



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**METODOLOGÍA DE ORTORECTIFICACIÓN DE
IMÁGENES DE SATÉLITE SPOT 5 PARA LA
GENERACIÓN DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
DE ALCANCE NACIONAL EN EL INEGI.**

**INFORME ACADÉMICO
DE ACTIVIDAD PROFESIONAL**

PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

JORGE BLAS CRUZ

ASESOR

MAESTRO GILBERTO NÚÑEZ RODRÍGUEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA.

2014





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

Gracias a Dios por otorgarme una vida llena de aprendizajes, experiencias, por enseñarme el camino de la sabiduría y la felicidad, sin Ti no podría llegar a ningún lado.

Gracias a mis padres Adrian y Rosa, por apoyarme en todo momento, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México por la formación de profesionista y por la alegría de hacerme pertenecer a la máxima casa de estudios.

Gracias a mi asesor maestro Gilberto Núñez Rodríguez por su atinada dirección, presencia y empeño para que este trabajo se llevara a cabo.

Gracias a mis sinodales por su apoyo, dedicación de tiempo y por compartir su sabiduría.

Maestro Jesús M. Tapia López.

Maestro Mauricio Aceves García

Maestro José Mauricio Galeana Pizaña.

Maestro Frank Gustavo García Rodríguez.

Gracias todas las personas que participaron en este proyecto, por alentarme, detrás de este logro están ustedes.

Gabriel Gaytan Ríos

Jorge Perales Romo

Jorge Eduardo San Pedro Flores

José Victor Chavez García

Karen Swain Aguilar

María de Lourdes Silva Meza

Mario Angel Jahuey Amaro

Oscar Enrique Garduño Salomón

Gracias a Romina Castillo Nápoles † por enseñarme a luchar con todo por cumplir un deseo y enseñarme a regalar sonrisas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
1. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES EN EL INEGI...	4
1.1 MARCO INSTITUCIONAL.....	4
1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES ADQUIRIDAS.....	7
1.2.1 IMÁGENES DE SATÉLITE LANDSAT.....	10
1.2.1.1 LANDSAT 1, 2, 3, LA PRIMERA GENERACIÓN.....	11
1.2.1.2 LANDSAT 4, 5 LA SEGUNDA GENERACIÓN.....	13
1.2.2 IMÁGENES DE SATÉLITE SPOT.....	17
1.3 NECESIDAD DE CORREGIR LOS DEFECTOS DE LAS IMÁGENES SATELITALES.....	27
2. PROCESOS DE GEOREFERENCIA Y ORTORECTIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES.....	28
2.1 EL PROCESO DE GEOREFERENCIA DE IMÁGENES DE SATÉLITE LANDSAT 4 Y LANDSAT 5.....	28
2.2 EL PROCESO DE ORTORECTIFICACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE SPOT 5.....	36
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	54
4. CONCLUSIONES.....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y PÁGINAS WEB.....	58

INTRODUCCIÓN.

Los datos crudos de imágenes producidas mediante sensores remotos, instalados a bordo de satélites o aviones, son representaciones de la superficie irregular de la Tierra, incluso las imágenes de zonas de topografía plana, que no presentan irregularidades topográficas tienen distorsiones, debido a la curvatura de la Tierra y a las características del sensor utilizado, por lo que es necesario aplicarles procesos de corrección geométrica, para que se puedan representar en una superficie plana y ortogonal y así formar parte de un conjunto de imágenes con integridad para la producción cartográfica y para el análisis espacial.

Para que las imágenes puedan ser referidas geográficamente y corregidas se utiliza un sistema de proyección cartográfica, mediante el cual se transforma y representa una superficie curva a una superficie plana (en la República Mexicana se usan la proyección Universal Transversa de Mercator y la proyección Cónica Conforme de Lambert). Como la representación de una esfera sobre un plano causa distorsiones a la superficie, cada sistema de proyección cartográfica compromete la exactitud entre ciertas propiedades de la imagen, como la conservación de la distancia, el ángulo o el área. Por ejemplo, en proyecciones cartográficas de igual área, un círculo de un determinado diámetro dibujado en cualquier parte del mapa representa la misma área total, aunque a simple vista se vea en forma de elipse. Esto es útil para comparar áreas de uso de la tierra, desarrollo urbano, densidad de población y entre otras aplicaciones. Sin embargo, para mantener las áreas iguales, las formas, los ángulos y las escalas pueden tener distorsión en algunas partes del mapa (Jensen, 1996).

Una vez proyectada la imagen sobre el plano es necesario saber darle una ubicación precisa y específica a cada lugar representado. Es por esto que, existen varios sistemas de coordenadas cartográficas para determinar la localización de lugares en una imagen. Estos sistemas de coordenadas se ajustan a una cuadrícula y son expresados como pares de números X, Y (columna, fila).

En el presente informe se describe la experiencia profesional adquirida por el autor a través de su participación en un proyecto institucional, orientado a producir información geográfica multifinalitaria, basada en la utilización de imágenes satelitales georeferenciadas y corregidas con técnicas geoinformáticas actuales, que se refieren a la forma en que son procesados los datos crudos que conforman las imágenes de satélite, para eliminar significativamente las deformaciones producidas por la curvatura de la Tierra mediante la compensación espacial del error geométrico y la utilización de proyecciones cartográficas, así como métodos de tratamiento de imágenes de satélite, y el software diseñado para dicho tratamiento.

El proyecto se dividió en dos etapas:

La primera, con la llegada de imágenes Landsat 4 y 5, que fueron la continuación de la serie Landsat 1, 2, 3 diseñados para obtener datos de los recursos terrestres desarrolló la metodología inicial, resultando la generación de una base de datos geoespaciales, conformada por 122 archivos digitales, corregidos geoméricamente y con márgenes de error no mayores a 50 mts., y referenciados con los siguientes parámetros: Datum ITRF-92, elipsoide GRS 1980 y proyección cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator), los cuales cubren 100% del territorio nacional, cuya principal utilidad estaba orientada a representar la superficie del territorio nacional más reciente (para ese entonces, el año de 1994) para los planificadores e investigadores, y mostrar una nueva forma de obtención de información del terreno por medio de sensores montados en plataformas satelitales.

En un segundo momento, se procesaron imágenes de satélite Spot 5, resultando 1600 archivos digitales ortorectificados de los cuales 800 fueron pancromáticos y 800 multiespectrales, con márgenes de error no mayor a 20 mts.

1. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES EN EL INEGI.

1.1 MARCO INSTITUCIONAL.

La exploración del planeta Tierra ha sido una de las principales inquietudes del ser humano desde la época prehistórica. Su atención se ha visto atraída por una poderosa necesidad de saber qué se encuentra más allá de sus dominios. Al principio exploró el medio ambiente únicamente con sus sentidos, utilizando en primera instancia aquéllos que no requerían de un contacto físico con el objeto estudiado (vista y oído), para posteriormente continuar con un análisis directo por medio del tacto principalmente. En todo este proceder, el hombre ha empleado una serie de elementos que lo identifican no nada más como una criatura llena de interés por la investigación, sino también como un ser deseoso de dominar la naturaleza que lo rodea (Lira, 2010), por esta razón principal, desde los orígenes de la civilización, uno de los objetivos principales de la Cartografía ha sido la generación de representaciones del territorio con la información más actual posible, ahora es una necesidad primordial de las instituciones el poder presentar y entregar al usuario, la información más reciente que se tenga a nuestro alcance, esta idea nos orilla actualmente al uso de nuevas formas de obtención de información geográfica, unas de estas formas es por medio de las imágenes aéreas e imágenes satelitales, mediante las cuales podemos obtener información de la superficie terrestre de manera periódica y global, esta información es llamada actualmente imagen satelital, estas imágenes requieren ser corregidas en sus deformaciones y referidas a un sistema de coordenadas en el menor tiempo posible, para ser presentadas como producto cartográfico.

Con la aparición de las imágenes adquiridas desde satélites, surge la posibilidad de obtener información geográfica masiva de grandes aéreas y con mucho mayor periodicidad, el cubrimiento de nuestro territorio nacional de manera

oportuna, más rápida y general, al grado de que la Cartografía depende del desarrollo de la tecnología aeroespacial y geoinformática no solo para la obtención de información actual, también depende para almacenar digitalmente grandes cantidades de datos, procesar de forma más rápida y precisa, y preparar en formatos digitales o analógicos la información cartográfica generada, para todos los usuarios que la requieran.

De acuerdo con Chuvieco (1996 y 2002), las ventajas de la observación espacial (que evidentemente, son mayores respecto a la teledetección aérea y terrestre) se resumen en:

-Cobertura global y exhaustiva. Gracias a las características orbitales de los satélites se puede obtener imágenes repetitivas de la mayor parte de la Tierra, incluso de áreas inaccesibles por otros medios, como es el caso de las zonas polares o desérticas. La dimensión global que aportan estas imágenes resulta de enorme trascendencia para entender los grandes procesos que afectan al medio ambiente planetario. Junto a ello, resulta preciso contar con una observación cíclica, ya que buena parte de estos fenómenos tienen un enorme dinamismo. La teledetección espacial es una de las pocas fuentes de información propiamente globales, ya que los sistemas orbitales permiten tomar información de la práctica totalidad del planeta en condiciones comparables.

-Perspectiva panorámica. La altura orbital del satélite le permite detectar grandes espacios, proporcionando una visión amplia de los hechos geográficos, es decir que, vastas extensiones de la superficie terrestre son detectadas casi instantáneamente y por el mismo sensor. En cuanto al área de cobertura cabe señalar por ejemplo que una fotografía aérea en escala 1:18000 abarca una superficie aproximada de 16 km², que asciende a unos 49 km² en el caso de fotografías a escala 1:30000; por otra parte, una imagen del sensor Landsat TM abarca 34000 km² en una escena, llegando a varios millones de km² para el caso de una imagen del satélite meteorológico NOAA.

-Observación multiescala. Los sistemas actuales de teledetección satelital ofrecen un amplio rango de cobertura espacial y nivel de detalle, desde los sensores de ámbito local (con precisiones en torno a un m² o menos (WorldView) y cobertura de algunos cientos de km²), hasta los de ámbito global (con resoluciones espaciales de 1 a 5 km², pero que abarcan varios millones de km²).

-Información sobre regiones no visibles del espectro. Los sensores ópticos electrónicos facilitan la obtención de imágenes captadas sobre longitudes de onda inaccesibles a la sensibilidad del ojo humano o la fotografía convencional, como es el caso del infrarrojo medio y térmico o las microondas. Estas bandas del espectro proporcionan una valiosa información para estudios medioambientales.

-Cobertura repetitiva. Las características orbitales de los satélites de observación terrestre les permiten adquirir imágenes repetitivas de toda la Tierra, en condiciones comparables de observación, lo cual representa enormes ventajas para la realización de estudios multitemporales.

-Transmisión inmediata. La mayor parte de los sistemas de teledetección graban las imágenes en formato digital, lo que permite transmitir las a las estaciones terrestres en tiempo real. En la práctica, solo los satélites meteorológicos ofrecen la transmisión directa al usuario final, siempre que se disponga de las antenas receptoras adecuadas. El resto de los sistemas transmiten la información en tiempo real únicamente por la red de estaciones concertadas con la entidad propietaria del satélite, siempre que éste se encuentre en el área de grabación de alguna antena, o de lo contrario, se graban a bordo para su posterior transmisión.

-Formato digital. El tratamiento digital de las imágenes agiliza el proceso de interpretación, permite generar modelos cuantitativos e integrar los resultados con otro tipo de información geográfica. Este enfoque integrado facilita una evaluación más real del paisaje al considerar los principales elementos espaciales que lo conforman. Aun simplemente en el terreno de la visualización, el apoyo de las

computadoras permite observar el territorio con una precisión y plasticidad difícilmente abordable por otros medios.

En INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) para el año de 1994 se dio la primer llegada de información satelital, de todo el cubrimiento del territorio nacional, se recibieron 122 imágenes de satélite multispectrales de los satélites Landsat 4 y Landsat 5, que contenían información de los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 1993, con un tamaño de pixel de 30 metros y un cubrimiento de área de 180 X180 kilómetros en cada imagen.

Esta información valiosa tenía que ser procesada, georeferida (referirla a un sistema de coordenadas geográficas) lo más pronto posible para ser presentada como información geográfica básica, así inició el trabajo de procesamiento de imágenes de satélite en el INEGI, realizando inicialmente la georeferencia de imágenes Landsat, lo que significó la primera etapa en la producción de información geográfica a partir de datos adquiridos desde el espacio.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES ADQUIRIDAS.

La existencia de sensores instalados en un satélite artificial o plataforma que orbita alrededor de la Tierra, que a medida de que avanza, barre (rastrea) la superficie con un conjunto de sensores que registran la energía reflejada da origen a la imagen de satélite, siendo así podemos definir a una imagen de satélite como la representación visual de los datos reflejados por la superficie de la Tierra que captura un sensor instalado en un satélite artificial o plataforma, esta imagen de satélite se compone de una matriz regular o rejilla de celdas conocida como formato raster, donde a cada celda se le conoce como píxel (del Inglés: picture element), el píxel es la unidad más pequeña de una imagen digital, los píxeles de una imagen son fácilmente observables cuando se procede a realizar un acercamiento progresivo sobre la misma, ya que esto permite observar con mayor detenimiento los píxeles que han sido utilizados para componer la imagen.

Cabe aclarar que, una imagen de satélite se caracteriza por los siguientes tipos de resolución:

- a) resolución espacial
- b) resolución espectral
- c) resolución radiométrica
- d) resolución temporal

a) Resolución espacial. Este concepto designa al objeto más pequeño que se puede distinguir en la imagen. Está determinada por el tamaño del píxel, medido en metros sobre el terreno, esto depende de la altura del sensor con respecto a la Tierra, el ángulo de visión, la velocidad de escaneado y las características ópticas del sensor.

Por ejemplo las imágenes Landsat TM, tienen una resolución espacial de 30x30 m en las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 y de 120x120m en la banda 6 (térmica). El sensor SPOT 5 tiene una resolución de 10 x 10m en multiespectral y de 2.5 x 2.5m en pancromático, mientras que los satélites meteorológicos como NOAA, el píxel representa un tamaño desde 500 x 500m a 1100 x 1100m de lado.

b) Resolución espectral. Consiste en el número de canales espectrales (y su ancho de banda) que es capaz de captar un sensor. Por ejemplo SPOT tiene una resolución espectral de 5 bandas (4 multiespectrales y 1 pancromática), mientras que Landsat tiene 7 bandas multiespectrales.

c) Resolución radiométrica. Hace mención a la sensibilidad del sensor, esto es, a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. Por cuanto se trata de codificación digital, habitualmente se expresa esa resolución en el número de bits que precisa cada elemento de imagen para ser almacenado. Inicialmente, los Landsat-MSS ofrecían un rango de 128 niveles de codificación (7 bits, $2^7 = 128$) por píxel, con 64 (6 bits) para el infrarrojo cercano. Posteriormente la mayor parte de los sistemas ofrecieron 256 niveles por píxel (8 bits). (Chuvieco, 1996). Actualmente estas capacidades de resolución radiométrica y procesamiento han sido mejoradas.

d) Resolución temporal. Este concepto alude a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor. En otras palabras, refiere a la periodicidad con la que éste adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación), así como del diseño del sensor, principalmente del ángulo total de abertura.

Conviene aclarar que estos cuatro aspectos de la resolución están íntimamente relacionados. A mayor resolución espacial, disminuye habitualmente, la temporal, y es previsible que se reduzca también la espectral. El principal problema se encuentra en la transmisión de las imágenes a la superficie terrestre. El aumento en cualquiera de los cuatro tipos de resolución significa también un incremento considerable del volumen de datos a procesar tanto por el sensor como por la estación receptora. A continuación se muestran sintéticamente estas formas de resolución en la figura 1.

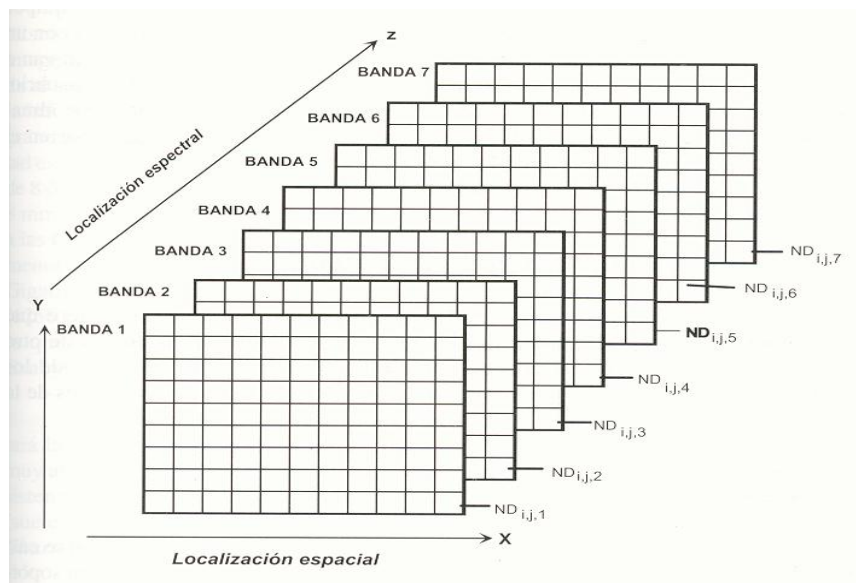


Figura 1. Muestra una imagen de siete bandas (resolución espectral), donde cada cuadro representa un píxel (resolución espacial) y los valores digitales que puede adquirir cada uno de ellos por banda (resolución radiométrica), el tiempo que tarda el satélite en generar una imagen del mismo lugar se refiere a la resolución temporal. (Fuente: Chuvieco, 1996).

Otro aspecto de gran importancia que se debe conocer es la ubicación y amplitud de las bandas de cada imagen satelital dentro del espectro electromagnético, como se muestra a continuación (figura 2).

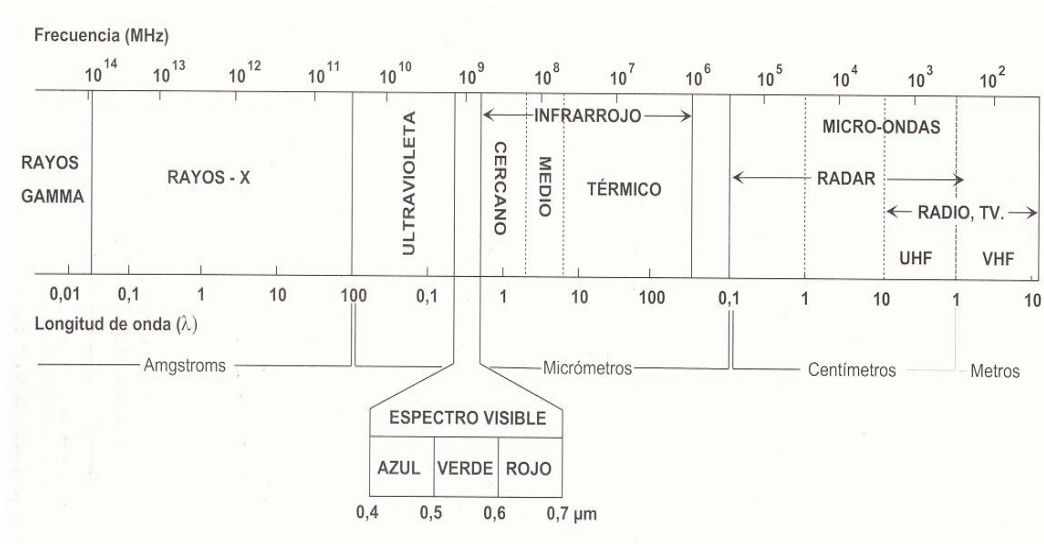


Figura 2. La escala del espectro electromagnético. (Fuente: Chuvieco, 1996).

Cada banda tiene una determinada amplitud, que se refiere a valores de longitud de onda, los cuales van desde los angstroms (rayos gamma) hasta los metros (ondas de radio y T.V.).

La imagen de satélite es un producto que representa la superficie de la Tierra, empleado como complemento para estudios orientados al medio ambiente en las distintas áreas de la ciencia y la administración de proyectos: Oceanografía, recursos pesqueros, estudios costeros, contaminación, hidrología, geología, usos del suelo, catastro, etc.

1.2.1 IMÁGENES DE SATELITE LANDSAT.

Con el lanzamiento del satélite Landsat 1 (LAND=tierra y SAT=satélite), el 7 de marzo de 1972, se abrió una nueva percepción del planeta, con una resolución tanto temporal como espectral desconocida hasta entonces.

Landsat 1, dotado de sensores empleados para la percepción remota, fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres, en base a este

objetivo se diseñaron las resoluciones para adaptarse a este fin, la serie de satélites Landsat (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) desde el año 1972 dan una de las mejores series históricas de la observación del planeta, las series Landsat de satélites fueron anteriormente conocidas como Satélites de Tecnología de Recursos de la Tierra (ERTS). El termino Landsat es inapropiado ya que los satélites Landsat tienen una aplicación significativa al océano y a los estudios costeros.

1.2.1.1 LANDSAT 1, 2, 3, LA PRIMERA GENERACIÓN.



Figura 3. Modelo de plataforma de satélites Landsat 1, 2 y 3. Fuente: Paul R. Baumann Remote sensing: Landsat program (2009).

Los satélites Landsat 1, 2, y 3, (figura 3) fueron lanzados respectivamente en 1972, 1975 y 1978. Landsat 1 fue puesto fuera de comisión en 1978 después del mal funcionamiento de un sensor y los Landsat 2 y 3 fueron puestos fuera de comunicación en 1983 (cuadro 1). Cada satélite se constituía por un sistema de cámaras de televisión (tres en Erts 1 y Landsat 2 y dos en el Landsat 3), mismas que observaban y registraban una escena, de 185 Km, en forma instantánea. Los sensores a bordo de estos satélites eran RVB (cámara de retorno de rayos vidicón) en Landsat 1 y 2, y MSS (escáner multiespectral) en Landsat 2 y 3, operaba en la faja del espectro electromagnético comprendida entre el visible y el infrarrojo cercano.

La resolución espacial (tamaño de pixel) en el Ertis 1 y Landsat 2 era de 80x80 m, con tres bandas espectrales (verde, rojo e infrarrojo cercano), en Landsat 3 era de 40x40 m, con una banda espectral (pancromático).

En los tres satélites (Landsat 1, 2 y 3), el sistema de sensores MSS fue colocado en órbita a una altitud de 920 km. Para dar una vuelta en torno a la Tierra estos satélites demoraban 103 minutos y 27 segundos, totalizando, al final de un día, 14 franjas exploradas de 185 km de ancho. Los satélites tenían una órbita síncrona con el Sol con un ángulo de inclinación en relación al Ecuador de 99° 11', lo que hacía que la órbita fuera casi polar. La configuración de la órbita de los tres primeros satélites fue establecida de tal modo que, cada 18 días, el sistema MSS exploraba la misma región de la superficie terrestre.

	Lanzamiento	Desactivación	Sensores
1	23/07/1972	06/01/1978	MSS y RBV
2	22/01/1975	25/01/1982	MSS y RBV
3	05/03/1978	31/03/1983	MSS y RBV

Cuadro 1. Operación de los satélites Landsat 1, 2, y 3.

Con respecto a las características del sistema MSS, podemos mencionar que está compuesto por un espejo oscilante, una parte óptica y un sistema detector, que registra la radiación electromagnética reflejada por los objetos de la superficie terrestre, en cuatro bandas espectrales (cuadro 2). Cada banda espectral tiene 6 detectores, lo que permite explorar 6 líneas en el terreno al mismo tiempo. Los detectores producen un voltaje (entre 0 y 5 volts), que es proporcional a la cantidad de radiación que llega hasta ellos, proveniente de los objetos localizados en las líneas exploradas. El voltaje producido es una señal analógica que es convertida en valores digitales (cuantificación) o niveles de gris variando de 0 a 63. Esta conversión representa la radiancia o brillo de cada objeto en el área explorada.

Banda	Amplitud espectral	Región del Espectro	Resolución Espacial
4	0,5 a 0,6 μm	Verde	80 metros
5	0,6 a 0,7 μm	Rojo	80 metros
6	0,7 a 0,8 μm	IR Próximo	80 metros
7	0,8 a 1,1 μm	IR Próximo	80 metros

Cuadro 2. Características espectrales y espaciales del sensor MSS.

1.2.1.2 LANDSAT 4, 5 LA SEGUNDA GENERACIÓN.



Figura 4. Modelo de plataforma de satélites Landsat 4 y 5. Fuente: Paul R Baumann Remote sensing: Landsat program (2009).

En los Estados Unidos, le fue asignada a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) la tarea de establecer un sistema de percepción remota operacional, así fue como se creó el programa de servicios civiles de observación

de la tierra que dio como resultado la creación de los satélites Landsat 4 y 5 (figura 4)

Landsat 4 y 5 fueron lanzados respectivamente en 1982 y 1984. Tienen un ángulo de inclinación de 98.3° y un período de 98.5 minutos. Los satélites realizan de 14 a 15 revoluciones por día con distancias entre rutas de 2,752 km., los cuales recorren nuevamente una misma ruta cada 16 días.

La principal diferencia entre los satélites Landsat 4 y 5 respecto a los Landsat previos, es que la Cámara de Retorno de Rayos Vidicón (RBV), ha sido removida y reemplazada por el Barredor Multiespectral (MSS), llamado Mapeador Temático (TM). Este sensor proporciona más bandas espectrales y ofrece una resolución terrestre mejorada.

El Mapeador Temático, que opera en Landsat 4 y 5 en siete bandas espectrales diferentes, tiene tres bandas visibles, una infrarroja cercana y dos medianas, con una resolución terrestre de 30 metros de tamaño de pixel, así como una banda térmica (infrarrojo termal), con un tamaño de pixel de 120 metros de resolución terrestre, las características de las bandas del sensor instalado en los satélites Landsat 4 y Landsat 5 con respecto al espectro electromagnético (bandas de longitudes de onda ordenadas desde las menores (rayos X y rayos gama) hasta las mayores longitudes de onda (usadas en telecomunicaciones). Las menores se expresan en micras o micrómetros ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$) y las mayores en cm o m).

Estas bandas fueron elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación, a excepción de la banda 7, que se agregó para aplicaciones geológicas. El satélite Landsat 5 pertenece al programa Landsat, financiado por el gobierno de los Estados Unidos y operado por la NASA.

- ❖ **Banda 1:** (0,45 a 0,52 micrones - azul) 30 metros de tamaño de pixel, diseñada para la penetración en cuerpos de agua, es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintos cubrimientos boscosos, por ejemplo las coníferas y latifoliadas. También es

útil para diferenciar los diferentes tipos de rocas presentes en la superficie terrestre.

- ❖ **Banda 2:** (0,52 a 0,60 micrones - verde) 30 metros de tamaño de pixel, especialmente diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia (o radiancia) verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas y al igual que la banda 1, para detectar la presencia o no de limonita.

- ❖ **Banda 3:** (0,63 a 0,69 micrones - rojo) 30 metros de tamaño de pixel, es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de las distintas rocas y para detectar limonita.

- ❖ **Banda 4:** (0,76 a 0,90 micrones - infrarrojo cercano) 30 metros de tamaño de pixel, es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.

- ❖ **Banda 5:** (1,55 a 1,75 micrones - infrarrojo medio) 30 metros de tamaño de pixel, indicativa del contenido de humedad de la vegetación y del suelo. También sirve para discriminar entre nieve y nubes.

- ❖ **Banda 6:** (10,40 a 12,50 micrones - infrarrojo termal) 120 metros de tamaño de pixel, el infrarrojo termal es útil en el análisis del stress de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo termal.

- ❖ **Banda 7:** (2,08 a 2,35 micrones - infrarrojo medio) 30 metros de tamaño de pixel, especialmente seleccionada por su potencial para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidroxilos (OH) y la absorción de agua.

Estas siete bandas pueden combinarse de dos a tres, produciendo una gama de imágenes de color compuesto o falso color que incrementan notablemente sus aplicaciones, especialmente en el campo de los recursos naturales. El sensor TM tiene mayor sensibilidad radiométrica que su antecesor, el MSS, y mejor resolución espacial, ya que el tamaño del píxel en todas las bandas excepto la 6, es de 30 metros. Esto permite la clasificación de zonas tan pequeñas como 2.5 o 3 hectáreas. La banda 6, la cual es una banda termal, tiene un píxel de 120 metros en el terreno. Cada imagen cubre 185 Km x 185 Km.

La misión Landsat continua después del 4,5, Landsat 6, sin embargo, no entró en funcionamiento debido a un fallo ocurrido en el lanzamiento del satélite. En comparación con su predecesor, el sensor TM, que incluía era una nueva banda pancromática (banda 8) con 15 metros de resolución espacial y el mantenimiento de las otras configuraciones técnicas.

Landsat 7 que fue lanzado en abril de 1999 con un nuevo sensor denominado ETM (Enhanced Thematic Mapper Plus). Su operación es administrada por la NASA (National Aeronautical and Space Administration) y la producción y comercialización de imágenes depende de la USGS (United States Geological Survey).

Una imagen Landsat 7 está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas. Entre las principales mejoras, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros. También, cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas aunado a una mayor resolución espacial de la banda térmica para 60 m. Estos avances tecnológicos permiten calificar al Landsat 7 como el satélite más interesante para la generación de imágenes con aplicaciones directas hasta una escala de 1:25.000, principalmente, en áreas rurales o territorios de grandes extensiones.

Landsat 8

El más reciente lanzamiento de Landsat se realizó el 11 de febrero de 2013, marcó una nueva etapa del programa Landsat. Se unió Landsat 8 en la órbita de la Tierra, donde se sigue fortaleciendo la riqueza de la misión Landsat de los datos científicos de la superficie terrestre, Landsat 8 cuenta con un total de 11 bandas, 9 tomadas por OLI: Operational Land Imager, o Generador Operacional de Imágenes de Tierra y 2 tomadas por el TIRS (Thermal Infrared Sensor, o Sensor Infrarrojo Térmico) las bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 tienen una resolución de 30m, la banda 8 tiene una resolución de 15 m y finalmente las bandas 10,11 tienen una resolución de 100m.

Entre 1996 y 1998 el INEGI adquirió imágenes de satélite SPOT 5, lo cual le permitió cubrir la demanda de imágenes de mayor resolución espacial a nivel nacional, sustituyendo a las imágenes Landsat. En los siguientes años se llevaron a cabo acuerdos interinstitucionales que permitieron adquirir de manera conjunta y periódicamente tales imágenes.

1.2.2 IMÁGENES DE SATELITE SPOT.

Las imágenes SPOT son producidas por la compañía francesa SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre) con la colaboración de Suecia y Bélgica.

Se encuentra en operación desde 1986, fecha en que fue lanzado el primer satélite, el SPOT 1. Actualmente los satélites 1, 2 y 3 están inactivos, los SPOT 4 y SPOT 5 (figura 5) aún se encuentran en órbita, aunque se prevé el término de su vida útil en el año 2012 y 2015, respectivamente.



Figura 5. Modelo de plataforma de satélites SPOT 5. Fuente: Labrador Mauricio. Satélites de teledetección para la gestión del territorio (2012).

El satélite de observación terrestre SPOT 5 fue puesto en órbita exitosamente por un cohete llamado Ariane 4 del Centro Espacial de Guayana, Kourou, durante la noche del 3 al 4 de mayo del 2002, con las características que se muestran en los siguientes cuadros, cuadro 3 y cuadro 4.

Fecha de lanzamiento:	3 de mayo del 2002
Vehículo utilizado:	Ariane 4
Ubicación del lanzamiento:	Centro Espacial de Guayana, Kourou, Guayana Francesa
Altitud de órbita:	822 Km
Inclinación de órbita:	98.7°, sincronización-solar
Velocidad	7.4 Km/segundo - 26,640 Km/hora
Horario de cruce por el Ecuador:	10:30 a.m. (módulo en descenso)
Tiempo en órbita:	101.4 minutos
Tiempo de regreso:	2-3 días dependiendo en latitud
Anchura de línea:	60 Km x 60 Km a 80 Km a nadir
Exactitud métrica:	< 50 m de exactitud en posición horizontal (CE90%)
Digitalización:	8 Bits
Resolución:	Pan: 2.5m de 2 x 5m escenas Pan: 5m (nadir) MS: 10m (nadir) SWI: 20m (nadir)
Bandas de imagen:	Pan: 480 - 710 nm Verde: 500 - 590 nm Roja: 610 - 680 nm Cerca IR: 780 – 890 nm Onda corta IR: 1,580 – 1,750 nm

Cuadro 3. Características de la misión satelital y del sensor en el Spot 5.

Sensores	Espectro Electromagnético	Tamaño en pixeles	Bandas espectrales
Spot 5	Pancromático	2.5 m o 5 m	0.48 – 0.71 mm
	B1: Verde	10 m	0.50 – 0.59 mm
	B2: Rojo	10 m	0.61 – 0.68 mm
	B3: Infrarrojo cercano	10 m	0.78 – 0.89 mm
	B4 Infrarrojo medio (MIR)	20 m	1.58 – 1.75 mm
Spot 4	Monoespectral	10 m	0.61 – 0.68 mm
	B1: Verde	20 m	0.50 – 0.59 mm
	B2: Rojo	20 m	0.61 – 0.68 mm
	B3: Infrarrojo cercano	20 m	0.78 – 0.89 mm
	B4: Infrarrojo medio (MIR)	20 m	1.58 – 1.75 mm
Spot 1	Pancromático	10 m	0.50 – 0.73 mm
Spot 2	B1: Verde	20 m	0.50 – 0.59 mm
Spot 3	B2: Rojo	20 m	0.61 – 0.68 mm
	B3: Infrarrojo cercano	20 m	0.78 – 0.89 mm

Cuadro 4. Características de espectro electromagnético, tamaño de pixel y bandas espectrales de los sensores contenidos en el Spot 1-5.

Las imágenes Spot 5 permiten observar vastas extensiones de la superficie terrestre, a una escala muy precisa, hasta 1:10 000. Asimismo, Spot 5 produce imágenes pancromáticas que sólo tienen información de una banda del espectro electromagnético, por lo que se despliegan en todos los tonos de gris, con su resolución de 2.5m y 5 metros (figura 6) e imágenes multiespectrales que constan de 4 bandas del espectro electromagnético, por lo que se pueden desplegar en una combinación de dos a tres bandas en un falso color, pero también se puede desplegar una sola banda que se mostrara en todos los tonos de gris y con una resolución de 10 y 20 metros (figura 7), cada imagen Spot tiene un cubrimiento de área de 60 km x 60 km, son útiles para estudios de cartografía, agricultura, planificación urbana y telecomunicaciones.

Las imágenes Spot 5 por ser un producto que está a la venta se ofrece en distintos niveles de procesamiento que los cuales son:

Nivel 1A. El preprocesamiento de nivel 1A consiste en corregir los errores radiométricos originados en las diferencias de sensibilidad entre los detectores

elementales del instrumento de captura de imagen (igualación radiométrica). No se aplica ninguna corrección geométrica.

Nivel 1B. El preprocesamiento de nivel 1B consiste en aplicar correcciones radiométricas idénticas a las del nivel 1a (igualación radiométrica) y geométricas. Los procesamientos geométricos consisten en corregir la imagen de las distorsiones internas causadas por las condiciones de captura de imagen (variación de la actitud del satélite, efecto panorámico, curvatura y rotación de la tierra).

Nivel 2A. En el nivel 2A, la escena se rectifica en la proyección cartográfica estándar (UTM WGS 84), sin utilización de puntos de apoyo. Se trata de un producto de nivel inicial en la gama de los productos cartográficos. En Spot 1, 2, 3 y 4, la altitud de rectificación es constante sobre toda la escena; en Spot 5, se utiliza un MDE mundial con mallas de 1 km de lado. Las correcciones geométricas se basan en un modelo de remuestreo teniendo en cuenta las distorsiones debidas a las condiciones de captura de imagen y las transformaciones necesarias para transponer la imagen a la proyección cartográfica estándar UTM WGS 84. Este modelo se calcula sobre la base de los parámetros de la captura de imagen conocidos a priori (efemérides del satélite, altitud, etc.), sin provisión de mediciones exteriores. A petición, es posible optar por otras proyecciones cartográficas.

Nivel 2B (o Precisión). El nivel 2B es un nivel geocodificado la escena se presenta en una proyección cartográfica dada y el uso de puntos de apoyo (medidos sobre una carta o surgidos de levantamientos topográficos) permite mejorar la localización de los puntos en el nivel de tierra. Las correcciones geométricas se basan en un modelo de remuestreo que tiene en cuenta las distorsiones debidas a las condiciones de la captura de imagen y las transformaciones necesarias para transponer la imagen a la proyección cartográfica deseada (proyección Lambert conforme, proyección UTM, proyección estereográfica polar, proyección

policónica, etc.). Las correcciones geométricas se basan en una modelización de la dinámica de vuelo del satélite de acuerdo con los parámetros de la captura de imagen (efemérides, actitud, etc.) y con los datos geográficos o cartográficos constituidos por los puntos de apoyo.

Nivel 3 (u Orto). Este nivel de preprocesamiento es un nivel geocodificado, como el nivel 2B. También llamado ortoimagen, el producto de nivel Orto corrige los errores residuales de paralaje debidos al relieve, gracias a la utilización de un MDE (modelo digital de elevación).

Las correcciones geométricas, llamadas orto-rectificaciones, se basan en un modelo de remuestreo que tiene en cuenta las distorsiones debidas a las condiciones de captura de imagen (efemérides) y las transformaciones necesarias para transponer la imagen a la proyección cartográfica requerida (proyección Lambert conforme, proyección UTM, proyección ecuatorial oblicua, etc.). Se basan en una modelización de la dinámica de vuelo del satélite y en información geográfica o cartográfica, constituida por puntos de apoyo y un modelo digital de elevaciones (MDE).



Figura 6. Imagen de satélite Spot 5 pancromática, con resolución de pixel a 2.5 m, que muestra zonas de cultivo y relieve montañoso de la zona conocida como Tastiona en la costa de Sonora.

Fuente: INEGI.



Figura 7. Imagen de satélite Spot 5 multiespectral con resolución de pixel a 10 m que muestra la ciudad de Guadalajara y zonas aledañas dedicadas al cultivo. Fuente: INEGI.

Muchas plataformas se diseñan para seguir una órbita (básicamente norte-sur) que, junto con la rotación de la Tierra (oeste-este), les permite cubrir la mayoría de la superficie de la Tierra en un cierto período de tiempo. Estas son las orbitas cuasi polares, muchas de ellas también son helio-sincrónicas, de tal modo que cubren cada área del mundo en un tiempo local constante del día llamado tiempo del Sol local. Este es un factor importante para supervisar los cambios entre las imágenes o para el mosaico (sumado) de imágenes adyacentes, ya que no tienen que ser corregidas para las diferentes condiciones de iluminación.

La mayoría de las plataformas de satélite de teledetección están en orbitas cuasi polares, lo cual significa que el satélite viaja desde un lado del norte de la Tierra al sur y desde casi el polo del sur al norte. Estos son llamados paso ascendente y descendente, respectivamente. Si la órbita también es Sol-sincrónica, el paso ascendente es más probable que sea en el lado sombreado de la Tierra mientras el paso descendente sea en el lado iluminado de la Tierra por el Sol. Cada satélite Spot se coloca sobre una órbita polar, circular, heliosincrónica y en fases con relación a la Tierra.

La carga útil de cada satélite Spot está constituida por dos instrumentos ópticos idénticos, registradores de datos y un sistema de transmisión de imágenes hacia las estaciones de recepción terrenas (figura 8). El satélite Spot 5 transporta además un instrumento HRS (por sus siglas en ingles: High Resolution Sthereoscopic), para la adquisición simultánea de pares de imágenes, que permiten conformar modelos estereoscópicos, útiles a su vez, para la generación de modelos digitales de elevación.

Los instrumentos ópticos de alta resolución de los satélites Spot (HRV – Alta resolución visible en Spot 2; HRVIR – Alta resolución visible infrarroja en Spot 4 y HRG – Alta resolución geométrica en Spot 5) pueden efectuar observaciones oblicuas, hasta +/- 27 grados de la vertical del satélite. En efecto, la orientación del espejo de entrada de cada instrumento puede manipularse desde las estaciones terrenas, permitiendo así observar las regiones particulares que no están necesariamente en la vertical del satélite.

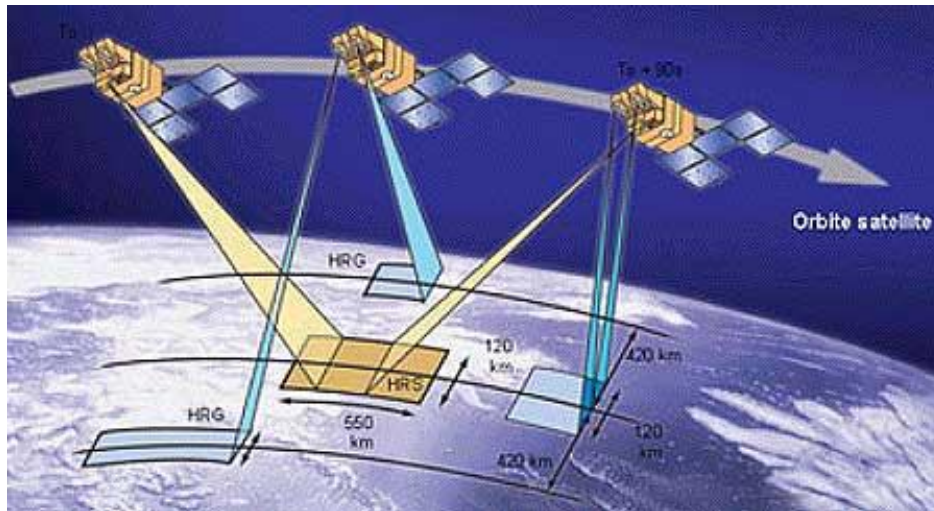


Figura 8. Instrumentos ópticos HRG y HRS que son transportados en SPOT 5. Fuente: Labrador Mauricio. Satélites de teledetección para la gestión del territorio (2012).

Cada instrumento puede adquirir las imágenes indistintamente en modo pancromático o multiespectral. Las bandas espectrales de cada instrumento se adquieren con una resolución en el suelo variable según el satélite.

Los dos instrumentos de toma de imágenes de alta resolución pueden funcionar independiente o simultáneamente en modo pancromático o multiespectral.

El instrumento HRS en Spot 5 es un instrumento para la adquisición simultánea de pares estereoscópicos de un corredor de 120 km de ancho (ancho de la escena observada centrada en la traza del satélite) por 600 km (longitud máxima de una escena), con una banda espectral pancromática de una resolución de 10 m

(muestreo a lo largo de la traza: 5 m). El ángulo de visión de los telescopios es de $\pm 20^\circ$ (figura 9).



Figura 9. Funcionamiento para la adquisición de pares estereoscópicos con Spot 5. Fuente: Labrador Mauricio. Satélites de teledetección para la gestión del territorio (2012).

El proyecto spot continua con el Satélite Spot 6, lanzado con éxito el 9 de septiembre de 2012, es un satélite para la observación de la Tierra construido por EADS Astrium para la empresa francesa Spot. Al igual que su gemelo el SPOT 7, que debe ser lanzado en 2014, el SPOT 6 posee un sistema óptico formado por dos cámaras capaces de realizar imágenes que cubrirán 600 x 60 kilómetros con una resolución de 1,5 metros en imágenes pancromáticas y de 6 metros en imágenes multiespectrales.

Pero por cuestiones Institucionales de trabajo de Spot 5 aun no se integran al procesamiento de imágenes las imágenes de satélite Spot 6

1.3 NECESIDAD DE CORREGIR LOS DEFECTOS DE LAS IMÁGENES SATELITALES.

Las imágenes de satélite que contienen información reciente de la superficie terrestre, periódica y globalmente, presentan distorsiones, originadas por la curvatura de la Tierra, por irregularidades del relieve y por las características del sensor utilizado, por lo que es necesario aplicarles procesos de corrección geométrica, para que se puedan representar en una superficie plana y ortogonal y formar parte de un conjunto de imágenes con integridad para la producción cartográfica y para el análisis espacial.

La georeferencia y la ortorectificación son dos procesos para la asignación de coordenadas cartográficas, la georeferencia en un plano bidimensional x-y y la ortorectificación en un plano tridimensional. Un problema frecuente consiste en que los datos de una imagen pueden estar ya proyectados en el plano deseado, pero no estar referenciados en el sistema de coordenadas apropiado.

Un método utilizado en la georeferencia y la ortorectificación (con la utilización de un modelo digital de elevación) para la transformación de las coordenadas cartográficas es el registro imagen a imagen, el cual consiste en la colecta (obtención de las coordenadas) de varios puntos de control (ground control points: gcp's) bien distribuidos en una primera imagen (base) original que ya cuenta con el sistema de coordenadas. Los puntos equivalentes son ubicados en una segunda imagen de trabajo, a la cual se le asignara por medio de los puntos colectados, el sistema de coordenadas, con el que ya cuenta la primer imagen original. Este método involucra a la georeferencia y la ortorectificación únicamente si la imagen original ya está referenciada al sistema de coordenadas deseado. Cabe señalar que este método utilizado para la georeferencia y la ortorectificación espacial modifica, exclusivamente, la información del sistema de coordenadas cartográficas en el archivo de la imagen, la cuadrícula de la imagen se mantiene sin alteración.

En el presente trabajo se muestra la técnica de georeferencia utilizada inicialmente a la llegada de las primeras imágenes de satélite Landsat y el proceso de ortorectificación automatizado que lo sustituyó, para procesar esta información conforme a las necesidades institucionales y así poder generar información de alcance nacional, útil para las instituciones de gobierno, universidades, organizaciones no gubernamentales (ONG'S) e investigadores, entre otros.

2. PROCESOS DE GEOREFERENCIA Y ORTORECTIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES.

La metodología originalmente desarrollada por el INEGI para el tratamiento de imágenes Landsat tuvo que ser adecuada para las imágenes Spot, lo cual implicó, además de un intenso trabajo de planeación y gestión, un periodo dedicado fuertemente orientado a la investigación y la capacitación del personal de las áreas técnicas involucradas en el procesamiento de las imágenes.

Las innovaciones tecnológicas que han llevado a la generación de imágenes de satélite con crecientes niveles de calidad (resolución), disminuyendo los costos y tiempos de proceso han marcado la pauta para que el INEGI haga de la modernización y el mejoramiento de sus procesos una actividad continua, todo esto orientado a satisfacer la creciente demanda de información geográfica para múltiples finalidades.

A continuación se describen los procedimientos generales empleados por dicha Institución para el tratamiento de las imágenes de satélite, que han sido uno de los insumos más importantes para el manejo de información cartográfica básica durante las últimas dos décadas.

2.1 EL PROCESO DE GEOREFERENCIA DE IMÁGENES DE SATÉLITE LANDSAT 4 Y LANDSAT 5.

El proceso de georeferencia de imágenes de satélite Landsat 4 y Landsat 5, es un método alternativo de la ortorectificación, el cual consiste en la colecta de 30 puntos de control (se decidió coleccionar 30 puntos de control, ya que para poder

obtener una buena evaluación por medio de la formula general del error medio cuadrático, la cual se muestra continuación, se recomienda coleccionar un mínimo de 25 puntos de control, se espera que por consecuencia la formula con 30 puntos coleccionados de una mejor evaluación) extraídos de la carta topográfica escala 1:50000 originalmente en formato analógico (impresas), ubicados, asignados y distribuidos de manera homogénea en la imagen de satélite, para ser procesada con el software de PCI Geomatics y generar una imagen ya georeferida, la cual era revisada a manera de control de calidad con archivos vectoriales (que son de uso exclusivo en el Instituto) los cuales ya tienen georeferencia, como se muestra en la figura 10, este proceso se describe en el presente documento tal como fue aplicado en su momento en los años de 1994-1995, por haber sido empleado en el primer procesamiento de imágenes Landsat 4 y Landsat 5.

$$ECM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{(si)} - z_{(si)})^2}{n}}$$

Formula del error medio cuadrático utilizado en el INEGI, para la evaluación de puntos de control coleccionados.

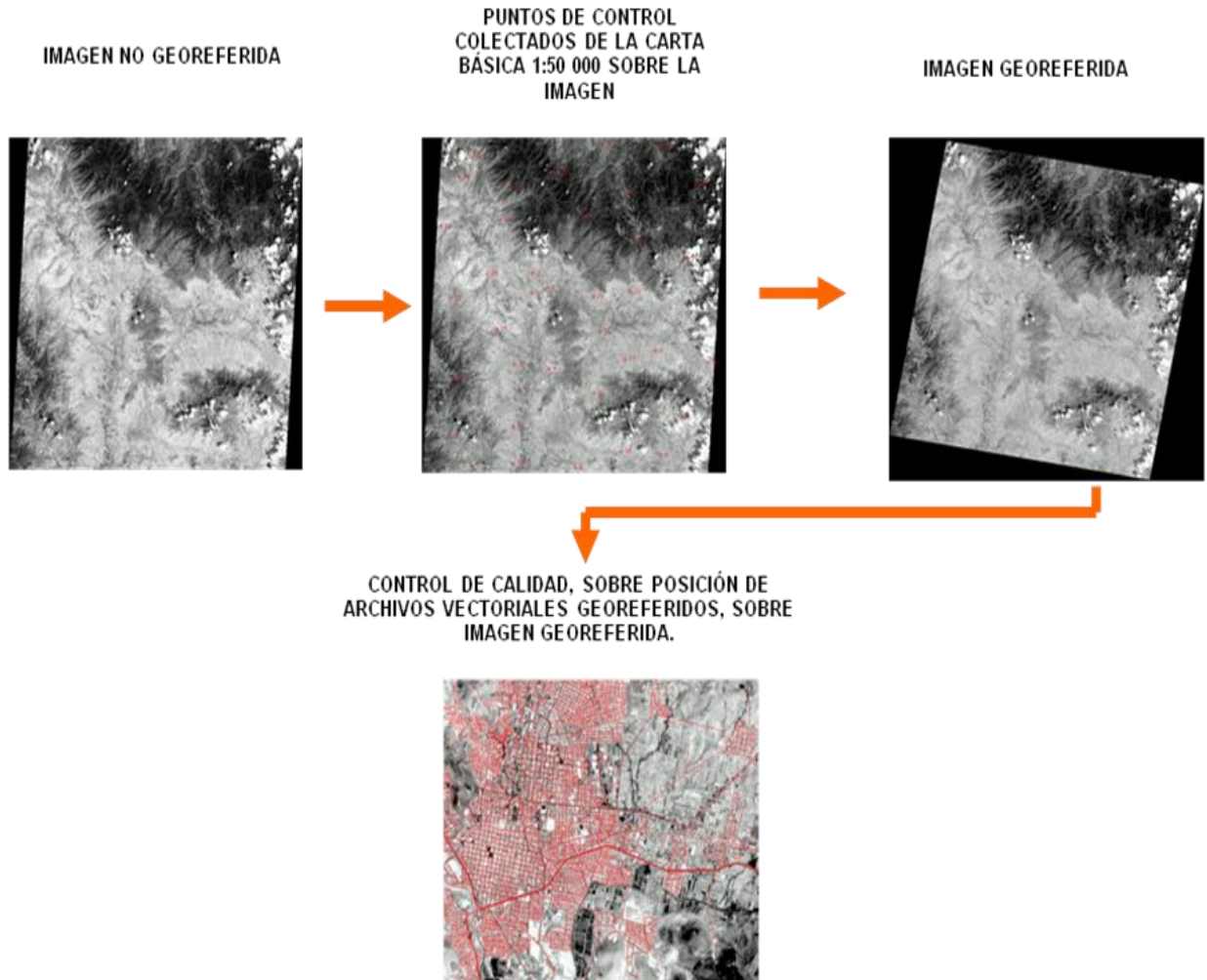


Figura 10. El Proceso general de georeferencia de una imagen de satélite Landsat 4 y Landsat 5 empleado en el INEGI en los años 1994-1995.

En el año de 1994, en el INEGI se dio la primera llegada de información satelital, de todo el cubrimiento del territorio nacional, se recibieron 122 imágenes de satélite multiespectrales de los satélites Landsat 4 y Landsat 5, que contenía información de la superficie del territorio nacional de los años 1993 y 1994, esta información valiosa, por ser muy reciente tenía que ser procesada y georeferida (referirla a un sistema de coordenadas geográficas) lo más pronto posible para ser presentada como información geográfica básica, así inicia el trabajo de procesamiento masivo de imágenes de satélite en el INEGI.

El primer cubrimiento de imágenes de satélite Landsat 4 y Landsat 5, recibido fue procesado con el software de PCI GEOMATICS, el cual es un software diseñado específicamente para el procesamiento de imágenes de satélite, es de origen canadiense. Para realizar la georeferencia de cada una de las imágenes de satélite se utilizó como base la cartografía topográfica analógica escala 1:50,000, el método de georeferencia empleado fue el de imagen a imagen, el cual consiste en la colecta (obtener las coordenadas) de varios puntos de control (ground control points: gcp's) bien distribuidos, en este proyecto se colectaron para cada imagen en proceso 30 puntos, a partir de una primer imagen original que ya cuenta con el sistema de coordenadas. Los puntos son ubicados en una segunda imagen de trabajo (imagen Landsat), a la cual se le asignará por medio de los puntos colectados, el sistema de coordenadas, con el que ya cuenta la primer imagen original. Este método aplica como georeferencia únicamente si la imagen original ya está referenciada al sistema de coordenadas deseado.

De este primer procesamiento de imágenes surgió un nuevo producto cartográfico llamado Espaciomapa, que es un mapa topográfico que contiene como fondo la información que ofrece la imagen de satélite referida geográficamente como se muestra en la figura 11. Este primer proyecto de procesamiento de imágenes tuvo un tiempo de operación de 10 meses.

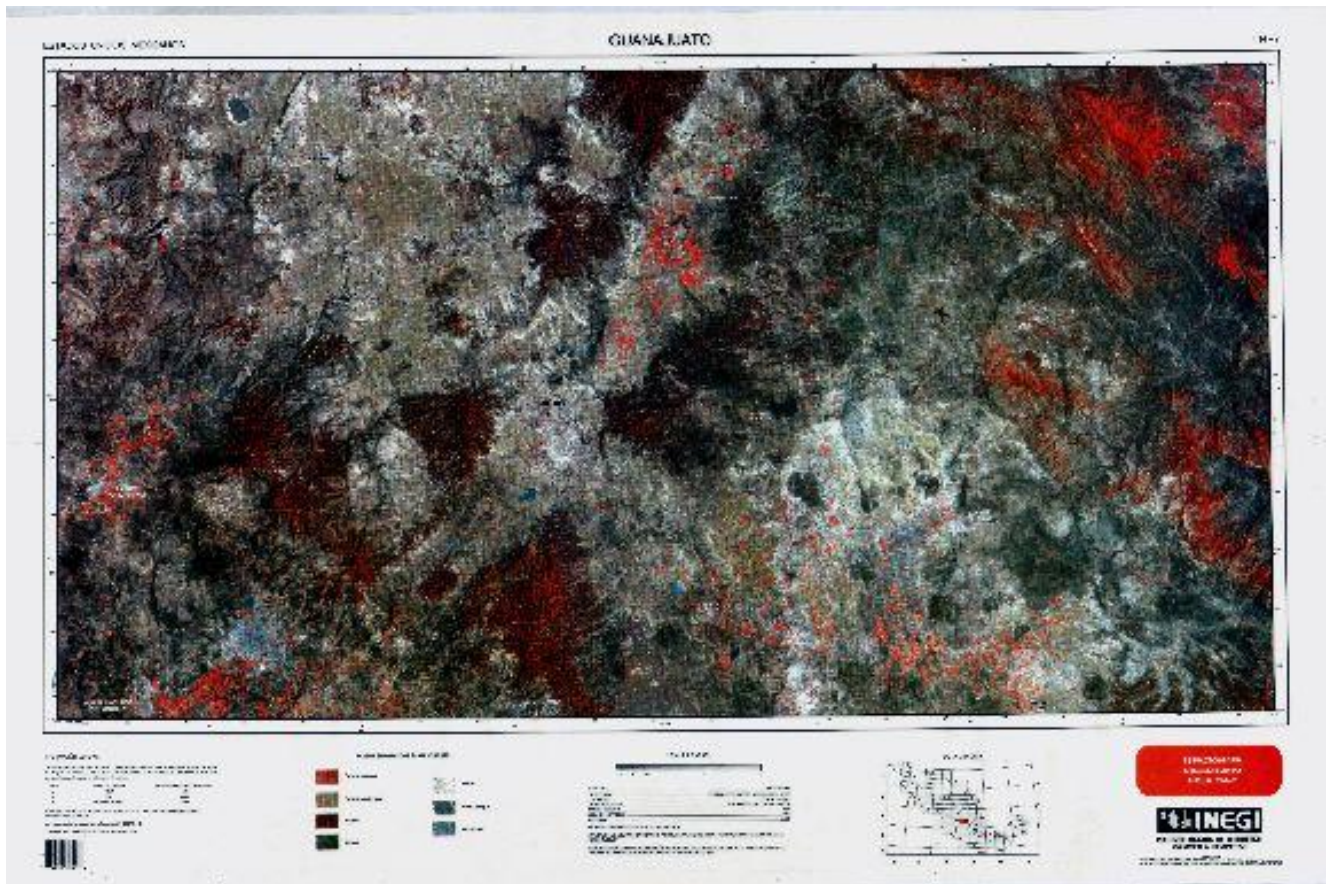


Figura 11. Espaciomapa generado con imágenes de satélite Landat 4 y Landsat 5.

A partir de ese momento, en el INEGI, en cada nuevo proyecto de procesamiento de imágenes de satélite, se busca tratar la información en el menor tiempo posible y mejorar la precisión de las imágenes resultantes, asimismo se buscan nuevas técnicas para procesar los datos y con el apoyo del desarrollo de la tecnología, se actualiza el equipo (hardware y software) que nos permite mejorar los tiempos y los procedimientos, para poder manejar los nuevos cubrimientos de información satelital. Actualmente, en el INEGI se procesa información satelital de tipo SPOT5, con cubrimiento del territorio nacional continental que consta de 1600 imágenes, 800 imágenes de tipo multiespectral y 800 imágenes de tipo pancromático.

En lo que respecta a la preparación y flujo de insumos en el proceso de georeferencia que se aplicó en ese momento, la colecta de puntos para cada imagen Landsat 4 y Landsat 5, fue manual, el procedimiento se describe a continuación:

a) Se reciben las imágenes de satélite a procesar, enviadas por el Departamento de Integración de base de datos de la subdirección de administración de base de datos de la Dirección General de Geografía y medio Ambiente.

b) Desplegar en pantalla la imagen de satélite a procesar para identificar a que parte del territorio nacional pertenece.

c) Identificar el cubrimiento del área que tiene con respecto a la división de la carta topográfica escala 1:50000.

d) Solicitar a la mapoteca todo el listado de claves de cartas en escala 1:50000 útiles para asegurar el cubrimiento completo del territorio nacional, que fueron empleadas paralelamente con las imágenes procesadas.

e) Realizar la colecta de puntos de la siguiente manera: utilizando el software PCI GEOMATICS, se colectan 30 puntos de control extraídos (visual y manualmente) de la carta topográfica escala 1:50000, con el apoyo de una regla o un escalímetro se obtuvieron las coordenadas UTM (X, Y en metros), se ubicaban, asignaban y distribuían de manera homogénea en la imagen de satélite en proceso, así se realizó la colecta punto por punto, hasta completar el número de puntos de control (gcp's) ya definidos, requeridos para realizar el proceso de georeferencia imagen por imagen.

f) Realizar el proceso de georeferencia de la imagen de satélite, el tiempo que emplea el software para procesar una imagen es de 8 a 9 horas.

g) Control de calidad, la imagen de satélite georeferida resultante es desplegada en pantalla, se sobreponen los archivos vectoriales georeferenciados a la imagen Landsat desplegada, si la información de los archivos vectoriales coincide con los rasgos que presenta la imagen Landsat, que no presente un desplazamiento en la sobre posición o que si existe desplazamiento entre la imagen Landsat y los archivos vectoriales sobrepuestos, con un error medio cuadrático menor a 20 metros, la imagen georeferida, tiene un resultado correcto y la georeferencia a la imagen está terminada.

h) Entrega de información, las imágenes georeferidas generadas son entregadas al departamento de base de datos, que es el encargado de distribuir dicha información a todos los usuarios que las solicite y también son los encargados del resguardo y almacenamiento.

Otro insumo utilizado en el caso de no contar con la información de cartografía topográfica analógica escala 1:50,000, en el INEGI se realiza la georeferencia de cada una de las imágenes de satélite, son los archivo vectoriales digitales escala 1:50,000, que contienen vías de comunicación, zonas urbanas, cuerpos de agua, etc., que ya están georeferidos y son utilizados para la obtención de las coordenadas, estos archivos son desplegados en pantalla para ser visualizados y utilizados en la colecta de (gcp's), estos sustituyen a la cartografía topográfica analógica escala 1:50,000, en el proceso ya descrito, para facilitar la ubicación e identificación de rasgos para la colecta de (gcp's), en el archivo vectorial desplegado, se utiliza la imagen en proceso como fondo en los archivos vectoriales desplegados.

Se generaron 121 Espaciomapas a escala 1:250, 000, con una resolución de pixel a 50 metros, esto porque el equipo de cómputo con que se contaba en ese momento no soportaba bases de datos mayores en espacio contenido a 4 GB para realizar el proceso de georeferencia, la base de datos que se requería para generar un espaciomapa a 30 metros de resolución el pixel superaba los 4.5GB,

por lo que se tuvo que remuestrear a 50 metros el tamaño del pixel de la base de datos que contenía al espaciomapa resultante y así generar una base de datos que no superaba los 4GB de espacio contenido, la cual permitía el funcionamiento del equipo de cómputo de ese momento, los Espaciomapas cubren el territorio nacional continental, con imágenes de satélite Landsat 4 y Landsat 5 de tipo multiespectral que están compuestas de 7 bandas de las cuales fueron seleccionadas las bandas 4-3-2 (figura 12), que presenta la vegetación en rojo (falso color), permitiendo resaltar la topografía del terreno.

Representación de Imágenes de Satélite

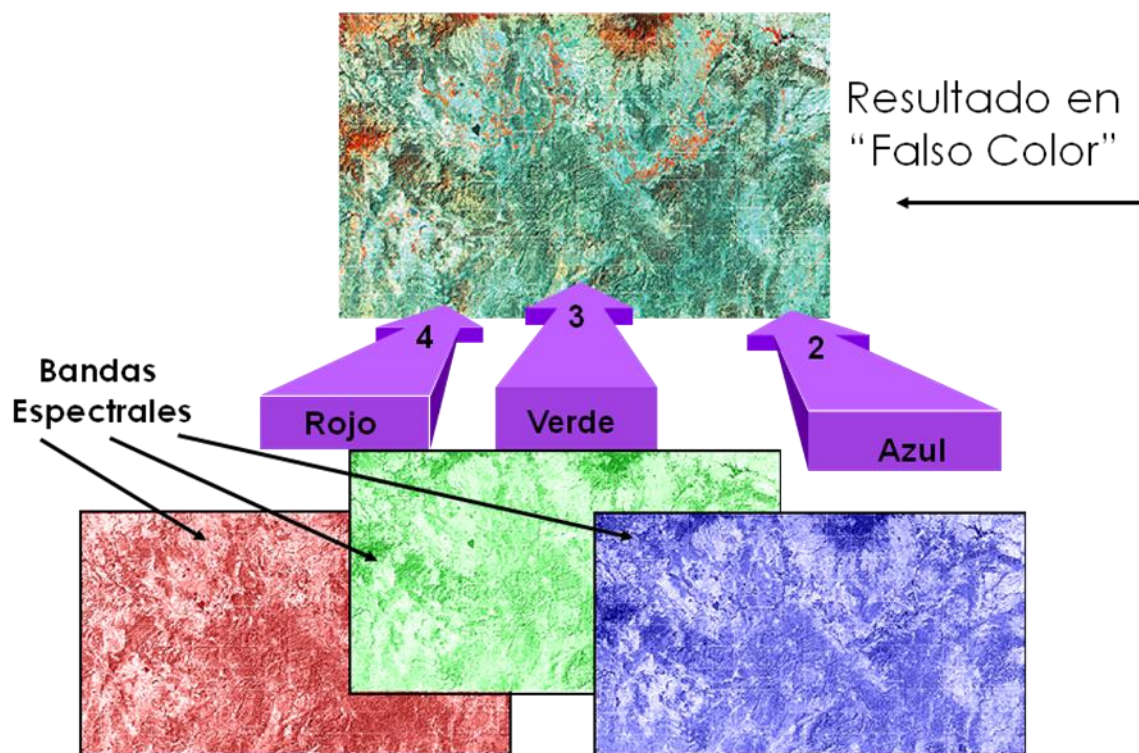


Figura 12. Combinación de bandas de imágenes Landsat 4 y Landsat 5, utilizadas para la generación del espaciomapa.

La imagen anterior presenta el resultado de la asignación de bandas espectrales de la siguiente manera: la infraroja (4) al cañón rojo, la banda roja (3) al cañón verde, y la banda verde (2) al cañón azul, de ahí el nombre de falso color.

2.2 EL PROCESO DE ORTORECTIFICACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE SPOT5.

Las variaciones del relieve en la superficie de la Tierra y la inclinación del satélite afectan la escala con la que se muestran los rasgos en la imagen satelital Spot 5 (figura 13). Cuanto más diverso sea el relieve, tanto mayor será la distorsión inherente en la imagen de satélite Spot5 original.

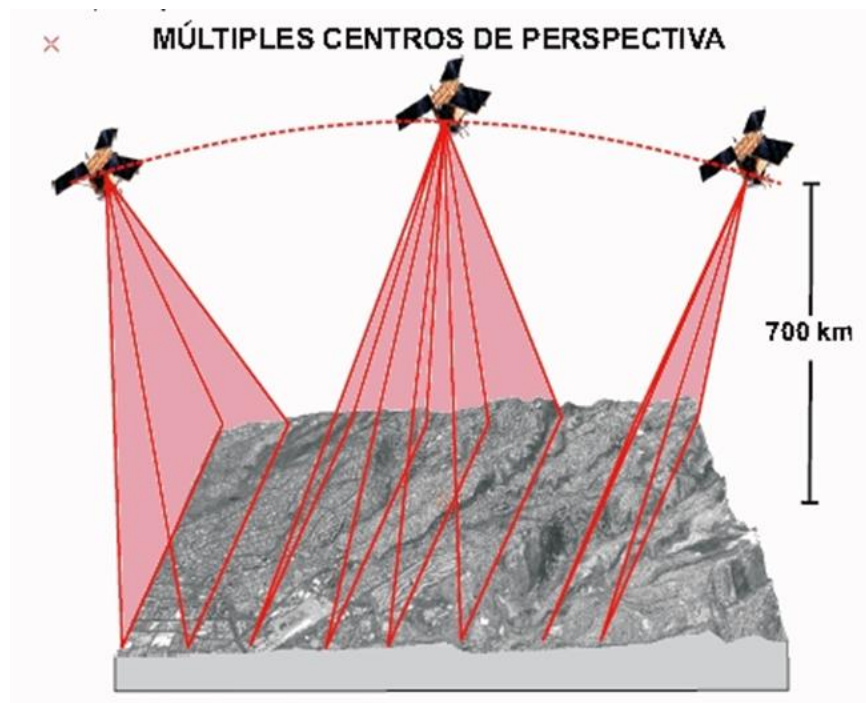


Figura 13. Ejemplo de la distancia afectada con que aparecen los rasgos a causa de las variaciones de la superficie de la Tierra y por la inclinación del satélite.

El sistema de adquisición de imagen de un sensor satelital funciona en base a un “barrido” o “escáner” que recorre una zona de la superficie terrestre para formar

una escena, de tal forma que cada línea de pixels tiene un centro de perspectiva diferente, la geometría de toda la imagen es más difícil de corregir de manera sistemática y por tanto más imprecisa, estos datos están afectados por errores de geometría sistemáticos inducidos por la plataforma o por el sensor, generando de ese modo distorsiones del terreno cuando el sensor de imagen no apunta directamente al NADIR del sensor, o bien punto ubicado exactamente debajo de la parte central de la superficie de los fotodetectores del sensor.

La imagen de satélite puede ser ortorectificada hasta cierto punto, mediante un procedimiento fotogramétrico de corrección, siempre y cuando se obtenga puntos de control terrestre de cantidad suficiente, un modelo digital de elevación del terreno y los parámetros de geometría interna del sensor, dado que no es fija.

Señalado lo anterior podemos definir que el proceso de ortorectificación a una imagen de satélite Spot5 original nivel 1a (figuras 14, 16) consiste en corregirla geoméricamente en un plano tridimensional x, y, z (donde: x = longitud, y = latitud, z = altitud), (figuras 15 y 17), donde presenta un giro homogéneo en todos los rasgos que presenta la imagen Spot 5 debido a la ortorectificación, para que todo su contenido quede representado a una escala uniforme, de tal manera que esa imagen pueda ser considerada como un producto cartográfico base, para la generación de mapas a diversas escalas.

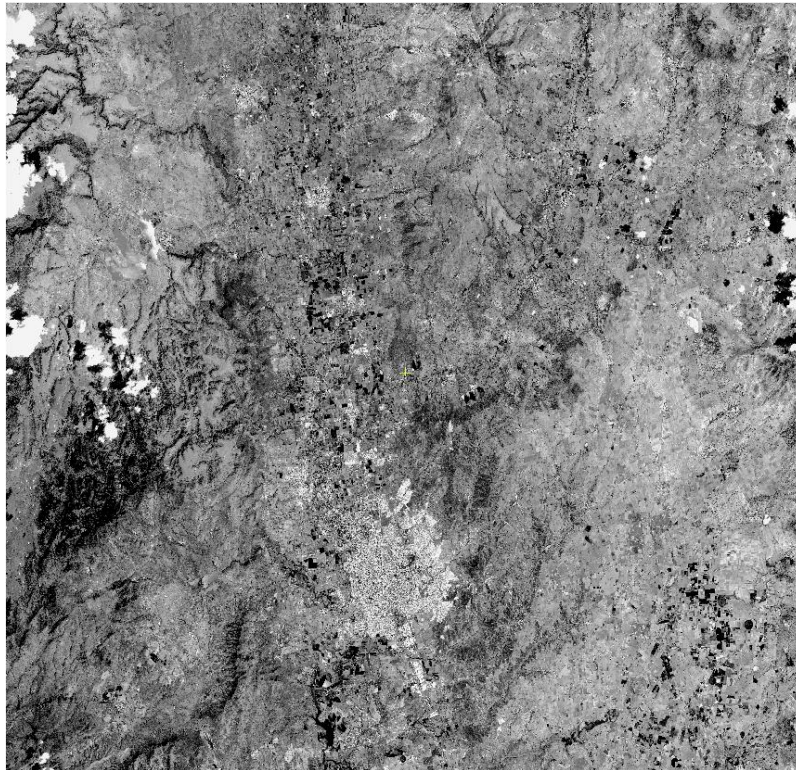


Figura 14. Imagen Spot 5 pancromática sin proceso de ortorectificación. Fuente: INEGI.

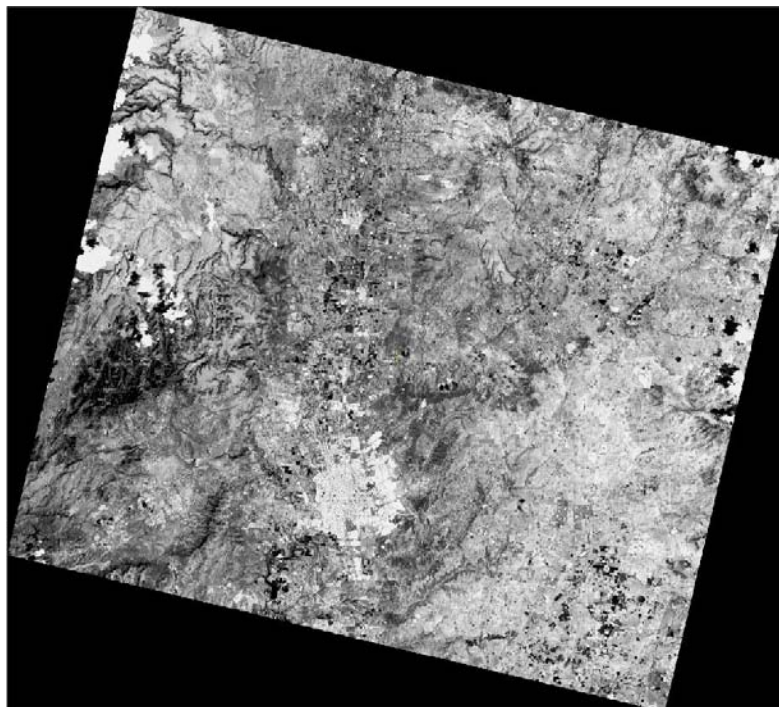


Figura 15. Imagen Spot 5 pancromática con proceso de ortorectificación., la cual ya presenta la modificación (giro de la imagen) generada por el proceso de ortorectificación. Fuente: INEGI.



Figura 16. Acercamiento a una imagen Spot 5 pancromática sin proceso de ortorectificación.

Fuente: INEGI.



Figura 17. Acercamiento a una imagen Spot 5 pancromática con proceso de ortorectificación.

Fuente: INEGI.

En este proyecto el número total de imágenes de satélite Spot 5 a procesar fue de 1596 (figura 18), las cuales cubren el territorio nacional en un 99%, ya que no se trabajaron zonas de islas por falta del modelo digital de elevación, necesario para la ortorectificación, siendo 798 imágenes Spot 5 pancromáticas y 798 imágenes Spot 5 multiespectrales, se presenta un solo mapa para mostrar el cubrimiento nacional de imágenes Spot 5 pancromáticas y multiespectrales, porque si la imagen multiespectral y la imagen pancromática tienen la misma clave, ambas cubren en mismo territorio.

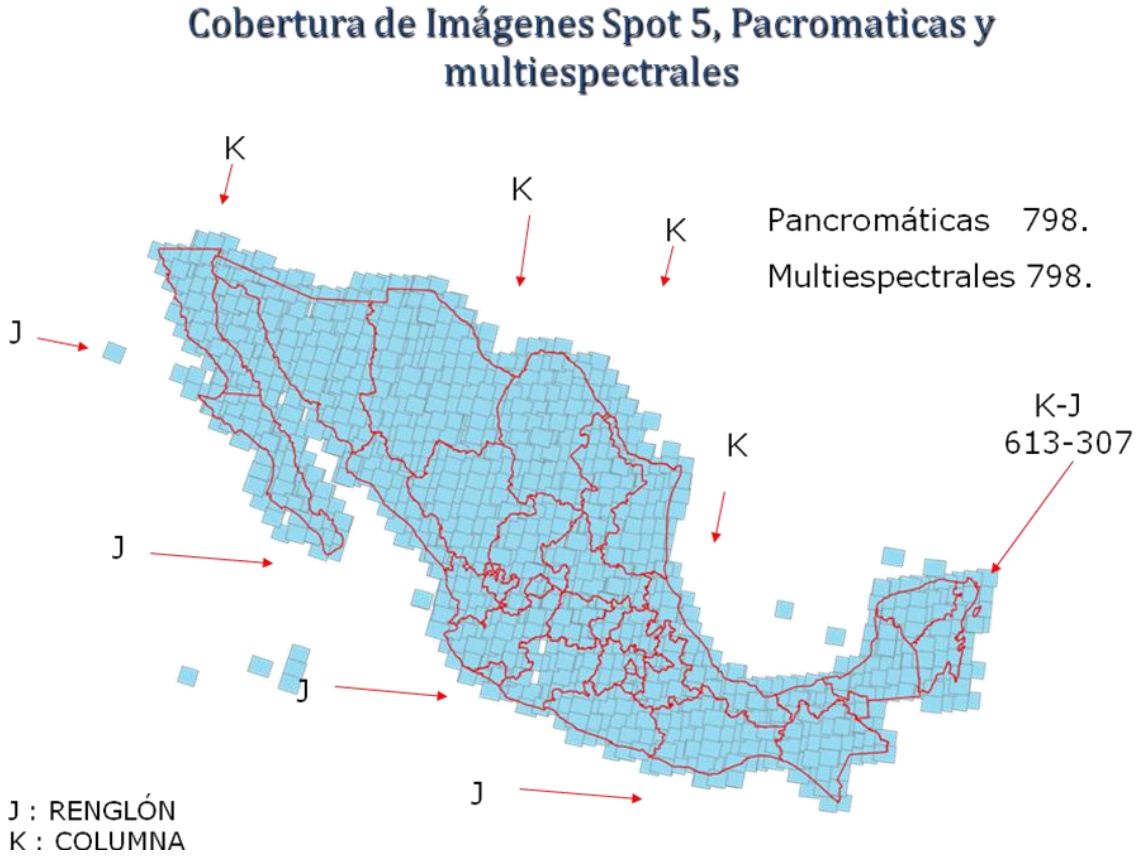


Figura 18. Cobertura de imágenes Spot 5 del territorio nacional.

Esta metodología fue aplicada en el INEGI y fue un proceso utilizado para imágenes Spot 5 multiespectral y pancromáticas de forma homogénea, es un proceso automatizado pero que para la preparación y manejo de los insumos,

cuenta con dos niveles de participantes en el proceso llamados: supervisores y operadores, los supervisores que participaron en los puntos 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11 y operadores que participaron en los puntos 5 y 6.

Para el proceso de ortorectificación automatizada que se realiza a una imagen de satélite original (sin proceso), se obtendrán las coordenadas, de un mosaico compuesto por fotografías aéreas que ya están ortorectificadas, de este mosaico se extraen los valores de X-Y (latitud y longitud), por otra parte, del modelo digital de elevación se obtendrá el valor Z (altitud), estos son los insumos de donde se obtendrán las coordenadas que serán las utilizadas en el proceso de ortorectificación de la imagen Spot 5, como se muestra en la figura 19.

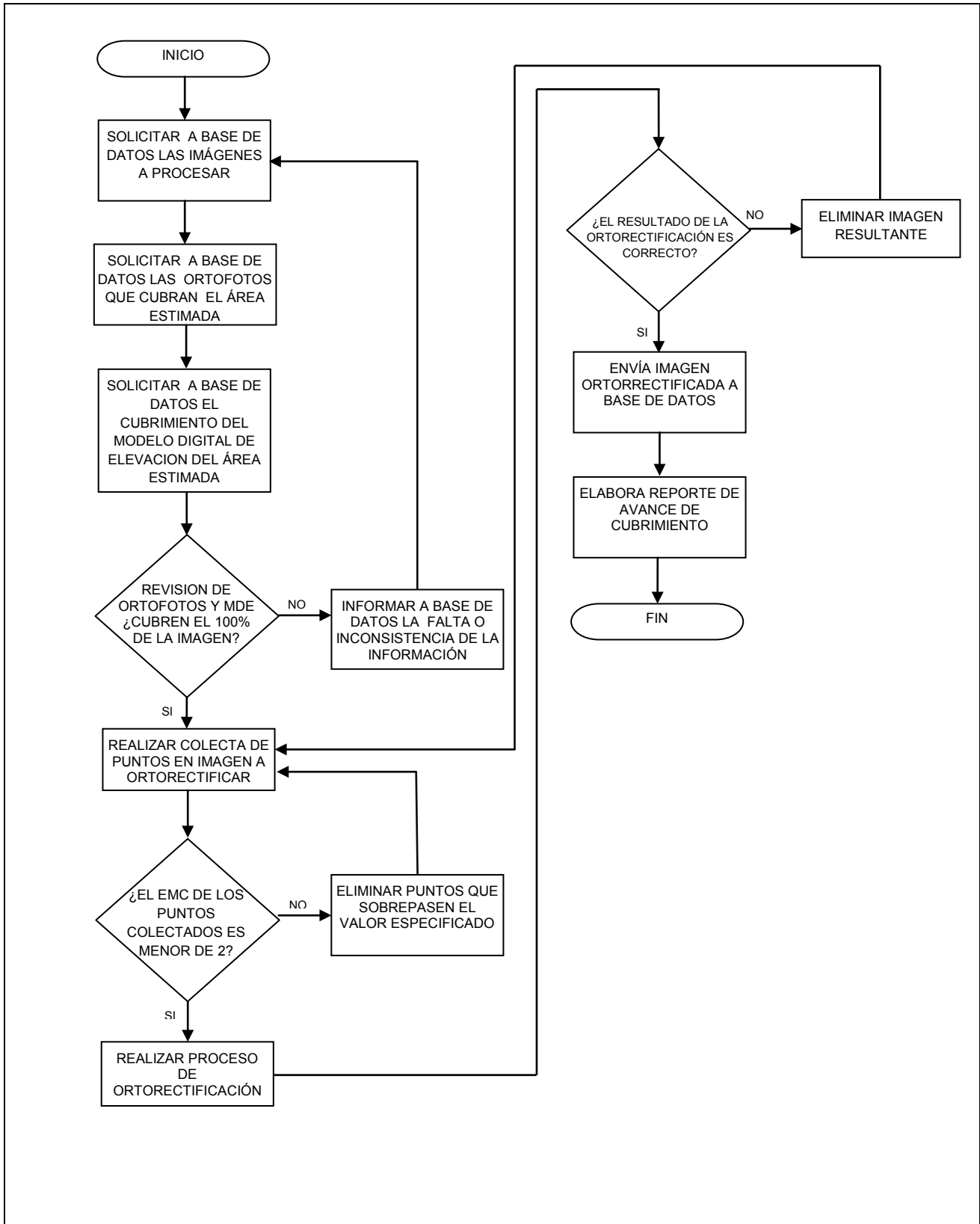


Figura 19 Flujo de la preparación de insumos en el proceso.

Los principales pasos del flujo de la información se describen a continuación:

1.- Solicitar mediante oficio a la Subdirección de Base de Datos de la Dirección General de Geografía, las imágenes de satélite a procesar, cada imagen debe ser solicitada por medio de su clave J:renglón, K:columna, fecha de expedición y tipo de imagen refiriéndose a multiespectral J o pancromática T, ejemplo: 605 es J renglón, 313 es k columna , 20120224 fecha de expedición es decir 24 de febrero de 2012 y el tipo de imagen es pancromática T, la clave de la imagen a solicitar es 605-313_20120224_T , como se muestra en la figura 20.

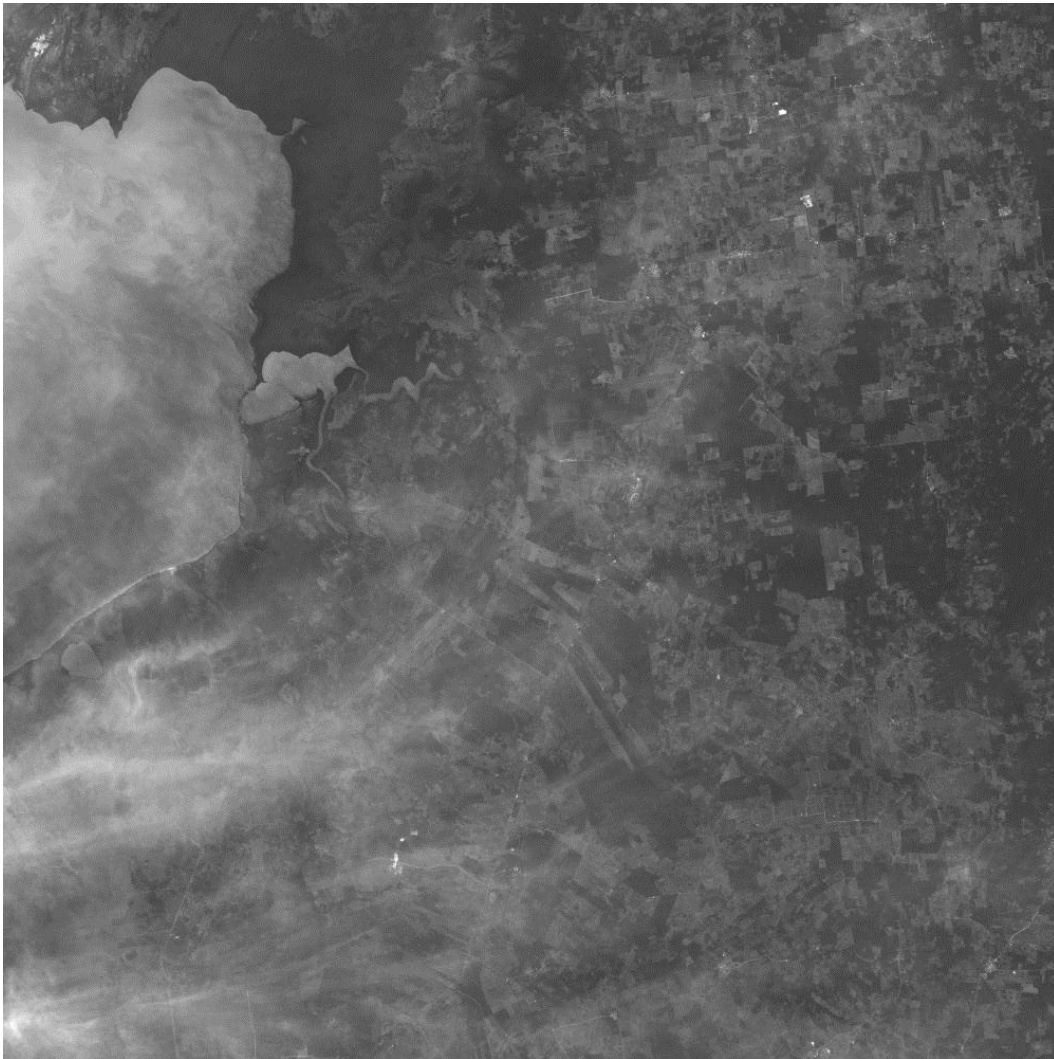


Figura 20 Imagen Spot 5 pancromática para procesar nivel 1 a (sin procesar), Fuente: INEGI.

2.- Solicitar a la Subdirección de Base de Datos de la Dirección General de Geografía, las ortofotos del área estimada (que cuenta con el cubrimiento de todo el país) y construir la imagen georeferida, un mosaico de ortofotos del área de la imagen de satélite aproximadamente, esto mediante la información que la imagen de satélite trae de origen, como se muestra en la figura 21.

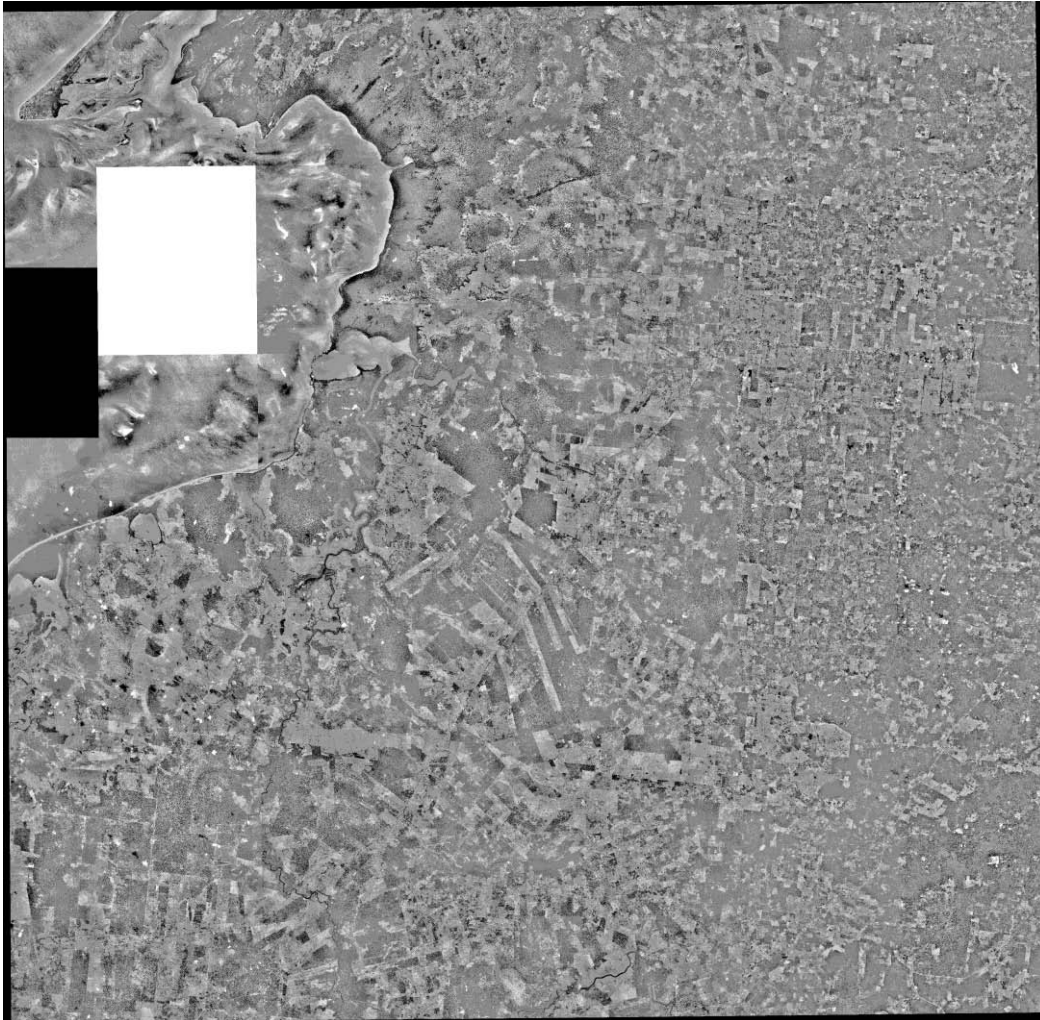


Figura 21 mosaico de ortofotos generado para procesar imágenes Spot 5, Fuente: INEGI.

3.- Solicitar a la Subdirección de Base de Datos de la Dirección General de Geografía, el Modelo Digital de Elevación (MDE) del país y generar el Modelo Digital de Elevación (MDE) específico (recorte), como se muestra en la figura 22,

que cubra el área de la imagen de satélite, la información del área recortada, se obtiene del mosaico generado por las ortofotos.

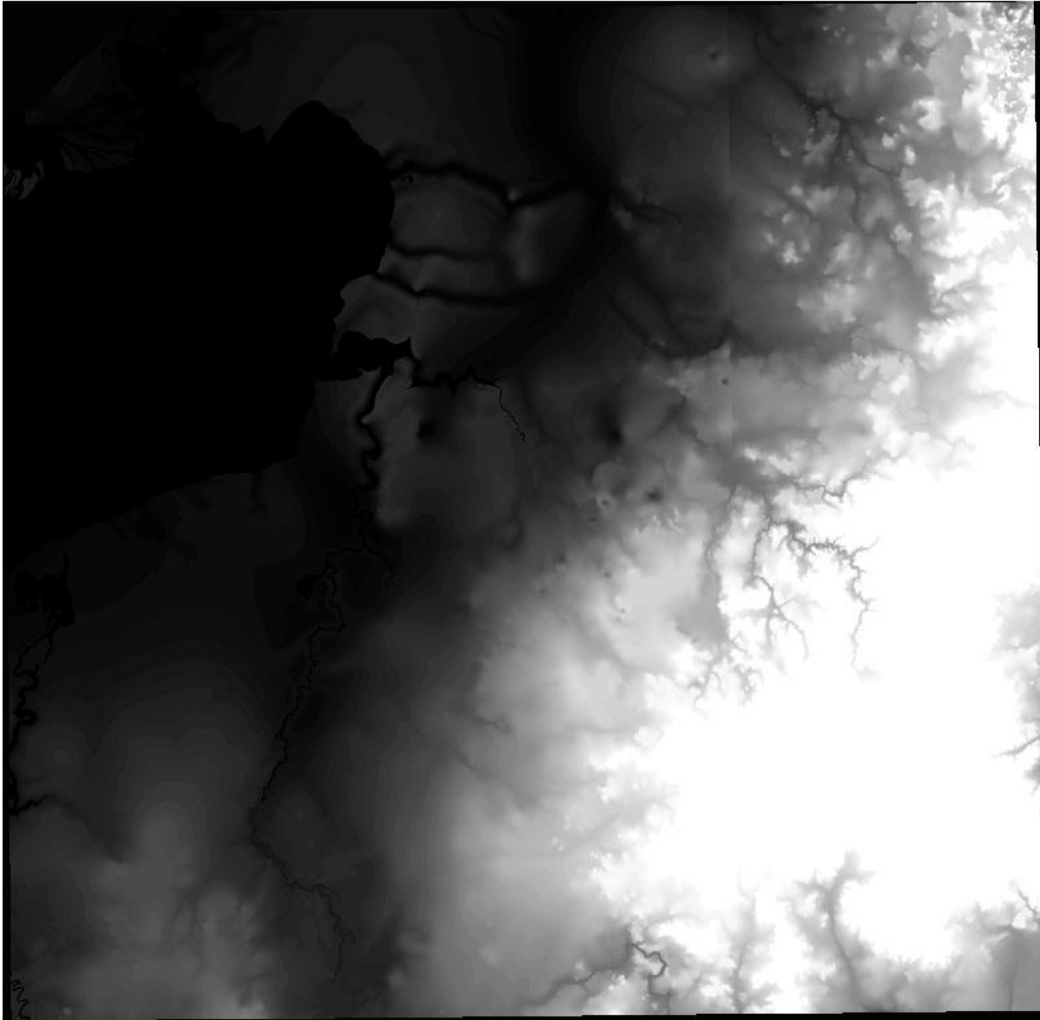


Figura 22 Recorte del MDE generado para el proceso de de ortorectificación de imagen spot 5; Fuente: INEGI.

4.- Revisar visualmente que el mosaico de ortofotos y el modelo digital de elevación cubran el 100% de la imagen de satélite, para poder realizar una colecta de puntos con buena distribución en toda la imagen de satélite, en los casos que no se tenga el cubrimiento de la imagen en un mínimo del 80%, la colecta de puntos será realizada con el apoyo de cartografía topográfica en

escala 1:50 000, de la que se obtendrá la información de cada punto que sea seleccionado e identificado para realizar la colecta de puntos.

5.- Colectar (gcp's) que son los utilizados para el proceso de ortorectificación y puntos de verificación (chek) que son los que indican el error medio cuadrático que existe entre los puntos de control colectados en la imagen de satélite Spot5, los puntos de verificación no son utilizados para correr el proceso de ortorectificación. Los (gcp's) deben ser posicionados de forma homogénea en toda la imagen de satélite y bien identificados, para mantener un error medio cuadrático (RMS) bajo, cada punto al ser colectado debe ser verificado en su valor de RMS, que se encuentre dentro del rango de aceptación, que es no mayor a 2 pixeles su error medio cuadrático individual, también se da un error medio cuadrático en conjunto a partir del segundo punto colectado el cual también debe estar dentro del rango de aceptación que es no mayor a 2 pixeles (dos pixeles equivale a 5 metros en el caso de imagen Spot pancromática y dos pixeles equivale a 20 metros en el caso de una imagen Spot multiespectral), hasta el último punto colectado, para esa imagen en proceso.

Cuando la imagen de satélite presenta el 100% de información del terreno que cubre, se recomienda ubicar 13 (gcp's) en la imagen de satélite en proceso como se presenta en la figura 25. Cuando la imagen de satélite presente menos del 30% del terreno que cubre se recomienda colectar un mínimo de 8 puntos de control.

Si el error medio cuadrático en el conjunto de los puntos de control es mayor a los especificados se debe indicar en las observaciones porqué el error supera lo especificado y los supervisores serán los encargados de aceptar el error o regresar la imagen de satélite a una nueva colecta de puntos.

El error medio cuadrático en conjunto en los puntos de verificación se considera tolerable y aceptable para realizar el proceso de ortorectificación, cuando este sea menor a los 2.5 pixeles (7.5m) en el caso de las imágenes Spot pancromáticas y 2.5 pixeles (25 metros) en el caso de imágenes multiespectrales, cuando dicho

error es mayor se realizan las observaciones correspondientes, o se toman otros puntos complementarios.

6.- Al terminar la colecta de puntos de control y verificación, de ser necesario anotar observaciones o anomalías de la imagen en el recuadro que aparecerá al indicar que la captura de puntos está finalizada.

7.- El supervisor revisa la calidad de ubicación de los puntos de control en la imagen, asimismo, que el error medio cuadrático este dentro de los parámetros aceptables.

8.- Concluida la etapa de colecta de puntos de la imagen se puede iniciar la siguiente etapa, que es correr el proceso automático de ortorectificación de la imagen.

Orden de polinomios.

Una imagen de satélite, no proporciona información georeferida, además puede sufrir una serie de distorsiones, debidas a los movimientos del satélite. Las correcciones necesarias para restaurar a cada punto de la imagen sus coordenadas reales se basan en ecuaciones polinómicas que permiten modificar de forma flexible las coordenadas de la imagen. El orden del polinomio determina la flexibilidad del ajuste y de la transformación, normalmente se emplean transformaciones de tipo lineal (polinomio de grado 1), cuadrático (polinomio de grado 2) o cúbico (polinomio de grado 3).

Para el procesamiento de imágenes Spot 5 interno del INEGI, por el número limitado de 13 (gcp's) se aplicó la transformación de tipo lineal (el polinomio de grado 1).

Transferencia de los valores digitales a la nueva posición (Interpolación).

Para la transferencia de los valores digitales de una imagen original a la imagen ajustada mediante el polinomio, se requiere de un proceso de remuestreo. Hay

tres métodos comunes para el remuestreo: el vecino más cercano, interpolación bilineal y circunvolución cúbica.

En INEGI se aplica el método de vecino más cercano, que consiste en usar el valor digital del pixel de la imagen original a partir del supuesto que está más cercano (distancia euclidiana) a la nueva posición del pixel en la imagen corregida. Éste es el método más simple dado que no altera los valores originales como se muestra en la figura 23.

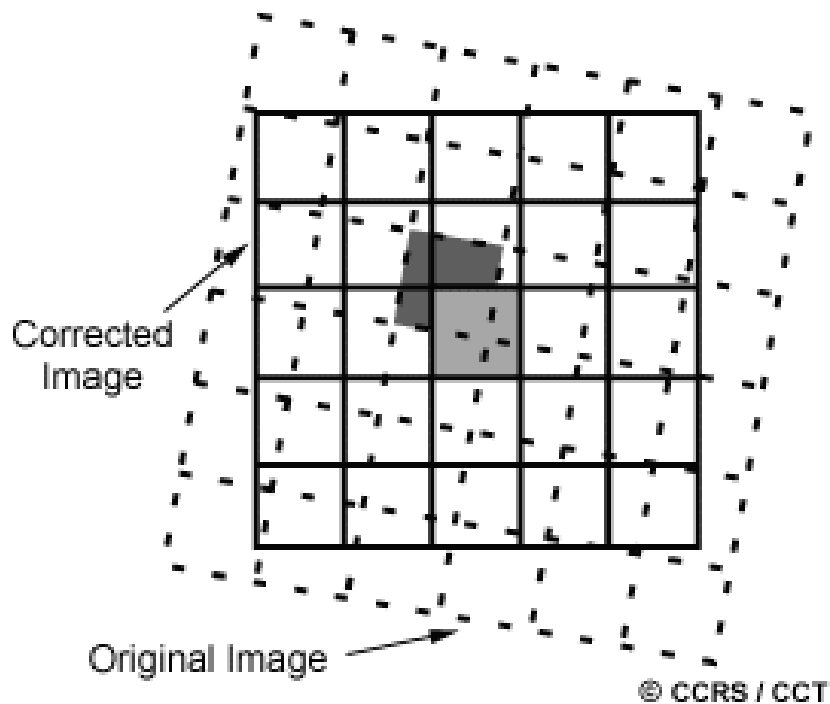


Figura 23 muestra el método del vecino más cercano. Fuente: Chuvieco, 1996.

9.- El resultado del proceso de ortorectificación es revisado, esta es una etapa de control de calidad, primero que la imagen resultante se pueda desplegar en pantalla y posteriormente que la ortorectificación sea correcta, esto se realiza con el apoyo de la información vectorial disponible que es sobrepuesta en la imagen de satélite resultante y confrontada, donde ambas informaciones deben corresponder al 100% en la ubicación de rasgos.

10.- Al finalizar el proceso a la imagen de satélite esta es entregada al área de Base de Datos, que almacenará y distribuirá los resultados según le sean solicitados.

11.- Generar reporte del avance del cubrimiento nacional, que se está generando con las imágenes Spot 5 en proceso.

En el proceso automatizado se maneja de forma interna, una serie de claves que indican la etapa o estado en que se encuentra cada una de las imágenes Spot 5 que se están procesando del conjunto total de imágenes Spot 5, esta es presentada a continuación, como un lista de valores de estado (status) en el cuadro 5.

Código	Concepto
-1	Dañada: Imagen dañada no despliega su contenido
0	Recibida: Imagen sin revisión alguna recibida en el Departamento de Ortorectificación.
1	Descargada: Imagen enlistada en el grupo de imágenes a procesar.
2	Lista para colecta GCP: Lista para colecta de puntos.
3	En colecta de GCP: Imagen en etapa de colecta de puntos.
4	Colecta terminada: La colecta de puntos fue concluida.
5	En revisión GCP: Se revisa que la colecta de puntos fue correcta.
6	Revisión terminada: Colecta de puntos aceptable, lista para el proceso de ortorectificación.
7	En ortorectificación: Imagen en proceso automático de ortorectificación.
8	Ortorectificada: Imagen que concluyó el proceso automático de ortorectificación
9	Revisión de ortorectificación: Imagen en etapa de revisión de control de calidad.
10	Notificación y entrega a Base de Datos: Imagen en entrega al área de Base de Datos.

Cuadro 5. Códigos de clasificación asignados a las imágenes durante el proceso de ortorectificación.

Dada la importancia que representa la colecta de puntos de control en el proceso de ortorectificación, se debe destacar que existen diversos factores que intervienen en su elección, como la precisión de la técnica y el instrumento utilizado durante su adquisición, la ubicación de cada punto y la distribución del conjunto de ellos, que en ocasiones es limitado por las características de terreno, el cual presenta zonas sin rasgos significativos para ubicarlos y colectarlos, así como la presencia de cuerpos de agua, nubes, sombras de nubes, sombras generadas por los mismos rasgos del terreno, que impiden identificar rasgos útiles (referencias) para su colecta, y así la imagen presente el cubrimiento necesario de tales puntos, y se logre aplicar un proceso homogéneo a toda el área que representa la imagen de satélite. A continuación se detallan los criterios para la determinación de tales puntos, de cuya calidad y cobertura depende la precisión del proceso de ortorectificación resultante.

- Colocar 13 puntos distribuidos uniformemente a lo largo y ancho de toda la imagen como se muestra en la figura 24, en caso de que sea una imagen de costa o frontera (que no contiene información terrestre del territorio nacional al 100%) el mínimo de puntos a colectar permitido será 8.

- Mantener un error medio cuadrático no mayor a 2 píxeles tanto en imagen de tipo pancromático como en imagen de tipo multiespectral, entendiendo que 2 píxeles en imagen de tipo pancromático es igual a 5 metros y 2 píxeles en imagen de tipo multiespectral es igual a 20 metros.

- La distribución propuesta de puntos en la imagen fue de la siguiente manera: 3 puntos en la parte norte distribuidos de manera equidistante, 3 puntos en la parte media distribuidos de manera equidistante, 3 puntos en la parte sur distribuidos de manera equidistante, dividir la imagen en cuatro cuadrantes y ubicar un punto al centro de cada cuadrante como se muestra en la figura 25, esto permitirá una ortorectificación mas precisa.

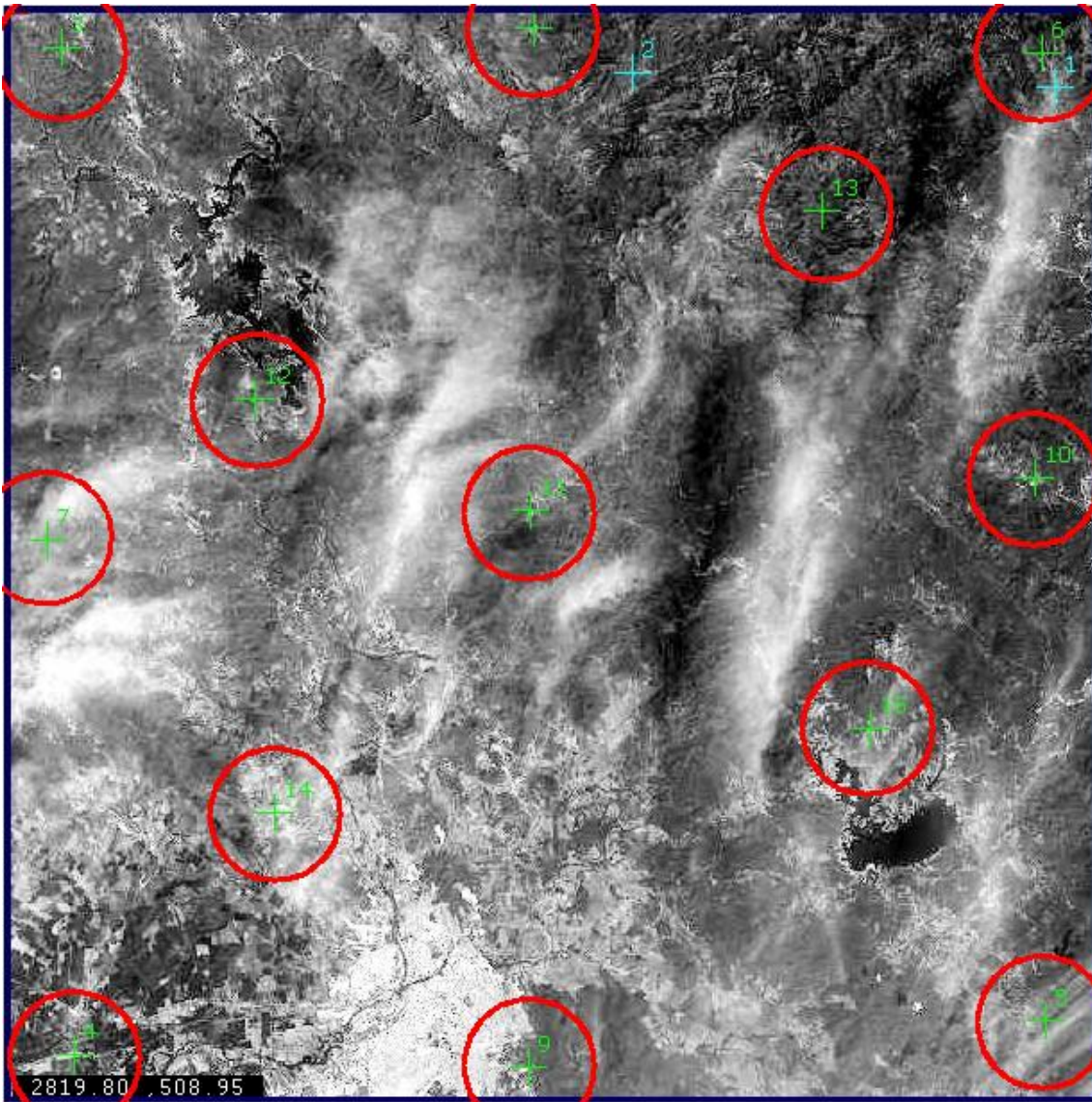


Figura 24. Los puntos de control deben estar asociados en la medida de lo posible a rasgos del terreno fácilmente reconocibles y perdurables.

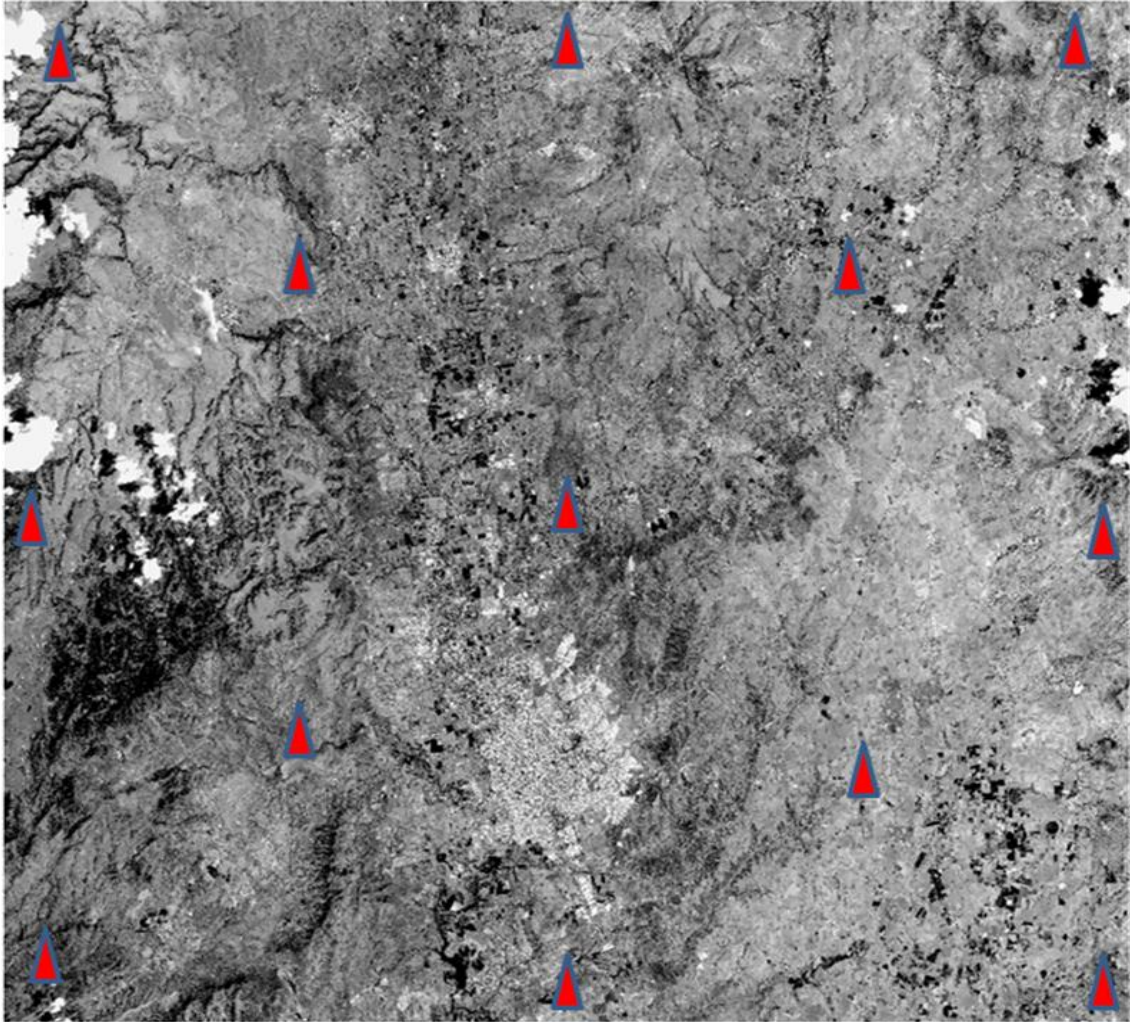


Figura 25. Distribución de puntos de control, para el proceso de ortorectificación.

En el proceso de la colecta de cada punto, se realiza un acercamiento progresivo a la imagen rectificada en la cual se ubica y selecciona un punto que contiene las coordenadas a asignar, de la misma manera se realiza un acercamiento progresivo a la imagen en proceso donde será ubicado y asignado el punto con las coordenadas ya seleccionadas, como se muestra en la figura 26.

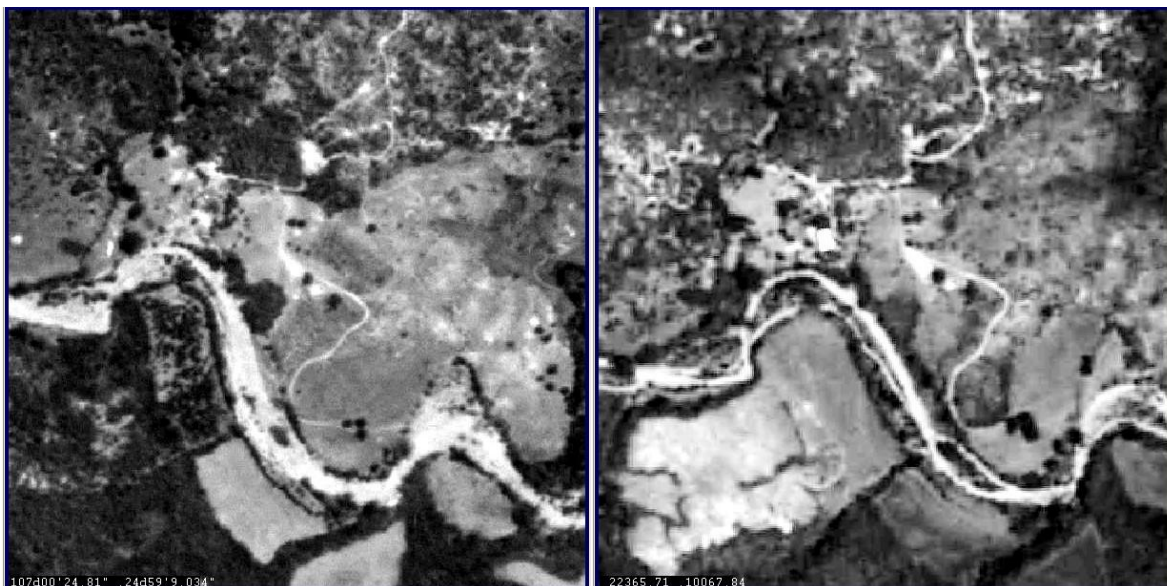


Figura 26. Avance progresivo a la imagen, la imagen izquierda representa la imagen base, la imagen derecha corresponde a la imagen en proceso de rectificación.

Para realizar una buena colecta de puntos se recomienda ubicar puntos en:

- Zonas urbanas, donde los rasgos se presentan mejor definidos (traza urbana, cruce de calles, edificios, monumentos, estructuras en general).

- Zonas rurales donde los rasgos físicos o culturales se presenten bien definidos sobre el terreno y que perduran en general.

- Carreteras, cruce de caminos, puentes.

- Zonas de cultivo, ejidos o parcelas y cuerpos de agua donde los límites sean bien identificados.

- Rasgos específicos en zonas donde la colecta del punto sea sencilla de identificar, arboles, límites de presas.

- En los casos que la imagen Spot 5 represente las zonas de frontera con los países de Estados Unidos, Guatemala y Belice, se deben colocar puntos de control en el territorio nacional ya que el modelo digital de elevación solo cubre el territorio nacional.

- Casos especiales, la colecta se debe realizar lo más simétrica posible como se mostró en la figura 25, pero existen casos en que no es sencillo cumplir con esta

especificación y más en la zonas de las esquinas de la imagen, por esta razón aunque se recomienda no utilizar arbustos como objetos para ubicar puntos, a veces es indispensable utilizarlos ya que la imagen no contiene ningún rasgo geográfico como los establecidos anteriormente para la colecta de puntos y evitar elegir puntos muy alejados de las esquinas u orilla de la imagen.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El desarrollo tecnológico de la electrónica, las telecomunicaciones y la informática, aplicadas a la percepción remota (incluyendo a las plataformas y los sensores) permitió poner al alcance de todo el mundo la información Geográfica extraída de las imágenes de satélite.

En la actualidad el procesamiento de las imágenes de satélite constituye uno de los principales métodos de estudio del medio ambiente y de la superficie terrestre, ya que permite la recolección sistemática de datos en cualquier lugar del mundo, con la periodicidad necesaria y a pesar de las condiciones climáticas o de cualquier otra circunstancia adversa (distancias, condiciones de las vías de comunicación, traslados de personal y datos) que pudiera impedir o complicar esta recolecta de datos si se hiciera directamente sobre la superficie terrestre.

Este desarrollo aplicado durante dos décadas por el INEGI ha permitido que se cuente con la información necesaria, ya sea en formato digital o por medios impresos para el estudio de temas Geográficos.

Como ejemplo podemos mencionar que, con la información de las imágenes de satélite Spot 5 ortorectificadas se ha logrado generar:

1. Mapas Topográficos complementados con una base de imágenes de satélite para presentar de forma más real el terreno, o la utilización de las imágenes satelitales como apoyo para la generación de curvas de nivel, se han generado mapas en escalas 1:50,000; 1:250,000; 1:1000,000 y 1:4000,000.

2. Estado mapas, completados con una base de imágenes de satélite para presentar de forma más real el terreno o como apoyo a las curvas de nivel.
3. Se generan mapas de localidades específicas a escalas específicas.
4. Se generan mapas de desastres provocados por fenómenos meteorológicos con poco tiempo de suceso.
5. Se generan mapas en perspectiva (visualización tridimensional del área) derivados de las imágenes de satélite, sumadas a los datos de elevación en forma digital, llamados modelos digitales de elevación (MDE).
6. Se generan mapas a escalas específicas actualizados constantemente de vías de comunicación (carreteras).
7. Se generan mapas a escalas específicas para monitorear deforestación, vegetación, incendios, inundaciones, accidentes que impactan a la superficie del terreno, es decir, debido a factores naturales y humanos.
8. Se generan mapas comparativos de costas (erosión) que permiten monitorear los cambios por año.
9. Se generan mapas de fusión de imagen multiespectral con imagen pancromática, para aprovechar las ventajas de ambas imágenes (falso color y resolución).

Finalmente, se puede decir que las imágenes de satélite Spot 5 ortorectificadas aportan un valioso recurso como fuente básica para la producción cartográfica y para la generación de coberturas básicas destinadas al análisis espacial con Sistemas de Información Geográfica, entre sus ventajas se pueden mencionar las siguientes:

- ✓ Cobertura de grandes áreas.
- ✓ Cobertura repetitiva.
- ✓ Cobertura mundial.

- ✓ Usa nuevas áreas del espectro electromagnético.
- ✓ Usa varias bandas del espectro al mismo tiempo.
- ✓ Se generan en formato digital desde un principio.

4. CONCLUSIONES.

Durante los años de mi participación en el procesamiento de imágenes de satélite comento que, con la llegada de las imágenes adquiridas desde satélites, al INEGI, en el año de 1993 surgió la posibilidad de obtener información geográfica masiva de grandes aéreas y con mucho mayor periodicidad, el cubrimiento de nuestro territorio nacional de manera oportuna, más rápida y general, entonces surgieron nuevos retos como profesional, como profundizar en el conocimiento de la naturaleza de la información geográfica y su generación por otros medios diferentes a los tradicionales, aprender a manejar el software especializado para el manejo de imágenes de satélite, aprender a manejar equipo de computo, crear procesos para el manejo de las imágenes de satélite y de la información geográfica que estas contenían, así surge la necesidad de conformar un equipo de trabajo, que atendiera la nueva actividad que surgía en el INEGI.

Se convocó a investigadores de ciencias de la Tierra que laboraban en el INEGI para dicha actividad, en esta etapa es donde me integré al equipo de trabajo por mi formación como Geógrafo, pues dentro del proceso se requería profesionistas que se encargaran de los estudios de localización, descripción, cuantificación, de las relaciones y causas de los hechos y fenómenos que tienen lugar en el espacio geográfico y técnicas para elaborar mapas de todo tipo, cartografía, actualmente este equipo de trabajo constituye el Departamento de Ortorectificación del INEGI, encargado del procesamiento de imágenes de satélite, en la actualidad se procesan específicamente imágenes de satélite Spot 5.

Desde sus inicios el procesamiento de imágenes de satélite en el INEGI ha tenido la finalidad de preparar la información de la forma más inmediata y exacta para

que esta llegue a todos los usuarios ya sea de forma analógica o digital y sea utilizada, para esto se busca constantemente nuevas formas de como procesar, almacenar y presentar la información generada, en este aspecto la tecnología ha jugado un papel importante ya que el desarrollo de la misma a permitido encontrar nuevas formas para optimizar el proceso, esto es actualmente, mas información precisa, en menor tiempo.

El procesamiento de imágenes de satélite es de gran relevancia, ya que nos permite aprovechar las innovaciones tecnológicas, las cuales proveen recursos cada vez más poderosos para generar información geográfica básica, para su aprovechamiento por diversos especialistas que estudian la dinámica de la sociedad con el medio ambiente, el territorio y los recursos naturales de nuestro país, asimismo, esto contribuye al desarrollo del conocimiento geográfico y cartográfico.

Finalmente con respecto al proceso de ortorectificación que actualmente es aplicado a imágenes de satélite Spot 5 el INEGI y del cual trata este trabajo, comento que es el cambio del proceso aplicado anteriormente útil en su momento la georeferencia, que nos permitió generar productos cartográficos con los nuevos insumos que la tecnología estaba generando y que fueron a los que se tuvo acceso, las imágenes de satélite Landsat, este proceso de ortorectificación que se aplica a imágenes actualmente, optimiza la precisión de los nuevos productos cartográficos derivados de imágenes de satélite, que se generan en INEGI, siendo esto posible con el desarrollo de software adquiridos en el INEGI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y PÁGINAS WEB.

BIBLIOGRAFÍA.

- Business image group y Spot image Basado en “imágenes de satélite- una guía objetiva”. Guía básica sobre imágenes satelitales y sus productos.1986.
- Chuvieco, Emilio. (1995) Fundamentos de teledetección espacial. Segunda edición; Ediciones RIALP, S.A. Madrid, España.
- Chuvieco, Emilio. (2002) Teledetección ambiental Editorial Ariel. Madrid, España
- Fernández - Coppel Ignacio. (2001) El satélite Landsat. 2001.
- Harald Melh. (2010) Fundamentos del procesamiento digital de imágenes Alemania Comisión Nacional de Actividades Espaciales (COANAE)
- INEGI. Aspectos técnicos de las imágenes Landsat.
- Jensen,J.R (2000) Remote Sensing of the Environment: AN Earth Resource Perspective, Upper Saddle River, New Jersey: prentive Hall.
- Labrador Mauricio. (2012)Satélites de teledetección para la gestión del territorio.
- Lira, Jorge. (2010) La Percepción Remota. Nuestros ojos desde el Espacio. SEP - Fondo de Cultura Económica - CONACyT. México
- Martínez, Julio. (2005). Fundamentos de percepción remota. Recopilación Comisión Nacional del Agua. Junio.
- Pérez Uriel. (2005) La percepción remota.
- R Baumann Paul (2009) History of remote sensing, satellite imagey part 2.
- Vivancos, Jordi y Albert Llastarri (2005) Curso cnice Fundamentos de la teledetección. ITE,webmaster@ite.educacion.es,ministerio de educación.

PÁGINAS WEB

http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/Aspectos_tecnicos_imagenes_%20landsat.pdf 25-abril-2013

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/ImgSatelite/Elementos.aspx> 17-junio-2013

<http://www.imagenesgeograficas.com/Landsat.html> 22-agosto-2013

<http://www.fao.org/docrep/003/T0355S/T0355S05.htm> 17-junio-2013

<http://www.isprs.org> 17-junio-2013

<http://www.satimagingcorp.com> 24-julio-2013