INTERA</i> a escala 1:100.000.....	36
4.3 Planchas de imágenes <i>INTERA</i> a escala 1:50.000.....	45
4.4 Selección y programación de imágenes TerraSAR-X.....	48
4.5 Imágenes de Radar ALOS PALSAR, banda L.....	49
5. MODELO DIGITAL DE TERRENO	50
6. INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL PRELIMINAR	51
7. CONCLUSIONES.....	56
8. PERSPECTIVAS.....	56
BIBLIOGRAFIA	57
ANEXO 1.....	60

1. INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan los avances realizados en el componente de sensores remotos en la cartografía geológica y estructural del área de Urabá. En el se incluyen las actividades realizadas en la consulta y selección de imágenes de tipo óptico y radar, un marco teórico sobre los sensores remotos utilizados, los procesamientos digitales sobre las escenas disponibles a esta fase y los resultados de una primera interpretación estructural de la zona de estudio.

1.1 Zona de estudio

El área de estudio se ubica en la región colombiana del Golfo de Urabá (al Norte de los departamentos de Chocó y Antioquia), en los municipios de Acandí, Unguía, en el Departamento del Chocó, abarcando el flanco occidental de la Serranía del Darién hasta la línea de costa y los municipios de Chigorodó, Carepa, Apartadó, Turbo, San Pedro de Urabá y Necoclí, en el Departamento de Antioquia, al Este del Golfo de Urabá (**tabla 1** y **figura 1**).

Tabla 1. Coordenadas Este y Norte del área de estudio, con origen Bogotá

Vértice	Este (m)	Norte (m)
1	647508.42	1434452.71
2	647294.00	1406410.63
3	696364.88	1337962.41
4	756238.32	1382575.08
5	727809.10	1462010.24

1.2 Actividades realizadas

En el marco del objeto del estudio y los términos de referencia, se realizaron en esta primera fase las siguientes actividades:

- *Compilación, análisis y selección de imágenes ópticas Landsat TM; ETM*
- *Investigación de productos radar y selección de imágenes: Intera, TerraSar_X y Alos banda L*
- *Extracción y procesamiento del Modelo Digital de Terreno*
- *Procesamiento digital de imágenes de satélite.* Utilizando el programa ERDAS IMAGINE se realizó el procesamiento digital de las imágenes de satélite disponibles para el estudio.
- Reconocimiento e interpretación de formas geológicas. Se identificarán e interpretarán formas geológicas de interés como estructuras circulares asociadas a domos, cuellos volcánicos, volcanes de lodo, pliegues, fallas, etc., de interés para el estudio.
- Interpretación estructural del costado oriental del área con imágenes radar INTERA

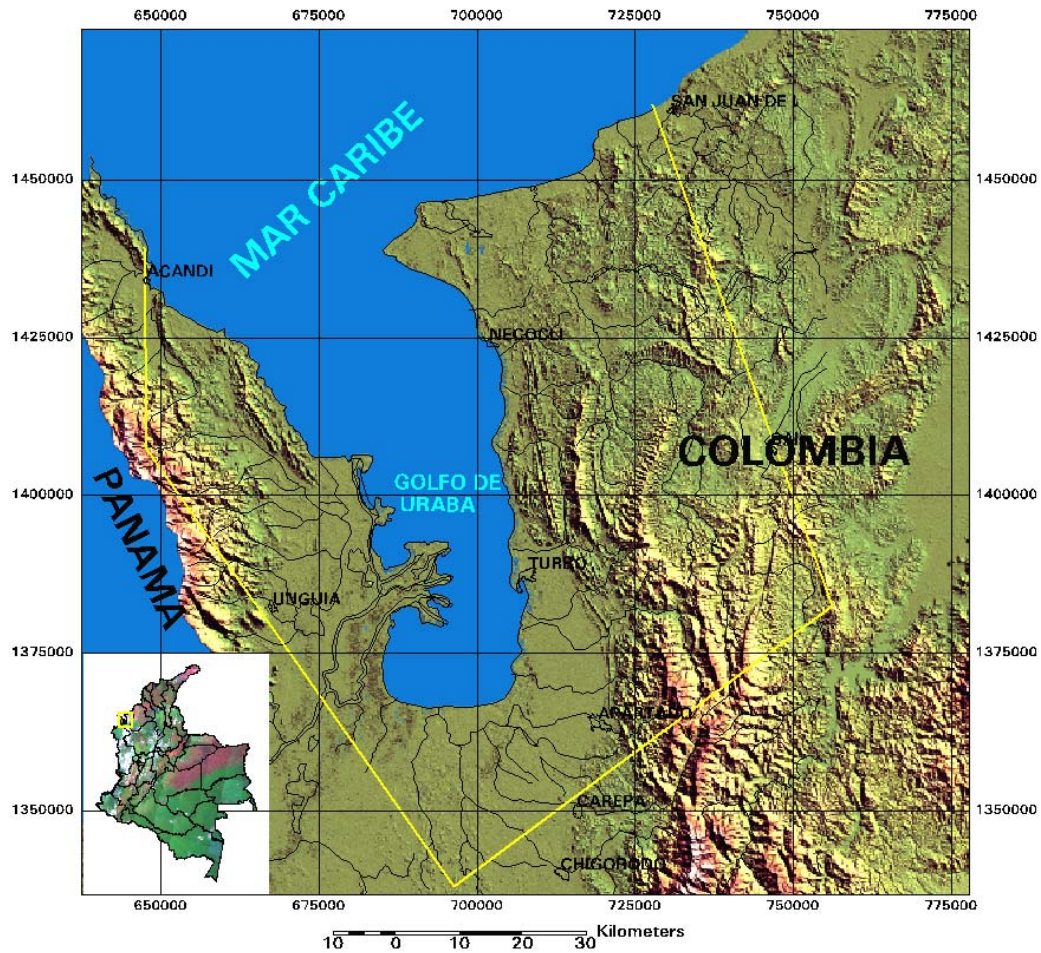


Figura 1. Localización de la zona de estudio (polígono en amarillo) en la región del Golfo de Urabá, Mar caribe, sobre un fondo que resalta el modelo digital del terreno

1.3 Marco teórico:

Los sensores remotos, teledetección o percepción remota son una técnica que permite detectar a distancia, bajo la forma de fotografías, registros eléctricos, magnéticos, electromagnéticos, u otras formas de datos (altura, temperatura, etc.), las características físicas o biológicas de los objetos o elemento de la atmosfera, la superficie terrestre y el subsuelo. Los elementos que constituyen la superficie terrestre como rocas, suelos desnudos, vegetación, agua, etc., así como los de origen antrópico (construcciones urbanas, vías, etc.), absorben, reflejan o emiten una cantidad de energía que depende de la longitud de onda, la intensidad del rayo electromagnético, las características de absorción de los objetos y la orientación de los objetos respecto al sol o el origen del rayo incidente. Esta iteración hace que los objetos presenten diferentes valores radiométricos que se reflejan en tonalidades de gris en imágenes monocromáticas o coloraciones diversas en composiciones en falso color o RGB, permitiendo su diferenciación y caracterización (Chang, 2004; CNES, 1986; ESA, 1993; Chuvieco, 1990; Dirk, 1992;

Floyd, 1987; Floyd and Lewis, 1998, Girard, 1989, Scanvic, 1983 ; Fernandez, 2000 ; Jiménez, 1982 ; Leroit, 1992 ; Lillesand, 1994 ; Vargas, 1994 ; 1995 ; 1997 ; 2007)

1.3.1 Proceso de registro de información satelital

La forma y el tipo de información que provee un satélite de observación de la Tierra es variable, pero la característica común es que ella es digital. La información digital se puede representar en forma de datos (altura, temperatura, dirección de vientos, velocidad de vientos, mareas, etc.), en forma de imágenes digitales que registran la atmosfera, la superficie terrestre y en algunos casos el subsuelo, a través de valores denominados radiométricos que conforman una malla de celdas o píxeles que conjuntamente definan un elemento u objeto del mundo real por su contraste en niveles de grises. Para la obtención de esta información se tienen en cuenta los siguientes elementos y procesos a) fuente y transmisión de energía b) interacción de la energía en forma de ondas electromagnéticas con el elemento u objeto (reflexión, transmisión, absorción y dispersión) d) presencia de un captor o satélite que reciba la respuesta de la energía remanente e) un receptor en tierra que reciba la información f) evaluación de la calidad de la información y procesamiento de la misma g) disponibilidad de la información a usuarios (Jensen, 1996; Richards, 1986; **figura 2**).

Fuente y transmisión de energía. Teniendo en cuenta la naturaleza de la fuente de energía, se diferencian dos clases principales: fuentes pasivas y fuentes activas. Los sensores de fuentes pasivas o también llamados ópticos obtienen la fuente de energía proviene del sol y reciben en los satélites una medida relativa de la reflectancia de los diferentes elementos. Los sensores de fuentes activas o también conocidos como radar, emiten su energía artificialmente sobre plataformas aeroportadas o satelitales y reciben una señal de ondas electromagnéticas denominado como coeficiente de retrodispersión o retrodifusión.

Por lo anterior la radiometría y expresión visual de las imágenes de sensores pasivos u ópticos y de los sensores activos o radar es diferente en cuanto al mecanismo físico de registro y la expresión de la base numérica de sus datos. En cualquiera de las dos fuentes la energía se transmite en forma de ondas, las cuales son caracterizadas por los siguientes elementos o parámetros: longitud de onda, amplitud, periodo y la frecuencia (**figura 3**). La longitud de onda es la distancia existente entre dos crestas. De acuerdo a estas distancias puede formar ondas de bajas frecuencias con grandes distancias entre ondas o altas frecuencias con distancias muy reducidas entre ondas. Las longitudes de ondas pueden ser extremadamente pequeñas del orden de Angstrom A° , micrómetros nm y micrómetros a grandes con dimensiones de metros y kilómetros como las ondas de radio y televisión.

Una onda electromagnética (λ) es el fenómeno resultante de la propagación simultánea, continua y armónica en el espacio a la velocidad de la luz (3×10^8 m/s) de un campo eléctrico "E" y de un campo magnético "M".

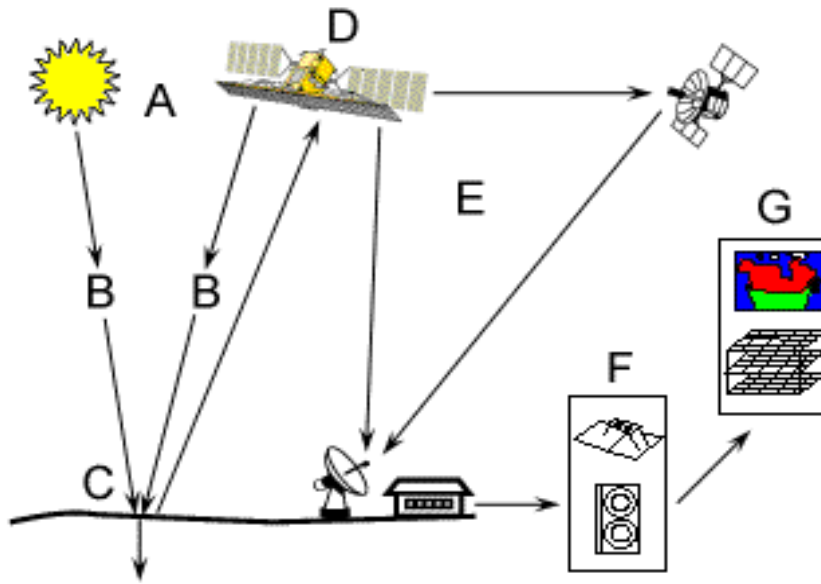


Figura 2 Proceso de obtención de una imagen a partir de un Sensor Remoto. a) fuente y transmisión de energía b) interacción de la energía en forma de ondas electromagnéticas con el elemento u objeto (c), d) presencia de un captor o satélite e) un receptor en tierra f) procesamiento de la misma g) disponibilidad de la información a usuarios.

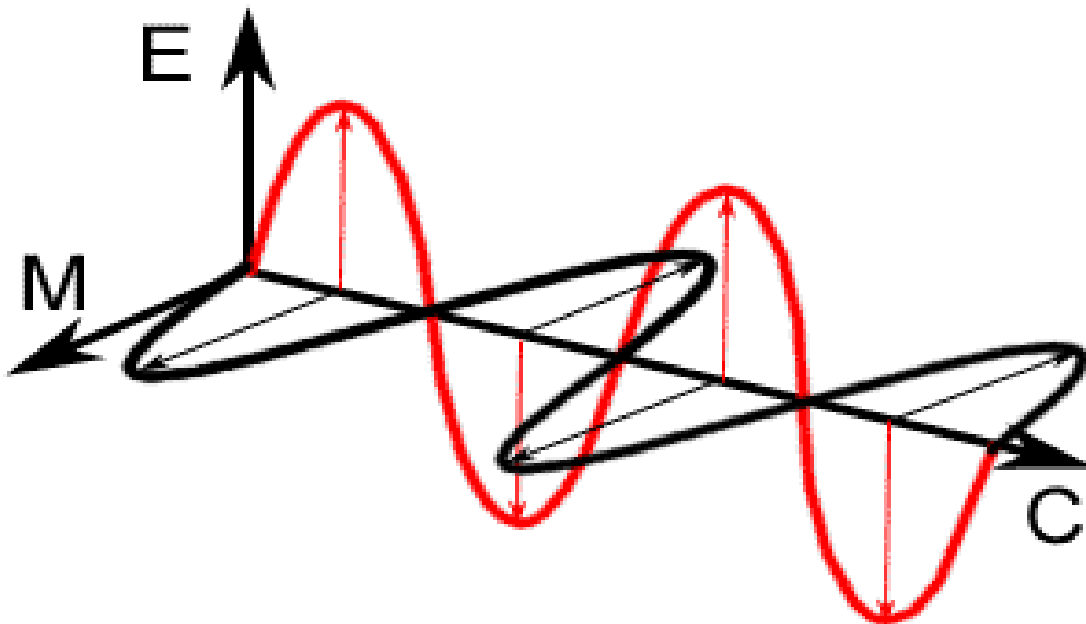


Figura 3. Amplitud y longitud de onda de una sucesión de onda. E = campo eléctrico; M= campo magnético, C= Distancia

1.3.2 Interacción de la energía con la superficie

La onda electromagnética incidente cuando interactúa con un objeto de dimensiones mayores a su longitud de onda puede ser transmitida a través del objeto, reflejada en un haz de energía, dispersada en múltiples direcciones o absorbida por el objeto.

1.3.3 El espectro electromagnético

Las ondulaciones de la radiación electromagnética (REM) son continuas, pero simultáneamente presentan una variabilidad desde longitudes de onda extremadamente cortas (rayos cósmicos y rayos gamma) a longitudes de onda extremadamente largas (radio y televisión) del orden de centímetros, metros y kilómetros. La REM se ha fraccionado en varias regiones según la manifestación de varios fenómenos físicos como sustitución de electrones, vibración molecular, rotación molecular, fluctuaciones de campos eléctricos y magnéticos. Este conjunto de divisiones se denomina *Espectro Electromagnético (figura 4)*.

Los objetos que del “mundo real” son reflejados y visualizados distintamente en cada rango del espectro electromagnético, Estos rangos espectrales son: rayos cósmicos, rayos gama, rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas y radio y televisión. En la teledetección satelital en modo imágenes los rangos espectrales más utilizados son el visible, infrarrojo y las microondas, lo cual discrimina un gran numero de ofertas en el mercado de imágenes.

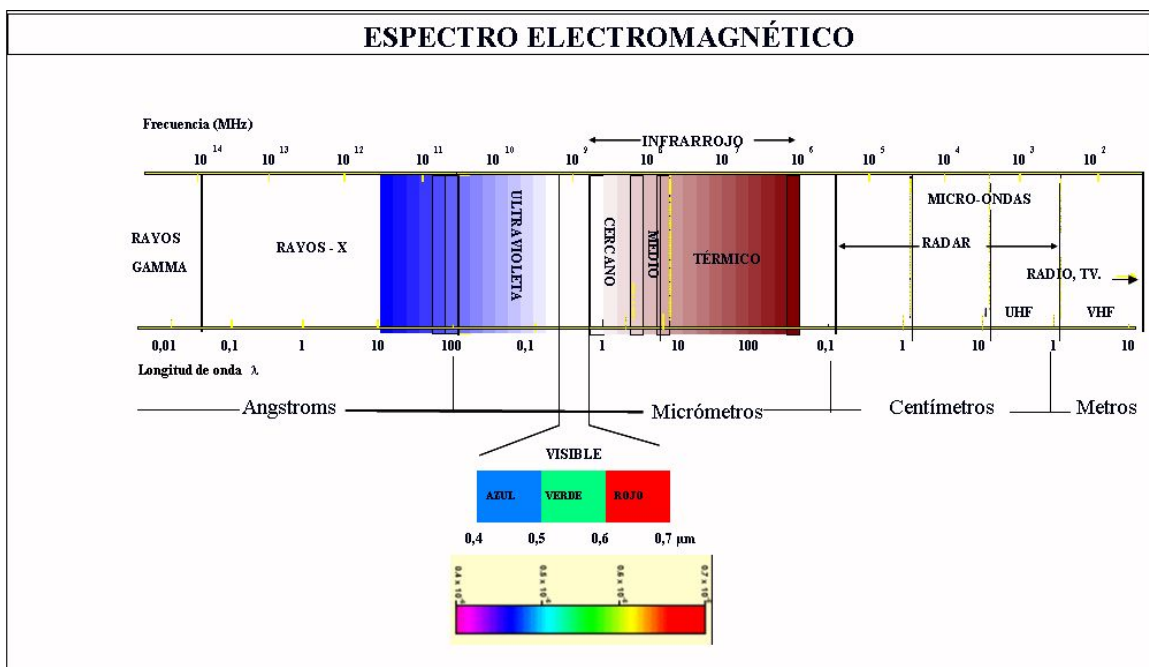


Figura 4. Esquema del espectro electromagnético, indicando las frecuencias y longitudes de onda y rangos espectrales utilizados en imágenes de sensores remotos.

1.3.4 Estructura de la imagen digital

Las imágenes de satélite tienen una estructura digital raster o de malla en el cual cada celda o píxel, tiene un valor numérico (radiométrico) que puede expresar valores relativos de reflectancia, emitancia (temperatura), coeficientes de retrodifusión) o simplemente un valor de una clase de elemento como en el caso de imágenes o mapas temáticos. A diferencia de un formato vector el valor del objeto azul (cuerpo de agua) está asignado al píxel y su conjunto de valores definen este elemento u objeto, mientras que en un formato vector el objeto esta identificado por un valor o texto como atributo descriptivo de un polígono, línea o punto (Chang, 2004; Longley, 2001, Korte, 2005, **figura 5**).

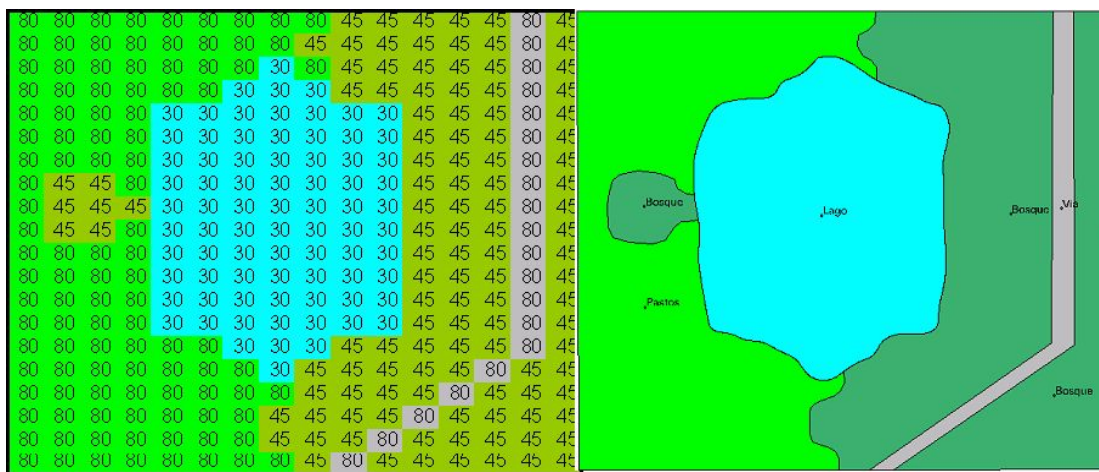


Figura 5 Esquema de representación de un espacio geográfico con una estructura raster o de retículas (izquierda) y una estructura vectorial de puntos, líneas y polígonos (derecha). Las imágenes de sensores remotos se representan en formato raster.

La estructura de una imagen, se compone a su vez de varios elementos que permiten caracterizarla. Estos elementos son: píxel, número de filas, número de columnas, número de bandas. El píxel o celda es la unidad o elemento espacial mínimo de una imagen. Los píxeles se distribuyen en una imagen digital en filas (eje X) y columnas (eje Y). Las bandas espectrales determinan los registros simultáneos del mismo sensor en diferentes longitudes de onda.

1.3.5 Elementos de una imagen digital

Una imagen de satélite de cualquier sensor o sistema satelital presenta cuatro elementos básicos definidos bajo el concepto de resolución, la cual puede se clasifica en cuatro tipos así: resolución espectral, resolución radiométrica y resolución temporal (**figura 6**).



Niveles de gris pancromática



Falso color

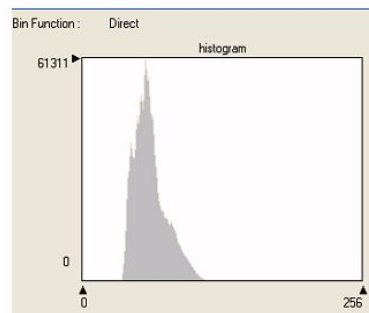
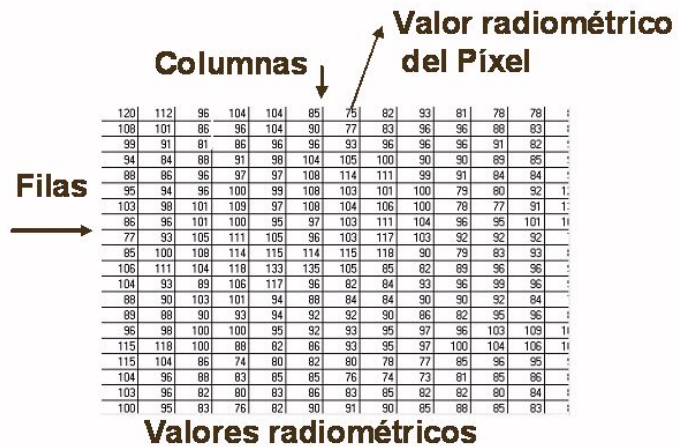


Figura 6. Estructura de una imagen digital compuesta por filas y columnas de celdas con valores numéricos, en este caso de radiometría. La imagen representa la variación de los valores radiométricos utilizando distintas escalas de colores, tales como gris pancromática (imagen superior izquierda) o falso color (imagen inferior izquierda). El histograma representa el espectro de valores

1.3.6 Resolución espectral

La *resolución espectral*, se refiere a la capacidad del captor en registrar en un mismo espacio y periodo de tiempo bandas con diferentes rangos del espectro electromagnético. De tal forma que entre más bandas del espectro registre un sistema satelital mejor será su resolución espectral (**figura 7**).

1.3.7 Resolución Espacial

La *resolución espacial* de una imagen digital está determinada por las dimensiones que representa el píxel en X y Y, respecto a las dimensiones reales en el terreno, sobre un mismo espacio geográfico (Dales et al., **figura 8**).

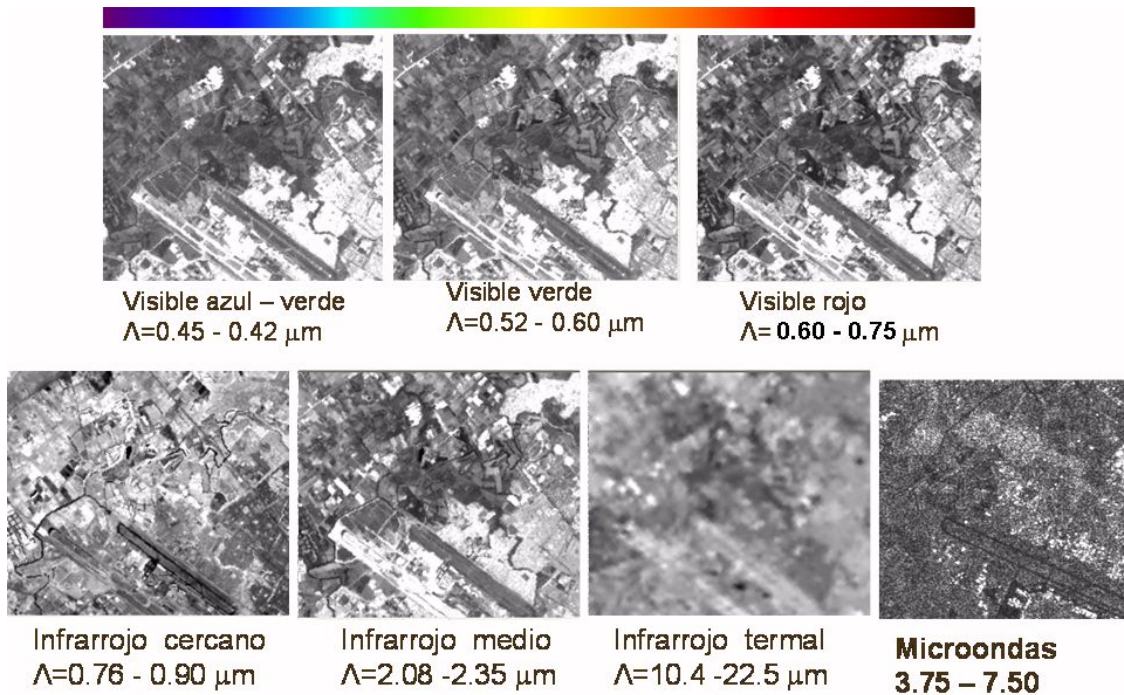


Figura 7. Ejemplo de bandas espectrales de una imagen Landsat TM. Entre más bandas del espectro registre un sistema satelital mejor será su resolución espectral. En este caso se ha registrado una misma área con siete bandas con diferente longitud de onda

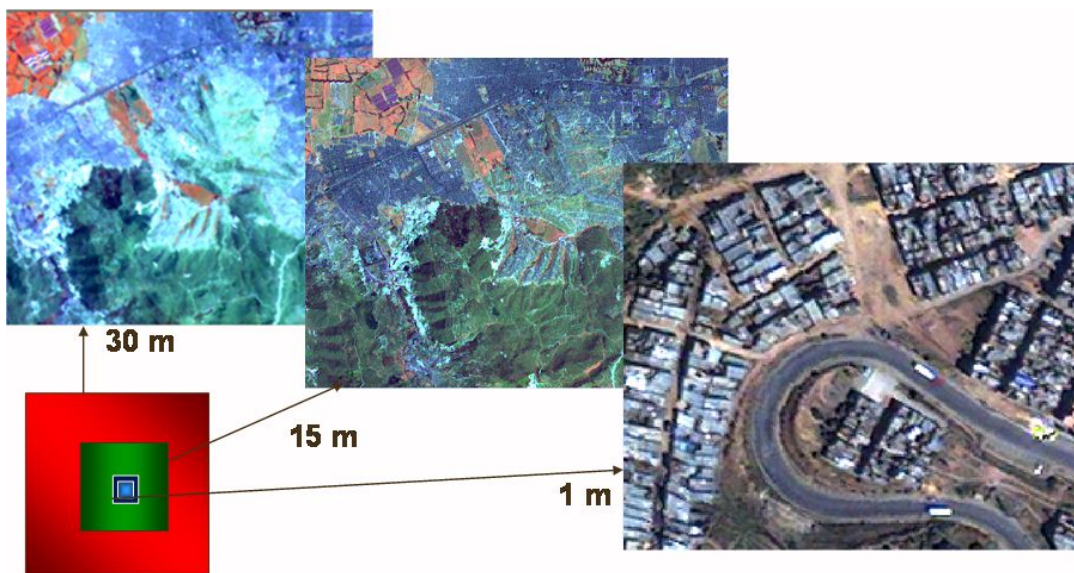


Figura 8. Ejemplo de tres imágenes de satélite con diferente resolución espacial. A mayor tamaño de pixel la imagen presenta menor resolución espacial

Actualmente, las imágenes de satélite tienen resoluciones espaciales desde kilómetros (1km), hasta centímetros (60 cm) y es una característica que va

avanzando notablemente con los satélites de última generación. Cabe anotar que el reconocimiento de objetos depende en gran medida de la resolución espacial y para su definición se requiere de un conjunto de píxeles. En la **figura 9** se presenta una superposición en transparencia de una imagen Landsat TM con una resolución espacial de 30/píxel y una imagen Quickbird con una resolución espacial de 60 cm/píxel (Swain et al., 1978).



Figura 9 Vista comparativa de la resolución espacial de una imagen Landsat TM (30 m/píxel) y una imagen Quickbird (60 cm/píxel, imagen de fondo). Nótese que en cada píxel de la imagen Landsat que representa un único valor y elemento, se distinguen varios elementos sobre la imagen de alta resolución espacial.

De esta superposición se puede establecer la relación entre el tamaño del píxel y la capacidad de identificar y cartografiar objetos. Si bien es claro que entre mayor resolución mejor identificación de objetos, pero los costos igualmente son mayores.

1.3.8 Resolución Radiométrica

La Resolución radiométrica es el número máximo de valores que puede tener un píxel. Ese valor puede estar representando diferentes características como: reflectancia (imágenes ópticas), coeficientes de retrodifusión (radar), unidades temáticas (mapas raster), temperatura (imágenes termales o térmicas), alturas (modelos digitales de terreno), etc. Estos valores radiométricos sobre las

imágenes son codificados en términos de un número de bits, el cual determina el número máximo de valores o niveles de brillo por píxel (Dirk, 1992; **figura 10**).

1 bits = 2 valores

2 bits = 4 valores

4 bits = 16 valores

8 bits = 256 valores

16 bits = 65536 valores

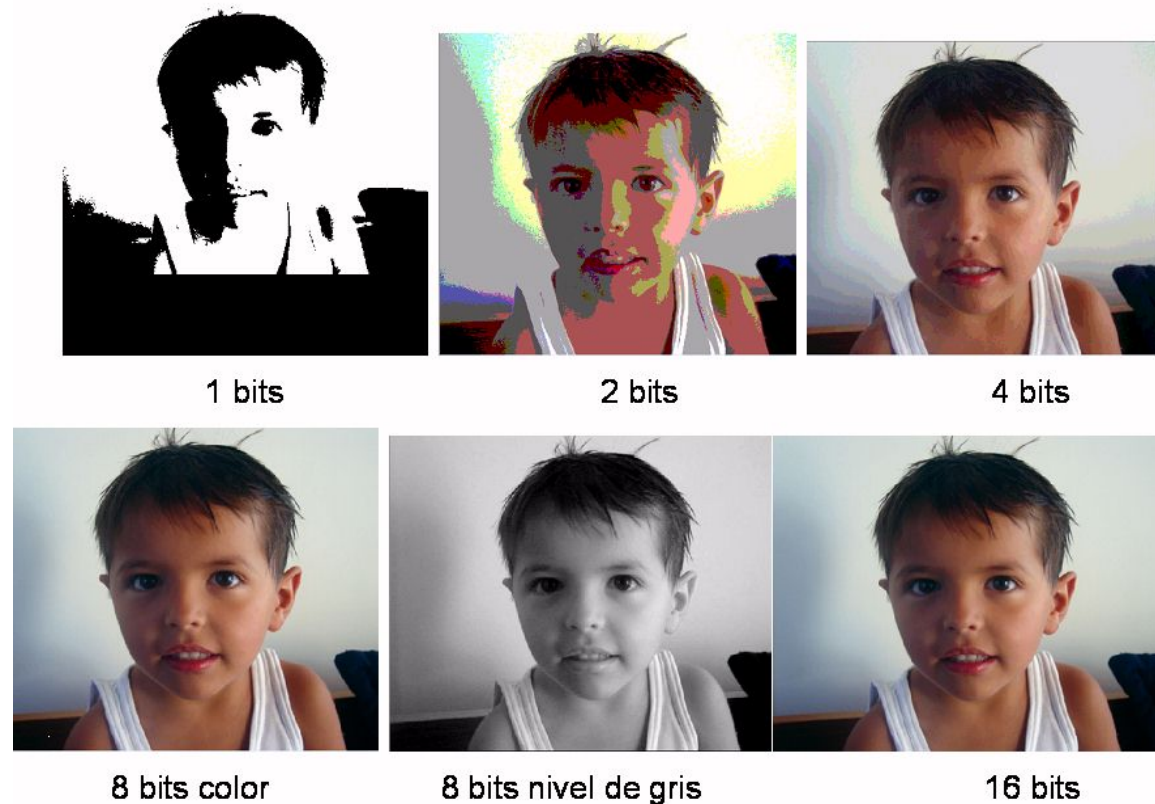


Figura 10. Ejemplo de una fotografía representada con diferentes niveles de resolución “radiométrica”. Nótese que entre mayor capacidad numérica mejor calidad de la imagen.

Una imagen de un bits es un dígito binario con dos posibles valores 0 y 1, blanco o negro o dos posibilidades OFF o ON. Un conjunto de bits puede tener muchos más valores, dependiendo del número de bits usados. El número de valores que puede ser expresado por un conjunto de bits es 2 a la potencia del número de bits usado. Ejemplo **8 bits es 256 ($2^8=256$)**

1.3.9 Resolución temporal

La resolución temporal se refiere al periodo de tiempo que un mismo sensor puede registrar información del mismo punto o lugar. En este aspecto los sensores pueden registrar imágenes de lugares de la tierra desde cada 16 días como Landsat hasta 1 vez al día como Spot y otros satélites, sin embargo un sensor puede mejorar el registro de una imagen hasta 93.4 minutos como el caso de Quickbird, teniendo en cuenta que puede registrar imágenes oblicuas desde sus orbitas vecinas.

1.3.10 Visualización de imágenes

Las imágenes pueden clasificarse por el rango y distribución de sus valores en imágenes continuas e imágenes temáticas. Las imágenes continuas presentan un rango de valores distribuidos en toda la imagen dependiendo de su resolución radiométrica. En imágenes ópticas representan valores relativos de reflectancia y en imágenes de radar valores de retrodifusión o retrodispersión, se puede decir que son productos cuantitativos. Las imágenes continuas pueden representarse visualmente en forma pancromática o niveles de grises en el cual el rango radiométrico representa el número máximo de niveles de grises y en falso color con la visualización de tres bandas en un sistema Rojo Verde y Azul "R,G,B" (figura 11).

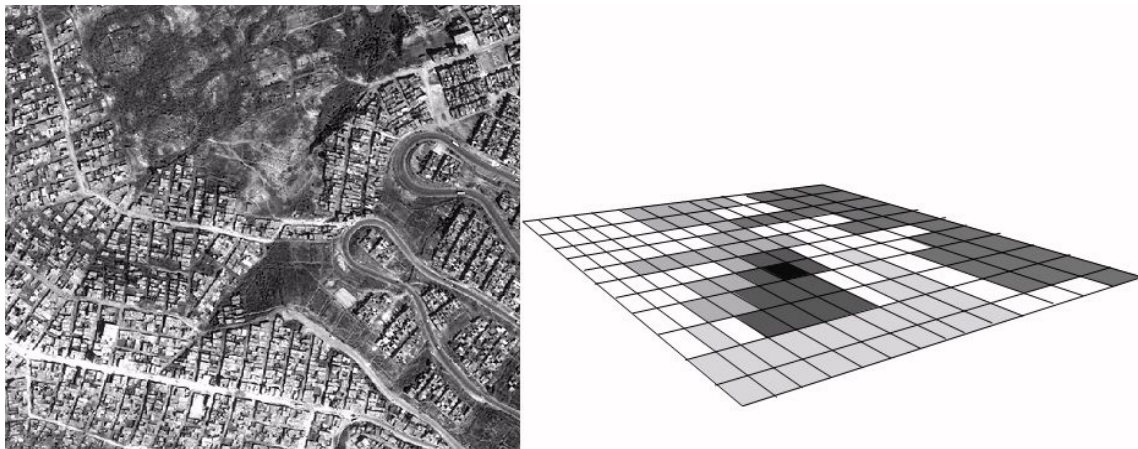


Figura 11. Imagen continua pancromática en niveles de grises

Las imágenes continuas pueden almacenarse en un solo archivo imagen el cual permite su visualización banda a banda en modo pancromático o en combinaciones en falso color en un sistema RGB (figura 12)

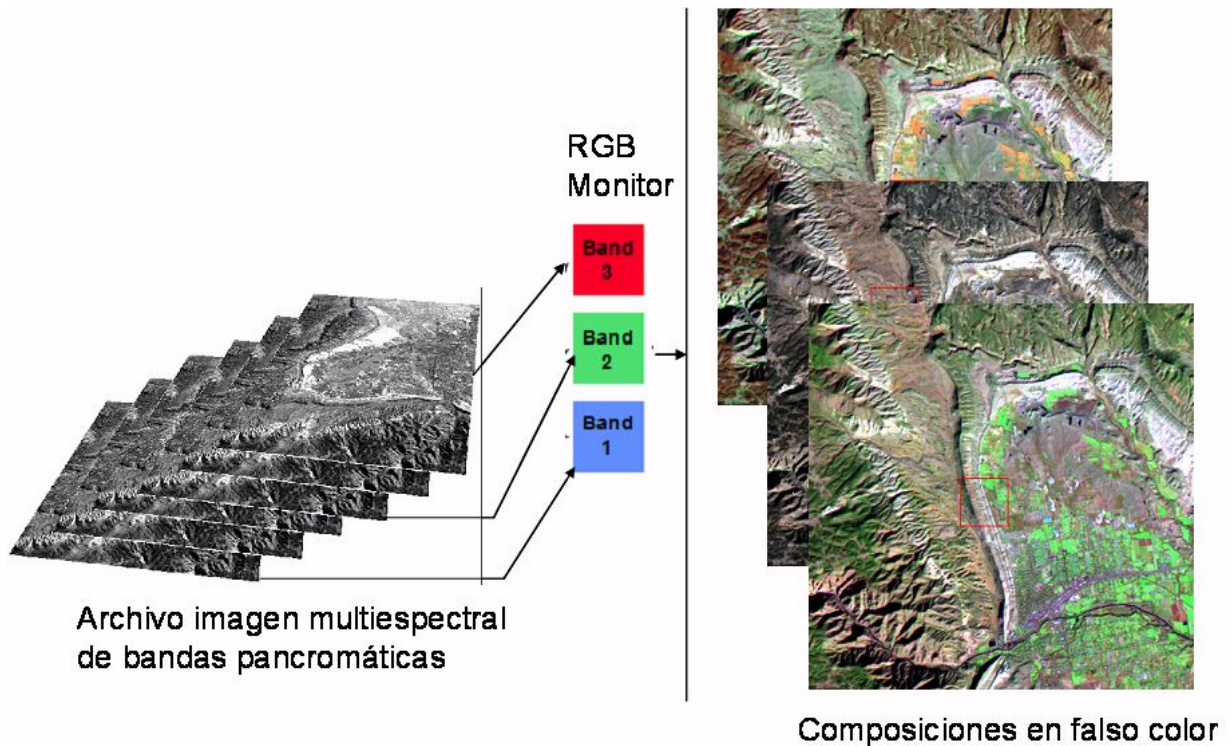


Figura 12. Ejemplo de imágenes continuas multispectrales en bandas pancromáticas y en falso color

Otro tipo de archivos digitales raster son los modelos digitales de terreno, los cuales los píxeles representan valores de altura, estos pueden ser vistos en niveles de grises como imagen continua o en relieve (**figura 13**).

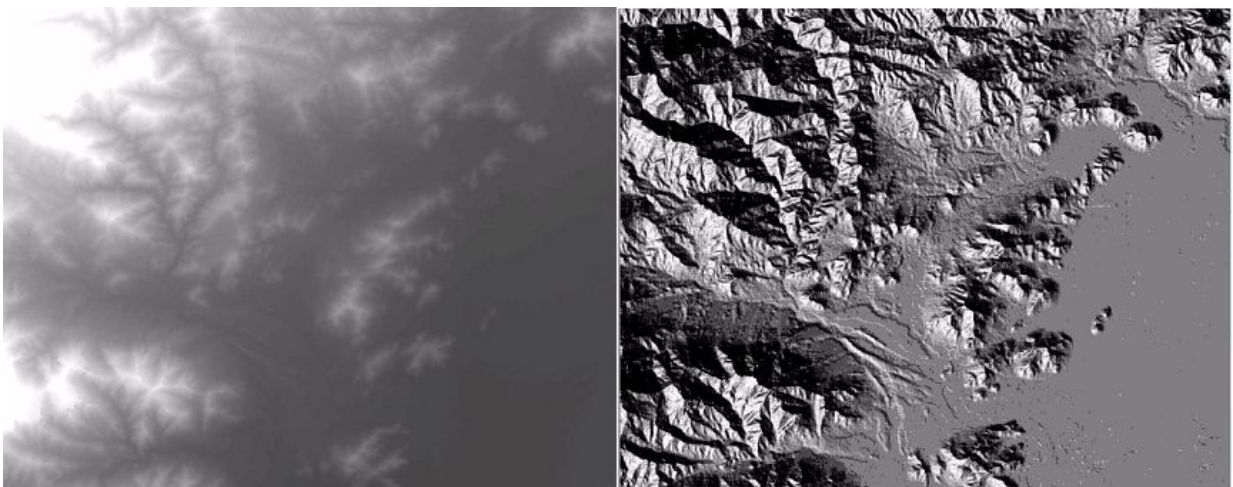


Figura 13. Modelo digital de terreno visualizado en niveles de grises y en relieve, con efectos de sombra proporcionando una vista de relieves altos y bajos.

Las imágenes temáticas se caracterizan porque los valores de los píxeles representan un número determinado de clases o unidades temáticas, como unidades de uso de suelo, o simplemente mapas temáticos en formato raster. Las imágenes temáticas pueden catalogarse como productos semicuantitativos ya que las clases tienen un valor numérico y un descriptor cualitativo (**figura 14**).

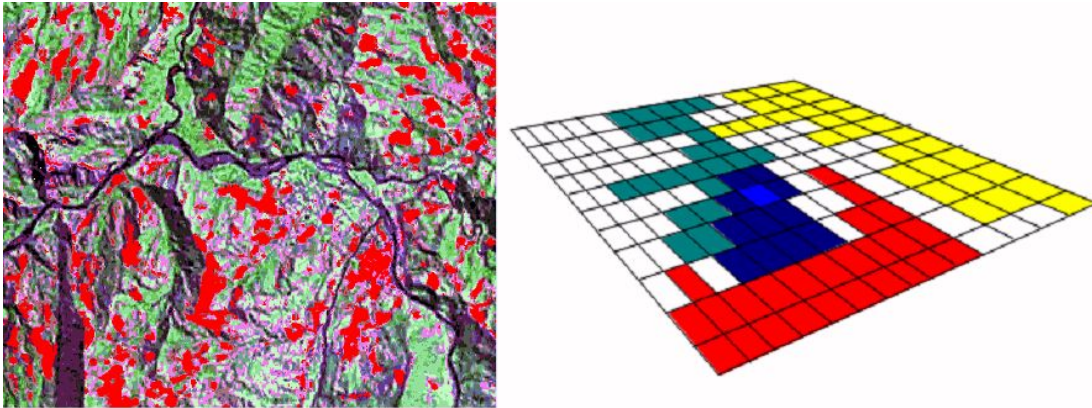


Figura 14. Ejemplo de imagen temática (valores de píxeles en color) y mapa imagen de zonas de deslizamientos y cobertura vegetal.

1.4 Características de algunas imágenes de satélite

Las imágenes de satélite en general se caracterizan por presentar características particulares de resolución espectral, espacial, radiométrica y temporal. Entre los satélites ópticos mas destacados del mercado pueden citarse Landsat en sus versiones MSS, TM y ETM, Spot XS y PAN, Aster (Vargas & Chorowicz, 1994).

1.4.1 Sistema Landsat

El sistema Landsat, de tecnología Americana, es uno de los primeros satélites de observación de la tierra, diseñado desde 1960 y lanzado por primera vez en 1972 bajo el nombre de ERTS (Earth Resources Technology Satellite). Landsat es principal el sistema de observación regional que más ha proveído de imágenes a la comunidad. Su distribución gratuita de muchas escenas, bajo costo y alta cobertura geográfica hace que estas imágenes de satélite, sean las mas utilizadas en estudios geocientíficos y técnicos. A través de la historia de Landsat se han puesto en orbita siete satélites con varios instrumentos. Ellos son: Return Beam Vidicon (RBV), Multi-Spectral Scanner System (MSS), Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper (ETM), y anced Thematic Mapper-plus," o ETM+.

Los satélites de Landsat presentan una órbita polar, inclinada 9.09° y heliosincrónica. Landsat 1, 2 y 3, presentan una altitud del satélite de 923 km observando cada punto o lugar de la tierra cada 18 días y Landsat 4 y 5 presenta una altura satelital de 705 km, con poder de observar un punto de la tierra cada 16 días. La cobertura geográfica de una escena Landsat es de 185x185 km. En la **figura 15**, un ejemplo de una imagen Landsat TM, en el área de La Sabana de Bogotá.

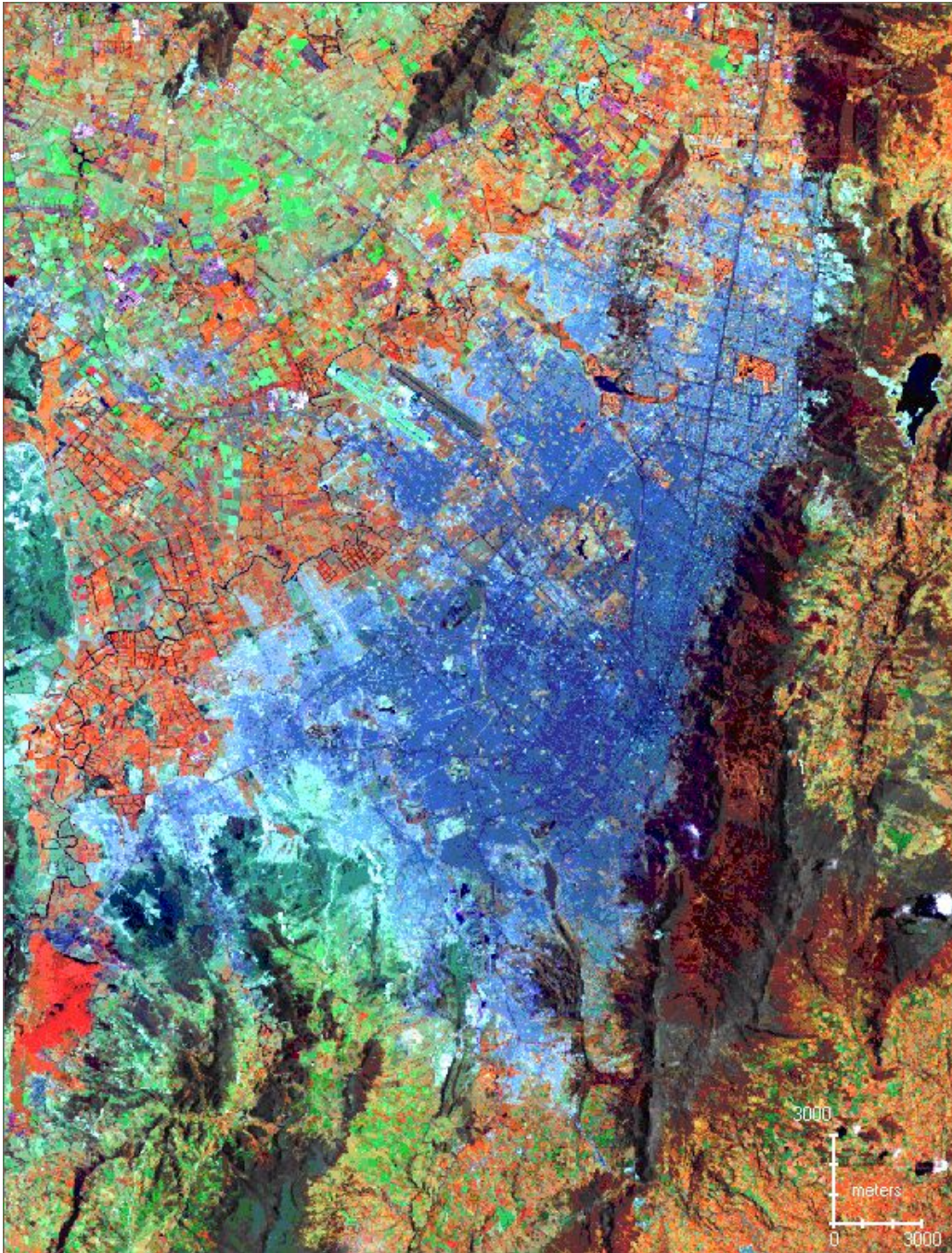


Figura 15. Imagen Landsat TM de La ciudad de Bogotá, registrada en el año 1997. Bandas 4,5,3 (R,G,B)

1.4.2 Sistema Spot

Spot es un satélite financiado por la comunidad Europea y operado por Francia, Fue lanzado por primera vez en 1983 y actualmente está en órbita el Spot 5, el cual presenta 3 bandas espectrales en el visible (azul, verde y rojo) y dos bandas

en el infrarrojo cercano y una banda pancromática con rango espectral entre el visible y el infrarrojo, que se utiliza como banda para mejorar la resolución espacial. La resolución espacial de las imágenes Spot varían entre 20 metros hasta 2,5 metros, por su vista oblicua de mira tiene la capacidad de registrar hasta 6 imágenes en el paso de su órbita (**figura 16**).



Figura 16. Imagen Spot 5. Bandas 4,3,2 (R,G,B). Región bajo Magdalena. Obsérvese en azul el cauce del río y sectores de ciénagas.

1.4.3 Sistema Aster

Aster son las siglas en inglés del Radiómetro Espacial Avanzado de Reflexión de Emisión Termal, es un instrumento del visor que está volando a bordo del satélite Terra. Fue lanzado en diciembre de 1999 en el marco del Sistema de Observación de la Tierra (EOS) de la NASA. ASTER es un esfuerzo conjunto entre la NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y el Centro de Análisis de Datos de los Sensores Remotos de la Tierra (ERSDAC).

ASTER se usa para obtener mapas de temperatura detallados de la superficie terrestre, emisiones, reflectancia y elevación. Las plataformas que forman el EOS son una parte de los proyectos de ciencia terrestre de la NASA cuya meta es conseguir averiguar y entender las interacciones entre la biosfera, la hidrosfera, la litosfera y la atmósfera. La principal ventaja del sistema de imágenes Aster es su alta resolución espectral, principalmente en el rango infrarrojo, con 11 bandas en este rango y 2 en el visible (verde y rojo). Su resolución espacial es similar a Landsat con valores entre 15, 30 y 90 metros, pero su ancho de barrido es menor (60 km). En la **figura 17** se muestra un ejemplo de imagen.



Figura 17 Vista de una imagen ASTER, región del río Guachicón, Cauca, mostrando el contraste entre las diferentes rocas y estructuras geológicas. Bandas 4,2,1 (R,G,B).

1.4.4 Imágenes de alta resolución espacial

A finales de la década de los noventa y principios del 2000, fueron puestos al mercado imágenes de alta resolución espacial con dimensiones de centímetros del píxel, permitiendo notables avances en la cartografía de áreas de interés como zonas urbanas, áreas de exploración minera, zonas de amenazas por deslizamientos, etc. Entre estos satélites se destacan los sistemas satelitales Ikonos y Quickbird, que se describen brevemente a continuación.

Sistema satelital Ikonos

Ikonos es un satélite de directa liberación tecnológica por el gobierno de los Estados Unidos de América. Anteriormente a esa época esta tecnología estaba disponible para satélites con fines militares.

El sensor digital de imágenes del satélite está diseñado para producir imágenes con elevados contrastes, resolución espacial y precisión, brindando un producto preciso y nítido. Las características de estas imágenes se presentan en la tabla 8 y un ejemplo en la **figura 18**.



Figura 18. Imagen IKONOS de 2007. Portal del Tunal, Ciudad de Bogotá. En rojo los buses del sistema de transporte masivo, Transmilenio. Bandas 3,2,1 (R,G,B)

1.4.5 Quickbird

QuickBird es un satélite de alta resolución de propiedad y operado por Digital Globe (USA). Es el sistema comercial de mayor resolución espacial con 0.61m /píxel. Este satélite es una excelente fuente de información ambiental para el análisis de los cambios en la utilización terrestre, en la agricultura y climatización forestal, problemas urbanos, monitoreo de fenómenos naturales locales, etc. En la **figura 19** se muestra un ejemplo de una imagen.



Figura 19. Imagen QUICKBIRD del 2007. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Bandas 3,2,1 (R,G,B)

2. ANALISIS Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES ÓPTICAS LANDSAT TM Y ETM.

De acuerdo al mapa de orbita del Sistema Landsat se indica que las imágenes Landsat correspondientes a la zona de estudio se ubican en dos escenas con referencia: Path 10 Row 54 y Path 10 Row 55 (**figuras 20 y 21**).

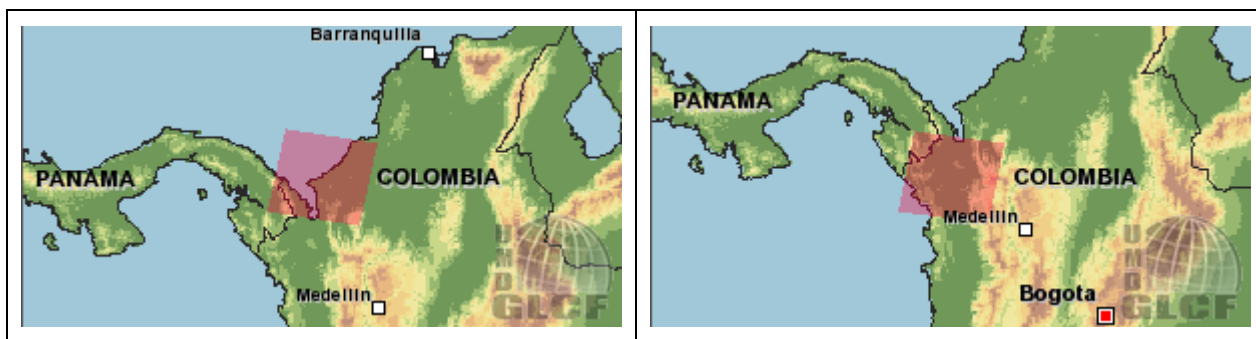


Figura 20. Ubicación de las escenas Path 10 Row 54 (izquierda) y Path 10 Row 55 (derecha) correspondientes al área de estudio.

De la revisión del banco de imágenes disponibles en Internet Universidad de Maryland se obtuvieron 31 registros disponibles entre estas dos escenas y modelos digitales de terreno como se muestra en la **tabla 2**.

Del análisis de la calidad radiométrica de estas imágenes se puede establecer la dificultad por nubosidad de la gran mayoría de las escenas y los defectos radiométricos de bandeamientos de las escenas superiores a mayo de 2003., como se muestra en las **figuras 22 a 28**.

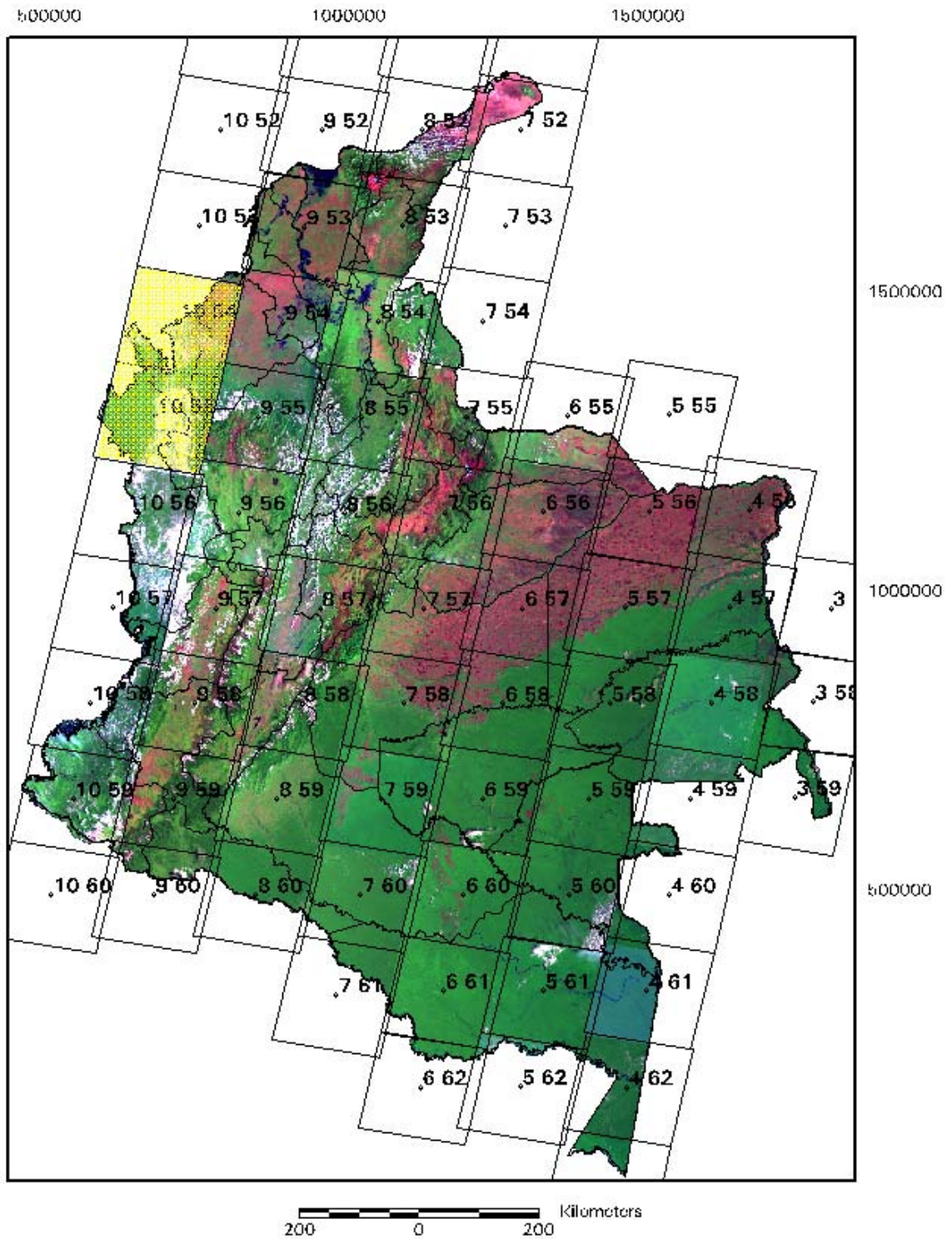


Figura 21. Ubicación de las escenas Landsat P10R54 y P10R55, del área de interés, en el mapa de orbitas de este sistema que cubre la parte continental del territorio colombiano

Tabla 2. Relación de imágenes de satélite Landsat y MDT disponibles en Internet (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>) para el área de estudio

[ID]	Status	[WRS: P/R]	[Acq. Date]	Dataset	Producer	Attr.	Type	Location
<u>018-308</u>	Online	2: 010/054	1991- 03-21	TM	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>020-120</u>	Online	2: 010/054	1991- 03-21	TM	USGS	L1G	BSQ	Colombia, Panama
<u>015-522</u>	Online	2: 010/054	2001- 10-18	ETM+	USGS / GLCF	L1G	BSQ	Colombia, Panama
<u>015-538</u>	Online	2: 010/054	1999- 08-10	ETM+	USGS / GLCF	L1G	BSQ	Colombia, Panama
<u>042-454</u>	Online	2: 010/054	2001- 02-04	ETM+	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>034-477</u>	Online	2: 010/054	2003- 11-25	ETM+	USGS	SLC-Off, L1G	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>073-239</u>	Online	2: 010/054	2004- 09-08	ETM+	USGS	SLC-Off, L1G	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>059-969</u>	Online	2: 010/054	2000	SRTM	USGS / GLCF	3 arcsec, Unfinished	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>074-590</u>	Online	2: 010/054	2005- 10-13	ETM+	USGS	SLC-Off, L1G	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>080-090</u>	Online	2: 010/054	2007- 01-04	ETM+	USGS	SLC-Off, L1G	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>141-141</u>	Online	2: 010/054	2000	SRTM	USGS / GLCF	3 arcsec, Unfilled Finished-A	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>164-100</u>	Online	2: 010/054	2000	SRTM	USGS / GLCF	3 arcsec, Filled Finished-A	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>173-738</u>	Online	2: 010/054	2000	SRTM	USGS / GLCF	3 arcsec, Filled Finished-B	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>182-922</u>	Online	2: 010/054	2000	SRTM	USGS / GLCF	3 arcsec, Unfilled Finished-B	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>020-298</u>	Online	2: 010/055	1987- 09-18	TM	USGS	L1G	BSQ	Colombia, Panama
<u>034-076</u>	Online	2: 010/055	2001- 11-03	ETM+	EarthSat	L1G	BSQ	Colombia, Panama
<u>018-309</u>	Online	2: 010/055	1991- 03-21	TM	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>023-543</u>	Online	2: 010/055	1991- 03-21	TM	USGS	L1G	BSQ	Colombia, Panama
<u>015-539</u>	Online	2: 010/055	2000- 06-09	ETM+	USGS / GLCF	L1G	BSQ	Colombia, Panama
<u>015-540</u>	Online	2: 010/055	2001- 02-04	ETM+	USGS / GLCF	L1G	BSQ	Colombia, Panama
<u>024-955</u>	Online	2: 010/055	2002- 11-06	ETM+	USGS / GLCF	L1G	BSQ	Colombia, Panama
<u>042-455</u>	Online	2: 010/055	2001- 10-18	ETM+	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Colombia, Panama

<u>034-478</u>	Online	2: 010/055	2003- 11-25	ETM+	USGS	SLC-Off, L1G	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>073-240</u>	Online	2: 010/055	2004- 11-27	ETM+	USGS	SLC-Off, L1G	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>059-970</u>	Online	2: 010/055	2000	SRTM	USGS / GLCF	3 arcsec, Unfinished	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>074-591</u>	Online	2: 010/055	2005- 10-13	ETM+	USGS	SLC-Off, L1G	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>081-416</u>	Online	2: 010/055	2007- 01-20	ETM+	USGS	SLC-Off, L1G	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>141-142</u>	Online	2: 010/055	2000	SRTM	USGS / GLCF	3 arcsec, Unfilled Finished-A	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>164-101</u>	Online	2: 010/055	2000	SRTM	USGS / GLCF	3 arcsec, Filled Finished-A	GeoTIFF	Colombia, Panama
<u>173-739</u>	Online	2: 010/055	2000	SRTM	USGS / GLCF	3 arcsec, Filled Finished-B	GeoTIFF	Colombia, Panama

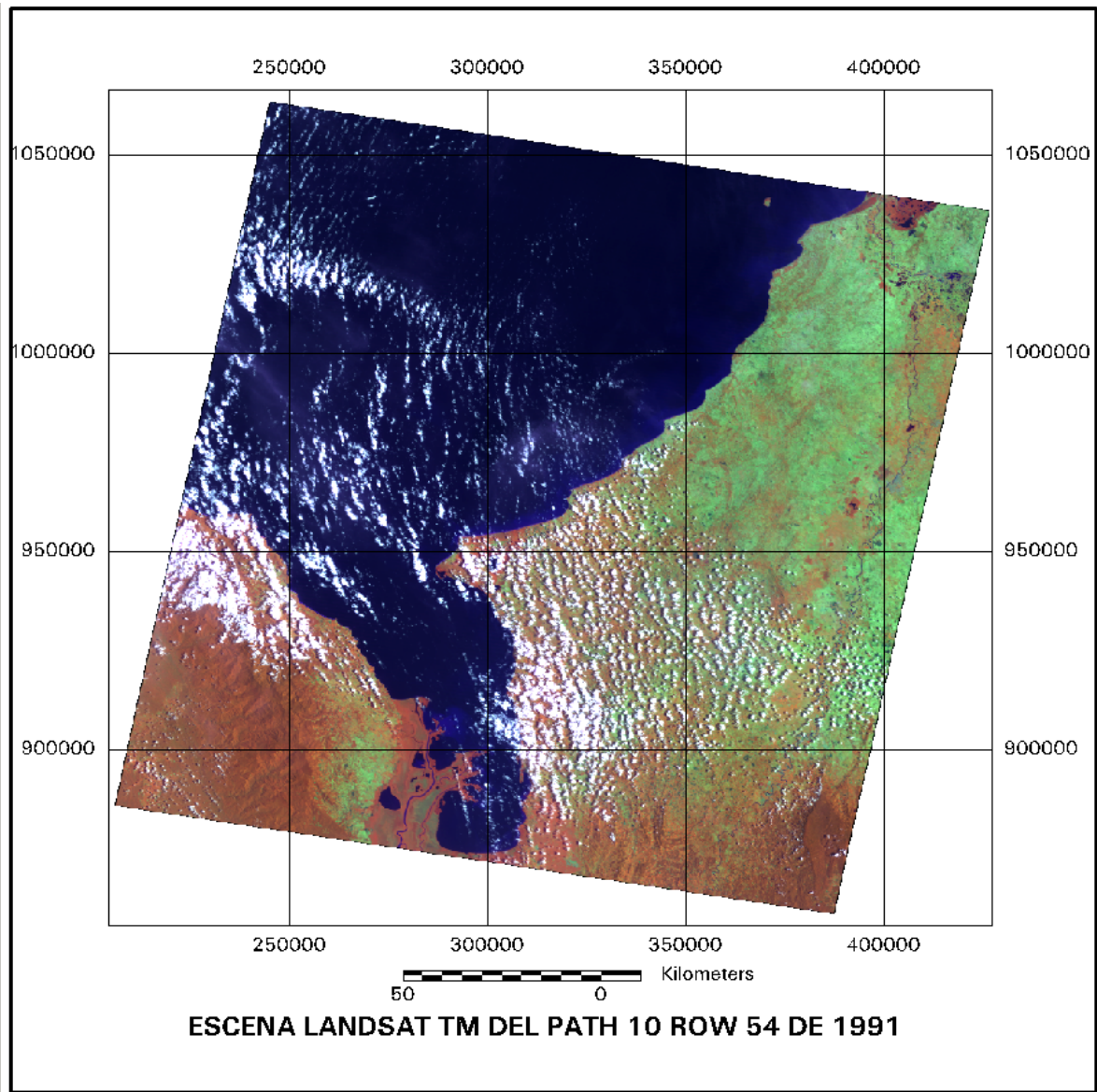


Figura 22. Vista rápida de imagen Landsat TM referencia 1054 de 1991 del Golfo de Uraba. La imagen cubre un área de 185km x 185km.

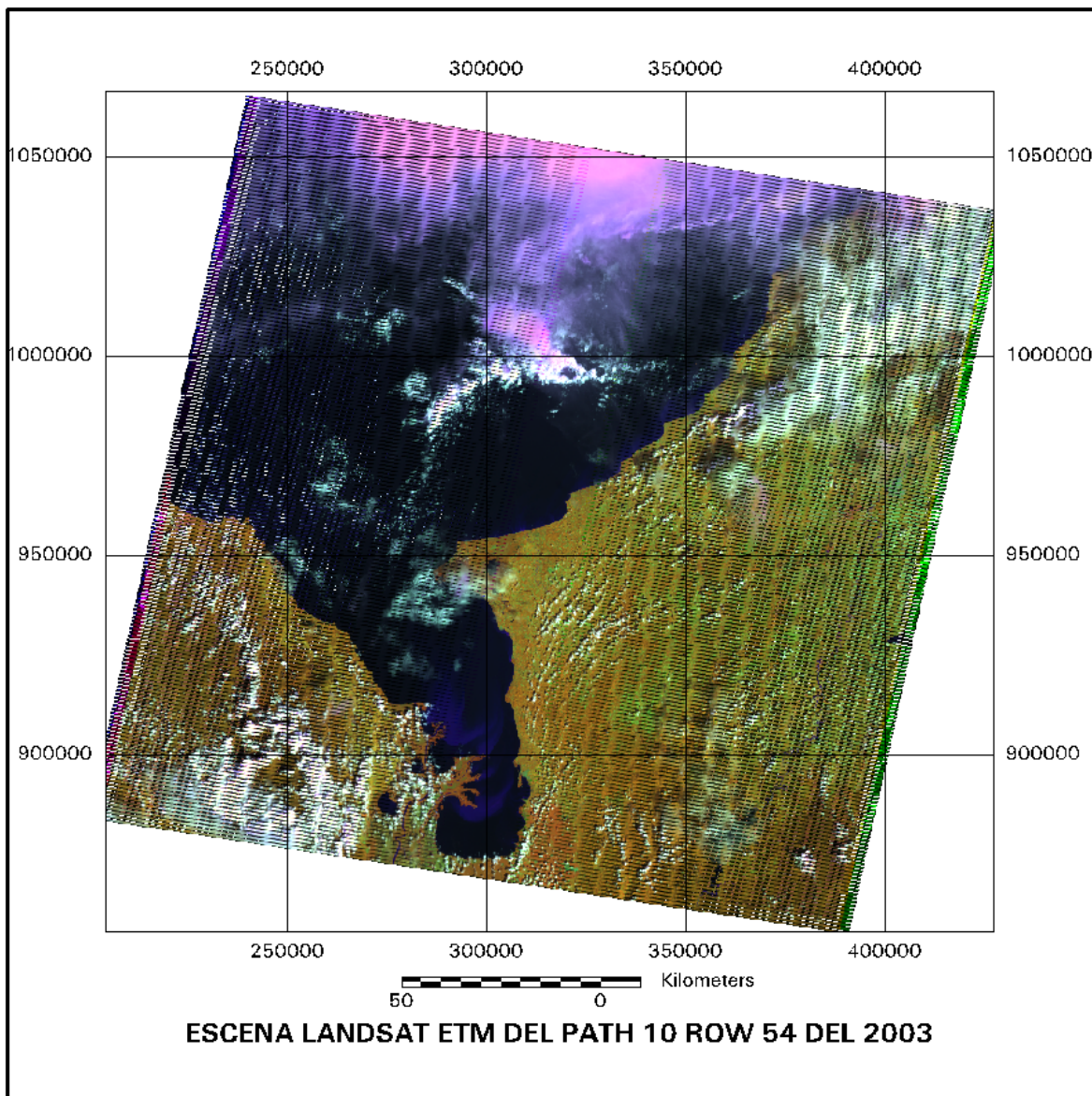


Figura 23. Vista general de imagen Landsat ETM referencia P10R54 de 2003. La imagen cubre un área de 185km x 185km.

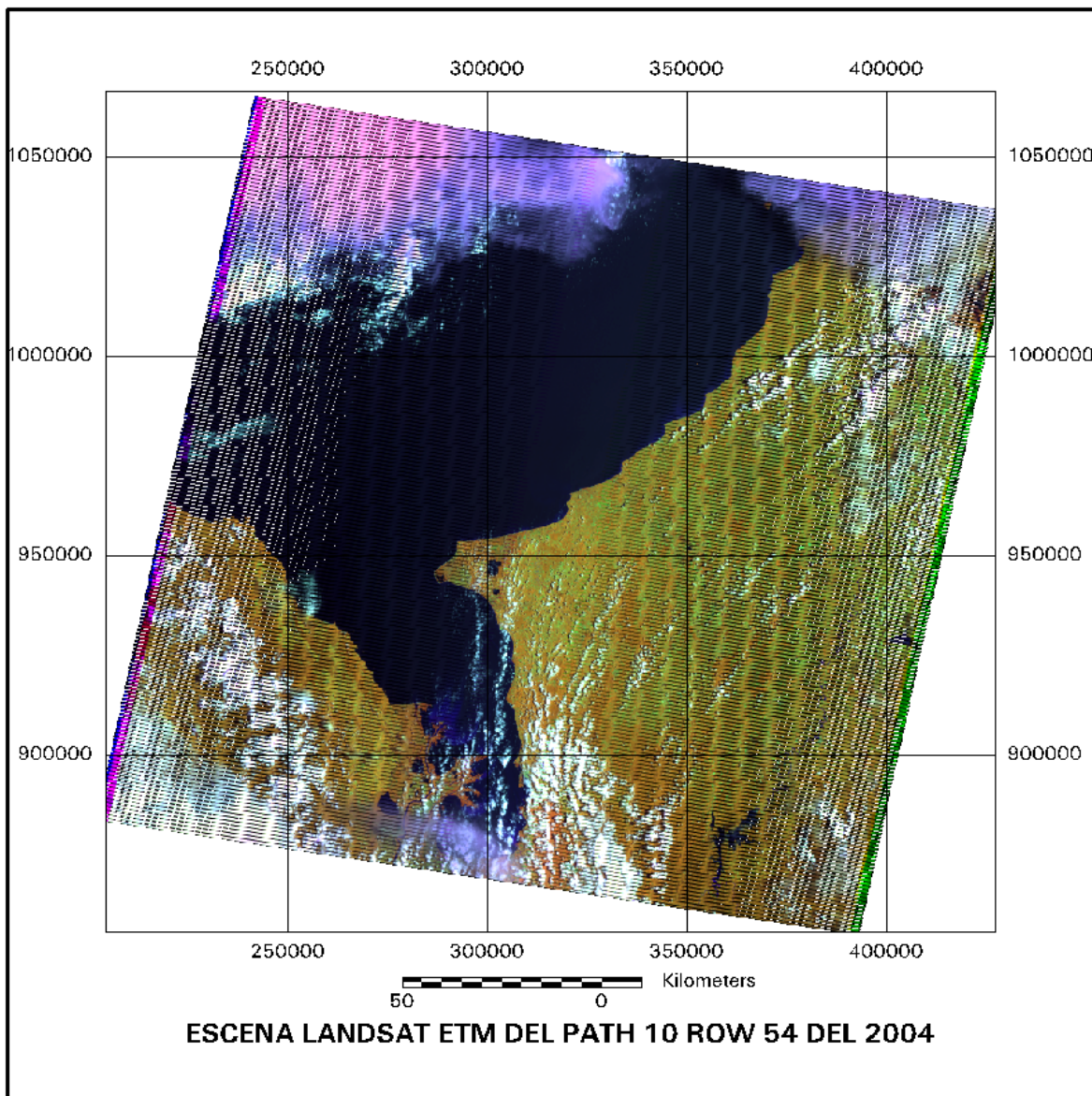


Figura 24 Vista general de imagen Landsat ETM referencia P10R 54 del 2004. La imagen cubre un área de 185km x 185km.

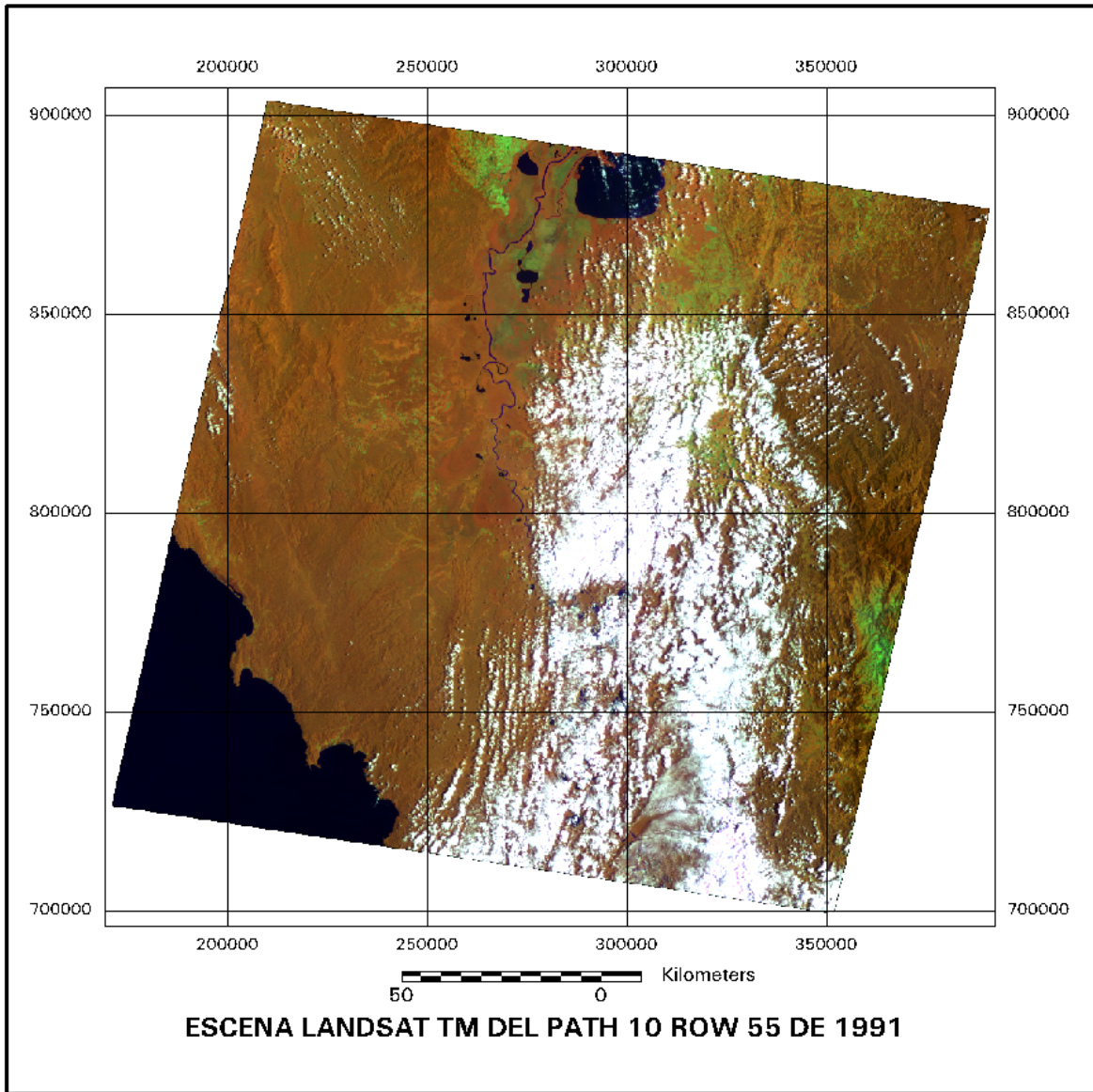


Figura 25. Vista rápida de imagen Landsat TM referencia 1055 de 1991. La imagen cubre un área de 185km x 185km.

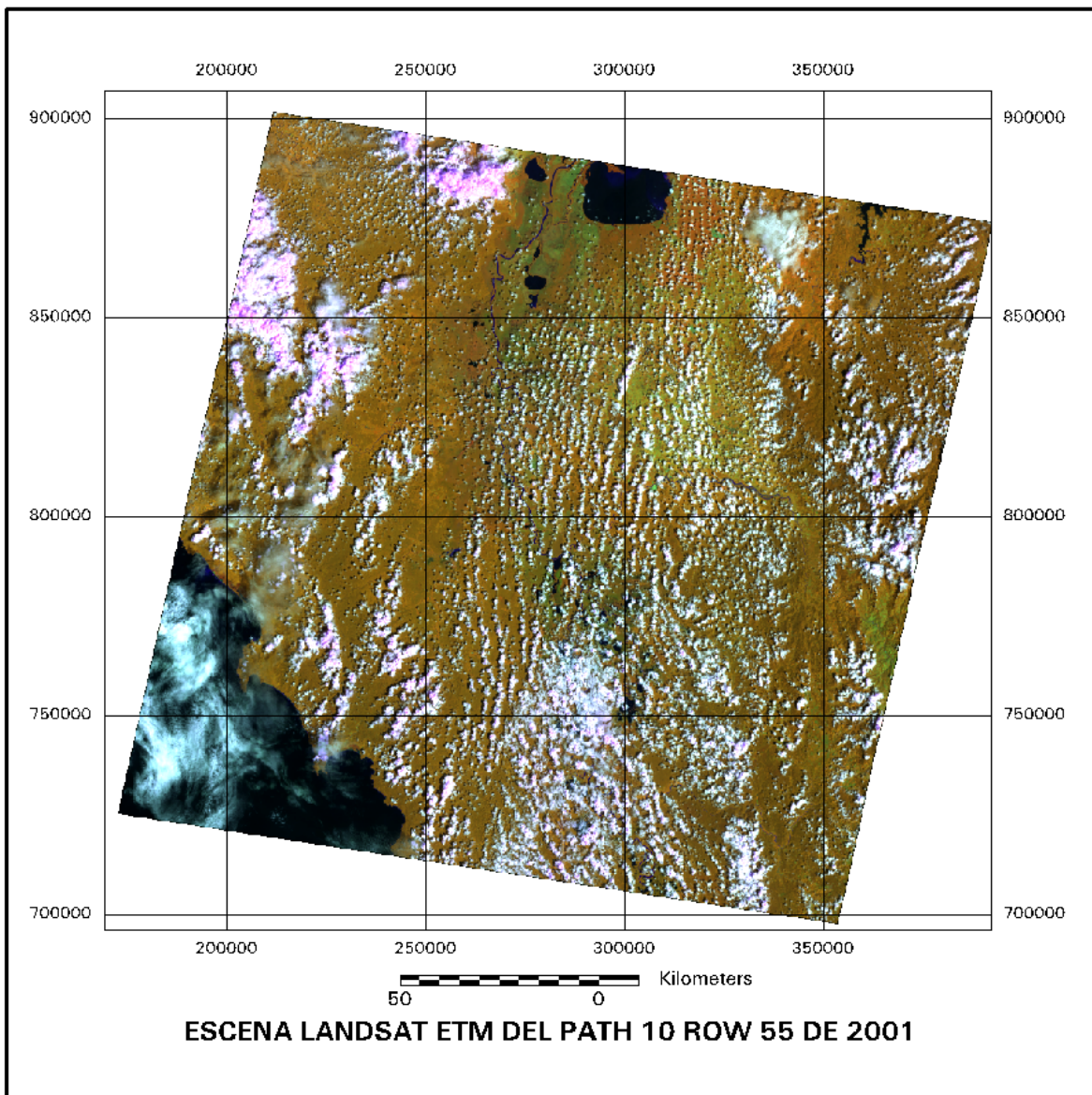


Figura 26 Vista general de imagen Landsat ETM referencia P10R 55 del 2001. La imagen cubre un área de 185km x 185km.

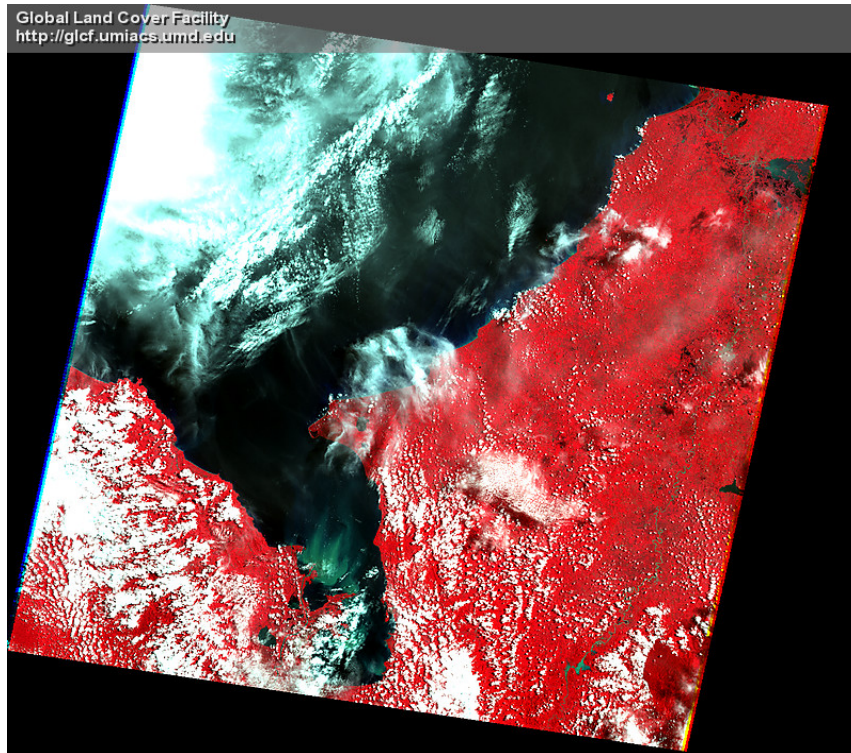


Figura 27. Vista rápida de imagen Landsat ETM referencia 1054 de 1999. La imagen cubre un área de 185km x 185km.

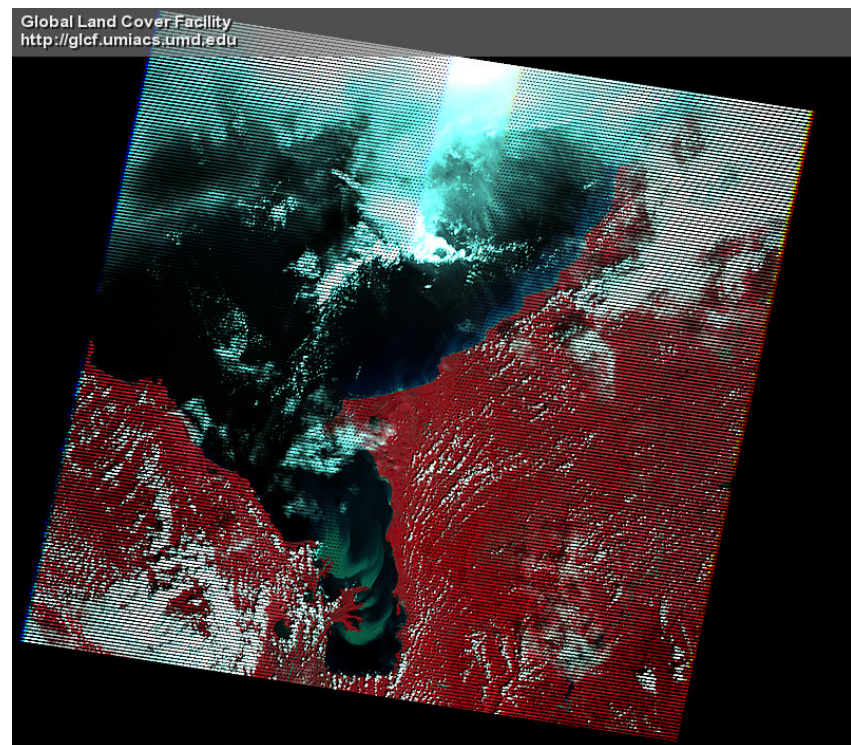


Figura 28 Vista rápida de imagen Landsat ETM referencia 1054 de 2003. La imagen cubre un área de 185km x 185km.

3. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES ÓPTICAS LANDSAT

Pese a su baja calidad radiométrica las escenas se seleccionaron para el proyecto las escenas Landsat ETM Path 10 54 del año 2003 y del año 2004 y las escenas del Path 10 Row 55 Landsat TM del año 1991. De estas imágenes se realizaron los siguientes procesos digitales: Importación, compilación de bandas en un archivo imagen, georeferenciación, correcciones radiométricas, sinergismos y mosaicos.

3.1 Importación y Compilación de bandas en un solo archivo multibanda

Las imágenes en su registro bruto vienen en formato BSQ (Banda secuencial intercalada) o en formato Geotiff. Estas bandas fueron bajadas de Internet comprimidas y luego importadas a formato img (Erdas Imagine, ERDAS, 2008). Posteriormente las bandas individuales se compilaron en un solo archivo imagen (figura 29).

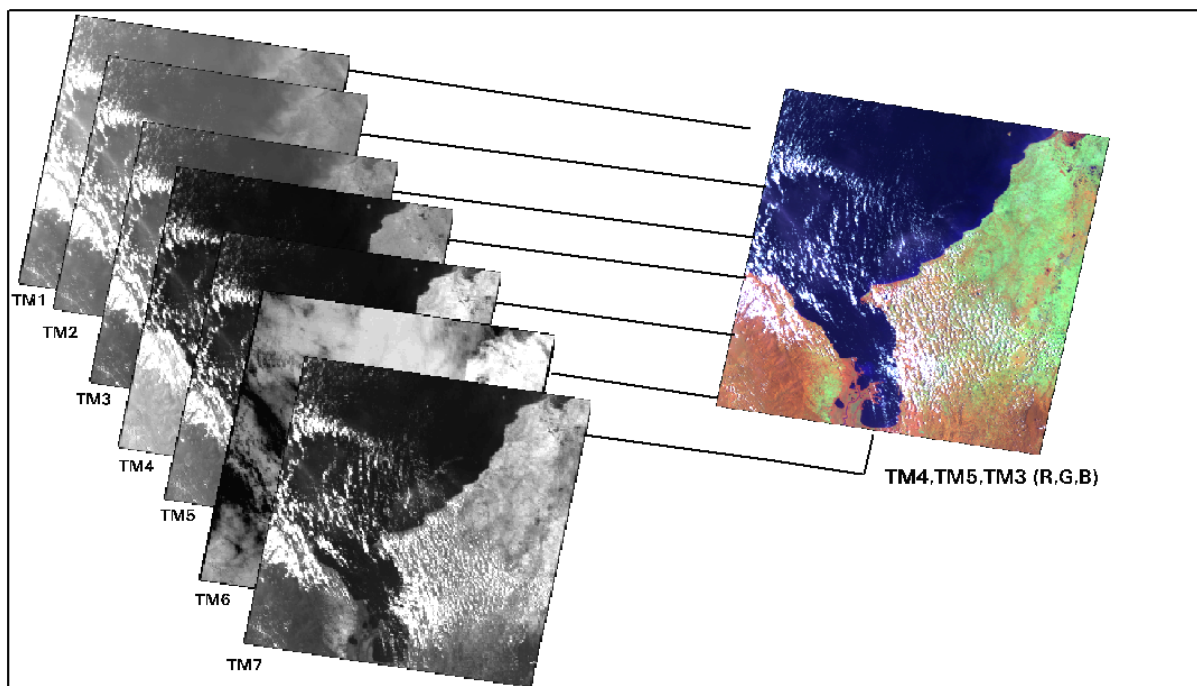


Figura 29. Ejemplo de compilación de bandas en un solo archivo multiespectral. Escena TM1054_91. Cada imagen cubre un área de 185km x 185km.

3.2 Georeferenciación

Teniendo en cuenta que algunas de las imágenes no tienen el nivel adecuado de georeferenciación, se corrigieron geoméricamente las diferentes escenas del 2001, 2003 y 2004 con la ortoimagen Landsat TM del año 1991. **Figura 30.**

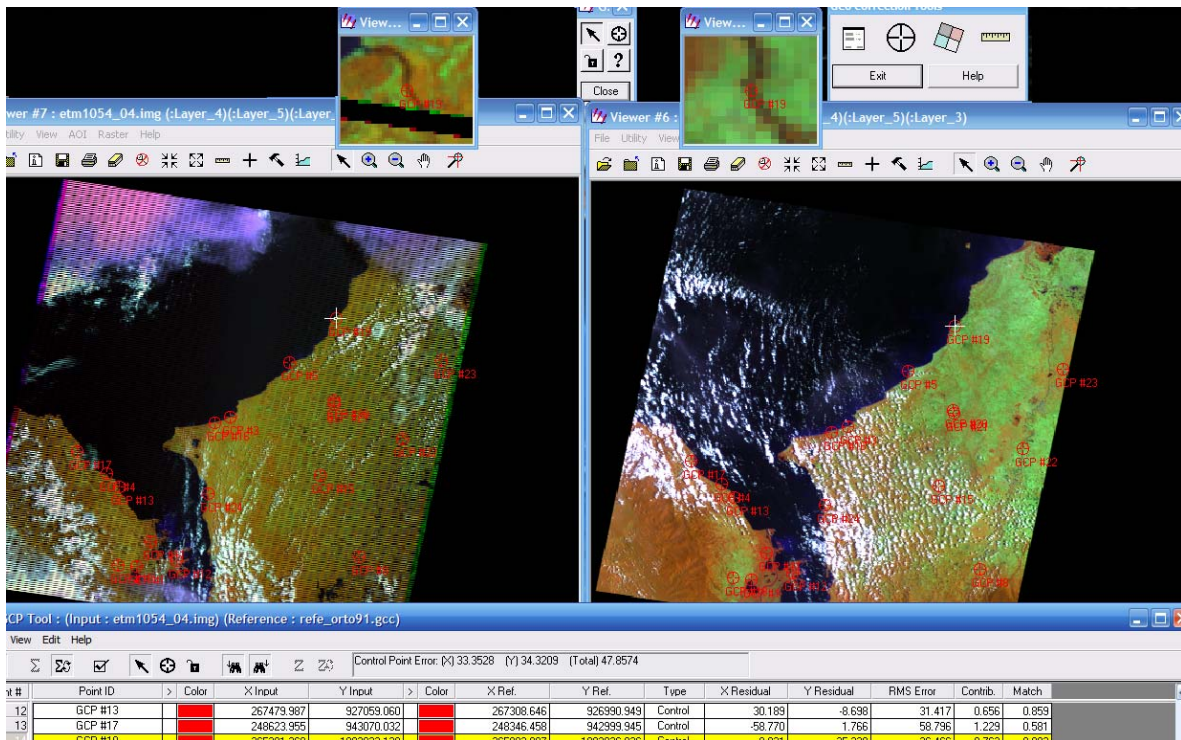


Figura 30. Ejemplo de corrección geométrica de imágenes Landsat TM del 2003.

3.3 Correcciones radiométricas

Como las imágenes posteriores a Mayo del 2003 presentan errores radiométricos por el daño de unos de sus sensores, estas presentan un bandeamientos paralelo hasta de 7 píxeles. Esta deformación radiométrica fue corregida para obtener imágenes fácilmente interpretables. **Figura 31.**

3.4 Sinergismos

Mediante la combinación numérica de bandas de diferentes imágenes y de diferentes resoluciones espaciales se realizaron sinergismos para mejorar la calidad radiométrica de las imágenes y la resolución espacial de 30m a 15m utilizando la banda pancromática.

3.5 Mosaicos

Dado que la zona de interés se encuentra localizada entre dos escenas Landsat se elaboraron mosaicos imágenes con las imágenes mejoradas radiométrica y espacialmente. Se elaboraron los mosaicos con las escenas Path10 Row 54 de 2003 y Path 10 Row 55 de 200; Path 10, Row 54 y 55 del año 1991(**figuras 32 y 33**).

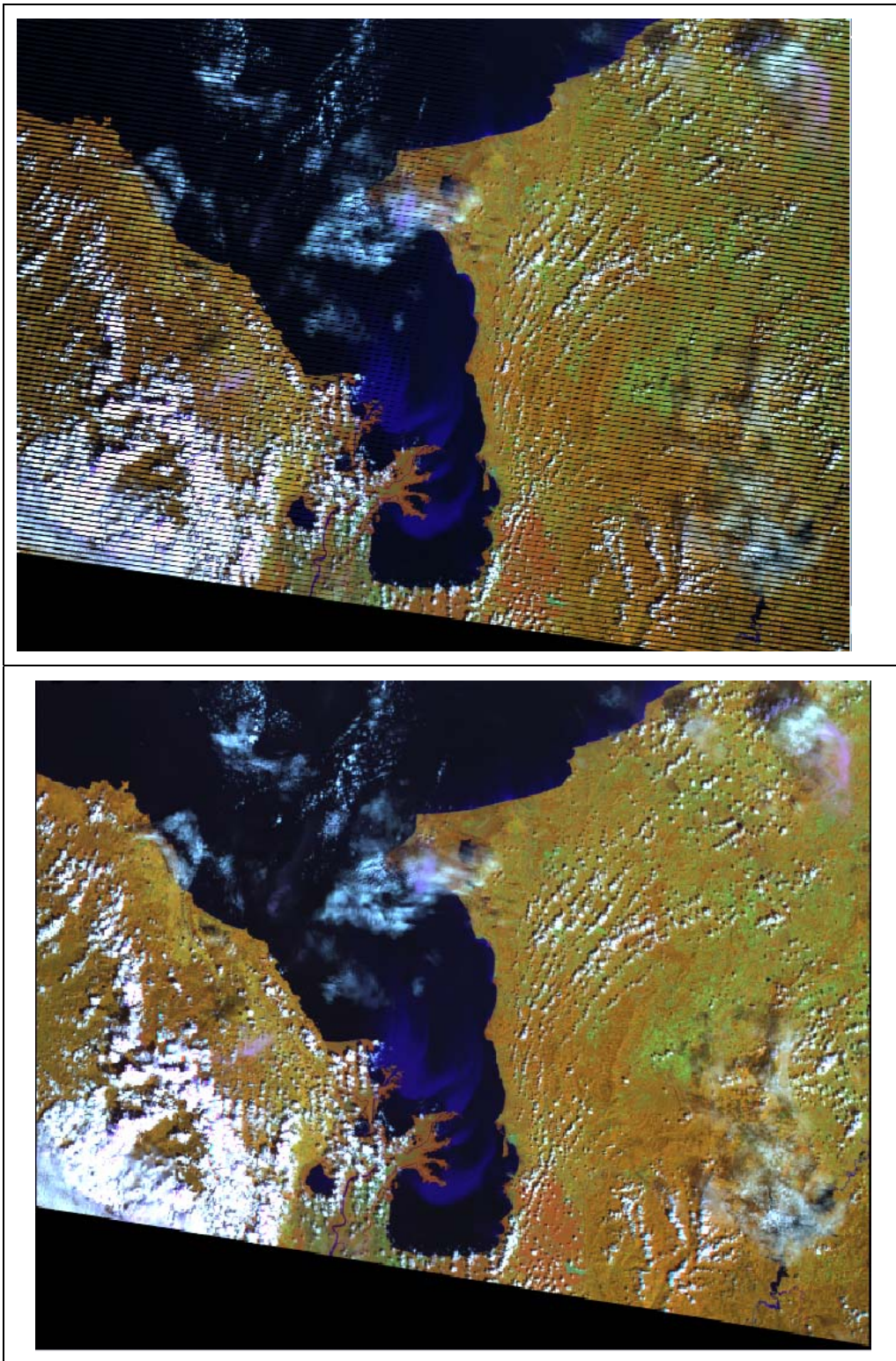


Figura 31. Ejemplo de corrección radiométrica por bandeamientos de la subimagen Landsat ETM del 2004. .

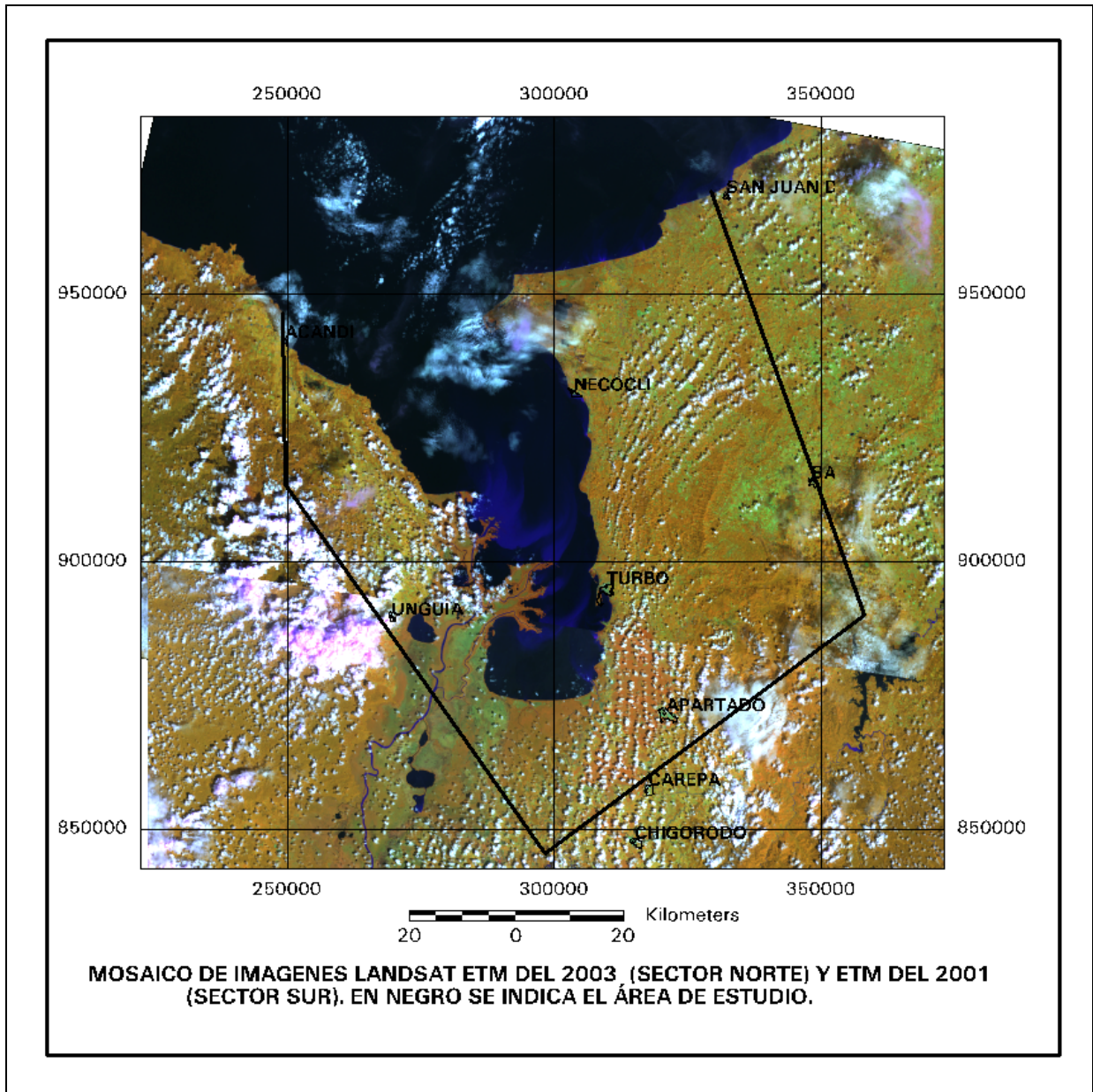


Figura 32. Ejemplo de mosaico entre imágenes Landsat ETM de (Path 10 Row 54 de 2003) e imagen Landsat ETM (Path 10 Row 55 de 2001).

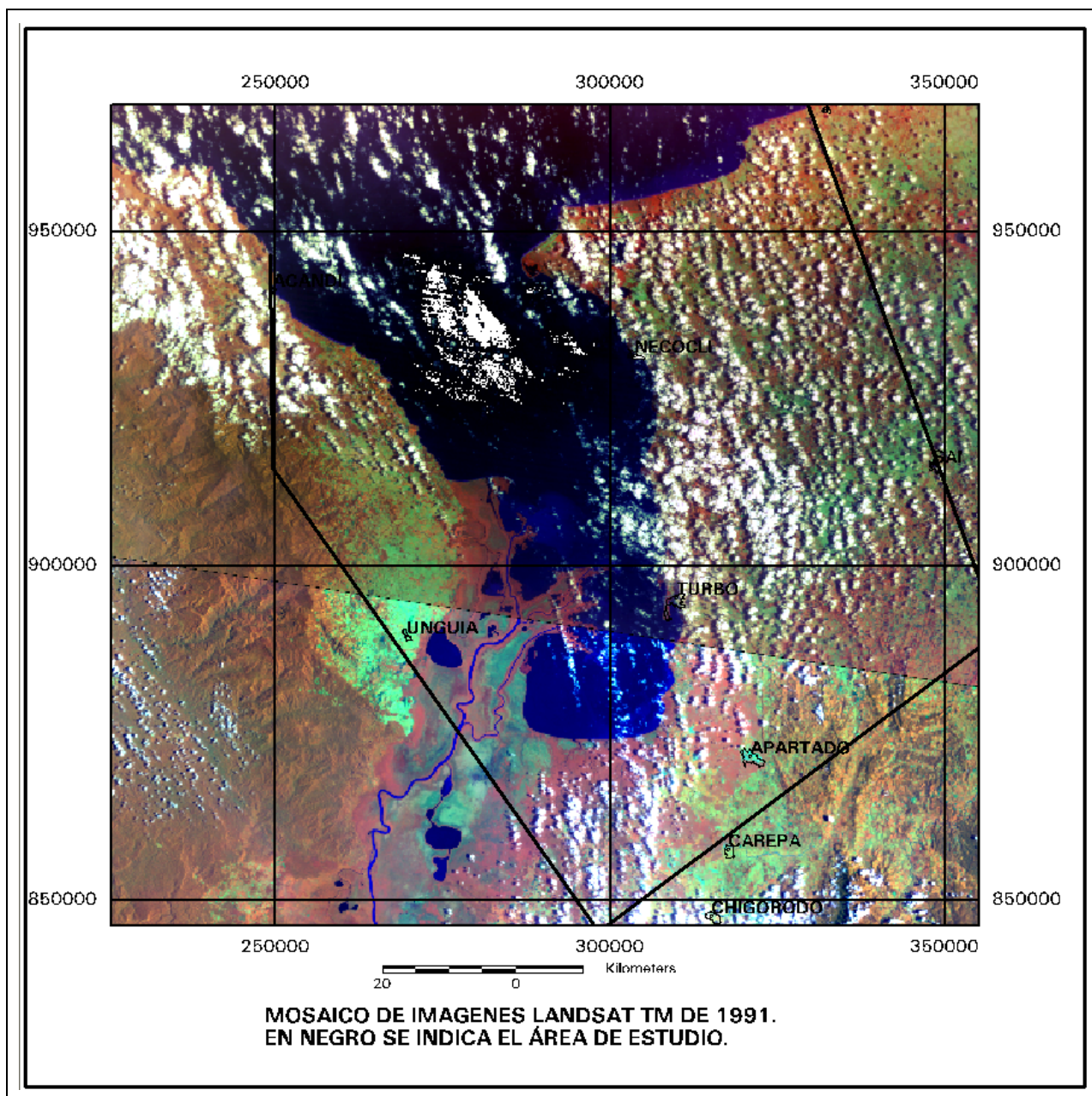


Figura 33. Mosaico imagen del dos escenas Landsat TM de 1991.

4. ANALISIS Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES DE RADAR

Dada la alta nubosidad del área de estudio y la buena aplicabilidad de las imágenes de radar se realizó un análisis para la utilización de la tecnología de microondas en diferentes longitudes de onda y resolución espacial.

La consulta de sistemas e imágenes de radar existentes en la Universidad Nacional y en el mercado llevó a la selección de los siguientes sistemas: a) imágenes Radarsat banda C, con resolución espacial de 50 m/píxel, b) imágenes radar INTERA del año 1992 en formato analógico (papel), ortorectificadas del IGAG a escala 1:100.000 y pares estereoscópicos analógicos INTERA a escala 1:50.000, c) imágenes digitales Terra_Sar-X, banda X con resolución de 16 metros/píxel e d) imágenes digitales ALOS en banda L, con resolución espacial de 10 metros. A continuación se presenta una breve descripción de estos productos. En la **figura 34**, se presenta un esquema de la interacción de estas tres bandas de longitud de onda.

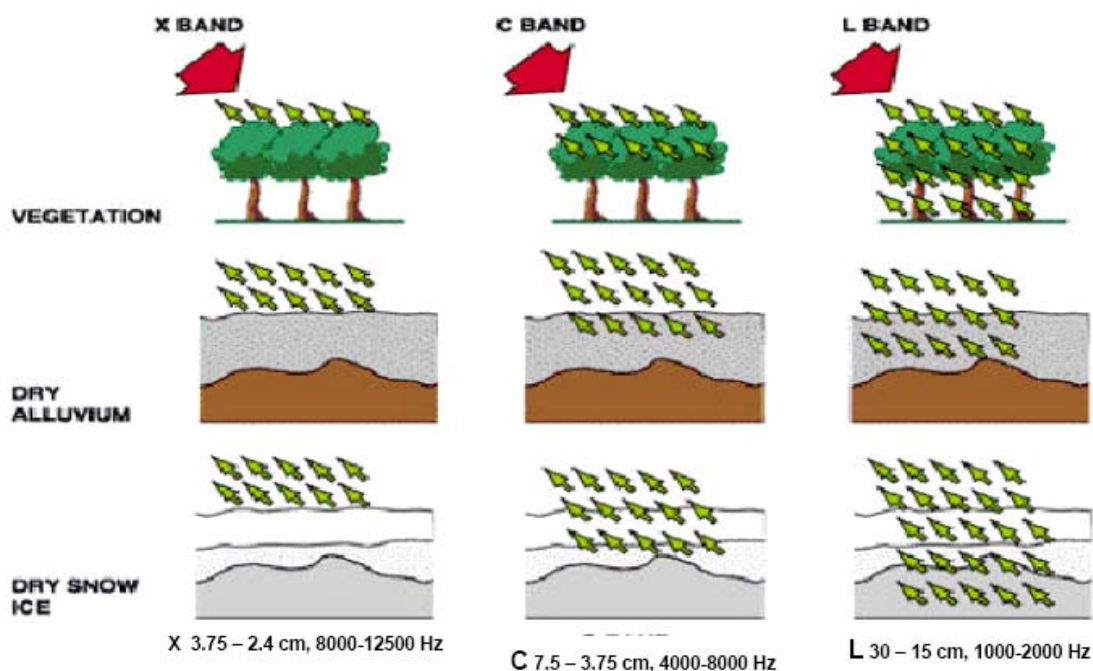


Figura 34. Esquema de acción de longitudes de onda en imágenes de radar bandas X, C, y L sobre tres medios diferentes. Nótese que a mayor longitud de onda es mejor la penetración sobre estos medios.

4.1 Imagen Radarsat

Del banco de imágenes de la Universidad Nacional (Departamento de geografía), se obtuvo una subimagen de esta imagen registrada en banda C y una resolución

espacial de 50 metros/píxel). Esta imagen fue extraída de la escena general y georeferenciada a partir de la ortoimagen Landsat TM de 1991 (figura 35).

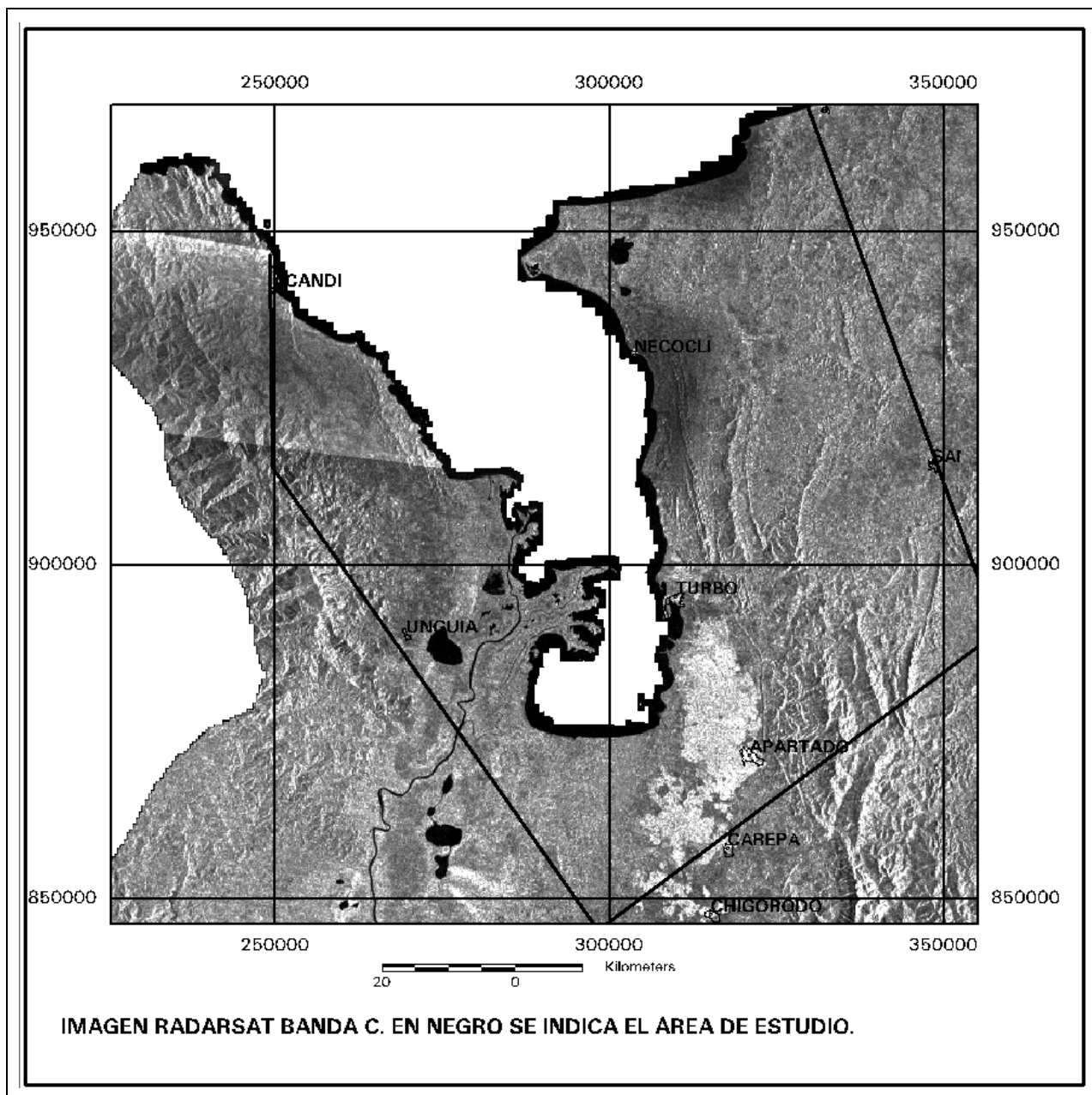


Figura 35 Vista general de la imagen Radarsat en banda C.

4.2 Planchas de imágenes INTERA a escala 1:100.000

De los productos analógicos del IGAC de planchas INTERA ortorectificadas correspondientes a las planchas topográficas: 58, 59, 68, 69, 79, 90 y 100 fueron escaneadas en niveles de gris y a 600 dpi. De esta digitalización se extrajeron las ventanas de las zonas útiles, se elaboraron los mosaicos y se georeferenciaron (figuras 36 a 43).

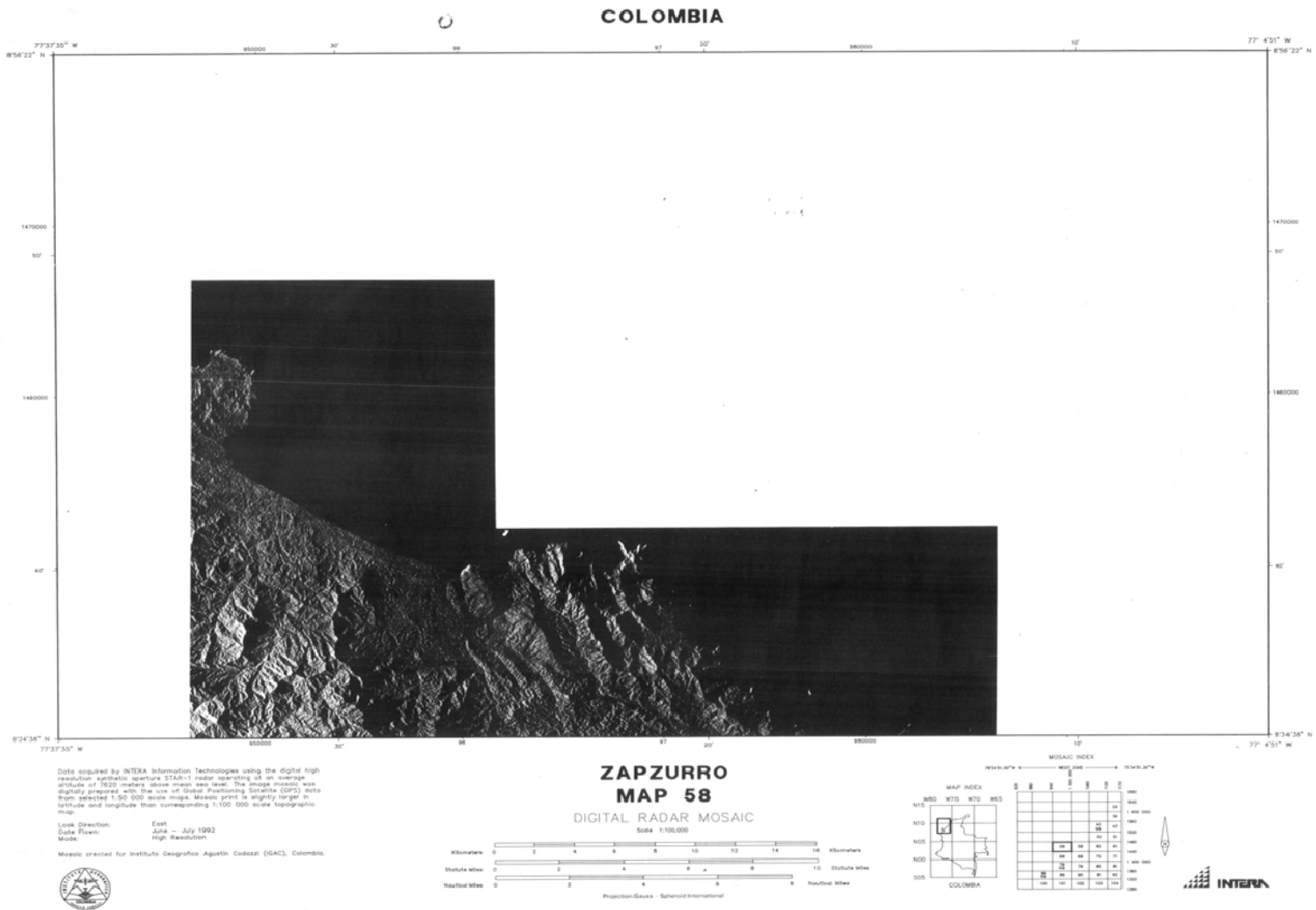


Figura 36. Plancha 58 de imagen Radar INTERA de 1992 Banda C.



Figura 37. Plancha 59 de imagen Radar INTERA de 1992 Banda C.

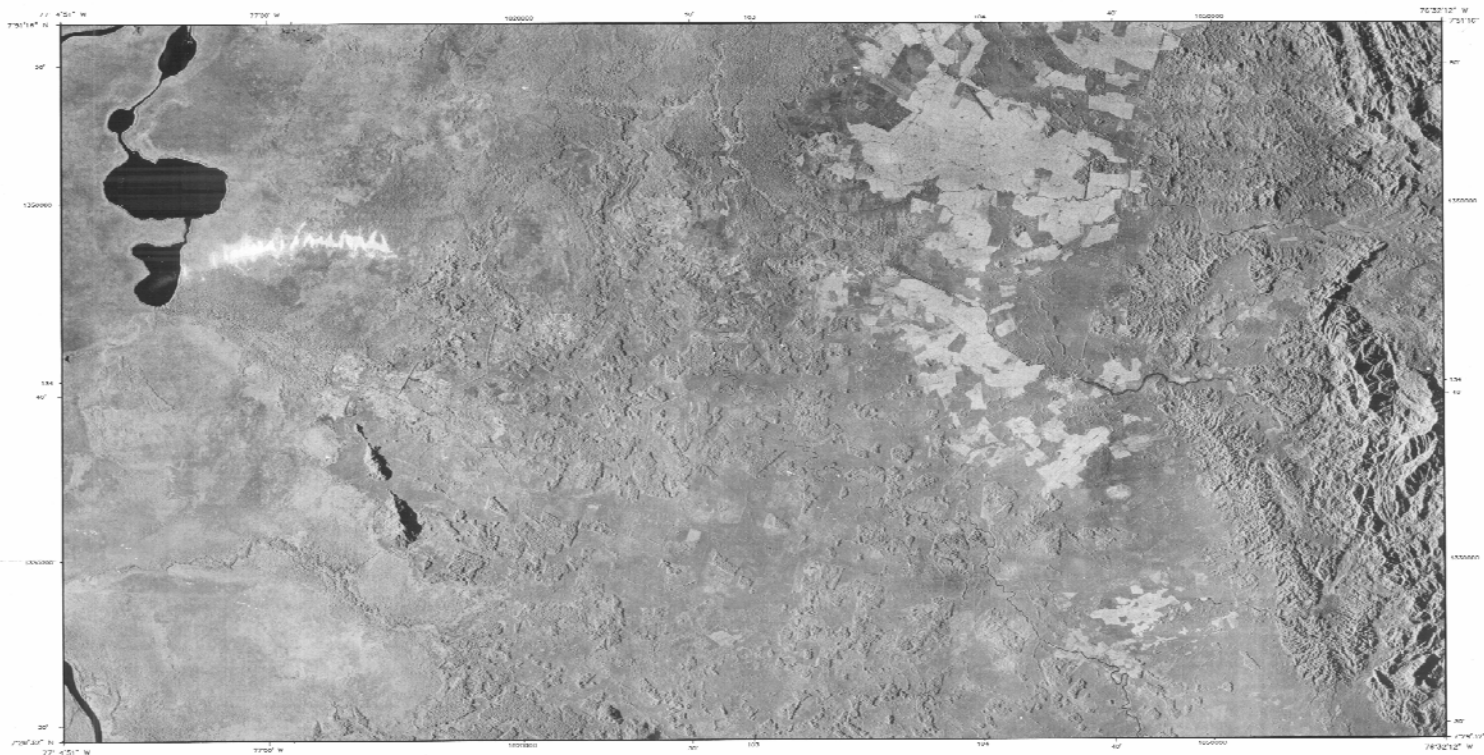


Figura 38. *Plancha 68 de imagen Radar INTERA de 1992 Banda C*



Figura 39. *Plancha 69 de imagen Radar INTERA de 1992 Banda C*

COLOMBIA



Data processed by INTERA International Technologies using the digital high resolution synthetic aperture STAR 1 radar instrument in an over-the-horizon geometry of 18.5° slant range cross range view. The image mosaic was digitally processed with the use of Global Positioning System (GPS) data from selected 1:50,000 scale maps. Mosaic (SRTM) is 800m by 800m in latitude and longitude then reprojecting to UTM 18Q UTM zone topographic map.

Link Database: Eml
 Data Type: SRTM - July 1997
 Mode: High Resolution

Mosaic created for Instituto Proyección Aeronáutica (IPAA), Colombia.



**CHIGORODO
MAP 90
DIGITAL RADAR MOSAIC**

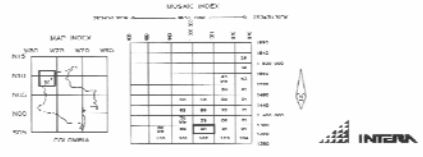
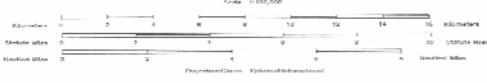


Figura 41. Plancha 90 de imagen Radar INTERA de 1992 Banda C



Figura 42. *Plancha 100 de imagen Radar INTERA de 1992 Banda C.*

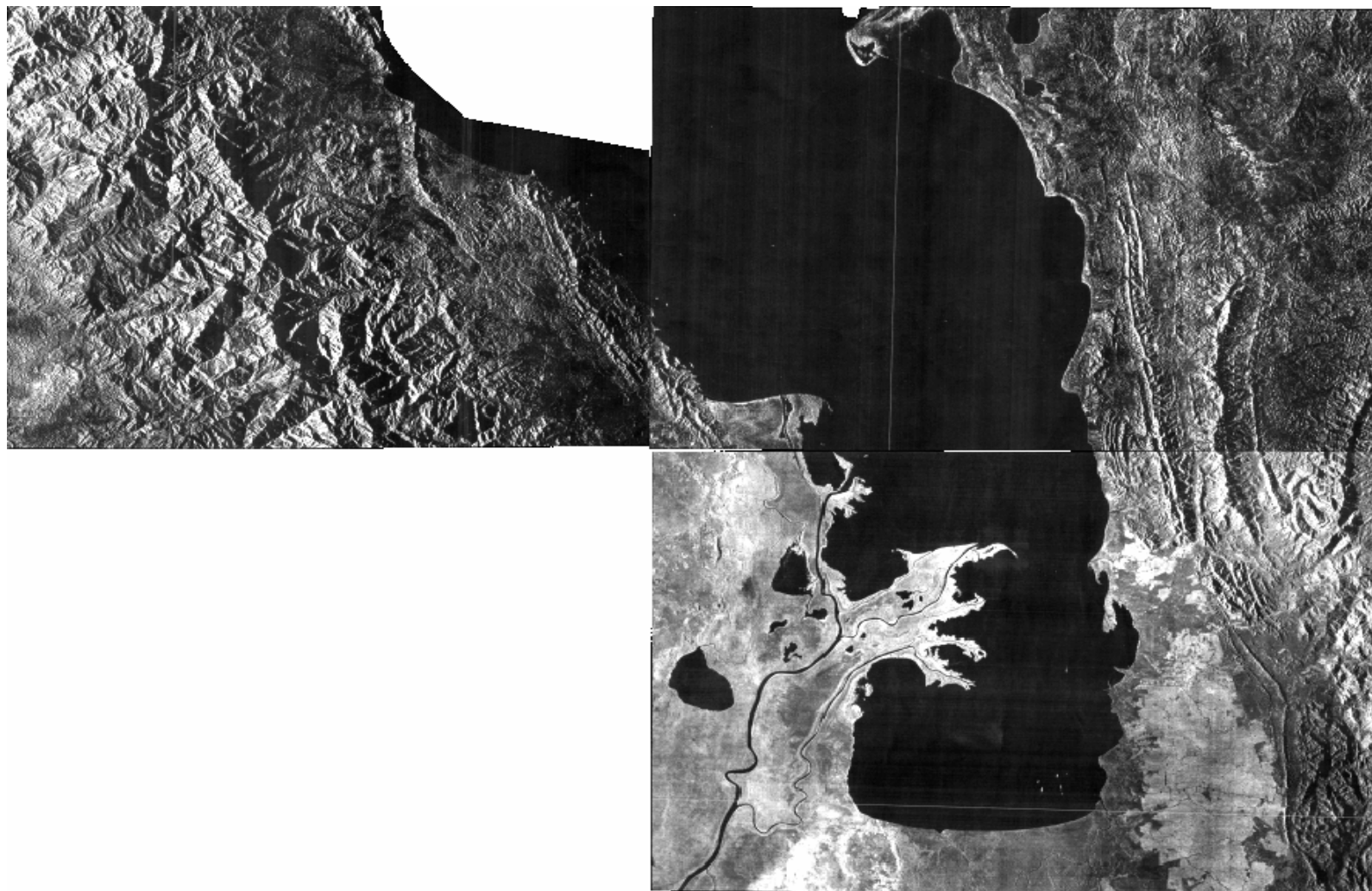


Figura 43. *Detalle del mosaico georeferenciado de las planchas 100.000 Radar INTERA.*

4.3 Planchas de imágenes INTERA a escala 1:50.000

Un total de 24 planchas de imágenes radar INTERA a escala 1:50.000 fueron escaneadas, con la realización de dos mosaicos (zona occidental y Oriental) y su correspondiente georeferenciación (figuras 44 a 46)

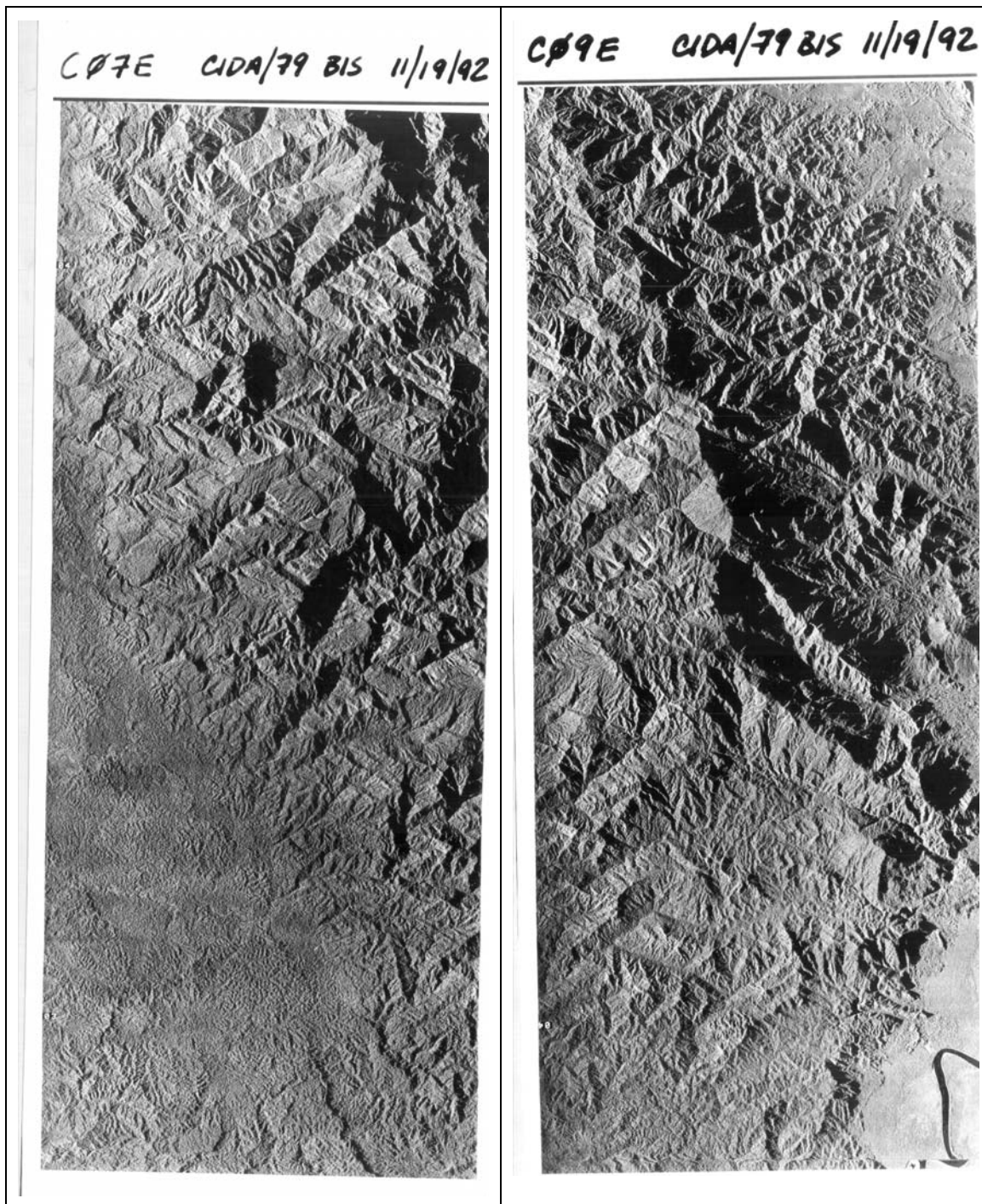


Figura 44. Ejemplo de planchas 1:50.00 radar INTERA escaneadas.

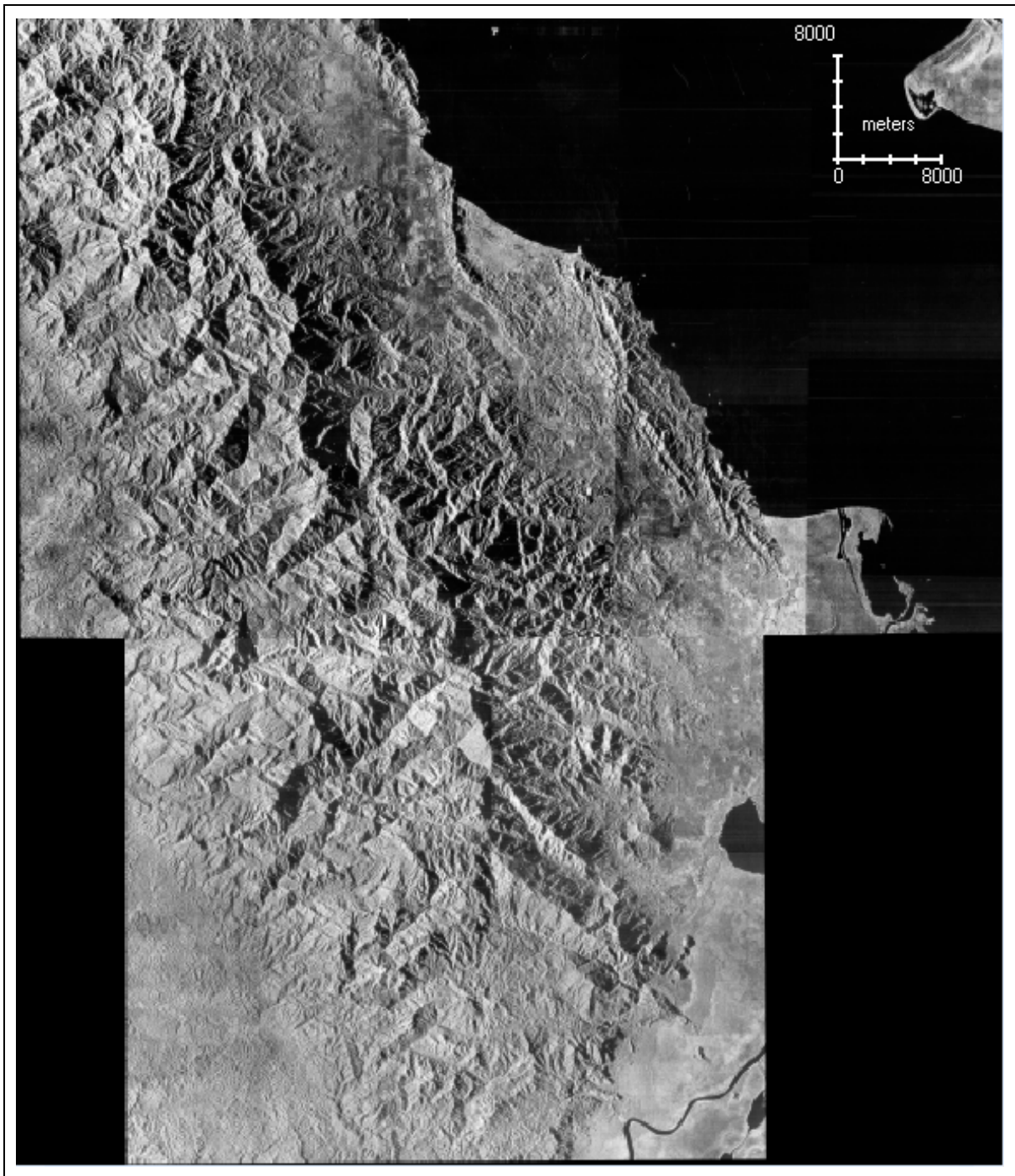


Figura 45. Mosaico de planchas de imágenes radar INTERA georeferenciado del costado Occidental del área de estudio.



Figura 46. Mosaico de planchas de imágenes radar INTERA georeferenciado del costado Oriental del área de estudio.

4.4 Selección y programación de imágenes TerraSAR-X

El satélite radar alemán TerraSAR-X fue lanzado el 15 de junio de 2007 a una órbita baja, de 514 kilómetros de altura, desde el Centro Espacial ruso de Baikonur, en Kazajistán.

Para la adquisición de estas imágenes se ha programado el satélite para el día 4 de Noviembre de 2008 (**figura 47**). Estas imágenes tendrán una resolución espacial de 16 metros, una longitud de onda en banda X (2,4 a 3,75 cm) y un ángulo de incidencia del haz de 36,05 a 43,86.

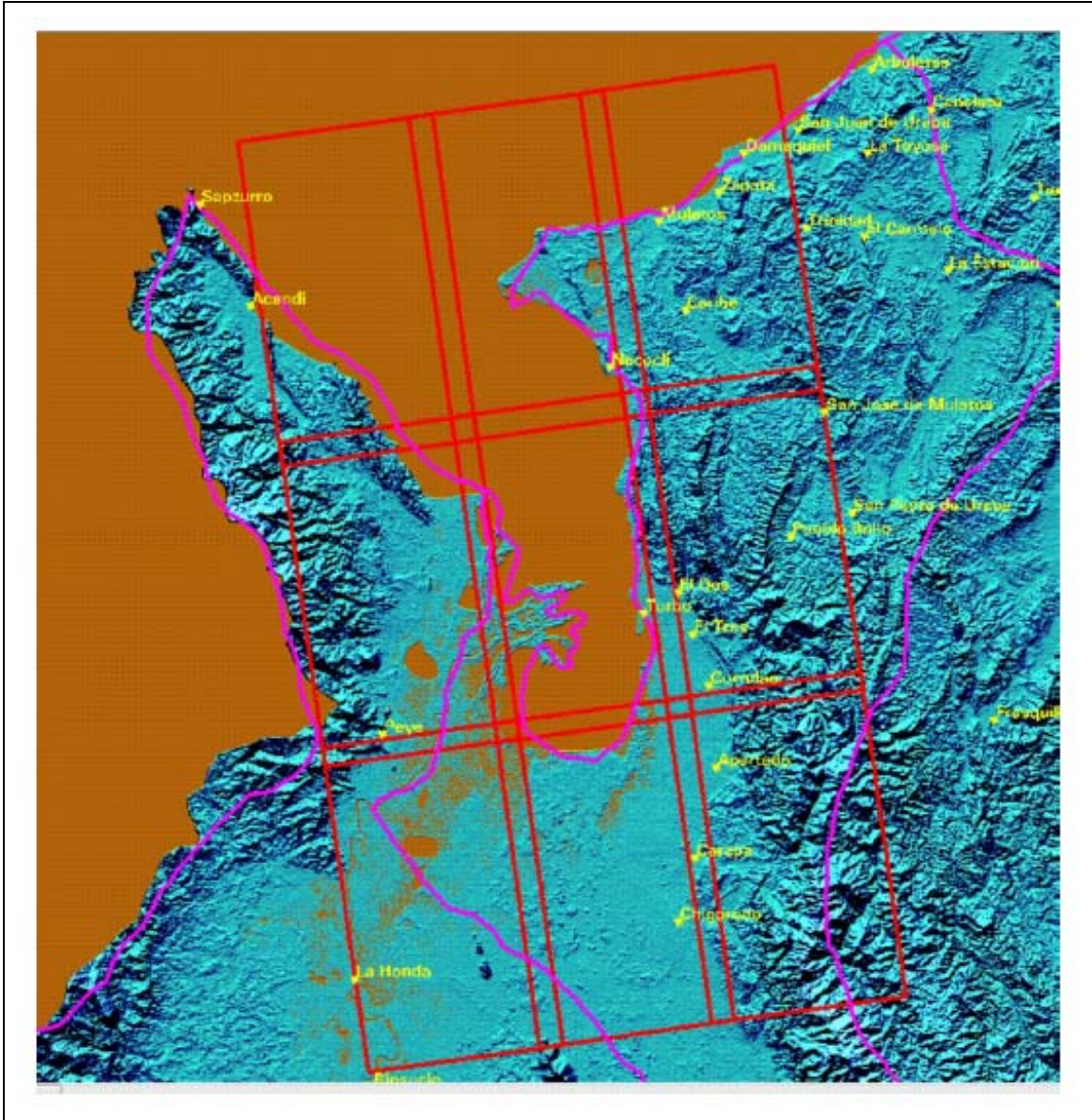


Figura 47. Localización de las nueve escenas TerraSar-X programadas para registro el día 4 de Noviembre de 2008.

4.5 Imágenes de Radar ALOS PALSAR, banda L

Las imágenes ALOS en modo Radar PALSAR de tecnología Japonesa, son sistemas de radar de apertura sintética SAR, que opera en banda L, con resolución espacial entre 10 a 100. Posee un modo de polarimetría que es capaz de generar imágenes con polarizaciones HH, HV, VV e VH. Las principales características de estas imágenes se presentan en la **tabla 3**.

Tabla 3. Características de las imágenes Radar PALSAR

Modo	Fino (Fine)		ScanSAR	Polarimétrico
Frecuencia	1.270 MHz (Banda L)			
Chirp Bandwidth	28 MHz	14 MHz	14 MHz, 28 MHz	14 MHz
Polarización	HH	HH+HV	HH	HH+HV+VH+VV
Ángulo de incidencia	8° ~ 60°	8° ~ 60°	18° ~ 43°	8° ~ 60°
Resolución en alcance (rango)	7 ~ 44m	14 ~ 88m	100m (multilook)	24 ~ 89m
Dimensiones	40 ~ 70 km	40 ~ 70 km	250 ~ 350 km	20 ~ 65 km
Tasa de transmisión de datos	240 Mbps	240 Mbps	120 Mbps ou 240 Mbps	240 Mbps

Se adquirieron para el estudio seis escenas de 65 x 57 km, con una resolución espacial de 6,25 metros /píxel, a una frecuencia de 1.270 MHz, polarización simple. Se espera que para los primeros días del mes de Noviembre de 2008 se haga entrega de estas imágenes (**figura 48**).

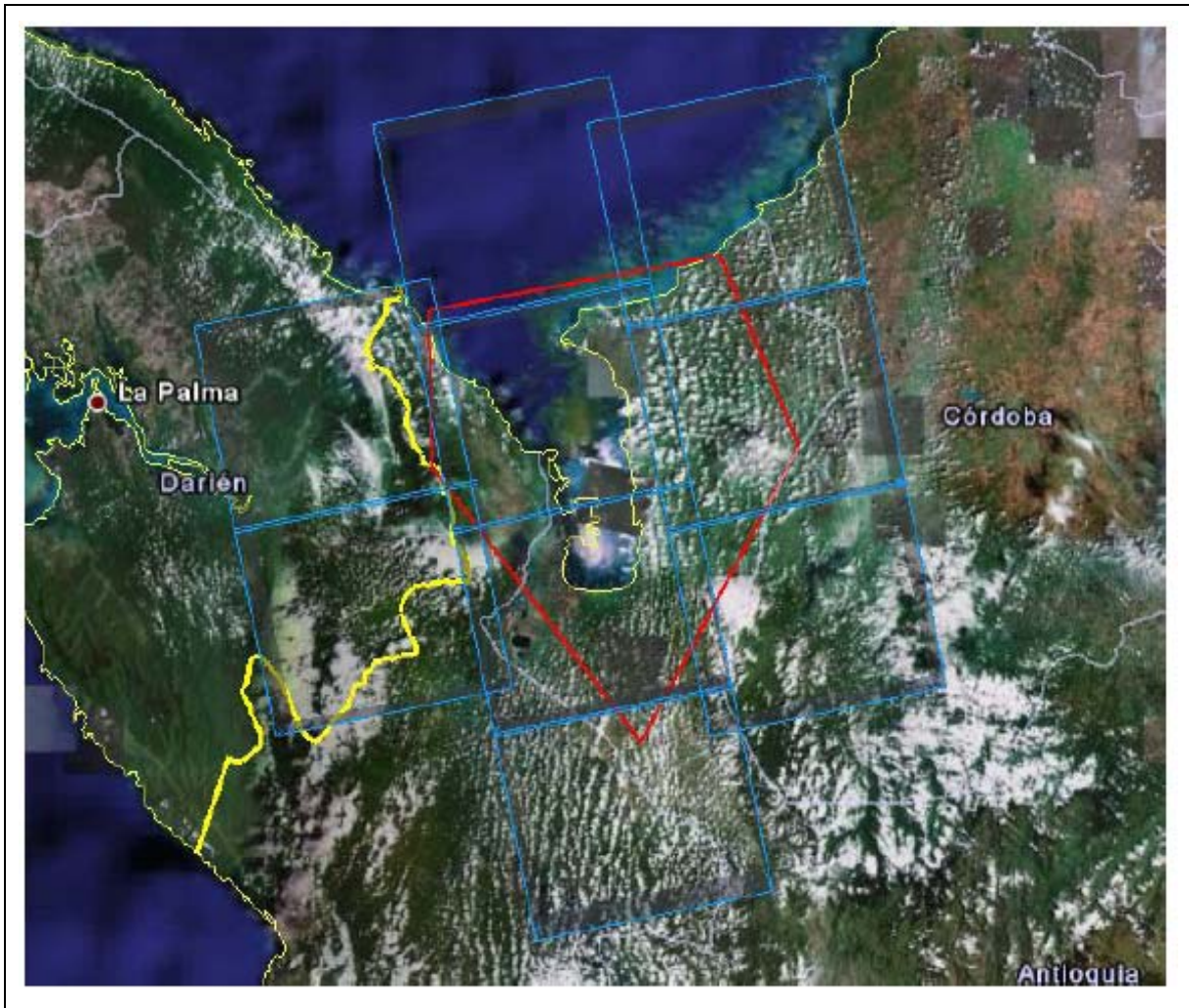


Figura 48. Localización aproximada de las escenas Radar modo PALSAR banda L entorno al área de interés (línea roja).

5. MODELO DIGITAL DE TERRENO

Para el estudio se utilizó el modelo digital de terreno de la NASA con resolución espacial de 30 metros píxel, a partir del cual se generarán vistas en relieve, vistas 3D y anaglifs con las diferentes imágenes. Estos productos serán la base para la interpretación geológica y estructural (**figura 49**).

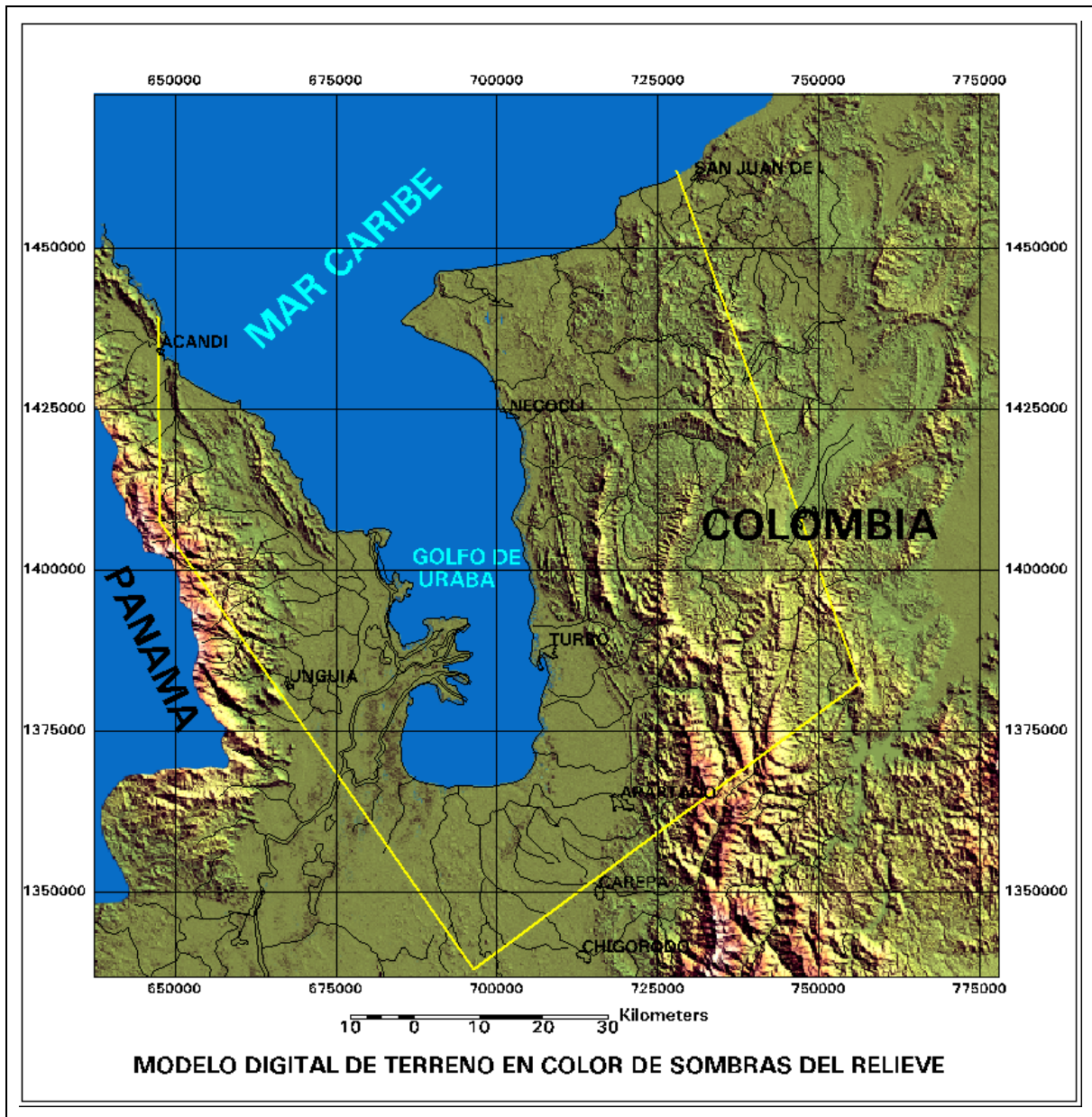


Figura 49. Modelo digital de terreno visto en sombras por iluminación del relieve con una azimut de 45 grados.

6. INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL PRELIMINAR

Con base en los mosaicos radar INTERA, el modelo digital de terreno y vistas estereoscópicas con anaglifs, se interpretaron las estructuras asociadas a fallas y estructuras circulares relacionadas a volcanes de lodo.

Se identificaron en la parte nororiental nueve estructuras relacionadas con volcanes de lodo de forma circular y semicircular con dimensiones variadas (figura 50).

En total se identificaron 580 estructuras asociadas a fallas y/o lineamientos estructurales, que se diferenciaron por su expresión e importancia en tres tipos principales: a) estructuras relacionadas a fallas principales regionales, b) estructuras asociadas a fallas regionales secundarias y c) estructuras menores y lineamientos. En la **figura 51** y **mapa 1** en anexo se presenta la cartografía general de estas estructuras y en las **figuras 52 y 53** y **mapas 2 y 3** en anexo se presentan vistas en anaglifs de estas interpretaciones.

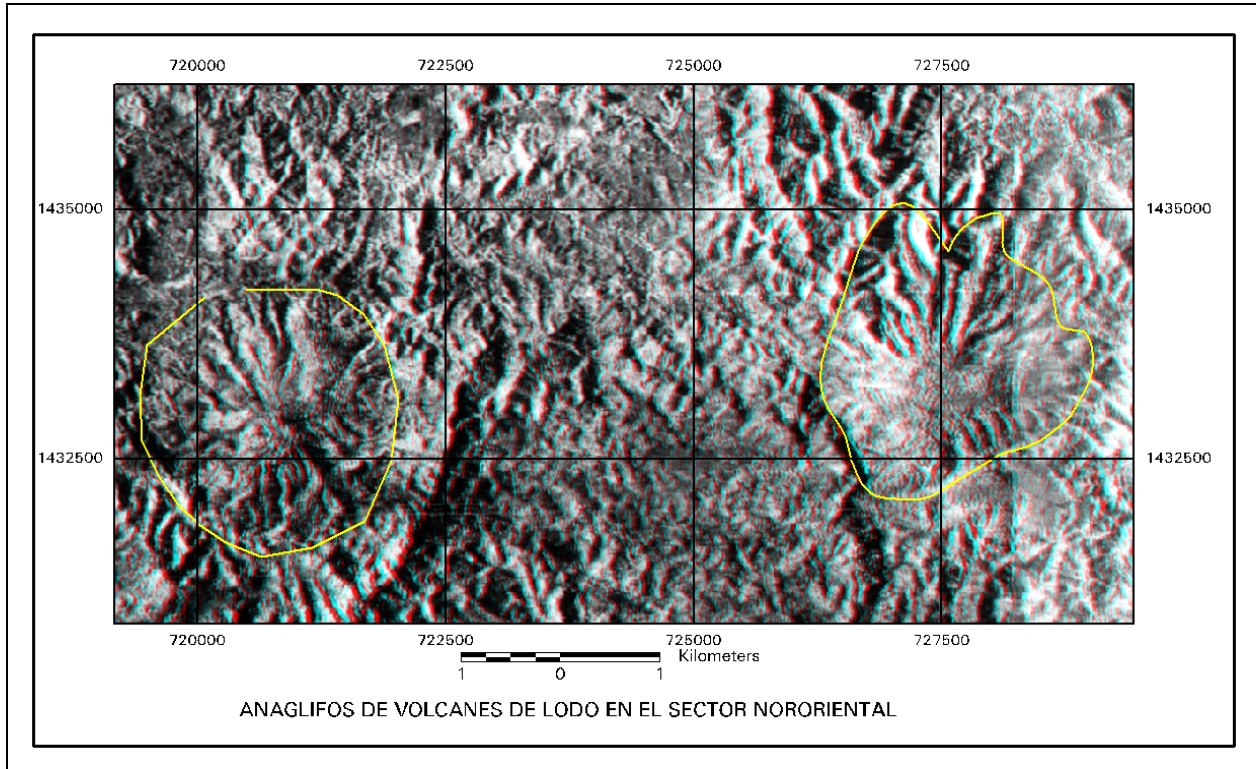


Figura 50 Vista en anaglifo de volcanes de lodo. Obsérvese con gafas de anaglifo rojo (ojo izquierdo) y azul (ojo derecho)

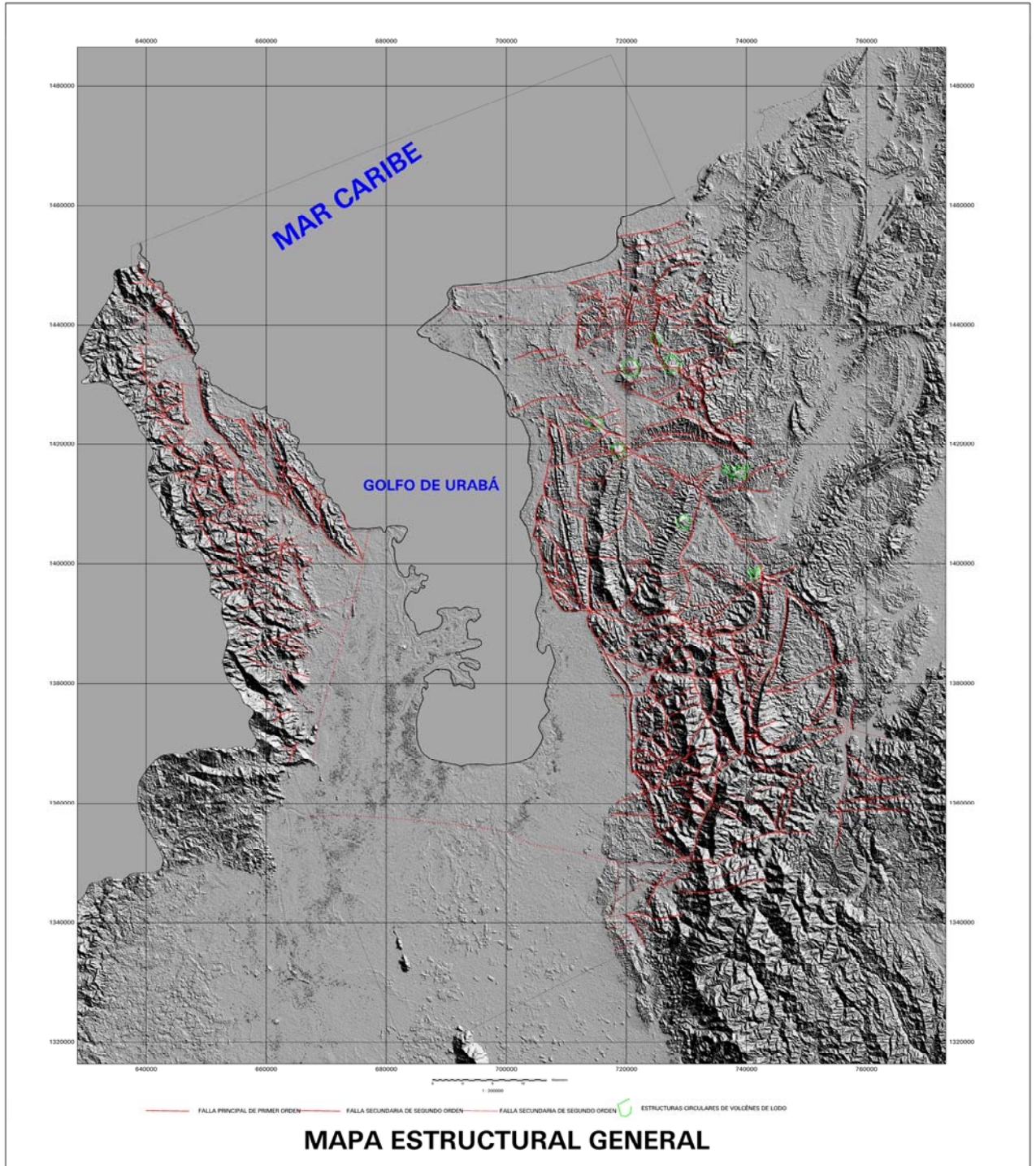


Figura 51. Mapa estructural general

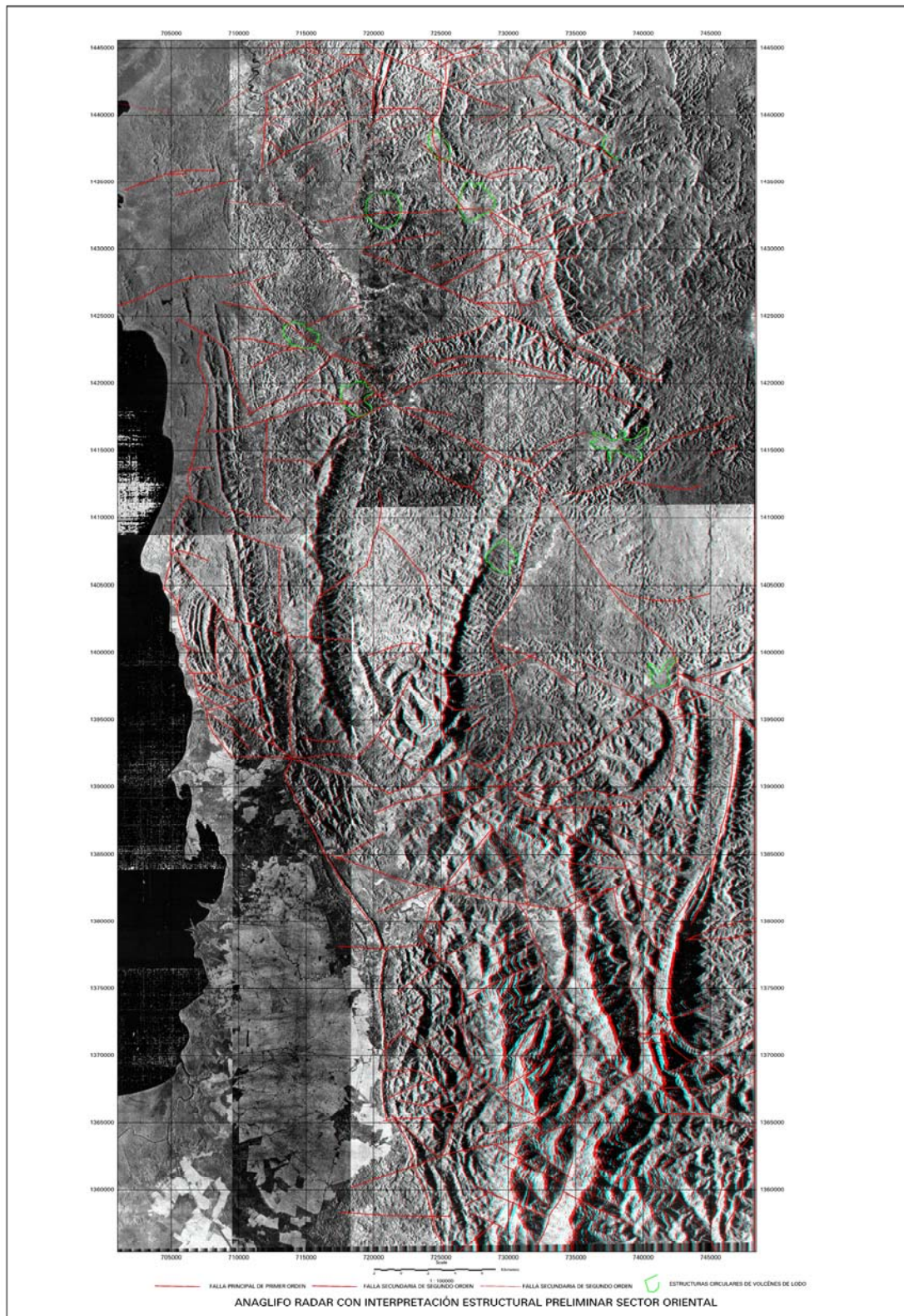


Figura 52. Mapa estructural en anaglifo del sector oriental

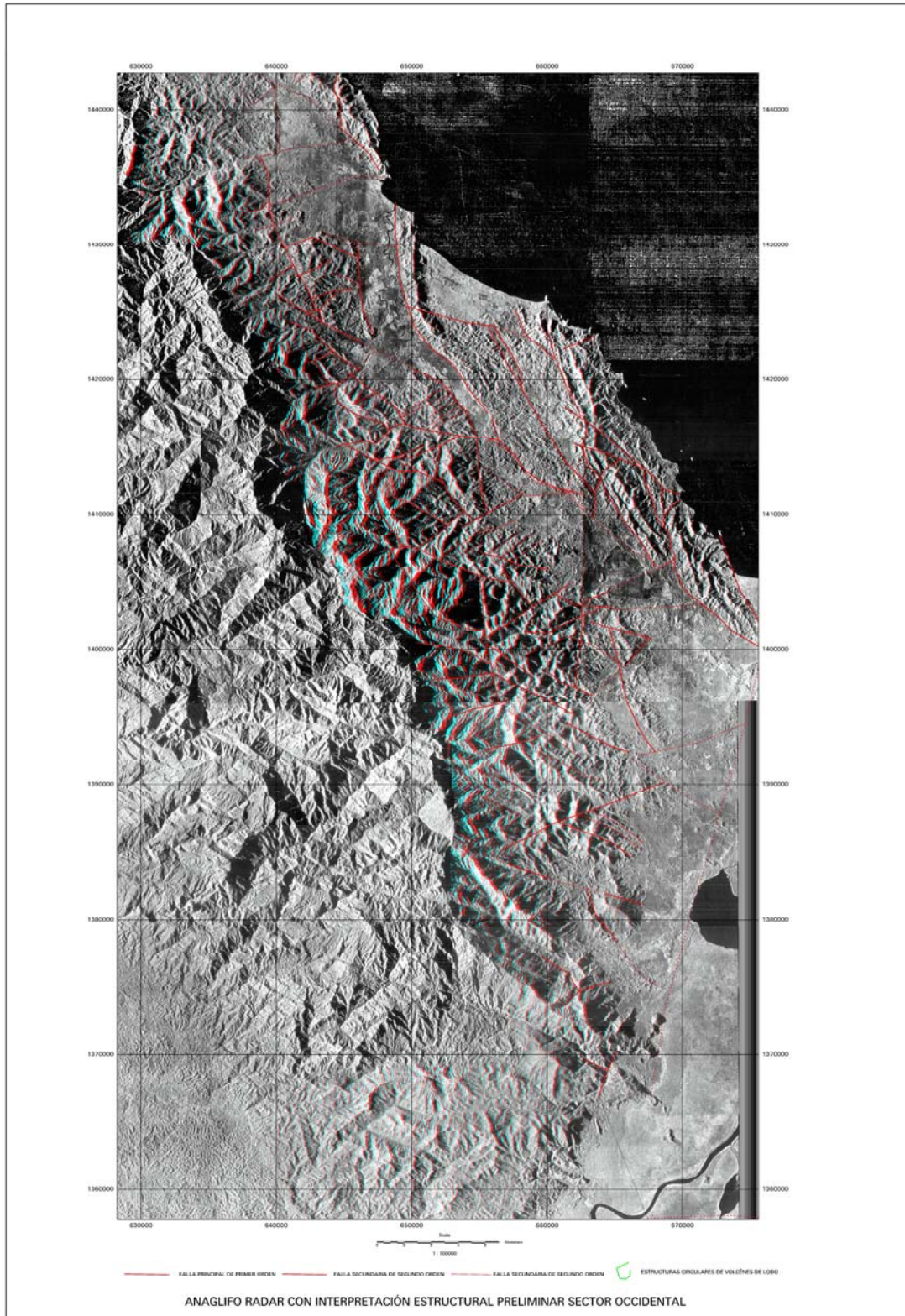


Figura 53 Mapa estructural en anaglifo del sector occidental.

7. CONCLUSIONES

Con este primer avance del estudio geológico por sensores remotos del área del proyecto de Urabá, se logro seleccionar, adquirir y procesar las imágenes ópticas tipo Landsat TM y ETM con resoluciones espaciales de 30 metros/píxel. Estos productos servirán de base para la interpretación litológica y la elaboración de sinergismos con las imágenes de radar.

Dadas las difíciles condiciones atmosféricas de la región por la alta humedad de la región la disponibilidad de otros productos satelitales ópticos (reflectancia) fue infructuosa, por lo cual se recurrió a la búsqueda de imágenes de radar (rango de las microondas), con mayor éxito. De estos productos se buscó la complementariedad de imágenes con diferentes longitudes de onda para obtener información geológica complementaria, esta imágenes fueron Terra_SAR-X en banda X y ALOS en banda L.

Adicionalmente a la compra de las anteriores imágenes de radar en bandas x y L, se elaboraron dos mosaicos a partir de la digitalización por escaneo de planchas de radar a escala 1:100.000 y productos fotográficos a escala 1:50.000. Con estos productos se realizó una primera interpretación estructural estereoscópica utilizando imágenes en anaglifos.

De esta interpretación se identificaron y categorizaron tres sistemas principales de estructuras asociadas a fallas así: a) estructuras relacionadas a fallas principales regionales principalmente en dirección NE, b) estructuras asociadas a fallas regionales secundarias, con direcciones predominantes EW y NW y c) estructuras menores y lineamientos asociados a principalmente a fracturas mayores.

Por otra parte el sector nororiental del área de estudio se caracteriza por la presencia de sistemas de volcanes de lodos algunos de ellos alineados con estructuras en dirección NW y EW. Se identificaron en este primer estudio 9 zonas activas.

8. PERSPECTIVAS

Como continuación del estudio geológico hacia la prospección de hidrocarburos con sensores remotos, se tiene establecido la integración de los diferentes productos ópticos y de radar para evaluar esta primera interpretación estructural, complementada con las estructuras asociadas a pliegues, la cartografía de unidades litológicas y un mayor control de campo, particularmente seleccionando algunas secciones con la existencia de líneas sísmicas.

BIBLIOGRAFIA

Chang, Kang-Tsung, 2004. Introduction to Geographic Information Systems. Mc Graw Hill.

Chuvienco, Emilio. 1990. *Fundamentos de teledetección espacial* . Ediciones Rialp, S.A. Madrid.

CNES, 1986. Guide des utilisateurs de donnees SPOT, Vol1 Manuel de reference. Spot Image, Toulouse. **CNES** “ Guide des utilisateurs de donnees SPOT” Vol2 Guide Practique. Spot Image, Toulouse.

Dasle A. Quattrochi; Michael F. Goodchild. 1997. *Scale in Remote Sensing and G^r*. Lewis Publishers USA.

Dirk, Werle, 1992 “*Radar Remote Sensing. A training Manual*”. Dendron Surveys Inc. Applications Division Canada Centre for Remote Sensing.

Dirk Werle. 1992. Dendron resource Surveys INC. Radar Remote Sensing a training manual.

ERDAS, 2008 “Erdas imagine Field guide v8.3. Atlanta,Georgia. 4a Edition 656p.

ERDAS, 2008 “Erdas imagine Tour guides v8.3. Atlanta,Georgia. 4a edition. 454p.

Esa. European Space Agency, 1993. *Space at the service of our environment*. Second ERS-1 Symposium. Hamburg, Abstracts, Germany. 11 – 14 de Octubre de 1993.

Fernández García, Felipe. 2000. Introducción a la Fotointerpretación. Ariel Geografía. Editorial Ariel S.A., Barcelona.

Floyd F. Sabins. JR. 1987. *Remote Sensing. Principles and interpretation*. W.H. Freeman and Company. New York. Second edition.

Floyd M. Henderson and Anthony J. Lewis. 1998. *Principles & Applications of Imaging Radar*. Manual of remote sensing, third edition, Vol.2 John Wiley & Sons, Inc

Girard y Girard. 1989. *Teledetection appliquée zones temperes et intertropicales*, Editorial Masson, Paris..

Jensen, John R. 1996. *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall Series. Second edition.

Leroit, E., Rouzeau, O., Scanvic, J.Y., C. Weber and Vargas, G. 1992. Remote sensing and GIS technology in Landslide hazard mapping in the Colombian Andes. Episodes, Vol. 15 no.1.

Lillesand – Kiefer. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Inc. Third edition.

Korte, G.B, P.E, 2001. The GIS book Onword press.

Longley, Paul, 2005. Geographical Information Systems Science, Wiley & sons (910.285/G345geo).

Richards, John A. 1986. *Remote Sensing Digital Image Analysis.* An introduction. Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo.

Scanvic, Jean – Yves 1983. *Utilisation de la Télédétection dans les Sciences de la Terre* ". Bureau de recherches géologique et minières BRGM. Orleáns, France.

Swain, Philip H. Shirley M. Davis, 1978 "Remote Sensing: The quantitative approach". McGraw – Hill Book Company.

Vargas Cuervo G. 2007. Cartografía geológica y estructural a partir de sensores remotos. Región de la Alta Guajira. Informe técnico No 2. Proyecto cartografía e historia geológica de la alta guajira, implicaciones en la búsqueda de recursos minerales. Unal – Ingeominas.

Vargas Cuervo G., 2007. Notas de clase curso de sensores remotos. Departamento de Geografía Universidad Nacional de Colombia.

Vargas Cuervo G. 1995 Desarrollo de Métodos de Cartografía y Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa en los Andes Colombianos - *Developpement de Methodes de Cartographie des Mouvements de Masse et de Zonage de l'Alea dans les Andes de la Colombie*". Tesis de doctorado Universidad Pierre et Marie Curie, París VI. Mención "Tres Honorable".

Vargas Cuervo G. 1994 *Metodología para la cartografía de zonas de susceptibilidad a los deslizamientos a partir de sensores remotos y SIG.* Boletín geológico INGEOMINAS Vol. 34 No. 1, pp 59-116.

Vargas, Cuervo G. 1997 *Evaluación de Imágenes Spot, Landsat y Radar en la Cartografía de Movimientos en Masa.* Publicación Especial ESA, Italia.

Vargas, Cuervo G., Chorowicz J. 1994. *Evaluación de Imágenes Spot y Landsat en la Identificación y Cartografía de Movimientos en Masa.* Investigaciones sobre los riesgos geológicos en ciudades de América Latina. Memorias III Simposio Latinoamericano Sobre Riesgos Geológicos Urbanos. Julio de 1994. CREAMOS, AGID. pp 1-25.

Direcciones Web consultadas

<http://glcfapp.umiacs.umd.edu/index.shtml>

<http://www.elsitioagricola.com/ads/agrisat/agrisat.asp>

<http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>

<http://www.apogee.com.au/products/index.html>

http://www.landinfo.com/espanol/resources_news.htm

<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>

<http://www.aerometric.com/>

<http://sirius.spotimage.fr/anglais/welcome.htm>

<http://glovis.usgs.gov/ImgViewer/ImgViewer.html?lat=8.8&lon=-75.2&mission=LANDSAT&sensor=ETM>

<http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?Info=031>

<http://seamless.usgs.gov/Website/Seamless/viewer.php?startbottom=-85.0&starttop=85.0&startleft=-179.5&startright=179.5&limitbottom=-85.0&limittop=85.0&limitleft=-179.5&limitright=179.5>

<http://landsat.usgs.gov/index.php>

<http://caece.edu.ar/tea/servidores.htm>

<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>

<http://www.ersdac.or.jp/eng/index.E.html>

<http://www.ingalvarez.com.ar/radares.htm>•<http://smn.cna.gob.mx/radares/descripcion/rada-desc.html>

<http://bigbang.une.edu.ve/computacion/Noraida/DERECHO.htm>•<http://earth.esa.int/ers/><http://www.dios.tudelft.nl/ers/>

http://www.eoc.jaxa.jp/satellite/sat_menu_e.htmlhttp://www.ga.gov.au/acres/prod_ser/ersdata.htmhttp://www.tbs-satellite.com/tse/online/sat_ers_1.html

<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/tutorial/indexe.html>

ANEXO 1
MAPAS ESTRUCTURALES