



Certificación ISO 9001:2008 †

CAPTURA DE INFORMACIÓN DE INFRAESTRUCTURA PARA EL TRANSPORTE, A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN. CASO DE ESTUDIO: CÁLCULO DE INVASIÓN AL DERECHO DE VÍA.

**Jonatan Omar González Moreno
Miguel Ángel Backhoff Pohls
Elsa María Morales Bautista
Juan Carlos Vázquez Paulino**

**Publicación Técnica No. 428
Sanfandila, Qro, 2014**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Captura de información de infraestructura para el transporte, a través de técnicas de Teledetección. Caso de estudio: Cálculo de invasión al derecho de vía.

**Publicación Técnica No. 428
Sanfandila, Qro, 2014**

Este trabajo fue realizado en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), por el M. en C. Jonatan Omar González Moreno; en colaboración con el Lic. Juan Carlos Vázquez Paulino y la Ing. Elsa María Morales Bautista, investigadores de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial, adscrita a la Coordinación de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales del Instituto Mexicano del Transporte. Agradecemos las valiosas aportaciones, comentarios y sugerencias recibidas por parte del M. en Geog. Miguel Ángel Backhoff Pohls, Jefe de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial, que fueron de gran ayuda para la realización del presente proyecto.

Los autores agradecen el compromiso, sugerencias y apoyo del Coordinador de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales, M. en C. Tristán Ruiz Lang

Contenido

Contenido	V
Resumen	VII
Abstract	IX
Resumen ejecutivo	XI
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	4
1.3 Alcances	4
1.4 Metodología	5
2 Revisión de literatura	9
2.1 Antecedentes	9
2.1.1 Planificación urbana	10
2.1.2 Sustentabilidad del medio ambiente	11
2.1.3 Aplicación al Transporte	12
2.1.3.1 Detección de Infraestructura	14
2.2 Derecho de Vía	15
2.2.1 Medición Actual del Derecho de Vía	15
2.2.2 Sección del Derecho de Vía	17
2.2.3 Procedimientos para expropiación de predios invasores	18
2.2.4 ¿Por qué es importante respetar el derecho de vía?	21
2.3 Percepción Remota	24
2.3.1 Sensores Remotos Activos y Pasivos	26
2.3.2 Elementos del proceso de teledetección	27
2.4 Programa SPOT	29
2.4.1 Características del sensor SPOT	30
2.4.2 Características técnicas del sensor SPOT 6	31
2.4.3 Características Orbitales y Capacidad de Observación	32
2.5 ERMEXS	35
2.6 ERMEXS NG (NUEVA GENERACIÓN)	36
2.7 EVISMAR	39
2.7.1 El Satélite GeoEye1	40
2.7.2 Características del Satélite GeoEye1	42
3 Metodología	43
3.1 Adquisición De Imágenes	44
3.2 Materiales	50
3.2.1 Software	50
3.2.2 Descarga	51
3.2.3 Imágenes adicionales de prueba y trabajo	53

3.3 Técnicas de Clasificación Espectral	56
3.3.1 Clasificación No Supervisada ROIs	62
3.3.2 Clasificación Supervisada	66
3.3.2.1 Mínima Distancia	67
3.3.2.2 Máxima Verosimilitud	74
3.3.2.3 Clasificación Supervisada del Terreno	78
3.4 Clasificación por Objetos	81
3.4.1 Algoritmo de Segmentación (<i>Feature Extracción</i>)	83
4 Resultados	89
4.1 Comparativa de clasificación supervisada SPOT 6	89
4.2 Comparativa clasificación por objetos SPOT 6	92
4.3 Obtención del derecho de vía	93
4.4 Cálculo del área de invasión al derecho de vía	96
5 Conclusiones y recomendaciones	99
6 Bibliografía	105
Anexo A Índice de Tablas	109
Anexo B Índice de Figuras	110

Resumen

Las carreteras son un factor importante para potencializar el desarrollo económico y social de una región. La creación y ampliación de estas asume retos importantes para la liberación del derecho de vía. Con ayuda de imágenes satélite de alta resolución espacial SPOT 6, correspondiente a la zona de estudio, realizamos un análisis espectral de clasificación supervisada y un análisis de clasificación por objetos para las carreteras de pavimento asfáltico. Posteriormente con el apoyo del software ENVI vr. 5.02 y ArcGIS vr. 10.2 la información obtenida de los sensores (en pixeles), es transformada a polígonos y con estas últimas se genera la franja del derecho de vía correspondiente. Para obtener los polígonos de predios particulares que afectan el derecho de vía calculado, utilizamos la extensión Feature Extraction; y de esta manera es automatizado dicho proceso. Este procedimiento pretende mejorar la versatilidad, reducir el tiempo y optimizar los recursos económicos del proceso, en comparación a los métodos tradicionales mencionados en esta investigación.

Palabras clave: percepción remota, firma espectral, derecho de vía, SIG, imagen de satélite.

*Captura de información de infraestructura para el transporte, a través de técnicas de teledetección.
Caso de estudio: Calculo de invasión al derecho de vía.*

Abstract

The highways are an important factor to potentiate the economic and social development of a region. The creation and enlargement of the same ones assumes important challenges for the liberation of the right of way. With help of images satellite of high spatial resolution SPOT 6, corresponding to the zone of study, spectral analysis of supervised classification and analysis object classification is made for the roads covered with asphalt. Later with the support of the software ENVI vr. 5.0 and ArcGIS vr. 10.0 transforms the obtained information of the sensors (in pixels), to polygons and with these last ones the strip of the right of corresponding way is generated. To obtain the polygons of particular properties that affect the studied right of way, the extension "Feature Extraction" is used and this way the above-mentioned process is automated. This procedure tries to improve the versatility, reduce time and optimize financial resources, compared to "traditional methods".

Keywords: remote sensing, spectral signature, right of way, GIS, Satellite image.

*Captura de información de infraestructura para el transporte, a través de técnicas de teledetección.
Caso de estudio: Calculo de invasión al derecho de vía.*

Resumen ejecutivo

Introducción

Uno de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018 es contar con una infraestructura de transporte que se refleje en costos menores para realizar la actividad económica.

El derecho de vía es una parte del suelo que tiene un uso reglamentado por una autoridad federal o estatal. Se trata de una franja de terreno en donde existe infraestructura de transporte, eléctrica, hidráulica, oleoductos -entre otras- pertenecientes al estado o a empresas concesionarias (CNEC México).

Uno de los principales requisitos que exige el Gobierno Federal a los gobiernos estatales, cuando se generan licitaciones para proyectos de infraestructura, es que tengan el proyecto ejecutivo y los derechos de vía liberados; es decir, que la dependencia en turno tenga propiedad legal y jurídica sobre los terrenos (CNEC México).

En México, en materia jurídica existen dos principales leyes federales que reglamentan el uso del derecho de vía. Por un lado está la Ley de Vías Generales de Comunicación (LVGC), con su última reforma publicada en abril del 2012; esta ley expresa que el ejecutivo federal -a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)- tiene a su cargo las vías generales de comunicación y los modos de transporte que operan en ellas. Para ejercer, entre otras, sus facultades en los casos de construcción, mejoramiento, conservación y explotación de las vías generales de comunicación. Esta ley (LVGC) menciona, en su artículo segundo, que son partes integrantes de las vías generales de comunicación: los servicios auxiliares, obras, construcciones y demás dependencias y accesorios: los terrenos y aguas que sean necesarias para el derecho de vía.

Por otro lado; existe la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal (LCPAF), con su última reforma publicada en mayo del 2012. Esta ley tiene por objetivo regular la construcción, operación, explotación, conservación y mantenimiento de los caminos y puentes federales; los cuales constituyen las vías generales de comunicación, así como los servicios de autotransporte federal que en ellas operan, sus servicios auxiliares y el tránsito en dichas vías. El derecho de vía queda definido dentro del artículo 2 fracción III de esta ley como:

“Franja de terreno que se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de una vía general de comunicación, cuya anchura y dimensiones fija la Secretaría, la cual no podrá ser inferior a 20 metros a cada lado del eje del camino. Tratándose de carreteras de dos cuerpos, se medirá a partir del eje de cada uno de ellos”.

Un aspecto importante adicional en esta ley (LCPAF) menciona que dentro del derecho de vía podemos encontrar instalaciones de: servicios de alojamiento, servicios de alimentación, servicios sanitarios, servicios a vehículos y comunicaciones, para que existan estos servicios se requiere un permiso otorgado por la SCT, ya sea para construcción, modificación o ampliación de las obras en el derecho de vía.

Respecto del aspecto jurídico, para los casos estatales, (en este caso, el del Estado de Querétaro) se encuentra el Código Urbano (CUEQ); en general este código define cómo asignar espacios, servicios y equipamientos que la comunidad requiere para vivir, particularmente en las extensas zonas populares periféricas. De tal modo que busca ofrecer igualdad y acceso a los servicios y equipamiento a la población menos favorecida, con ello busca un equilibrio con los grupos de población que ya cuentan con ellos. En materia de derecho de vía, el CUEQ expresa que La Comisión Estatal de Caminos (CEC) deberá procurar el mejor funcionamiento de la red de carreteras de jurisdicción Estatal, por lo quedará obligada a realizar análisis operacionales de carácter anual.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

La información satelital es utilizada habitualmente como una herramienta que permite realizar cartografía de un sinnúmero de especificaciones, para posteriormente ser utilizada por múltiples disciplinas. La mayoría de las veces es necesario integrarla con otro tipo de información, y así conformar un sistema de información geográfica (SIG) aplicado a un problema en particular (Williamson, 2002).

El valor de las imágenes de satélite y la información extraída de ellas son cada vez más evidentes y necesarios. Ofrecen una visión global de objetos y detalles de la superficie terrestre facilitando la comprensión de las relaciones que entre ellos pudiesen no ser claros cuando son observados sobre la superficie terrestre. El carácter "remoto" de la teledetección aumenta también este valor, ya que proporciona una visión más amplia del planeta sin tener que estar en contacto físico con el objeto de estudio.

La teledetección es un vocablo equivalente al término anglosajón "remote sensing" que usualmente se traduce como "percepción remota", y es un método de observación a distancia de un sistema físico. La teledetección ha demostrado ser una fuente rentable de valiosa información para numerosas aplicaciones; entre las que cabe citar la planeación urbana, vigilancia del medio ambiente, gestión de cultivos, prospección petrolífera, exploración minera, desarrollo de mercados, localización de bienes raíces, desarrollo regional, entre muchas otras más.

En México, el uso de la teledetección apoyada a través de los SIG está dirigida a resolver problemas de sustentabilidad del medio ambiente, agricultura, agua, planificación urbana y ordenamiento del territorio principalmente. Tanto

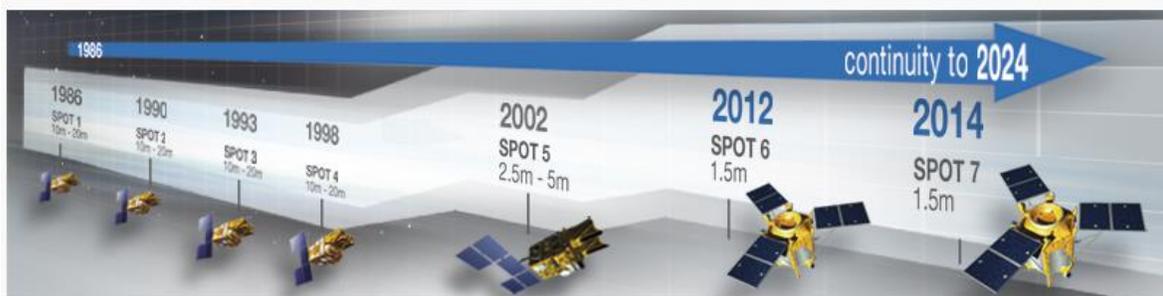
empresas privadas como instituciones gubernamentales han hecho uso de esta combinación para ayudarse en la toma de decisiones a sus problemas en específico (Rivera 2004).

En México, el tema de la percepción remota ha sido desarrollado, sobre todo, en dos vertientes: La primera tiene que ver con la adquisición y utilización de imágenes de forma independiente en distintos programas de gobierno y proyectos de investigación llevados a cabo en instituciones como: INEGI, Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Secretaría de Marina (SEMAR), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Servicio Geológico Mexicano (SGM), Petróleos Mexicanos (PEMEX)-Unidad Corporativa de Sistemas de Información Geográfica-SICORI (actualmente extinta), Servicio Meteorológico Nacional, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) —institutos de Geología, Geografía y Geofísica—, gobiernos estatales y municipales, etcétera.

La segunda se refiere a la adquisición, distribución y utilización de imágenes a través del establecimiento de antenas y estaciones de recepción terrestre, entre las que podemos mencionar las del Instituto de Geografía de la UNAM, donde se reciben imágenes GOES, SeaWiFS y NOAA; las de CONABIO, en las que es posible obtener imágenes MODIS y NOAA; la Estación de Recepción México de la Constelación SPOT (ERMEXS), administrada por SAGARPA-ASERCA-SEMAR-INEGI, donde se descargan imágenes SPOT 2, 4 y 5; en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) se captan imágenes NOAA; y en la Estación Terrena de Satélites de la Secretaría de Gobernación y Protección Civil en Puebla se reciben imágenes NOAA. Actualmente, CONACYT-ECOSUR-CONABIO-INEGI operan equipo de la DLR (Deutschen Zentrum für Luft-

un Raumfahrt) y obtienen imágenes de diversos satélites, como MODIS, LANDSAT, ERS y SPOT.

Por otro lado -en el 2003- el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) convino la creación del Registro Nacional de Imágenes (RNI) para fortalecer alianzas con productores y usuarios, durante la Convención Nacional Geográfica del mismo año; con el propósito de brindar información de imágenes de percepción remota del territorio nacional, y con ello atender las necesidades del conocimiento sobre su existencia y características técnicas así como facilitar su adquisición y aprovechamiento.



Fuente: "EADS" European AirBus Defense and Space.

Figura 1. Programa SPOT.

Por primera vez en la historia, México obtuvo una licencia multiusuario de imágenes de satélite -para un Gobierno Federal- por parte de la empresa SPOT Image®; las que son utilizadas por las Dependencias e Instituciones en los tres niveles de Gobierno, así como por las Universidades e Instituciones Públicas de nivel superior dedicadas a la investigación científica; y su aplicación es diversa: Defensa, Seguridad, Ordenamiento Ecológico, Catastro, Agricultura, Hidrología, Hidrografía, Geografía, entre otras. En diciembre del 2012, fue puesto en órbita el satélite SPOT6, que cuenta con una resolución espacial de 1.5 metros por pixel en pancromático y 6 metros en multiespectral con 4 bandas. Actualmente, el sensor GeoEye 1 de la compañía Digital Globe, cuenta con 0.50 metros por pixel en pancromático y 1.64 metros por pixel en multiespectral con 4 bandas o el sensor WorldView 2 de la compañía Digital Globe, cuenta con 0.50 metros por pixel en pancromático y 1.84 metros por pixel en multiespectral con 8 bandas.

1.2 Objetivos

Calcular el área de afectación que provoca el derecho de vía a predios particulares, derivado de la creación o ampliación de una carretera, a través de análisis espectral y detección por objetos, en imágenes de alta resolución espacial de los sensores SPOT6 y GeoEye1.

Objetivos específicos:

1. Describir y evaluar comparativamente los diferentes los resultados de clasificación supervisada de los sensores SPOT6 y GeoEye 1, a través de sus imágenes pancromáticas y multiespectrales; con la finalidad de reconocer su existencia, su campo de aplicación al derecho de vía.
2. Describir y evaluar comparativamente los diferentes los resultados de clasificación por objetos, de los sensores SPOT6 y GeoEye 1, a través de sus imágenes pancromáticas y multiespectrales; con el propósito de reconocer su existencia, su campo de aplicación al derecho de vía.
3. Comparar y evaluar el área de afectación al derecho de vía con el método tradicional con los polígonos de afectación de predios invasores obtenidos a través de la clasificación supervisada, y la detección por objetos de los sensores anteriormente citados.

1.3 Alcances

Este estudio es de interés para investigadores y usuarios en tecnologías de la información y para todos aquellos desarrolladores que realicen análisis espacial en general y procesamiento de imágenes de satélite en particular. Servirá como referente temático, que dé sustento metodológico para la teledetección orientada a objetos (infraestructura para el transporte) y sus relaciones en el espacio geográfico.

Será realizado en un plazo de doce meses; al final de dicho periodo contaremos con un documento técnico que describa aplicaciones específicas de los sensores de alta resolución, cuál es su principal objeto de estudio, técnicas y elementos empleados (bandas espectrales, resoluciones espaciales y temporales etc., etc.), tendencias de crecimiento y solidez de la constelación SPOT y expansión de la constelación de Digital Globe, como la máxima compañía distribuidora de imágenes de satélite de alta resolución en el planeta. Además, podremos obtener de manera más rápida y económica el cálculo de superficie de invasión al derecho de vía, de predios particulares, con respecto a los métodos tradicionales y esto sirva de antecedente para la actualización y modernización de inventarios de infraestructura para la gestión del transporte en México.

El principal alcance será la determinación de la superficie invadida al derecho de vía en una carretera determinada (Federal en el estado de Querétaro), como información determinante para la toma de decisiones de la autoridad competente.

1.4 Metodología

Para concretar los objetivos establecidos en el presente estudio, realizaremos actividades de investigación bibliográfica a través de medios impresos y electrónicos en teledetección, derecho de vía, aplicaciones de sensores remotos de alta resolución y estudios de caso donde este inmersa esta tecnología. Una vez establecido el estado del arte -tanto de la percepción remota como del derecho de vía en el ámbito regional, nacional e internacional- con la finalidad de contar con un panorama más específico de la información útil concerniente al tema por desarrollar. Nos enfocaremos en la gestión de las imágenes de satélite obtenidas de los convenios interinstitucionales anteriormente mencionados.

Para continuar con este proceso, el siguiente paso será la aplicación de los paquetes de computo disponibles en el mercado para la gestión de imágenes de satélite y, con ello, obtener información de la infraestructura de transporte en las carreteras del país; sin necesidad de ir a campo a recolectarla, así como una

herramienta de fácil gestión, para calcular la superficie de invasión al derecho de vía, que surge durante la ampliación y/o construcción de una nueva carretera.

Por lo anterior, el IMT logró adquirir una licencia permanente y otra temporal del software ENVI® 5.0 (the Environment for Visualizing Images); software que permite visualizar, analizar y manipular todo tipo de imágenes digitales, además contiene avanzadas librerías espectrales, de corrección geométrica y radiométrica, análisis de terreno, análisis de radar, habilidades vectoriales para GIS; así como una subrutina de trabajo llamada “feature extraction”, es por ello, que se eligió como el software base para la realización de ésta investigación.

Con ayuda de las carreteras (objetos georeferenciados en formato shape) obtenidas del Inventario Nacional de Infraestructura del Transporte (INIT ed. 2011) de la USIG, pretendemos georreferenciar las imágenes de satélite, apoyados con Modelos Digitales de Elevación (MDE) de alta precisión (15 metros por pixel), pretendemos orto rectificarlas. Cabe mencionar que el INIT ed. 2011, además de contar con el levantamiento georreferenciado y corregido todas las carreteras pavimentadas del país, cuenta con la infraestructura asociada a estas; por ejemplo: marcas de kilometraje, gasolineras, puentes vehiculares y peatonales, pasos a desnivel, cruceros, curvas peligrosas, pendientes pronunciadas, zonas de derrumbes etc. Lo que convierte en un valor agregado a la parte de la carretera donde verificaremos la afectación al derecho de vía.

Una vez establecida de manera espectral y por detección de objetos el derecho de vía, pretendemos obtener los predios afectados por el proyecto de ampliación; es aquí donde utilizamos la herramienta de extracción de polígonos, (feature extraction); donde -dependiendo del entrenamiento del pixel, con cierta longitud de onda establecida, o por la textura del objeto- la herramienta captura de manera semiautomatizada aquellos polígonos que son distintos al rango de longitud de onda establecida dentro del área que conforma el derecho de vía.

Para todo lo anterior, será necesario asistir a cursos de actualización para conocer el desarrollo y desempeño de distintos actores que estén interactuando con nuestro objeto de estudio, y los propósitos de nuestra investigación; con ello, contar con un panorama más amplio de la diversidad de técnicas empleadas para la realización de dichos estudios. Así como la asistencia a congresos y simposios para conocer el quehacer actual por parte de colegas que estén aplicando y desarrollando este tipo de tecnología.

Finalmente, como resultado, realizaremos pruebas piloto, y tendremos un levantamiento topográfico rápido y preciso de predios georreferenciados, que existen por invasión al derecho de vía dentro del área establecida anteriormente.

2 Revisión de Literatura

2.1 Antecedentes

El dinamismo económico y el creciente arribo de nuevas empresas sigue siendo una constante en la Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ); esto debido a su ubicación geográfica, a los altos niveles de seguridad, su crecimiento ordenado y la calificación de la mano de obra, entre otras ventajas; lo que ha generado principalmente empleos, reducción de la pobreza y desarrollo sostenible en los municipios de la ZMQ.

Este importante crecimiento económico y demográfico que ha tenido la capital, durante los últimos años, genera un reto importante ante las autoridades municipales y estatales para satisfacer las necesidades de infraestructura en todos sus ámbitos, a corto y mediano plazo, que permita sostener este crecimiento sin que el sistema vial colapse.

La red de carreteras que interconectan a los municipios de la ZMQ es un ejemplo de infraestructura productiva, esto quiere decir que su desarrollo permitirá que estos municipios continúen con su próspera actividad de desarrollo a futuro.

En este sentido podemos decir que dentro del desarrollo carretero se presenta el concepto de ampliación de la vialidad. Al proyectar una vialidad nueva o ampliación de una carretera nos encontramos con el problema de invasión al derecho de vía, principalmente por predios particulares. Este problema demanda a un levantamiento a detalle, metódico y preciso de los predios afectados por el proyecto de creación y ampliación, lo cual implica mayor inversión en costo y tiempo principalmente. Una herramienta que facilita la solución a la problemática del cálculo de la superficie que está invadiendo el derecho de vía es realizada a través de técnicas de teledetección.

2.1.1 Planificación urbana

El cambio en el uso de suelo, en la cubierta de la tierra, es una de las características más destacadas en la utilización de imágenes de satélite. Lo que ha llevado a utilizar esta técnica en diversos estudios de cambio global (Rongqun et al 2011).

Los principales métodos para la extracción automática de información de datos referente a tipos de cobertura de suelo están los métodos supervisados y no supervisados de clasificación. Sin embargo, por la confusión espectral causada por otros objetos terrestres, es difícil de adquirir resultados importantes si no son utilizadas las imágenes de alta resolución.

En el aspecto de planificación urbana, Shlomo Angel et al. (2002) crearon un conjunto de datos que comprende las 3,646 aglomeraciones metropolitanas con más de 100 000 habitantes, en el año del 2000, y su área construida identificada en el Mod500map. Con el uso de este conjunto de datos, estimaron la cobertura del suelo en las ciudades pequeñas y pueblos de todos los países del mundo y calcularon la cobertura total de suelo urbano en cada país en el año 2000.

Posteriormente emplearon modelos de regresión múltiple que podrían explicar más del 90% de las variaciones en las estimaciones de cobertura del suelo urbano entre los países. Luego -usando las proyecciones de población urbana de las Naciones Unidas, en combinación con tres escenarios realistas de cambio de densidad basadas en nuestro anterior estudio global e histórico de densidades- proyectaron la cobertura del suelo urbano en cada país y región del mundo desde 2000 hasta 2050.

Para el caso de México, referente al ordenamiento del territorio, García y Lira (2010) establecen la detección de las estructuras urbanas en la ciudad de México empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spot-5, mediante el análisis de las

siguientes metodologías: a) Un modelo de textura-relieve con imágenes Terra/Aster de las bandas 3B y 3N (Lira, 2009; Cuartero et al. 2005). b) Segmentación y clasificación urbano-regional de estructuras urbanas tales como: edificios, zonas residenciales, zonas industriales, así como áreas agrícolas y áreas verdes de la ciudad de México usando operadores de texturas (Lira and Rodríguez, 2006). c) Generación de un Modelo Digital de Elevaciones empleando pares estereoscópicos del sensor SPOT-5, para la ciudad de México de fechas 2003-2006; identificación de objetos texturales en la ciudad de México asociados a diferentes estructuras urbanas.

Esto puede resultar de gran interés para los urbanistas y los arquitectos, al hacer propuestas de planeación urbano-regional y así complementar los estudios del sitio, los estudios en el cambio de uso de suelo de rural a urbano, estudios en manifestaciones de impacto ambiental, así como una segmentación precisa de las estructuras urbanas inmersas en cualquier ciudad del mundo.

2.1.2 Sustentabilidad del medio ambiente

Un problema comúnmente encontrado al clasificar datos de percepción remota es la confusión espectral: diferentes coberturas presentan respuestas espectrales similares y no resultan correctamente separadas. Este problema es particularmente importante en las regiones con una alta biodiversidad donde existe una gran variedad de tipos de vegetación (Mass, 2005).

Jean-François Mass desarrolló un método para clasificación del uso de suelo en una región de costa tropical en México. A través de un enfoque de redes neuronales para incorporar la información auxiliar, como un modelo de elevación digital o un mapa de suelos en la clasificación de una imagen multiespectral. Como primer paso, usando un mapa antiguo de uso de suelo, comparó con los datos auxiliares dentro de un sistema de información geográfica (SIG) con la finalidad de establecer las relaciones entre la distribución de la tierra y estas variables auxiliares. Un perceptrón multicapa es utilizado para generar mapas difusos que indican la

pertenencia de cada uso de suelo de la clase de los mapas auxiliares. Un segundo perceptrón multicapa es utilizado para clasificar una imagen Landsat reciente con el fin de producir mapas difusos basados en la información espectral. Por último, combinaron los mapas difusos derivados respectivamente de los datos auxiliares y los datos multiespectrales para de producir el mapa final (Mas, 2005).

2.1.3 Aplicación al Transporte

El uso de imágenes de sensores remotos y los datos asociados a los proyectos de transporte es un emocionante y emergente campo. Casi todos los sectores de transporte pueden utilizar esta tecnología, para abordar los temas críticos. Cuando la teledetección es combinada con un Sistema de Información Geográfica (SIG), se vuelve muy poderoso. Los SIG permiten a los usuarios manipular, almacenar y visualizar datos geográficos; incluyendo imágenes de teledetección (Bowen et al 2004).

Varias capas de información pueden ser visualizadas; como tipos de suelos, carreteras, registros de propiedad, censos de población etc. (Campell, 2002). Entender la tecnología de la teledetección y sus aplicaciones potenciales puede ser complicado. Hay muchas consideraciones antes de que la tecnología pueda ser aplicada a un problema de transporte en particular, como el tipo de plataforma del sensor (satélite, aire o tierra), el tipo de resolución (espacial, espectral, temporal y radiométrica) principalmente (Bowen et al 2004).

Los usos potenciales para la teledetección en el transporte pueden incluir la planificación, la evaluación de impacto ambiental, riesgos y respuesta a los desastres, gestión de la infraestructura, la evaluación de tráfico y seguridad de la nación. Los órganos de gobierno, encargados de estas áreas, están en necesidad de formas rápidas, rentables y exactas de recabar información de los sistemas de transporte. La solución a algunos de los problemas más críticos en el transporte puede ser ayudado mediante técnicas de teledetección. (Transportation Research Board, 2001).

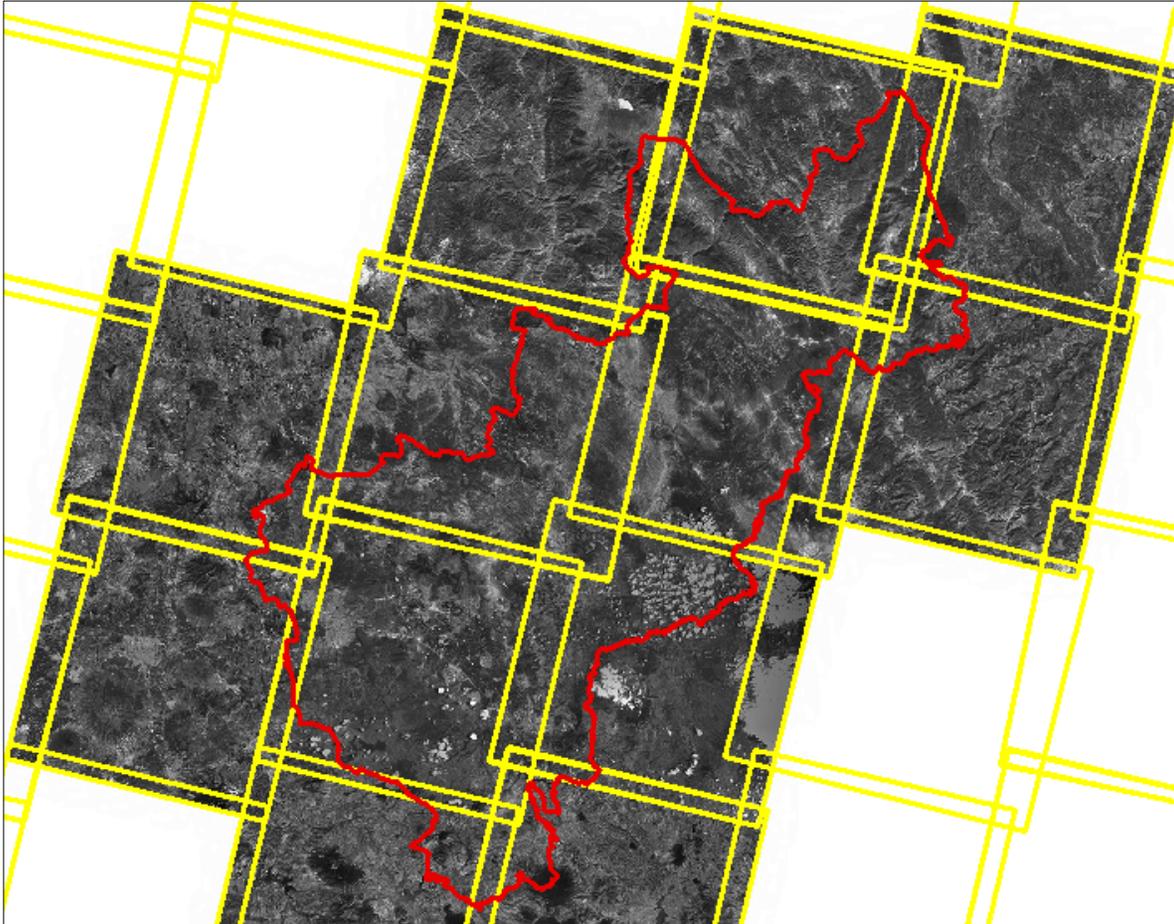
Hay varias razones fundamentales de que esta ciencia es tan útil a los especialistas del transporte. La teledetección combina una amplia visión sinóptica con la capacidad de detectar los cambios en características de la superficie de forma rápida y rutinaria. Las imágenes de satélite, en particular, pueden proporcionar una rápida cobertura consistente de un área en particular. La capacidad de reunir información casi en tiempo real proporciona una gran ventaja a los especialistas del sector. El Internet ha hecho que la transmisión de imágenes y datos sea más accesible y oportuna (Vlasek, 2002).

Los datos obtenidos de sensores remotos pueden reducir errores humanos y ser extremadamente precisos. Dependiendo de la aplicación particular, la utilización de tecnología de percepción remota puede ser rentable. Además, puede proporcionar acceso a áreas que son difíciles de arribar. Puentes y carreteras en las zonas remotas del país pueden ser monitoreados utilizando la teledetección. Esto podría limitar, o incluso eliminar, algunos trabajos de campo; pues ahorran tiempo y aumentan la seguridad.

La Unidad de Sistemas de Información Geoespacial USIG, del Instituto mexicano del Transporte (IMT), ha desarrollado herramientas para analizar y gestionar proyectos de accesibilidad y servicios de transporte, mediante la aplicación de tecnologías de manejo de información georreferenciada de vanguardia. Inventarios de infraestructura del transporte: generación y actualización de información geoespacial de redes de carreteras e infraestructura asociada, mediante el registro directo en campo con el uso de GPS.

Este enfoque de la USIG -en colaboración con el posgrado de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (FIUAQ)- hizo posible realizar esta investigación. Nuestro trabajo representa uno de los primeros intentos para desarrollar una aplicación de las tecnologías de teledetección para

hacer frente a los problemas de transporte críticos. Caso en específico, el problema de invasión al derecho de vía.



Fuente: Elaboración propia USIG, IMT.

Figura 2. Mosaico de imágenes SPOT 5, que ilustra la continuidad de estudio de la teledetección dentro de la USIG.

2.1.3.1 Detección de Infraestructura

En el caso de identificación de infraestructura al transporte, Berger (2011) presenta un método que integra imágenes ortorrectificadas con una resolución espacial extremadamente alta y nubes de puntos de escaneo láser aerotransportados (Tecnología LiDAR). Estos datos, en su conjunto, son utilizados para reconstruir las líneas centrales de una vía de ferrocarril; utilizando un método de extracción de características con base en un algoritmo de consenso de la

muestra aleatoria adoptada. Este flujo de trabajo ha sido probado en dos secciones del ferrocarril y se encontró que produce resultados muy precisos de una manera rápida y altamente automatizada.

2.2 Derecho de Vía

Según la ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal (LCPAF), el derecho de vía queda definido dentro del artículo 2 fracción III como:

“Franja de terreno que se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de una vía general de comunicación, cuya anchura y dimensiones fija la Secretaría, la cual no podrá ser inferior a 20 metros a cada lado del eje del camino. Tratándose de carreteras de dos cuerpos, se medirá a partir del eje de cada uno de ellos”.

2.2.1 Medición actual del Derecho de Vía

Actualmente el alineamiento del derecho de vía se realiza a través de equipos de topografía. La estación total es un dispositivo topográfico electrónico con capacidad de almacenamiento de los puntos que serán levantados en el terreno, el más utilizado hasta hoy. Mide distancia, coordenadas en los tres ejes (x, y, z); así, como la medida de ángulos horizontales y verticales, es un instrumento de bastante precisión y comúnmente utilizado.

El equipo y herramientas básicos para realizar el alineamiento son:

- Estación Total
- Trípode
- Prisma y porta prisma
- Radios de Comunicación
- Chalecos de Seguridad y conos protectores para tránsito

- Cinta métrica

En primer lugar, el operador de la estación total se coloca a un costado de la carretera a levantar (círculo rojo mayor de la figura 3). Después se levanta el eje de la carretera, tomando los puntos necesarios y a criterio del topógrafo para realizar un buen alineamiento.

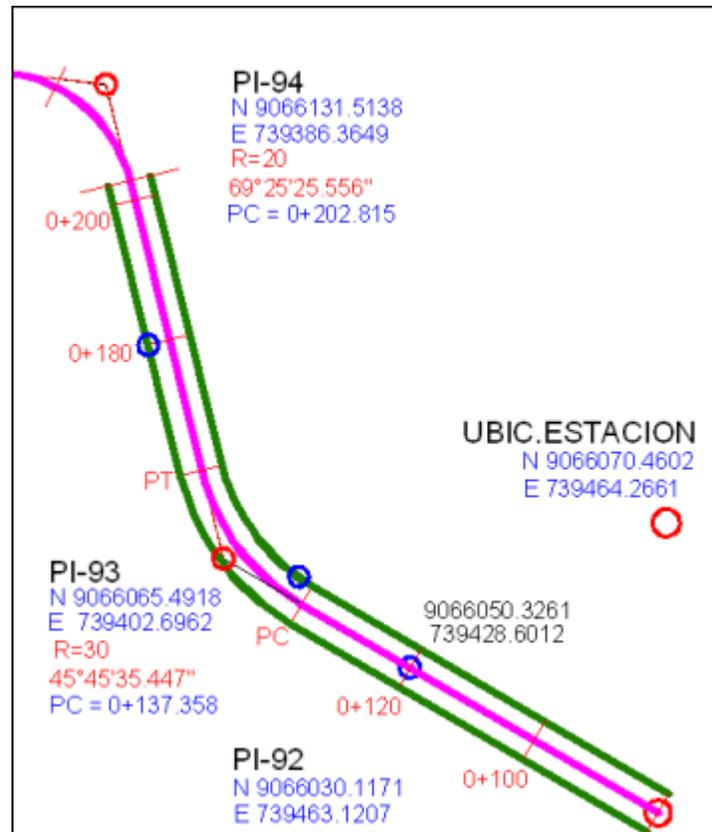


Figura 3. Alineamiento del derecho de vía

Posteriormente, los puntos levantados con la estación total se vacían en una base de datos, con ayuda de un programa de diseño asistido y con el mismo sistema de coordenadas que se levantó el eje de la carretera, proyectamos a la derecha e izquierda del eje las líneas que representan la franja del derecho de vía (líneas de color verde figura 3) de acuerdo con la normatividad local.

Para el caso del estado de Querétaro, la Comisión Estatal de Caminos (CEC) gira un oficio dirigido a la Dirección General de Catastro del mismo estado, para

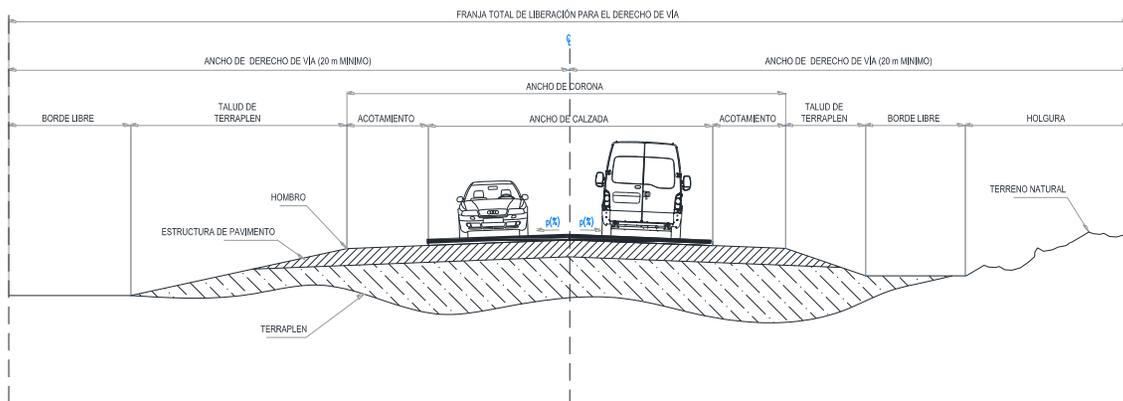
solicitar la colocación de una lía base en el tramo de carretera específico, la cual representará el sistema coordinado con el que será realizado el levantamiento y posterior alineamiento del derecho de vía.

Por último, las coordenadas de los nuevos puntos que representan las líneas del derecho de vía son ingresadas a la estación total y replanteamos los mismos puntos en campo.

2.2.2 Sección del Derecho de Vía

Como describimos al principio de esta investigación, para los gobiernos federales y del estado de Querétaro, el ancho mínimo del derecho de vía es de 20 metros a cada lado del eje de la carretera; para carreteras de dos cuerpos, el ancho será medido a partir del eje de cada cuerpo.

A continuación mostramos la sección típica del derecho de vía en una carretera de dos sentidos únicamente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Franja de liberación del derecho de vía en carretera de un solo cuerpo.

- Expropiación de terrenos sujetos a régimen ejidal o comunal.
- Depósito en garantía por la ocupación previa de terrenos ejidales o comunales.
- Pago de bienes distintos a la tierra.
- Cambio de destino de inmuebles a cargo de dependencias federales, sujetos al régimen de dominio público de la federación.
- Adquisición de predios de organismos públicos descentralizados.
- Pago por el movimiento de instalaciones y obras inducidas.

Enfocando la perspectiva a la expropiación de predios particulares, cabe mencionar que corresponde al Ejecutivo Federal decretar la expropiación de los terrenos requeridos para la liberación del derecho de vía, por ser causa de utilidad pública. (Art. 89 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos).

De lo anterior, la Dirección General de Carreteras Federales, la Dirección General de Asuntos Jurídicos y el Centro SCT de cada estado, son las unidades administrativas encargadas de adquirir mediante expropiación los predios de régimen particular para su aprovechamiento correspondiente.

Es obvio mencionar que la expropiación se presenta por la negativa del particular para efectuar la venta de sus terrenos; sin embargo, la expropiación es requerida también cuando el propietario del inmueble no se localice, no acredite plenamente la propiedad o el título de posesión no esté inscrito en el Registro Público de la Propiedad.

A continuación, a manera de síntesis, presentamos el procedimiento para la liberación del derecho de vía por medio de la expropiación a particulares. Primeramente hay que realizar un levantamiento topográfico de la superficie requerida; luego, es enviado a la Unidad de asuntos Jurídicos del Centro SCT correspondiente; esta unidad verifica los datos del inmueble, así como ante el registro público de la propiedad.

La autoridad elabora el plano de afectación, el cual deberá tener la siguiente información:

- a) Todos los datos del proyecto.
- b) Ubicación y linderos del predio afectado
- c) Cálculo analítico del área por adquirir.
- d) Servidumbres de paso existente.

Informa al propietario que sus terrenos serán afectados por el paso de la vía, también se le informa de los requisitos y tramitología necesaria que tendrá que hacer para recibir el pago por concepto de indemnización de sus bienes.

Requisita el “Registro previo de Afectación”, el cual es un formato donde se registran todos los datos referentes al proyecto y cómo afecta a los bienes del afectado; entre los cuales destaca, superficie de terreno del particular, superficie construida y superficie afectada. Además hace constar que el inmueble no fue posible adquirirlo a través del proceso de compra-venta de particular

Una vez integrado el expediente expropiatorio, es enviado la Unidad de Asuntos Jurídicos del Centro SCT, entre otras cosas este expediente tendrá un oficio dirigido a la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP) para la autorización de la inversión para expropiar el predio. La Secretaria de Desarrollo Social Estatal emite un dictamen de factibilidad técnico sobre los predios por adquirir. Ya conformado el proyecto de decreto, es enviado a la Dirección General de Asuntos Jurídicos (DGAJ) de la Sectaria de Comunicaciones y Transportes.

La DGAJ de la SCT solicita a la Administración de Avalúos y Bienes Nacionales que haga la valuación del predio afectado, para que determine el importe por pagar. Posteriormente, pasa la a Dirección General de Carreteras Federales para requisitar la ficha técnica “**Expropiación de terrenos por causa de utilidad pública**”.

Posteriormente es enviado el proyecto de decreto, al ejecutivo federal, a través de su Consejería Jurídica; quien verifica que el proyecto esté correctamente elaborado. Después, esta consejería lo publica en el Diario Oficial de la Federación, y posteriormente la Dirección General de Asuntos Jurídicos pide que los predios sean inscritos ante el Registro Público de la Propiedad, a favor de la federación. Posteriormente, de manera personal, le avisa al afectado que serán expropiadas sus tierras, y le informa de los requisitos necesarios para el trámite de pago de su indemnización.

Por último, la Secretaria de la Función Pública ejecuta -en la fecha establecida- el decreto expropiatorio, mediante la posesión de la superficie expropiada, y hace entrega de los predios al Residente General de Carreteras.

2.2.4 ¿Por qué es importante respetar el derecho de vía?

Sí el derecho de vía es respetado, el Gobierno podrá continuar ampliando o mejorando las carreteras y puentes de forma inmediata; para evitar congestiónamiento, disminuir los tiempos de viaje, contar con un adecuado sistema de comunicación, así como con un desarrollo económico armónico y equitativo entre los pueblos.

La liberación del derecho de vía en carreteras es uno de los mayores retos que enfrenta la SCT, además de las dificultades técnicas propias de esta. Es tal su importancia, (la liberación del derecho de vía en carreteras), que sin ella, puede llegar a no celebrarse una licitación o la construcción de la misma vía.

Hablamos de riesgo, debido a que es muy alta la incertidumbre en la disposición completa y oportuna del derecho de vía, ya que existen diversos factores que pueden atrasarla y conllevar a diferir los recursos para la licitación de la

infraestructura. Es importante afirmar que si no ha sido liberado el cien por ciento del derecho de vía, al menos en proyectos federales, no habrá carretera o ampliación de alguna existente. Está de más mencionar los beneficios que perdería la zona beneficiada al cancelar un proyecto de infraestructura carretera por falta en la liberación del derecho de vía.

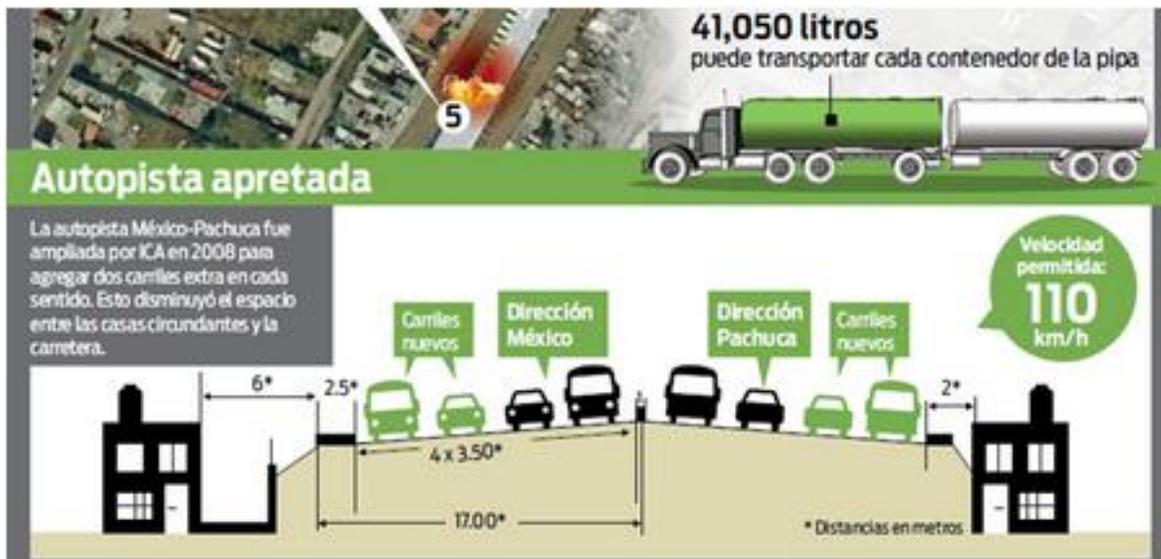
Sí es respetado el derecho de vía, podrá continuar la ampliación o el mejoramiento de las carreteras y puentes, de forma inmediata. Además, al respetar las tierras del derecho de vía es posible llevar más infraestructura asociada a la misma carretera; tales como gasoductos, acuíferos, sistemas de drenaje, fibra óptica, líneas eléctricas y de teléfono etc. Obras que llevan mayores y mejores beneficios a la población dirigida.

Por otro lado, el respeto al derecho de vía es un tema que tiene que ver también con la seguridad; esta zona de amortiguamiento entre las vías y las viviendas debe existir para que, en caso de un descarrilamiento, proteja a la población que se encuentra contigua al lugar del accidente.

Comúnmente, los diferentes medios de comunicación muestran los daños que ocasionan los accidentes carreteros, al llegar a la zona del derecho de vía y que esté invadido por predios particulares, y comúnmente lo más probable es que se encuentren de manera ilegal.

En este sentido podemos citar el caso del accidente ocurrido el pasado 7 de mayo del 2013 -en la autopista federal México-Pachuca- a la altura de San Pedro Xalostoc, municipio de Ecatepec, Edo. México- cuando una pipa de gas se proyectó contra la barrera de contención y sobre las viviendas ubicadas a un lado de la carretera, lo que dejó un saldo de 25 muertos, 30 autos calcinados y 45 casas dañadas (Logistics Assistance).

Si bien el accidente fue provocado -en primer término- por el exceso de velocidad a la que viajaba la pipa de gas y por una maniobra intempestiva del conductor para esquivar una camioneta de transporte público, afirmó el director de la empresa de peritaje Logistics Assistance, Enrique Beltrán; es importante señalar que los colonos de este sector, donde ocurrió la explosión de la pipa, se opusieron a las obras de ampliación de la autopista y bloquearon durante mes y medio los trabajos, debido a que fue invadido el derecho de vía (El Universal).



Fuente: El Universal.

Figura 6. Sección de la carretera federal México – Pachuca posterior a su ampliación.

En la figura 6 podemos apreciar prácticamente la inexistencia del derecho de vía; la gravedad del accidente fue provocada a la existencia de viviendas a un costado de la autopista.

Si las autoridades competentes de aquella administración hubieran hecho la reubicación de las familias de los predios que estaban invadiendo el derecho de vía en el proyecto de ampliación, muy probablemente la tragedia hubiera tenido menores repercusiones.

A partir de esta tragedia, diferentes partidos políticos y representantes populares han solicitado rescatar el derecho de vía, no solamente en las carreteras

sino en todas aquellas infraestructuras que son de vital importancia para el desarrollo económico y social del país. Muestra clara de ello es la noticia publicada en mayo del 2013 por el periódico el Universal, donde la SCT anuncia el retiro de espectaculares.

2.3 Percepción Remota

La percepción remota puede ser definida como un proceso para adquirir información de un objeto, área o fenómeno natural; sin estar en contacto físico con el elemento de estudio. Nuestros propios ojos son un buen ejemplo de percepción remota, somos capaces de adquirir información de lo que nos rodea al medir la cantidad de luz reflejada de una fuente de externa de radiación (sol o bombillo de luz), cuando se refleja en los objetos dentro de nuestro campo de visión natural (Khanduri et al, 2012).

La teledetección es el método principal de análisis sobre el que se apoya la percepción remota para la realización de su estudio. Es el conjunto de técnicas para obtener y analizar datos de la superficie terrestre, a través de un sensor remoto. Consiste en el reconocimiento, identificación y estudio de los objetos de la superficie terrestre (González, 2011).

Los objetos terrestres, al ser iluminados por la radiación solar, la reflejan; al introducir en ella modificaciones inducidas por la misma estructura y composición de dichos objetos. La radiación reflejada es capturada por los sensores del satélite, y retransmitida a estaciones receptoras terrestres para su posterior procesamiento y análisis.



Fuente: Imagen tomada de Internet.

Figura 7. Esquema operativo de un satélite de observación.

La tecnología de la teledetección moderna comenzó con la invención de la cámara, hace más de ciento cincuenta años. La idea y la práctica de mirar hacia abajo en la superficie de la Tierra surgieron en la década de 1840, cuando las imágenes fueron tomadas de cámaras fijadas a globos atados a los efectos de la cartografía topográfica (Graham, 1999).

Durante la Primera Guerra Mundial, las cámaras montadas en los aviones previeron de vistas aéreas de las superficies bastante grandes, resultó muy valiosa para reconocimiento militar. Desde entonces, y hasta la década de 1960, la fotografía aérea se mantuvo como herramienta estándar única para representar la superficie desde una perspectiva vertical u oblicua.

Las imágenes de satélite se pueden remontar a los primeros días de la era espacial (ambos programas rusos y estadounidenses) y en la década de los sesenta comenzó como un doble enfoque para superficies de imagen utilizando varios tipos de sensores de la nave espacial (Graham, 1999). El término "percepción remota" - utilizado por primera vez en Estados Unidos en la década de 1950 por la Sra. Evelyn Pruitt de la Oficina de Investigación Naval de los EE.UU.- ahora es empleada comúnmente para describir la ciencia y el arte de identificar, observar y medir un objeto sin entrar en contacto directo con él.

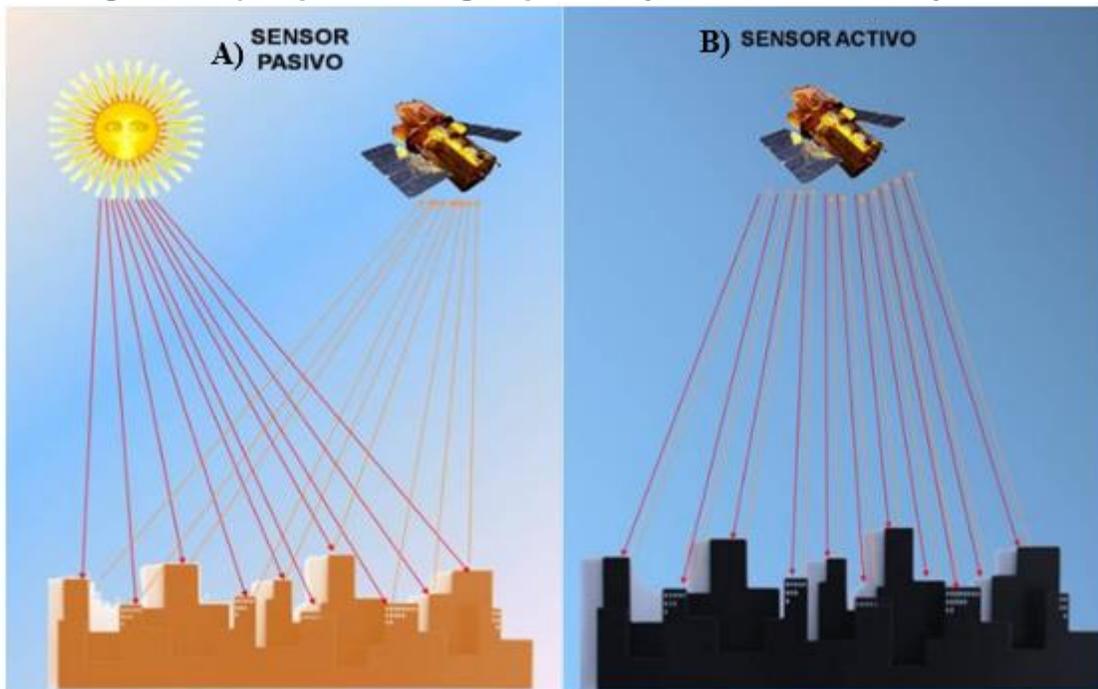
2.3.1 Sensores Remotos, Activos y Pasivos

El sol es una fuente muy conveniente de energía para la teledetección. La energía del sol es un tanto reflejada, como sucede para las longitudes de onda del visible, o absorbida y entonces reemitida, como sucede para las longitudes de onda del infrarrojo térmico.

Los sistemas de teledetección que miden la energía que está disponible naturalmente son los llamados “sensores pasivos”. Los sensores pasivos pueden ser usados exclusivamente para detectar energía (solar), que por su naturaleza está siempre disponible. La energía reflejada sólo puede suceder durante el día, tiempo en que el sol ilumina la Tierra. No existe energía reflejada disponible del sol para ser detectada de noche. La energía que naturalmente es emitida (como la del infrarrojo térmico) puede ser detectada durante el día o durante la noche, siempre y cuando la cantidad de energía sea lo suficientemente grande para ser registrada.

Fuente: INEGI.

Figura 8. A) Capta la energía que reflejan o emiten los objetos de la

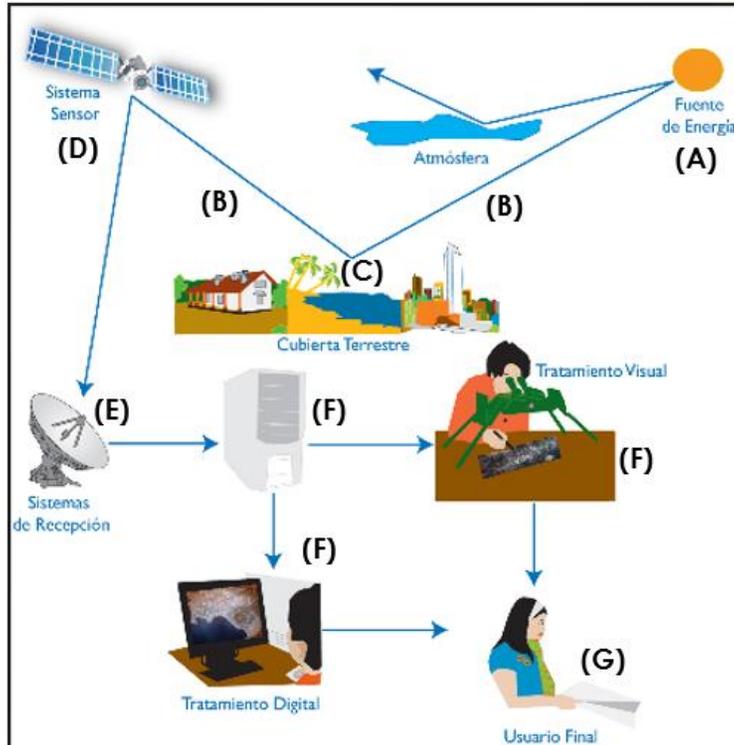


superficie terrestre. B) Posee una fuente de energía propia y opera independientemente de las condiciones atmosféricas.

Por otra parte, los “sensores activos” proveen su propia fuente de energía para su iluminación. El sensor emite su propio haz de luz que es dirigida hacia el objetivo en cuestión, para ser investigado. La radiación reflejada de aquel objetivo es detectada y medida por el sensor. Las ventajas de los “sensores activos” incluyen la capacidad de obtener medidas en cualquier momento, independientemente de la hora del día o de la estación del año. Los sensores activos pueden ser usados para examinar a las longitudes de onda que no son suficientemente suministradas por la radiación del sol, como las microondas, o para un mejor control del modo en que un objetivo es iluminado. Sin embargo, los sistemas activos requieren de la generación de una gran cantidad de energía para iluminar los objetivos adecuadamente. Algunos ejemplos de sensores activos pueden ser un láser fluorescente o un Radar Sintético de Abertura (SAR).

2.3.2 Elementos del proceso de teledetección

Los elementos involucrados en el proceso de teledetección aparecen en la figura 9. El primer requerimiento supone disponer de una fuente de energía que ilumine o provea de energía al objeto de interés (cultivo, bosque, mar, ciudad, etc.). El caso más habitual consiste en que esa fuente sea el Sol (A). La radiación solar, en su “viaje” hacia la Tierra, atraviesa e interacciona con la atmósfera (B). Una vez alcanza la superficie terrestre interactúa con los objetos que en ella se encuentran. La radiación reflejada dependerá de las características de esos objetos, que permiten distinguir a unos de otros (C). Un sensor a bordo de un satélite registra y graba esa radiación reflejada por la superficie terrestre y la propia atmósfera (D).



Fuente: Imagen tomada de Internet

**Figura 9. Elementos de un proceso de teledetección desde satélites.
Elaboración Propia.**

La energía captada por el sensor se transmite a una estación de recepción y procesamiento donde los datos se convierten en imágenes digitales (E). La imagen procesada es interpretada visual o digitalmente, para extraer información acerca de los objetos que fueron detectados (F). El paso final del proceso de teledetección consiste en aplicar la información extraída de la imagen para conseguir un mejor conocimiento de la zona de estudio, para así revelar nuevas informaciones o ayudarnos a resolver un problema particular (G).

2.4 Programa SPOT

La constelación SPOT (Satellite Probatoire pour l'Observation de la Terre) es un conjunto de satélites artificiales desarrollados por el Centro Nacional de Estudios Espaciales de Francia (CNES), en colaboración con los gobiernos de Bélgica y Suecia, y fabricados por European Airbus Defense and Space (EADS) Astrium. Spot Image® es una compañía de servicios de observación de la Tierra líder en su sector, que ofrece productos y soluciones basados en imágenes a clientes de todo el mundo desde 1986. Spot Image® es propiedad al 98,9% de EADS Astrium y forma, junto con Infoterra, la División de GEO-Información de Astrium Services. La sede central del grupo Spot Image® se encuentra en Toulouse, Francia. La distribución surge mediante una red internacional de socios y estaciones de recepción.

En la actualidad el programa SPOT es operado por la empresa DEFENCE & SPACE anteriormente Astrium Services (antes SPOT Image®) junto con otras constelaciones de satélites europeos de observación de la Tierra en órbita baja; incluidos los satélites militares de reconocimiento Helios, los satélites de radar ERS, el satélite medioambiental Envisat y los satélites meteorológicos MetOp.

Su historia:

- SPOT 1, lanzado en febrero de 1986 (sin operar desde noviembre de 2003).
- SPOT 2, lanzado en enero de 1990 (sin operar desde julio de 2009).
- SPOT 3, lanzado en septiembre 1993, (sin operar por problema técnico desde 1996).
- SPOT 4, lanzado en marzo de 1998
- SPOT 5, lanzado en mayo de 2002
- SPOT 6, lanzado en septiembre de 2012 y
- SPOT 7, serán lanzado enero de 2014 para trabajar hasta el año 2024.

La constelación de satélites SPOT ofrece una capacidad operacional diaria de adquisición, prácticamente de cualquier punto del globo terráqueo con una

resolución de diez metros. El Spot 6 transmite imágenes con una resolución de 2.5 metros en una franja muy amplia. Además, el instrumento HRS de SPOT 5 permite la adquisición simultánea de pares estereoscópicos para la generación de maquetas digitales en relieve, para aplicaciones de cartografía tridimensional.

SPOT 6 y SPOT 7 transmitirán imágenes con una resolución de 1.5 metros en pancromático y 6 metros para multiespectral, y formarán parte de la nueva constelación de satélites de observación de la Tierra diseñada para garantizar la continuidad de la disponibilidad de los datos de alta resolución y campo amplio hasta 2023. Incorporarán las innovaciones tecnológicas y operativas con las que cuenta actualmente, la constelación Pleiades (50 cm. de resolución) puestos en órbita el 31 de agosto de 2012.

2.4.1 Características del sensor SPOT

Con una altura de orbital de 822 km, una inclinación de 98° y un período orbital de 101 minutos; la resolución temporal es de 26 días. Una de las ventajas con que cuentan los satélites SPOT es la posibilidad de observación no vertical de su sensor HRV (Haute Resolution Visible), es lo que denominan sensores enfocables que permite adquirir datos de zonas fuera de su órbita mediante el movimiento, de hasta 27° a ambos lados del nadir. El satélite SPOT 5 transporta además un dispositivo HRS (High Resolution Stereo); instrumento de alta resolución estereoscópica, instalado en el equipo óptico, para la realización de pares de imágenes estereoscópicas.

**Cuadro 1 Algunas especificaciones del sensor SPOT. EUROPEAN AIRBUS
DEFENCE &SPACE**

Productos	Pancromático: 2.5m-5m-10m
Bandas Espectrales	P (Pancromático); B1 (verde), B2 (rojo), B3 (infrarojo cercano), B4 (infrarojo medio, por SPOT 4 y 5)
Coberturas	60 x 60km
Revisita	De 2 a 3 días 1 día con la constelación de satélites SPOT
Programación	Sí, estándar o prioritaria
Archivo Mundial	15 millones de imágenes desde 1986
Angulo de Visión	Visión lateral +/- 27° Estéreo adelante/atrás con SPOT 5
Precisión de Localización	< 30 m en SOPT 5 <350 m en SPO 4 Productos Ortho < 10 m si se emplea la base reference 3D de lo contrario depende de la calidad de los puntos de control
Niveles de procesamiento	1A, 1B, 2A, 2B, Ortho

Fuente: Datos tomados de Internet, programa SPOT image.

2.4.2 Características técnicas del sensor SPOT 6

Segmento espacial. Hasta el 2024, SPOT 6 Y SPOT 7 proporcionarán productos cuya resolución espacial de 1,5 m permitirá cubrir zonas muy extensas.

**Cuadro 2 Características Técnicas SPOT 6 Y SPOT 7. EUROPEAN AIRBUS
DEFENCE & SPACE.**

Número de satélites	2
Períodos de lanzamiento	SPOT 6: 3 ^{er} trimestre del 2012
Vida útil nominal	10 años

Tamaño	Módulo de servicio: ~ 1,55 x 1,75 x 2,7 m Superficie de los paneles solares: 5,4 m ²
Masa a la hora del lanzamiento	712 kg
Altitud	694 km
Almacenamiento a bordo	1 Tbits al final de su vida útil (memoria SSMM -

Fuente: Datos tomados de Internet, programa SPOT image.

2.4.3 Características orbitales y capacidad de observación

Las misiones SPOT 6 y SPOT 7, así como el programa Pleyades están diseñadas para cubrir con la misma eficacia amplios territorios y superficies reducidas. Esta polivalencia es posible gracias a la extrema agilidad de esta constelación de satélites.

Cuadro 3 Características Técnicas SPOT 6 Y SPOT 7. EUROPEAN AIRBUS DEFENCE & SPACE.

Órbita	Heliosincrónica – 10.00 h, hora local en el nodo
Período	98,79 minutos
Ciclo	26 días
Ángulo de observación	Estándar: +/- 30° en rolo Ampliado: +/- 45° en
Periodicidad	<ul style="list-style-type: none"> • 1 día, si se utilizan SPOT 6 y SPOT 7 simultáneamente • Entre 1 y 3 días con un solo satélite¹
Agilidad	Los giroscopios CMG posibilitan la ejecución de maniobras rápidas en todas las direcciones para observar varias zonas de Agilidad interés en una misma Pasada (30° en .14 s, incluido el tiempo de estabilización).
Capacidad de adquisición	Hasta 6 millones de km ² por día, si se utilizan SPOT 6 y SPOT 7 simultáneamente
Modo de adquisición	Corredores de 60 km de anchura siguiendo un eje norte - sur; hasta 600 km de longitud

Capacidad estereoscópica	Hacia adelante y hacia atrás – Estéreo y triestéreo en una sola pasada
---------------------------------	------------------------------------------------------------------------

Fuente: Datos tomados de Internet, programa SPOT image.

Instrumentos

Cuadro 4. Características Técnicas SPOT 6 Y SPOT 7. EUROPEAN AIRBUS DEFENCE & SPACE.

Sistema óptico	Un instrumento formado por dos telescopios Korsch idénticos, cada uno de ellos con una abertura de 200 mm, cubre el corredor deseado.
Detectores	Paneles PAN: 28 000 pixeles Paneles MS 4 x 7 000 pixeles
Bandas espectrales	Pancromática: 0,450-0,745 μm Azul: 0,450-0,520 μm Verde: 0,530-0,590 μm Rojo: 0,625-0,695 μm
Corredor	60 km en el nadir
Intervalo dinámico de adquisición	12 bits por pixel
Especificación de la precisión de localización	<ul style="list-style-type: none"> • CE 90 (35 m) sin puntos de control en tierra, en un cono de observación de 30° • CE 90 (10 m) en productos orto rectificadas, si está disponible la información de Reference3D
Velocidad de conexión del sistema de telemetría	Canal en banda X - 300 Mbits/s

Fuente: Datos tomados de Internet, programa SPOT image.

Segmento del terreno

Cuadro 5. Características Técnicas SPOT 6 Y SPOT 7. EUROPEAN AIRBUS DEFENCE & SPACE.

Principales estaciones de recepción	<ul style="list-style-type: none"> • Toulouse (Francia) • Kiruna (Suecia)
Estaciones de enlace ascendente en banda S	<ul style="list-style-type: none"> • Kiruna (Suecia) • Inuvik (Canadá)
Centro de programación	<ul style="list-style-type: none"> • Astrium GEO-Information Service Toulouse (Francia) • Astrium GEO-Information Service Chantilly, Virginia (Estados Unidos)
Centro de producción	Astrium GEO-Information Service - Toulouse
Frecuencia de actualización de los planes de programación	6 veces/día/satélite
Actualización de las previsiones meteorológicas	4 veces/día - proceso totalmente automático
Centro de control de satélites	<ul style="list-style-type: none"> • Astrium Satellite - Toulouse (Francia)

Fuente: Datos tomados de Internet, programa SPOT image.

2.5 ERMEXS

El Gobierno de México -representado por la Secretaría de Marina (SEMAR) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)- sumó esfuerzos para llevar a cabo la instalación, custodia y operación de la Estación de Recepción México de la constelación Spot (ERMEXS); la cual consiste en una terminal avanzada para la recepción, almacenamiento, extracción y archivo de datos spot, así como su administración y procesamiento.

En su operación, ambas dependencias han integrado también a personal del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) como un ejemplo de colaboración interinstitucional; para responder con prontitud y eficacia, a las necesidades tecnológicas en obtención de imágenes de satélite que permiten resolver problemas en áreas tales como cartografía, planificación urbana, redes de cultivo, defensa y vigilancia del medio ambiente, entre otros.



Fuente: Imagen tomada de Internet de www.semar.gob.mx

Figura 10. Estación de Recepción México de la constelación Spot (ERMEXS).

La ERMEXS -ubicada en las instalaciones de la SEMAR- incluye antena, terminal de archivo y procesamiento; así como telemetría, para lograr un acceso directo y privilegiado a los datos satelitales ópticos.

En el año 2007 fue renovado el Contrato de compraventa de la licencia de telemetría de datos SPOT 2007, mantenimiento y extensión de garantía de la antena parabólica de la ERMEXS; así como la extensión de garantía de los servicios de mantenimiento para la terminal SPOT 5, extendiéndose la multilicencia a los estados, municipios e instituciones públicas de nivel superior dedicadas a la investigación. La antena está proyectada para trabajar hasta diciembre del 2014.

2.6 ERMEXS NG (Nueva Generación)

La Estación de Recepción México Nueva Generación (ERMEX NG) es un proyecto conjunto entre el Sistema de Información de Agricultura y Pesca (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), y la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA); que tiene entre otras funciones la de gestionar las imágenes satelitales del territorio nacional. La ERMEX NG fue inaugurada el 19 de febrero del 2013, y recibe telemetría de la constelación de Satélites Para la Observación de la Tierra (SPOT 6 y 7).



Fuente: Imagen tomada de Internet de www.siap.gob.mx/ermex-ng

Figura 11. ERMEX NG. SAGARPA, SIAP.

La ERMEX NG recibe diariamente imágenes de los satélites SPOT 6 y 7, con las siguientes características:

Cuadro 6. Características de los Sensores que recibe ERMEX NG.

Satélite	Modo	Resolución Espacial	Bandas	Cobertura espacial	Resolución radiométrica
SPOT 5	Pancromático	2.5 m.	1 (visible)	60 x 60 km.	8 bits.
	Multiespectral	10 m.	4 (Verde, Rojo, NIR y MIR)		
	Fusión Color	2.5	3 (compuesto color)		
SPOT 6	Pancromático	1.5 m.	1 (visible)	60 x 60 km.	12 bits.
	Multiespectral	6 m.	4(Azul, Verde, Rojo e NIR)		
	Fusión Color	1.5 m.	4(Azul, Verde, Rojo e NIR)		

Fuente: www.siap.gob.mx/ermex-ng

Tiene un rango de cobertura para la adquisición de imágenes de 2,500 km, a partir de su ubicación actual en el Estado de México; por lo que se pueden obtener imágenes de toda la República Mexicana (territorio continental e insular), sur de los Estados Unidos, Centroamérica, Cuba, Jamaica, Haití y noroeste de Colombia.



Fuente: Imagen tomada de Internet de www.semar.gob.mx

Figura 12. Área de Influencia ERMEX NG. SAGARPA, SIAP.

El 9 de septiembre de 2012 fue lanzado desde la base de Sriharikota en India, el satélite SPOT 6 que ofrece productos de alta resolución, y se encarga de dar continuidad a la adquisición de productos SPOT. A partir del 1 de febrero del 2013 ya es posible recibir telemetría de este satélite en la ERMEX NG; con lo cual México se pone a la vanguardia en información satelital para llevar a cabo estudios de diversa índole en beneficio del país.

Se tiene programado que en diciembre del 2014, esta antena ya reciba telemetría de la constelación de Pléyades.

2.7 EVISMAR

El primero de diciembre de 2012, la Secretaría de Marina, mediante el Acuerdo Secretarial número 137, crea la Estación Virtual de Imágenes Satelitales de Muy Alta Resolución (EVISMAR); a través del esfuerzo conjunto de la Secretaría de Marina (SEMAR) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

La EVISMAR es una estación terrena que se encuentra localizada dentro de las instalaciones de la SEMAR, la cual tiene como objetivo adquirir imágenes satelitales obtenidas por el satélite GeoEye-1, para procesarlas y ser utilizadas para apoyar el desarrollo de las funciones que realiza esta institución; así como a otras Dependencias de la Administración Pública Federal u órganos de otros niveles de gobierno e instituciones de educación superior enfocadas a la investigación para el desarrollo nacional.

La EVISMAR se encuentra en operación desde el 21 de julio de 2011. Cuenta con una antena virtual y con equipo de cómputo de gran capacidad para la recepción, el almacenamiento, el procesamiento y la distribución de imágenes satelitales GeoEye-1 a diferentes niveles de procesamiento; dichas imágenes solo son de archivo, por lo que no es posible hacer una programación del satélite.

La SEMAR y el INEGI operan la EVISMAR, de forma conjunta, con personal especializado en Ciencias de la Tierra e Ingeniería en Sistemas; entrenado y certificado para la operación de la estación.



Fuente: Imagen tomada de Internet de www.semar.gob.mx

Figura 13. EVISMAR.

2.7.1 El Satélite GeoEye 1

El satélite GeoEye-1 fue lanzado en septiembre de 2008, y está equipado con la más avanzada tecnología para los satélites comerciales. GeoEye-1 es capaz de coleccionar imágenes ópticas con una resolución espacial de 0.5 m en la banda pancromática (blanco y negro) y de 2.0 m en la banda multi-espectral (color), la mayor resolución espacial disponible hasta ahora para la industria de la información espacial.

El satélite GeoEye-1 posee una órbita polar helio-sincrónica, que cruza por el territorio nacional alrededor de la 11:30 horas (hora del centro), a una altitud de 681 km, y viaja a una velocidad de 6.79 km/seg; es decir, completa una vuelta a la tierra cada 98 minutos, con un total de 15 orbitas diarias.



Fuente: Imagen tomada de Internet de www.semar.gob.mx

Figura 14. Satélite GeoEye 1.

GeoEye-1 tiene un periodo de revisita de tres días o menos para cualquier punto de la superficie terrestre. En el modo pancromático, el satélite es capaz de recolectar hasta 700,000 km² en un solo día y en el modo multiespectral hasta 350,000 km² por día. Esta habilidad es ideal para proyectos a gran escala. El ancho de su trayectoria en nadir es de 15.2 km., por lo que uno requiera de largo; comúnmente son 80 km.

GeoEye-1 presenta una precisión en geolocalización superior a 2.5 m con un error circular de 90% (CE90) en planimetría para imágenes estereoscópicas y monoscópicas, y de 3 m de error lineal de 90% (LE90) en altura para estereoscopía.

El sensor del satélite GeoEye-1 está diseñado para realizar tomas en cualquier dirección; sin embargo, las direcciones preferentes son Este-Oeste y Sur-Norte; esta característica le otorga una gran maniobrabilidad que permite realizar colectas de la superficie terrestre en función de los objetivos del usuario final.

2.7.2 Características del Satélite GeoEye-1

Cuadro 7. Características del Satélite GeoEye-1. Fuente: Digital Globe

Altitud de órbita	681 Km
Velocidad	6.79 km/seg
Hora aproximada de cruce por México	≈ 11:30 a.m.
Calidad de imagen	
Resolución Espacial B/N Color	Pan = 0.5 m @ nadir (comercial) MSI = 2.0 m @ nadir (comercial)
Máxima área de recolección por día	Pan - 700,000 Km ² MSI - 350,000 Km ²
Periodo de revisita	< 3 días
Ancho de trayectoria	15.2 Km
Precisión en la Geo-localización	Mono CE90 < 3m Estéreo CE90/LE90 2m/3m

Fuente: Datos tomados de Internet de www.semarn.gob.mx

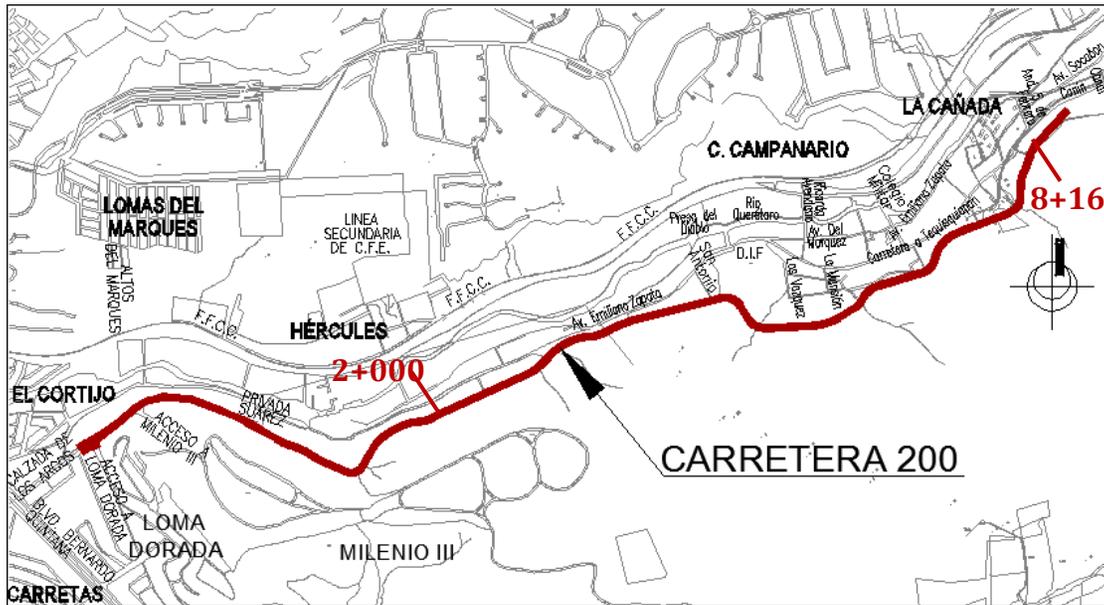
La EVISMAR tiene la capacidad de generar productos a partir de imágenes de muy alta resolución con los siguientes niveles de procesamiento:

- Tipo A.- Producto geoméricamente corregido.
- Tipo B.- Producto orto-rectificado, tomando como base el Modelo Digital de Elevación SRTM v.2 con una resolución espacial de 1 arc-sec (≈ 30m).

3 Metodología

Esta investigación fue realizada dentro de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial (USIG), perteneciente a la Coordinación de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

El área de estudio comprende la carretera estatal no. 200 “Querétaro-Tequisquiapan”, el tramo de estudio será del Km 2+000.00 al 8+160.00. Del acceso al fraccionamiento Milenio III a la entrada de la localidad de Saldarriaga, perteneciente al municipio de El Marqués. Dicha carretera conecta con los municipios de Querétaro y El Marqués aledaños a la ZMQ.



Fuente: Elaboración propia

Figura 15 Carretera Estatal No. 200, Querétaro-Tequisquiapan.

Después de analizar el estado del arte -tanto de la percepción remota aplicado al problema del derecho de vía en el ámbito regional, nacional e internacional, con la finalidad de contar con un panorama más específico de la información útil concerniente al tema a desarrollar- nos enfocamos a la adquisición de imágenes de satélite del sensor francés SPOT 6 y GeoEye 1.

3.1. Adquisición de las Imágenes

Existen dos vías fundamentales para la adquisición de imágenes de satélite de alta resolución, uno está fundamentado dentro del convenio del programa ERMEXS NG y con la recertificación de gestores autorizados:

- M. Geog. Miguel Ángel Backhoff Pohls
Jefe de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial.
- M. C. Jonatan Omar González Moreno
Investigador Asociado C, Unidad de Sistemas de Información Geoespacial.

ante la nueva antena receptora ERMEXS NG de imágenes de satélite de SPOT 6, ahora bajo el resguardo por parte de la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) y el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la SAGARPA, y ubicada en Metepec, Estado de México.

La segunda vía es la liberación del convenio EVISMAR, convenio celebrado entre el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y la Secretaría de la Marina (SEMAR), para la distribución de imágenes de satélite de alta resolución; dicho convenio ha sido establecido para su operación ante la Administración Pública Federal.

Para la solicitud de las imágenes SPOT 6, es necesario ingresar al siguiente portal:

<http://ermexs.siap.gob.mx/procesos/registro.asp>

Al entrar, muestra la siguiente pantalla:

Sección Restringida

Si tuviera algún problema con su usuario y contraseña favor de dirigirse con el administrador:
ermexng@siap.gob.mx

Inicio de Sesión

Usuario:

Contraseña:

Fuente: <http://www.siap.gob.mx/sistema-ermex/>

Figura 16. Portal ERMEX NG.

En esta pantalla debe proporcionar el usuario y la contraseña de uno de los gestores autorizados. Posteriormente al ingresar los datos correctos, el sistema nos muestra el siguiente menú:

ERMEX ESTACIÓN DE RECEPCIÓN MÉXICO

MODULO DE SOLICITUDES

SDAP Sistema de Información Administrativa y Presupal

Usuario: ermexs001c Jueves 13 de Junio de 2013

Bienvenidos a ERMEX NG

Avisos

- ratificacion y alta de gestores -{26/04/2013} Ver +

Mis Solicitudes

ID	Fecha	Acción
20130613-165708-4	13/06/2013	Actualizar
20130610-172308-4	10/06/2013	
20130610-154937-4	10/06/2013	
20110915-133219-4	15/09/2011	
20110713-100057-4	13/07/2011	
20110609-083922-4	09/06/2011	
20110601-124847-4	01/06/2011	

ERMEX ESTACIÓN DE RECEPCIÓN MÉXICO NUEVA GENERACIÓN

Fuente: <http://www.siap.gob.mx/sistema-ermex/>

Figura 17. Tipo de Solicitud, portal ERMEX NG.

Una vez dentro de este menú, existen tres formas de hacer la solicitud de imágenes:

1. Solicitar imagen a partir de un polígono
2. Solicitar imagen a partir de un radio
3. Solicitar imagen por KJ

Para este trabajo, elegimos la opción número uno, «solicitar imagen a partir de un polígono», una vez seleccionada esta opción nos despliega la siguiente imagen:

fuelle: <http://www.siap.gob.mx/sistema-ermex/>

The screenshot shows the 'MODULO DE SOLICITUDES' interface. At the top, there are logos for ERMEX (Estación de Reccepción México) and SDAP (Servicio de Información Agrícola, Ganadera y Pesquera). The user is logged in as 'ermexs001c' on 'Jueves 13 de Junio de 2013'. A sidebar on the left contains navigation buttons: Inicio, Nueva Solicitud, Polígono (selected), Radio, KJ, Status de Solicitudes, Cambiar Contraseña, and Salir.

Solicitud de Imágenes por Polígono

DATOS GENERALES

Folio de Solicitud:	20130613-171039-4
Usuario Solicitante:	ermexs001c
Dependencia:	ASERCA
Institución:	SAGARPA
Fecha de Captura:	13/06/2013 05:10:39 p.m.

T E M A

- Agricultura
- Seguridad Nacional
- Desastres Naturales
- Ambiente
- Planeacion, Uso de la Tierra / Superficie Terrestre
- Catastro
- Cartografía y Topografía
- Monitoreo y Vigilancia
- Estudios Costeros y del Oceano
- Geología, Exploracion Mineral y Petrolera
- Riesgo Natural y Monitoreo de Contaminacion
- Administracion y Planeacion de Reserva Natural
- Recursos Acuiferos
- Simulacion de Vuelo
- Silvicultura
- Telecomunicaciones
- Planeacion Urbana
- Otra

PERIODO DE ADQUISICIÓN DE LA IMAGEN

- No importa el periodo de toma de la imagen, por el tipo de estudio que se realizarón con dichas imagenes. (La información se toma de imagenes históricas)
- Deseo colocar periodo(s) y se realice una programación de las imagenes que requiero.

Para programación recuerde que debe hacerse con un MINIMO DE CUATRO SEMANAS, de otra manera será CANCELADA su Solicitud.

PRIMER PERIODO

Inicio:	<input type="text"/>	Término:	<input type="text"/>	<input type="button" value="Borrar"/>
---------	----------------------	----------	----------------------	---------------------------------------

SEGUNDO PERIODO

Inicio:	<input type="text"/>	Término:	<input type="text"/>	<input type="button" value="Borrar"/>
---------	----------------------	----------	----------------------	---------------------------------------

TERCER PERIODO

Inicio:	<input type="text"/>	Término:	<input type="text"/>	<input type="button" value="Borrar"/>
---------	----------------------	----------	----------------------	---------------------------------------

Fuelle: <http://www.siap.gob.mx/sistema-ermex/>

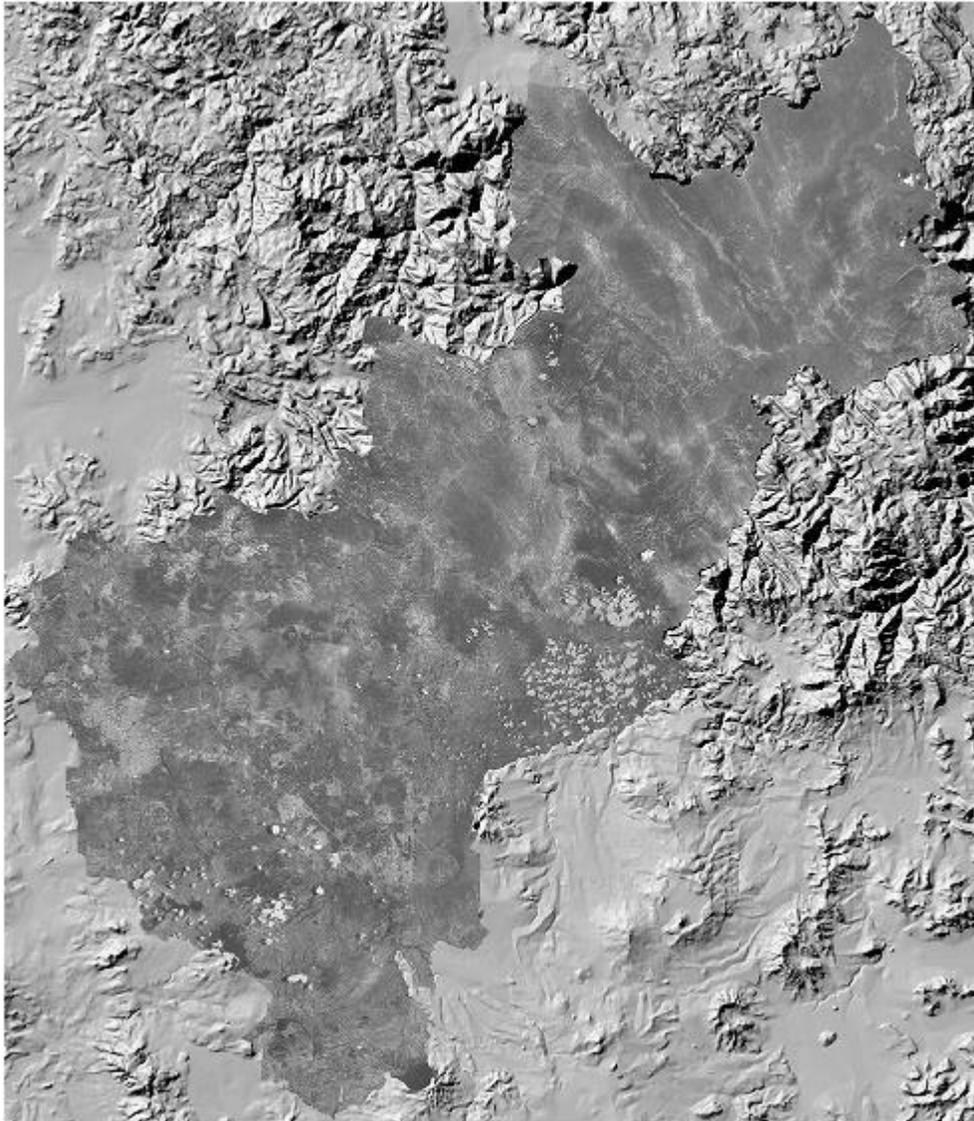
Figura 18. Llenado de solicitud por polígono. Portal ERMEXS NG

Siguiendo las instrucciones de llenado, a continuación, vemos el cuadro resumen de la solicitud.

Cuadro 8. Especificaciones de la solicitud por polígono. ERMEXS NG.

SOLICITUD DE IMÁGENES POR POLÍGONO				
TEMA		OTRA (TRANSPORTE)		
PERIODO DE ADQUISICIÓN		30 de Agosto a 30 de Septiembre 2013		
RESOLUCIÓN DEL MODO ESPECTRAL		SPOT6 1.5 m, pancromática, Nivel 1A SPOT6 6 m, Multiespectral, Nivel 1A		
ÁNGULO DE TOMA		Cercano a la vertical		
ÁREA DE ESTUDIO				
Punto		Grados °	Minutos ‘	Segundos ‘‘
1	Latitud:	21	40	6.16
	Longitud:	100	36	0.00
2	Latitud:	21	40	6.16
	Longitud:	99	00	0.00
3	Latitud:	20	00	0.00
	Longitud:	99	00	0.00
4	Latitud:	20	00	0.00
	Longitud:	100	36	0.00

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Imagen SPOT5 (mosaico) del estado de Querétaro, polígono de solicitud.

La solicitud de imágenes de satélite de alta resolución del sensor GeoEye 1, del programa EVISMAR, es un proceso parecido al anterior. Se llena una solicitud como la mostrada en la figura 20, en donde especificamos el área de estudio, el nivel de procesamiento, el formato de imagen, etc.


EVISMAR
 Estación Virtual de Imágenes Satelitales de Muy Alta Resolución
 Solicitud de Imágenes GeoEye-1
 

Información usuario:		Fecha	<input type="text"/>
Nombre:	<input type="text"/>		
Institución/Dependencia:	<input type="text"/>		
Dirección:	<input type="text"/>		
Teléfono / Extensión:	<input type="text"/>	Correo electrónico:	<input type="text"/>
Información solicitada:			
Localidad:	<input type="text"/>	Estado:	<input type="text"/>
Área de Interés (ADI)			
<input type="checkbox"/> ADI Círculo en formato "shape"		Nombre del "shape" <input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> ADI Punto Central		<input type="checkbox"/> ADI Coordenadas Extremas	
Latitud:	<input type="text"/>	Latitud superior:	<input type="text"/>
Longitud:	<input type="text"/>	Latitud inferior:	<input type="text"/>
Largo (km):	<input type="text" value="15 km"/>	Longitud superior:	<input type="text"/>
Ancho (km):	<input type="text" value="15 km"/>	Longitud inferior:	<input type="text"/>
Información Técnica del Producto Solicitado			
Nivel de procesamiento:	<input type="text" value="2. Corrección geométrica"/>	Tipo de Imagen:	<input type="text" value="PAN/MSI"/>
Formato de Imagen:	<input type="text" value="MIF 3.1"/>	Combinación de Bandas:	<input type="text" value="RGB Color verdadero"/>
Resolución espacial:	<input type="text" value="0.5 m"/>	Ajuste de Histogramas:	<input type="text" value="Valores Originales"/>
Resolución radiométrica:	<input type="text" value="8-Bits / pixel"/>	Producto Fusionado:	<input type="text" value="SI (PAN+MSI)"/>
_____ Firma			
<input type="button" value="Restablecer formulario"/>		<input type="button" value="Imprimir formulario"/>	

Fuente: <http://www.semar.gob.mx>

Figura 20. Solicitud de Imágenes GeoEye1. SEMAR (EVISMAR).

Esta hoja de solicitud debe ser adjuntada con un oficio dirigido al Director de Inteligencia Geoespacial de la Secretaría de Marina (SEMAR), que describe los motivos por los cuales hacemos la petición.

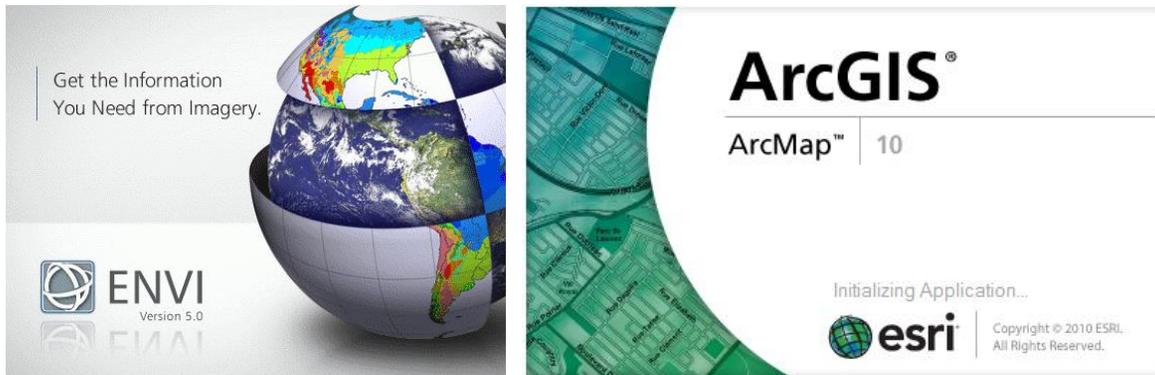
Adicionalmente, para ambos casos, anexamos el polígono georreferenciado solicitado en formato *shape* (shp), para la mejor visualización del área de estudio.

3.2 Materiales

3.2.1 Software

Empleamos una licencia permanente y una temporal del software ENVI® 5.0 (the Environment for Visualizing Images) de la empresa EXELIS “Visual Information Solution”, que el IMT logró adquirir en el año 2011. Este software permite visualizar, analizar y manipular todo tipo de imágenes digitales; además contiene avanzadas librerías espectrales, de corrección geométrica y radiométrica, análisis de terreno, análisis de radar, habilidades vectoriales; entre otras cosas más para SIG.

Como complemento del software de edición de imágenes de satélite, utilizamos el software de sistemas de información geográfica: ArcGIS vr. 10, producido y comercializado por la empresa ESRI. Es utilizado como complemento ya que se trata de un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.



Fuente: www.esri.com/

Figura 21. ENVI 5.0, ArcGIS 10.

Debido a que los procedimientos de edición se realizan con imágenes de alta resolución espacial (más de 1Gb de espacio), nos apoyamos con el servidor del IMT para agilizar los procesos de edición de estas.

Los datos técnicos del servidor son:

- Sistema Operativo: Windows Server 2008 Enterprise.
- Dos procesadores Intel Xeon X5650 2.67GHz
- Disco duro: 950GB
- Memoria Ram: 8GB

Cabe mencionar que el servidor se encuentra alojado en discos duros de alta velocidad (15 mil revoluciones por minuto), lo cual da una prontitud de acceso a los datos un tanto superior comparado con los servidores normales que se alojan en discos duros de menos de 10 mil revoluciones por minuto; esto con la finalidad de dar mayor rendimiento al sistema

3.2.2 Descarga

Debido a que el tamaño de las imágenes es demasiado grande, utilizamos el servidor--> ftp:148.243.51.170, propiedad de la SEMAR, para la descarga de la imágenes.

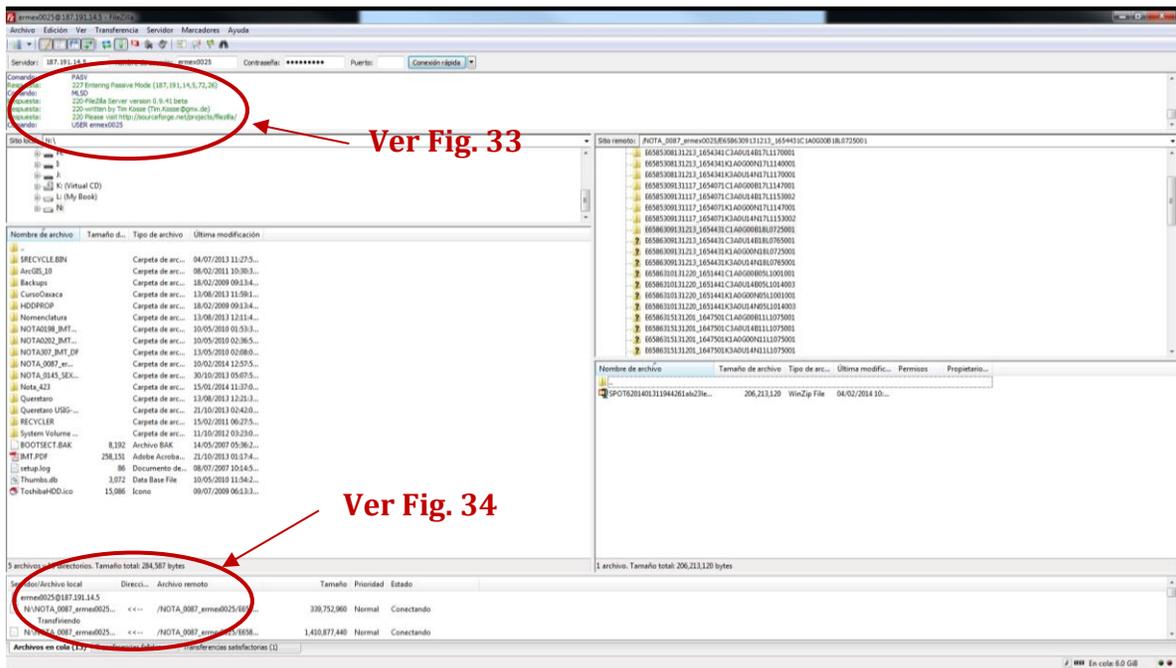
La transmisión de archivos entre un ordenador personal y un servidor se hace mediante un protocolo denominado FTP, que corresponde a la terminología inglesa *File Transfer Protocol*. El protocolo FTP se basa en la arquitectura cliente-servidor.

Podemos decir que la relación es: ordenador personal <--> programa gestor <--> servidor. Un programa gestor nos permite por tanto acceder a otro ordenador que es el servidor y gestionar archivos en el servidor o entre el servidor y nuestro ordenador.

Para la descarga de la imágenes, utilizamos un gestor de descarga ftp. Por recomendación del SIAP, empelamos el software FileZilla, es un programa de código abierto y libre.

Cabe señalar que en primer lugar existen diversos gestores ftp, y algunos pueden estar incluidos dentro del propio sistema operativo o de los navegadores. En algunas ocasiones, puede ser preferible usar otra solución en vez de Filezilla.

Captura de información de infraestructura para el transporte, a través de técnicas de teledetección.
Caso de estudio: Calculo de invasión al derecho de vía.



Fuente: <http://www.semarn.gob.mx>

Figura 22. Descarga de imágenes de satélite vía “ftp”.

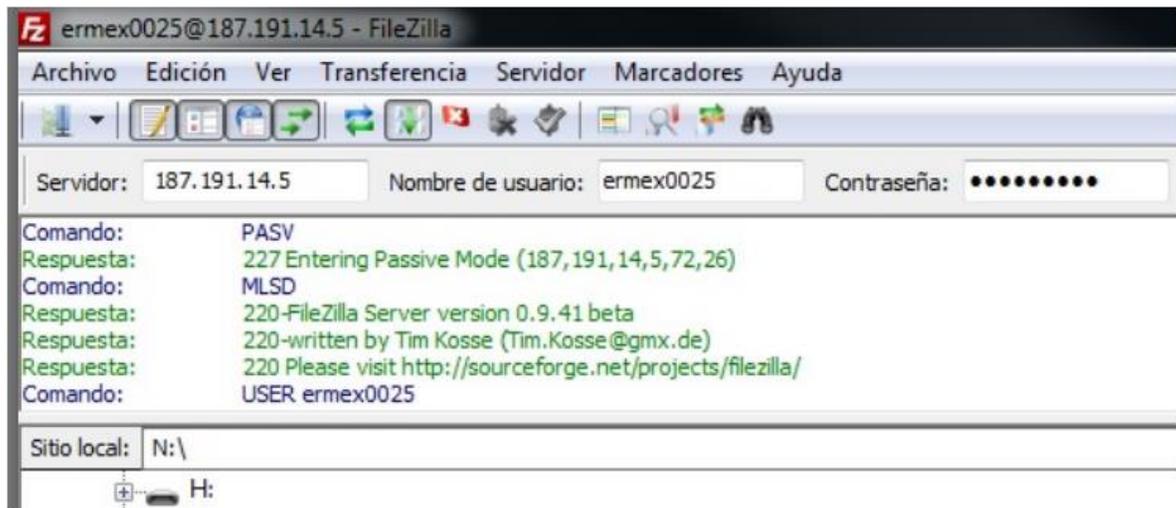


Figura 23. Descarga de imágenes de satélite vía “ftp”.

5 archivos y 16 directorios. Tamaño total: 284,587 bytes					
Servidor/Archivo local	Direcci...	Archivo remoto	Tamaño	Prioridad	Estado
ermex0025@187.191.14.5					
<input type="checkbox"/> N:\NOTA_0087_ermex0025...	<<--	/NOTA_0087_ermex0025/E658...	339,752,960	Normal	Conectando
Transfiriendo					
<input type="checkbox"/> N:\NOTA_0087_ermex0025...	<<--	/NOTA_0087_ermex0025/E658...	1,410,877,440	Normal	Conectando
Archivos en cola (13)		Transferencias fallidas	Transferencias satisfactorias (1)		

Fuente: <http://www.semar.gob.mx>

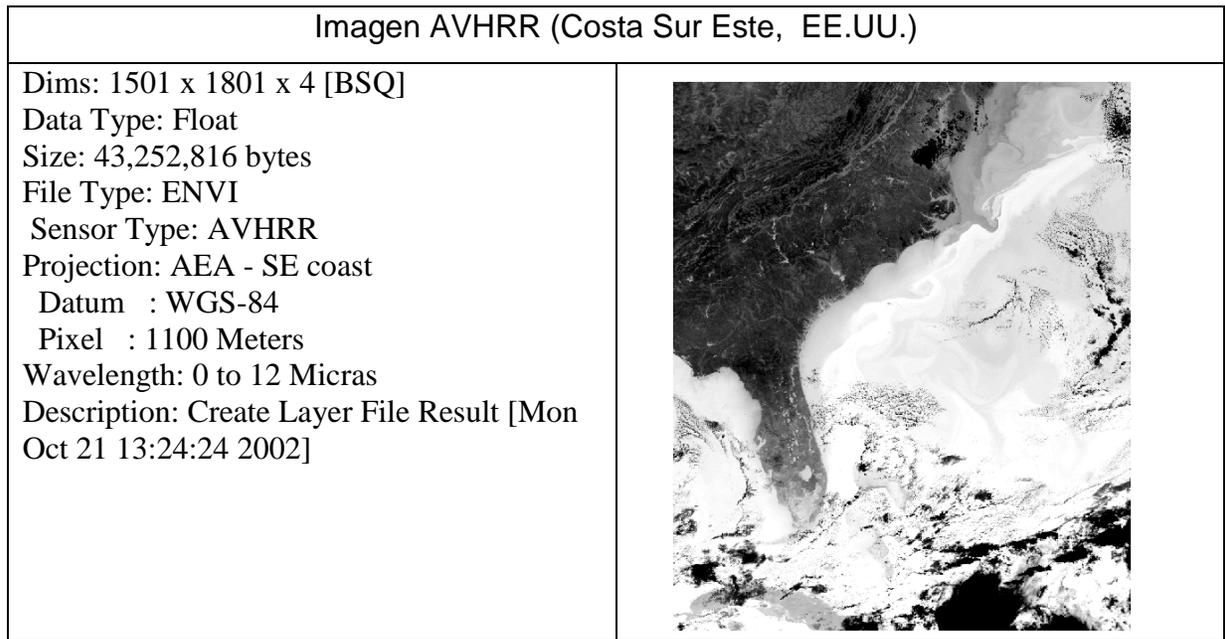
Figura 24. Descarga de imágenes de satélite vía “ftp”.

3.2.2 Imágenes adicionales de prueba y trabajo:

Imagen QuickBird (Boulder, Colorado)	
Dims: 1024 x 1024 x 4 [BSQ] Data Type: UInt Size: 8,388,608 bytes File Type: ENVI Sensor Type: QuickBird Projection: UTM, Zone 13 N Datum: WGS-84 Pixel: 2.8 Meters Wavelength: 485 to 830 Nanometers Description: Demo QuickBird 2 data courtesy DigitalGlobe	

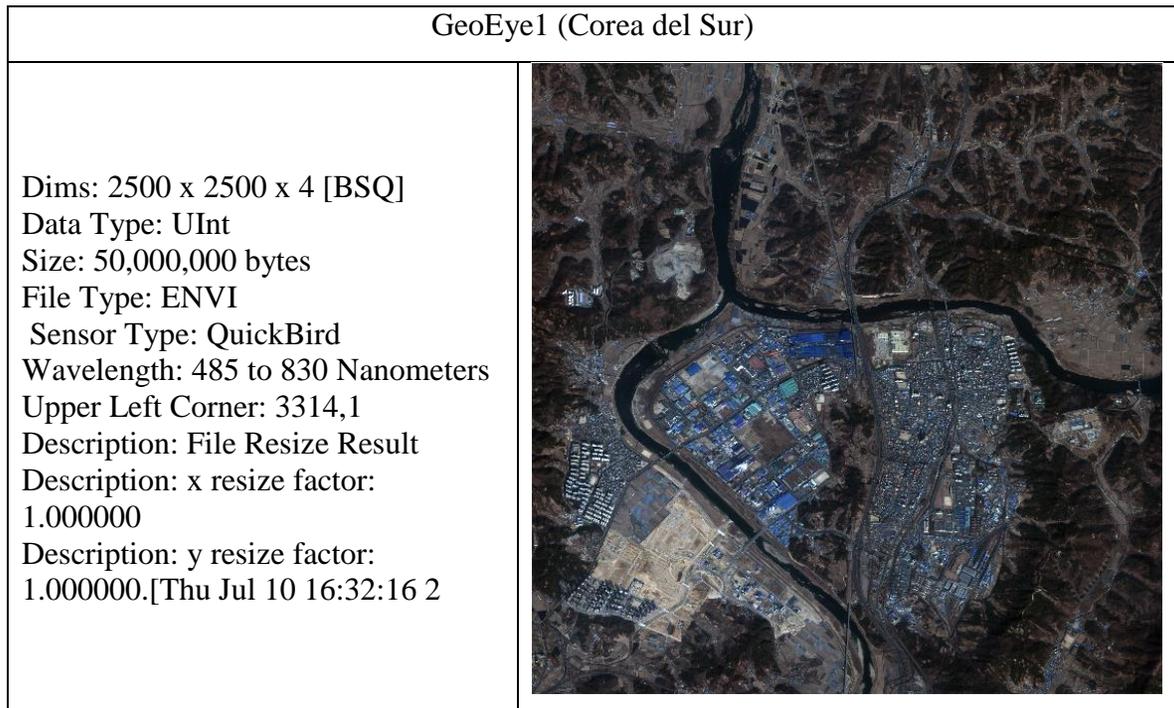
Fuente: Imágenes modificadas de Excelis / tutorial de ENVI vr. 5.0

Figura 25. Imagen QuickBird.



Fuente: Imágenes modificadas de Excelis / tutorial de ENVI vr. 5.0

Figura 26. Imagen AVHRR.



Fuente: Imágenes modificadas de Excelis / tutorial de ENVI vr. 5.0

Figura 27. Imagen GeoEye1.

Imagen WorldView2 (Nueva Zelanda)	
<p> Dims: 8820 x 5960 x 8 [BSQ] Data Type: UInt Size: 841,075,200 bytes File Type: ENVI Sensor Type: WorldView2 Projection: Geographic Lat/Lon Datum: WGS-84 Pixel: 0.000028 x 0.00002 Degrees Wavelength: 427 to 949.3 Nanometers Upper Left Corner: 1,7388 </p>	

Fuente: Imágenes modificadas de Excelis / tutorial de ENVI vr. 5.0

Figura 28. Imagen WorldView2.

Thematic Mapper Simulator (Costa de California, EE.UU.)	
<p> Escaner Daedalus AADS1268 usado en un avión ER- 2. Este escáner simula los instrumentos de LanSat con una resolución espacial un poco más alta. Los datos de la imagen (ca_coast.dat) cubren una región de la costa de California con 11 bandas espectrales que van desde 0.42 a 8.5 μm, y una resolución espacial de 25m </p>	

Fuente: Imágenes modificadas de Excelis / tutorial de ENVI vr. 5.0

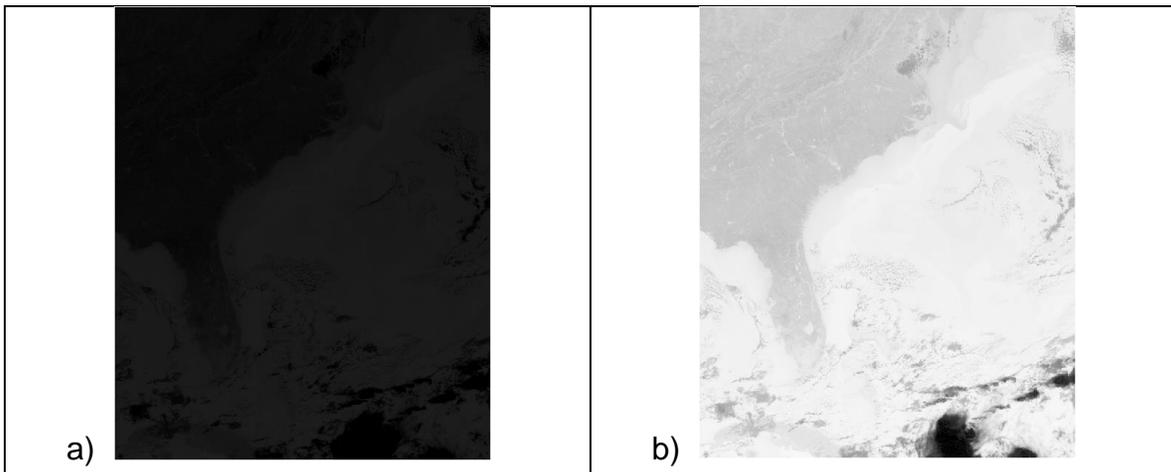
Figura 29. Thematic Mapper Simulator.

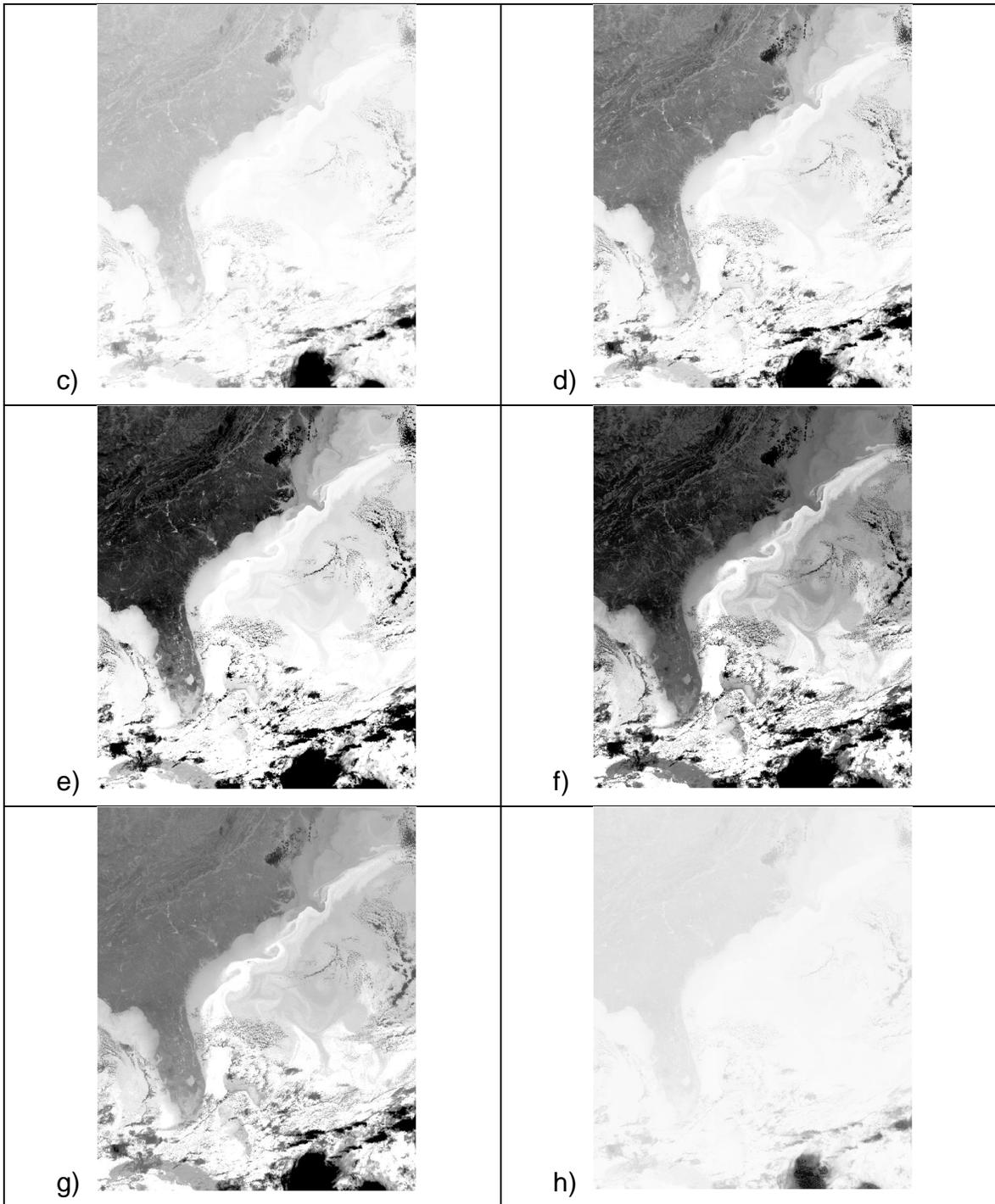
3.3 Técnicas de clasificación Espectral

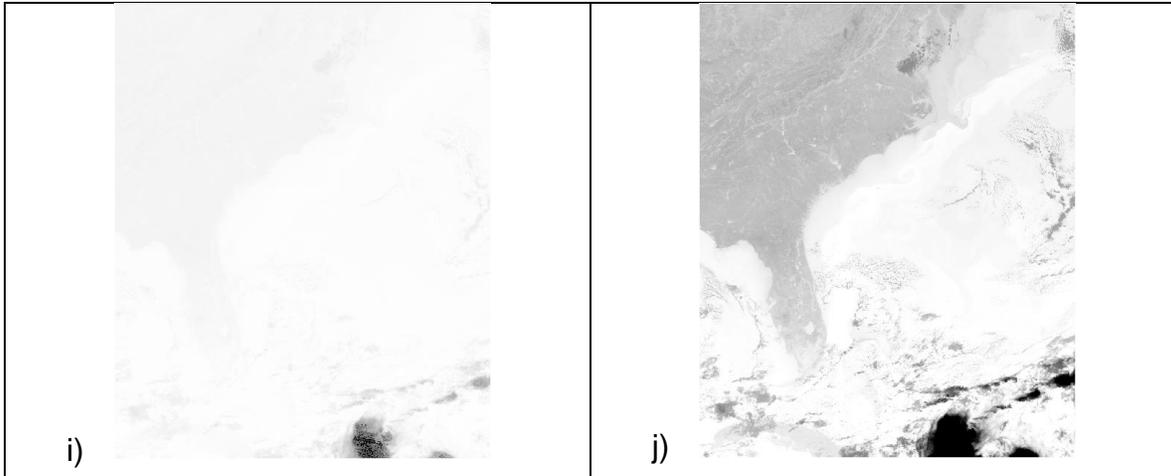
En algunos casos -cuando queremos resaltar dentro de una imagen una región o área de estudio, sin tener conocimientos previos sobre la escena- lo más común es probar con distintos tipos de contraste, para resaltar o hacer brillar más el objeto o área en estudio.

Recordar que los pixeles, en un archivo de información que componen una imagen, pueden tener cualquier valor: negativo, positivo, integral o de punto flotante. Cuando la imagen es visualizada en la pantalla, son desplegados como valores de brillo para cada pixel de la pantalla. Un pixel de información con un valor de brillo grande reluce más que otro, con el valor de brillo pequeño. Sin embargo, a diferencia de los datos de la imagen, los pixeles de la pantalla solo pueden tener 256 valores únicos de brillo (siempre y cuando estén en escala de 8 bits). Variando mientras se integran entre 0 y 255 (donde 0 es negro y 255 es blanco). Claramente, esta limitación prevé a los datos de ser desplegados con un brillo exactamente igual a su valor real.

La imagen en que trabajamos para este caso, está en escala de grises, es del sensor AVHRR (SE Coas) de la costa sureste de los Estados Unidos (EE.UU.). Aquí le asignamos estiramientos al brillo del pixel para reescalar la imagen en valores más brillantes, puede ser una drástica diferencia en la manera en que la imagen aparece; sin embargo, la imagen es desplegada de tal manera, que pueda resaltar con mayor brillo un área en específico.





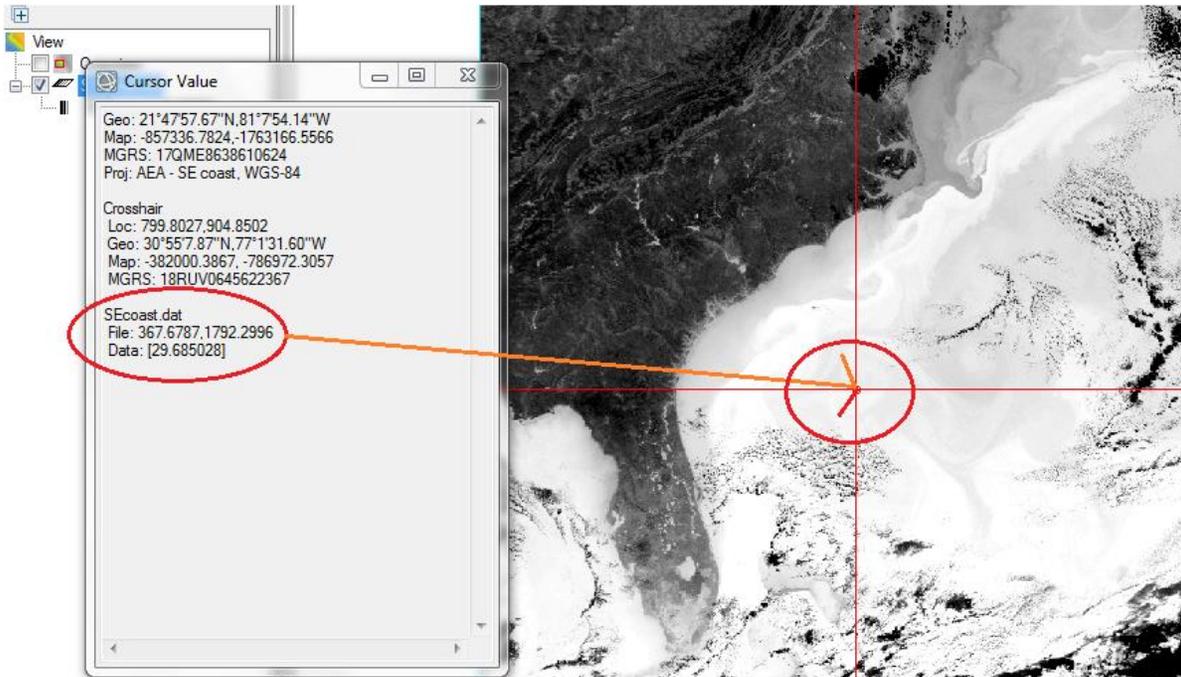


Fuente: Imágenes modificadas de Excelis / tutorial de ENVI vr. 5.0

Figura 25. Tipos de Contraste predeterminados de ENVI 5.0; a)Sin estiramiento, b)Estiramiento lineal, c)E. lineal al 1%, d)E. lineal al 2%, e) E. lineal al 5% f) De igualdad, g) Gaussiana h) Raíz cuadrada, i) Logarítmica, j)Optimizado lineal.

Al ajustar los parámetros del estiramiento en orden de maximizar la información contenida en el despliegue de la imagen, para resaltar los elementos del área de interés, este ajuste es referido como el estiramiento de contraste; porque cambia el contraste de la imagen. *Contraste se refiere a las relativas diferencias en los valores de brillo* (incrementar el contraste quiere decir que los pixeles oscuros son más oscuros, y los brillantes, más brillantes; así la diferencia de brillo entre los dos es aumentada).

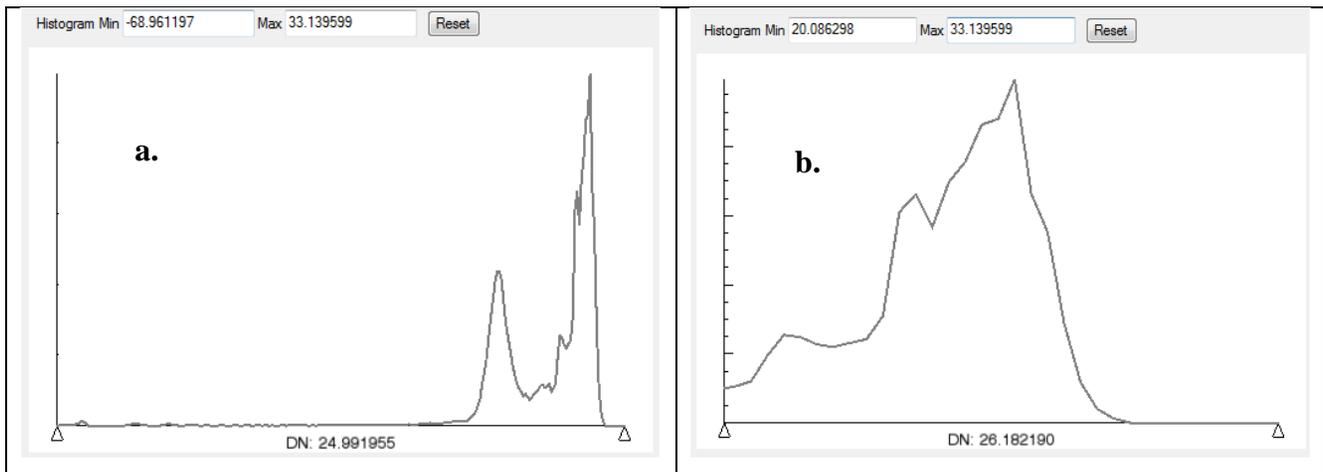
A continuación, usamos la información espectral de la banda SST de la imagen "SE Coast", para generar agrupaciones espectrales que son interpretadas como *clases*. Especificamos un rango de clases de salida, después utilizamos iterativos de división de clases y obtenemos el número final de clases. En esta banda específicamente (SST), cada pixel representa un dato de temperatura.



Fuente: Excelis / tutorial de ENVI vr. 5.0

Figura 26. Valores de los datos en el océano imagen SEcoast.

En la imagen de arriba, podemos visualizar la coordenada del pixel así como su respectivo valor (Data [29.68]). Este pixel refiere a la superficie oceanográfica, si repetimos este procedimiento en más puntos del océano, es posible determinar que los valores de los datos en el océano son igual o mayores a 20.

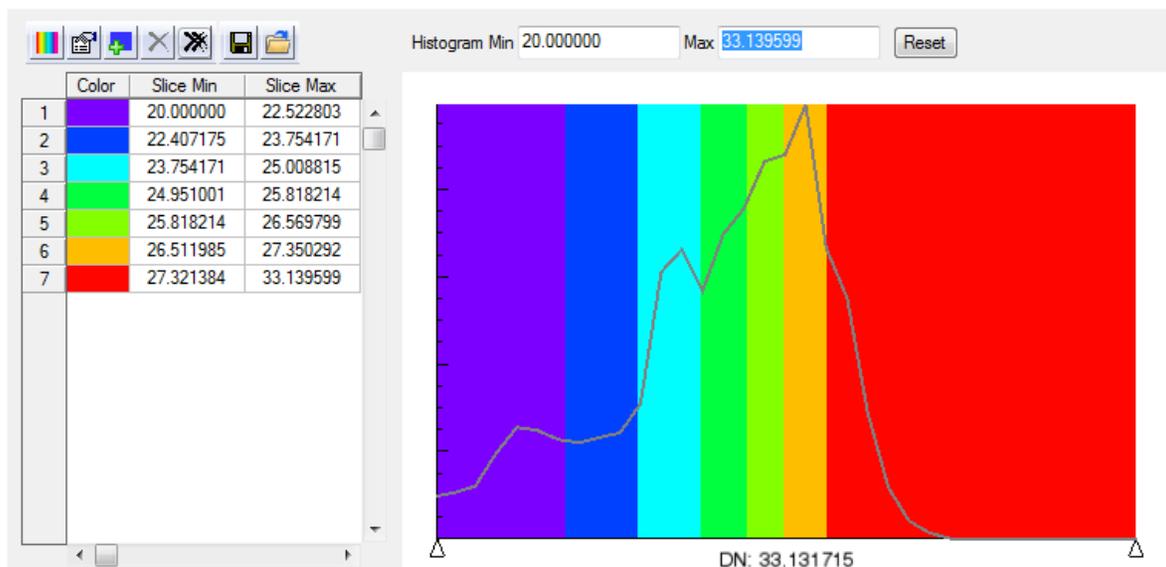


Fuente: Excelis / tutorial de ENVI vr. 5.0

Figura 32. Histograma de la banda SST de la imagen SEcoast; a) Rango mínimo y máximo, b) Rango mínimo igual a 20 hasta el máximo.

Por lo tanto, si ajustamos el histograma de la banda SST de tal manera que el valor mínimo del rango sea 20, obtenemos un histograma cómo es posible apreciar en la figura 27b; importante debido a que, a partir de ello se generen clases dentro del océano. La figura 38a representa el histograma de todos los valores de datos de la escena completa SEcoast.

Si pasamos el cursor sobre el histograma en la interface del software, podemos apreciar también los valores de Número de Datos (ND) entre los subpicos y en las roturas de pendiente. Los valores que marcan distintos cambios en la pendiente del histograma son valores razonables a utilizar para separar diferentes corrientes oceánicas con temperaturas diferentes, es decir diferentes tipos de clases. De esta manera, podemos categorizar la superficie oceanográfica y dejar la corteza terrestre sin clasificar.



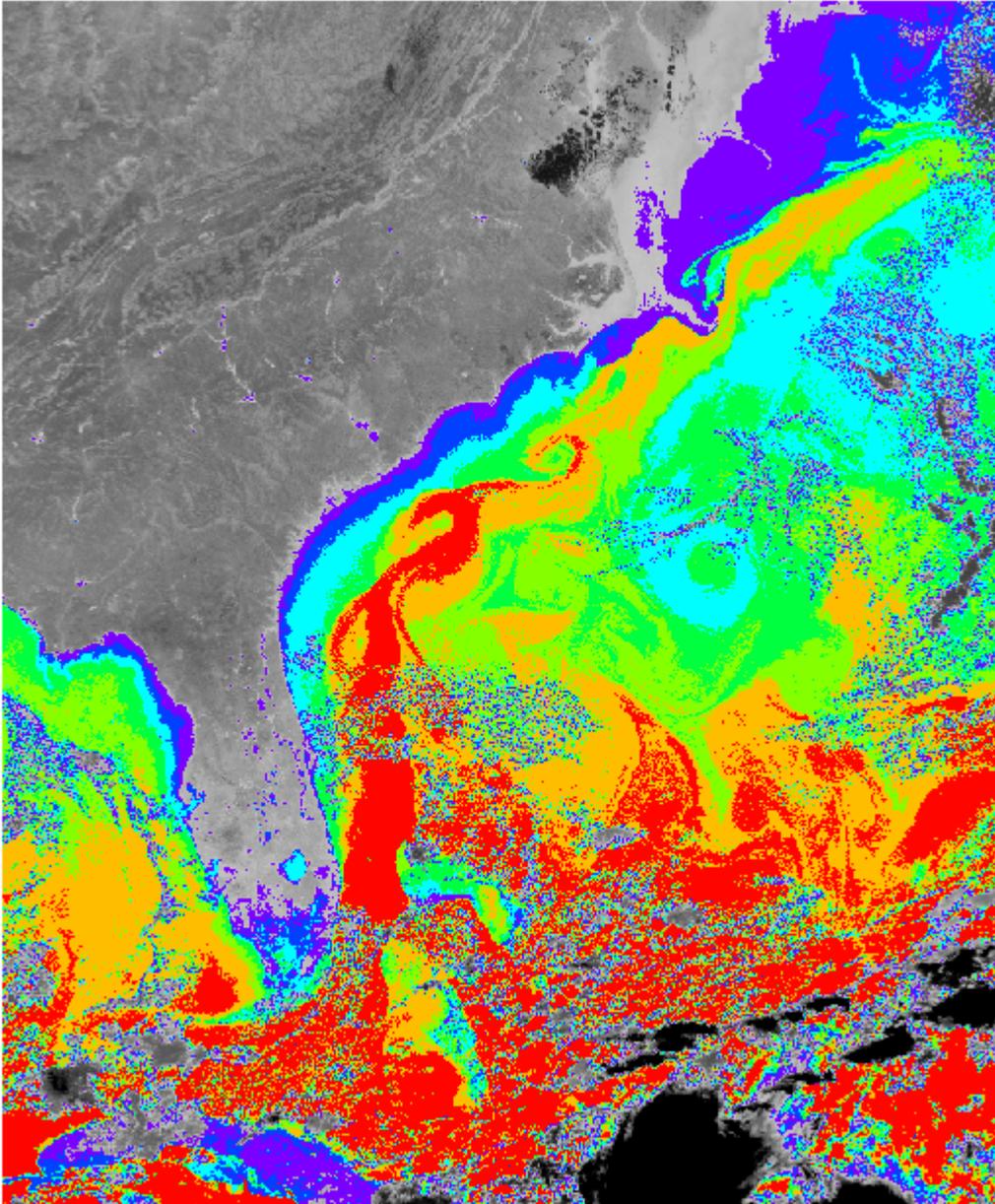
Fuente: Excelis / tutorial de ENVI vr. 5.0

Figura 27. Número de clases y rangos de clases del histograma SEcoast (banda SST) con valor mínimo de 20.

La figura 33 muestra cómo el valor mínimo del histograma de la banda SST de la imagen SEcoast, comienza ahora con 20, que como anteriormente habíamos citado, es el valor mínimo encontrado en la superficie oceánica. En este caso realizamos siete tipos de clases; sin embargo, el número de clases radica en el

interés del autor en clasificar o resaltar algún objeto en específico dentro de la imagen.

Posteriormente, después de la agrupación de píxeles, llegamos al resultado de la imagen en la figura 34. Los tonos en grises representa la corteza terrestre, los píxeles en negro reflejan datos negativos correspondiente a las nubes, y por último la superficie del océano es representado en siete tipos de colores o clases.



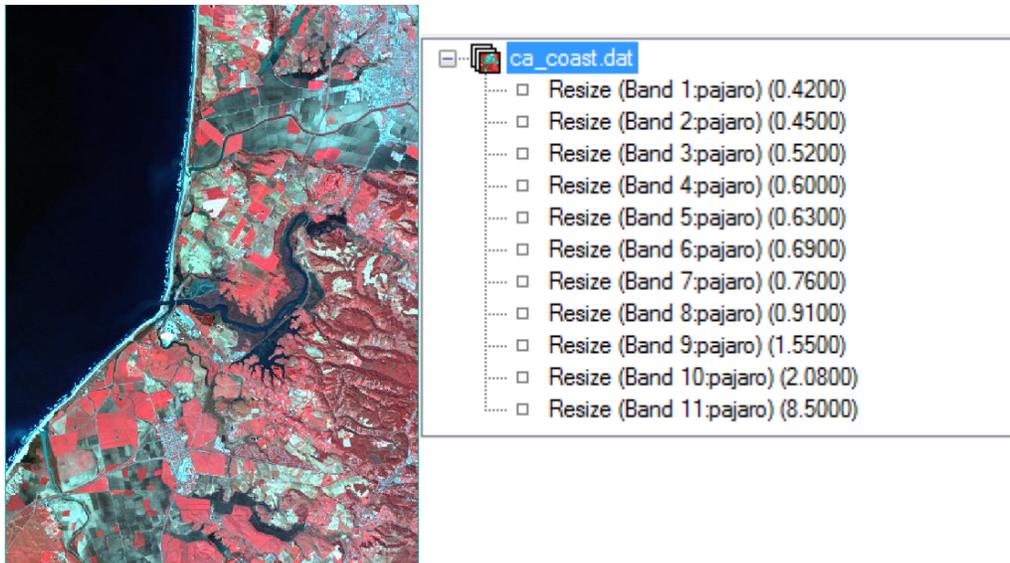
Fuente: Excelis / tutorial de ENVI vr. 5.0

Figura 28. Imágen SEcoast banda SST con 7 rangos de clase.

3.3.1 Clasificación No Supervisada. ROIs

En la clasificación *no* supervisada, a diferencia de la supervisada, no contamos con conocimiento a priori, por lo que tendremos un área de entrenamiento disponible (ROI) para la tarea de clasificación. La clasificación no supervisada suele ser llamada también *clustering*. En este tipo de clasificación contamos con “objetos” o muestras que tiene un conjunto de características, de las que no sabemos a qué clase o categoría pertenece; entonces la finalidad es el descubrimiento de grupos de “objetos” cuyas características afines nos permitan separar las diferentes clases. Las Regiones de Interés, también conocidas por sus siglas en inglés, (ROIs) son usadas generalmente como herramientas de clasificación y pueden ser generadas de numerosas fuentes. Para esta cuestión, utilizamos el apuntador de la computadora manualmente dentro de una imagen y dentro de una gráfica de Dispersión 2D.

Es posible clasificar una imagen si conocemos el material de la superficie, áreas referidas como *áreas de entrenamiento para clasificación*. Frecuentemente no hay información disponible que ayude a determinar apropiadamente dichas áreas.

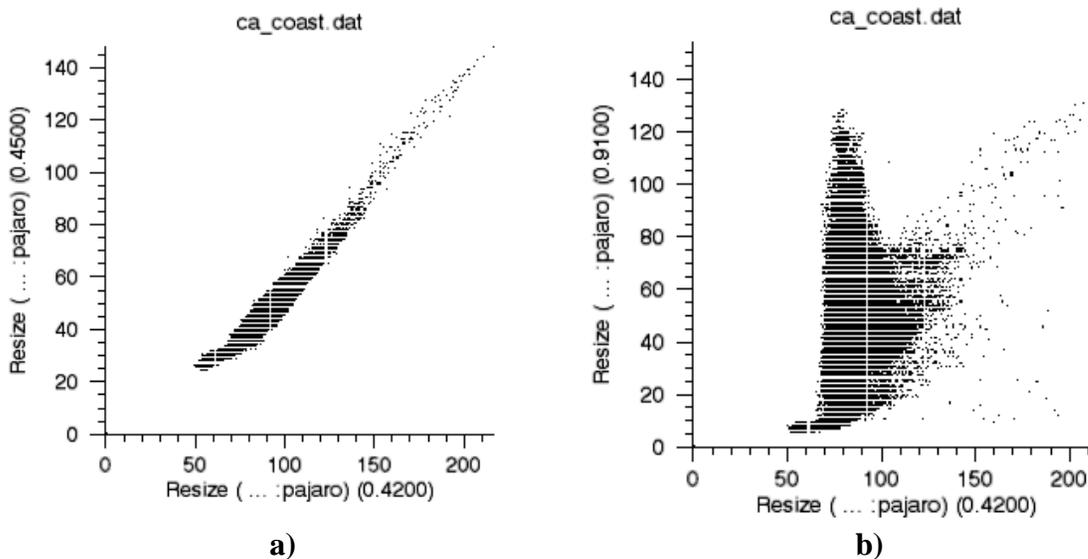


Fuente: Elaboración propia

Figura 29. A la izquierda, Imagen TSM en infrarrojo parte de la costa de California, EE.UU; a la derecha, número de bandas y sus respectivas longitud de onda en micras.

La figura 35 se despliega en infrarrojo (CIR), así podemos resaltar la vegetación en color rojo; del lado derecho de la imagen se muestran el número de bandas así como su respectiva longitud de onda. Con ayuda de una gráfica de dispersión se puede visualizar la distribución espacial de los píxeles.

Si bien las bandas adyacentes son generalmente correlacionadas porque tienen longitudes de onda similares (ver banda 1 y 2); si realizamos la gráfica de dispersión de dichas bandas se produciría una gráfica donde la nube de datos (píxeles) se asemeja a una línea con una pendiente de 45 grados (ver figura 37a). Para evitar esta situación, elegimos bandas de longitudes de onda muy diferentes (figura 31 b).



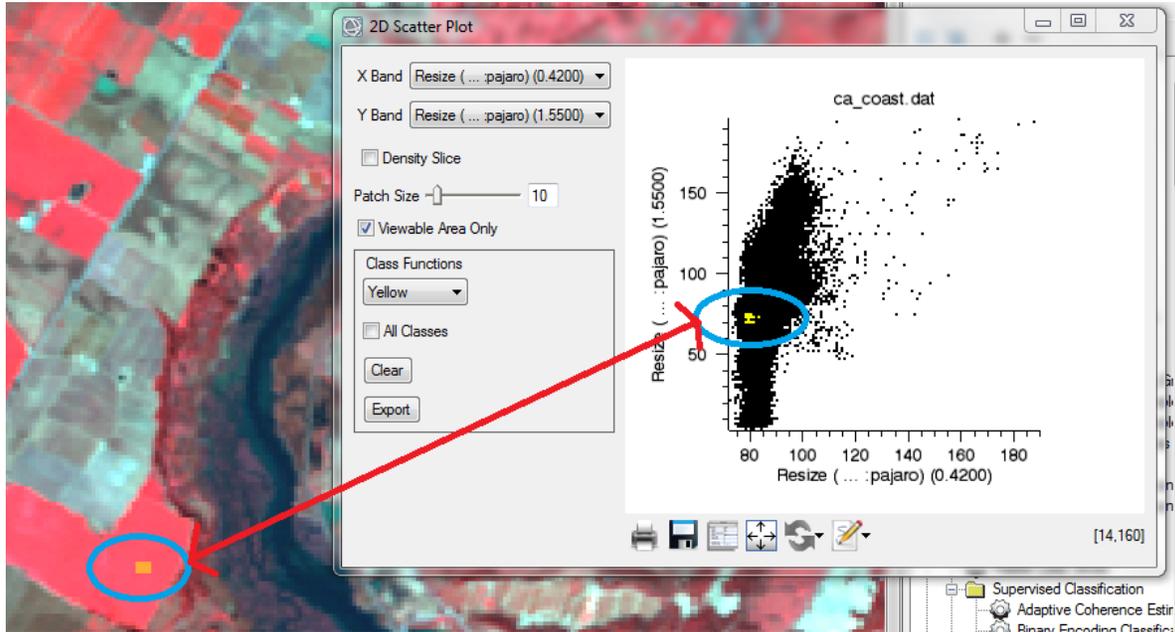
Fuente: Elaboración propia

Figura 30. a) Gráfica de dispersión de bandas adyacentes; b) Gráfica de dispersión de bandas con longitudes de onda muy diferentes

Como podemos apreciar en las gráficas (figura 31), el eje de las abscisas (X) corresponde a la banda 1, mientras que el eje de las ordenadas (Y) refiere a la banda 9. La nube de puntos en la gráfica representa todos los píxeles de la escena de la figura 36.

Ciertas áreas de puntos corresponden a áreas bien definidas o particulares del terreno, aquí tomamos ventaja de esta información para definir interactivamente ROIs del diagrama de dispersión; es decir, agrupar mediante un polígono a mano

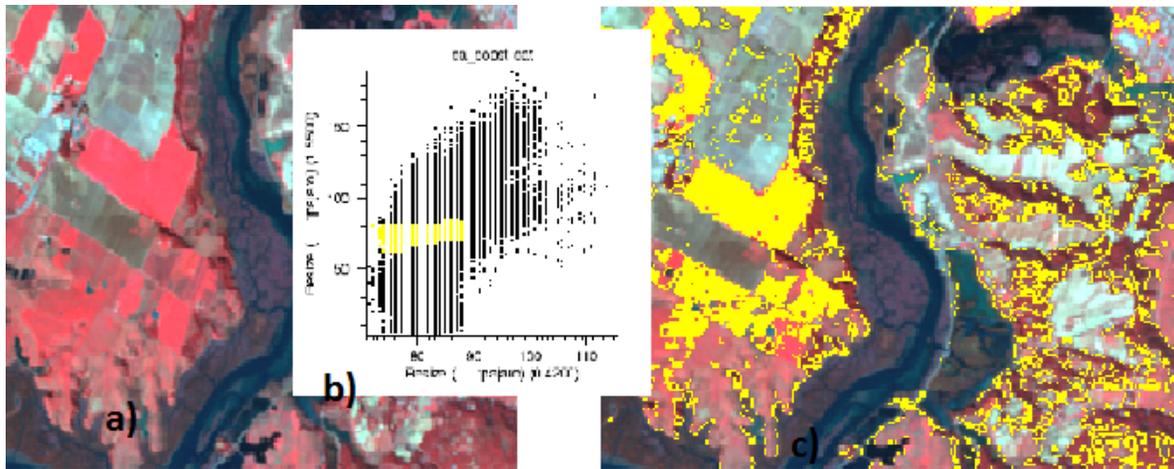
alzada dentro de la gráfica de dispersión (figura 33 c) el o los ROIs que sean de interés. Para este caso comenzamos identificando una zona de cultivo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Ubicación de los pixeles en la gráfica de dispersión, de la zona e interés o ROIs.

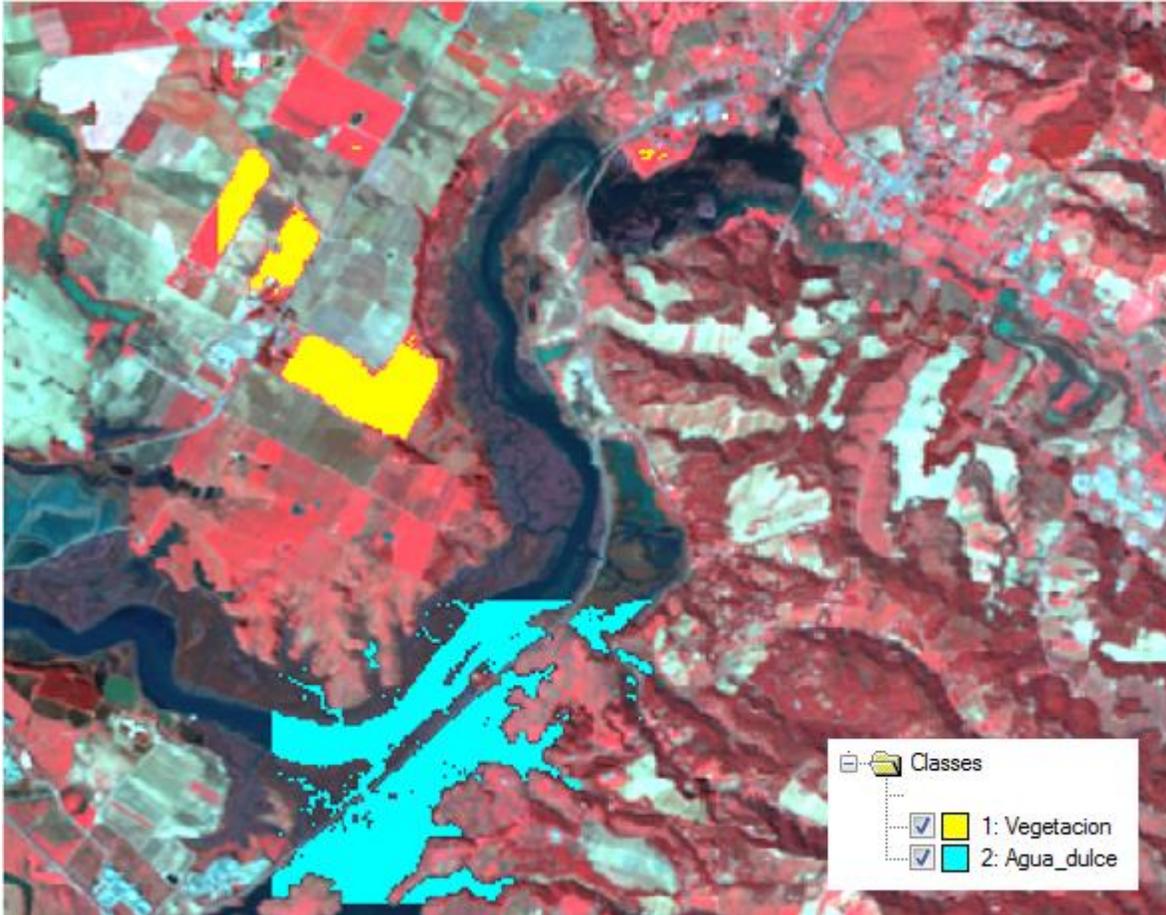
Cabe mencionar, como, citamos en párrafos anteriores, no conocemos a ciencia cierta qué tipo de cultivo o área verde se trata, solo identificamos las zonas con los mismo valores de brillantez relativa (valor digital del pixel).



Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Identificación de una zona de interés o ROI (a), a través del agrupamiento de puntos en una gráfica de dispersión (b), como resultado zonas de color amarillo (c).

Después de realizar varias pruebas, llegamos a un punto en que es posible agrupar satisfactoriamente los ROIs (ver figura 39); es decir, identificamos fehacientemente los píxeles del mismo grado de brillantez, para cada ROI; de tal manera que al aplicarlo en la escena completa, sólo seleccionamos píxeles bien definidos (agrupados) y no tener la dispersión como en la figura 38. Solo generamos dos ROIs: el primero en color amarillo representa un cultivo, el segundo en color cian obedece al agua del río.



Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Definición de ROIs. En amarillo aparece la vegetación y el color cian obedece al agua. Modificado de exelisvis/Tutorial.

3.3.2 Clasificación Supervisada

Este tipo de clasificación cuenta con un conocimiento a priori; es decir, para la tarea de clasificar un objeto dentro de una categoría o clase contamos con modelos ya clasificados (objetos agrupados que tienen características comunes). Podemos diferenciar dos fases dentro de este tipo de clasificación:

En la primera fase tenemos un conjunto de entrenamiento o de aprendizaje (para el diseño del clasificador) y otro llamado de test o de validación (para clasificación), estos nos servirán para construir un modelo o regla general para la clasificación. La segunda fase es el proceso en sí de clasificar los objetos o muestras de las que desconocemos la clase a las que pertenecen

La clasificación supervisada requiere la entrada de información de clase antes de la clasificación, por ejemplo de un ROI. La imagen “ca_coast” y los ROIs definidos en el ejercicio anterior son utilizados como datos de entrenamiento para las técnicas de clasificación supervisada.

Los métodos de clasificación supervisada tratados en esta investigación son *Mínima Distancia* (Minimum Distance), *Máxima Verosimilitud* (Maximum Likelihood). Además hacemos una comparativa con la herramienta automatizada de ENVI *feature extraction*.

Los algoritmos de clasificación difieren en los criterios utilizados para la definición de decisión de los límites. Los límites son utilizados para determinar qué píxeles son tan diferentes de todas las clases que deben ser considerados sin clasificar. ENVI calcula en primer lugar un conjunto de estadísticas para cada región o clase. Después, usando estas estadísticas y los límites definidos por el usuario (ROIs), ENVI recupera los valores espectrales para cada píxel de la imagen y determina su ubicación en el espacio de clasificación. A menudo, esto implica calcular y evaluar una medida de similitud para comparar cada píxel de las clases posibles.

3.3.2.1 Mínima istancia

La técnica utiliza, como su nombre lo indica, una distancia mínima de los vectores medios de cada “endmember” (grupo de píxeles con misma textura, brillo, espectro) y calcula la distancia euclidiana de cada píxel desconocido (píxeles límites o fronterizos) para el vector medio para cada clase. Todos los píxeles son

clasificados en la clase más cercana, a menos que especifiquemos un umbral de desviación o distancia estándar; en cuyo caso, algunos píxeles pueden ser clasificados si no cumplen con los criterios seleccionados.

$$D_i(x) = \sqrt{(x - m_i)^T (x - m_i)}$$

Donde:

D = distancia euclidiana

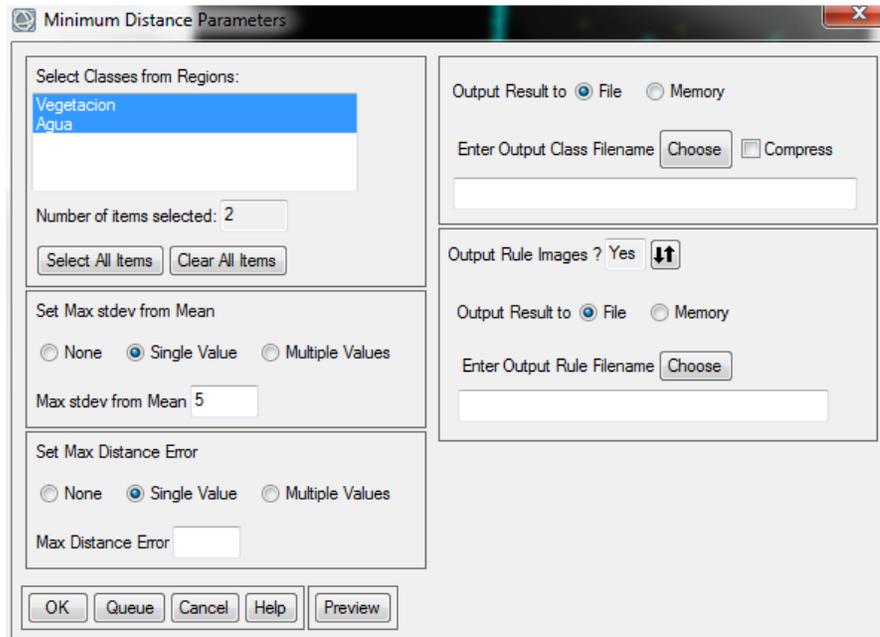
i = número de clase

x = datos n-dimensionales (donde n es el número de bandas)

m_i = media del vector de una clase

Primeramente anulamos la banda térmica (si es que el sensor utilizado la contiene), debido a que son valores de temperatura y no de longitud de onda. Tengamos en cuenta que es posible utilizar una máscara para excluir áreas que no serán usados.

Seleccionamos los ROIs creados a partir del gráfico de dispersión (vegetación y agua). A continuación, establecemos un umbral para algunos píxeles que no tienen ninguna clasificación, uno de los parámetros solicitado por el algoritmo de mínima distancia es: *Set Max stdev from Mean* con un valor de 5. Es decir, que la máxima distancia para clasificación a partir de la media de los ROIs sea con una desviación estándar de 5. Este valor fue elegido después de haber realizado varias iteraciones con y verificar que el valor de 5 generaba la mejor clasificación.

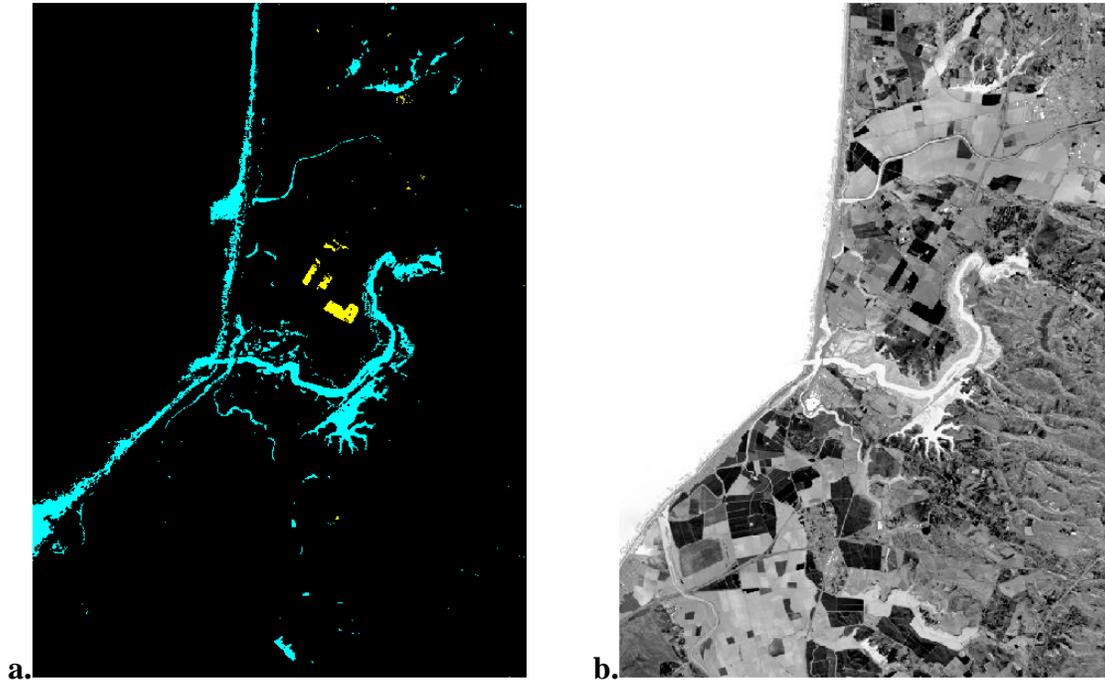


Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Generando Regla de Clasificación

El resultado de la clasificación aparece en la figura 35. La clasificación fue utilizada con un umbral ajustado para la mayoría de los píxeles sin clasificar (negro). Los valores de píxel para la clasificación de mínima distancia en imágenes son iguales a la distancia de la clase media.

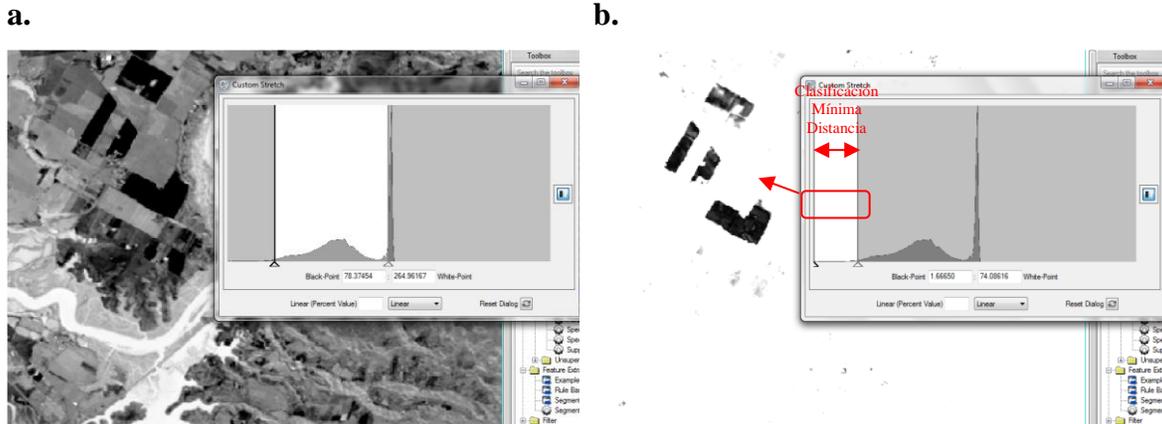
Para la clasificación de mínima distancia, las áreas más oscuras (figura 36b) son las mejores de esta categoría. Esto se debe a que los valores más pequeños corresponden a distancias más cortas que las *medias* de clase. La imagen desplegada en escala de grises (figura 36b) es llamada *Regla de clasificación*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. a. Aplicación de los ROIs en toda la escena, b. Resultado de regla de clasificación en escala de grises. Modificado de Exelisvis/ Tutorial

Cuando desplegamos el histograma de la regla de clasificación, podemos ver los límites inferior y superior establecidos a los valores dentro de las colas del histograma. Debido a que los valores más bajos son la mejor coincidencia, movemos con el curso dentro de la interfaz de la gráfica, el límite de la mano izquierda recorre todo el camino, hasta el lado izquierdo del histograma; es decir, al inicio del histograma. Después, establecemos el valor de la derecha a un valor en el lado izquierdo de la gráfica para hacer la mayor parte de la escena blanco. Cualquier área que tenga valores de gris es un partido potencial de su clase. Los lugares lógicos para poner el límite superior son picos del histograma o en un cambio brusco de pendiente histograma; esto, por lo general, se produce en la transición entre diferentes tipos de materiales.



Fuente: Elaboración propia

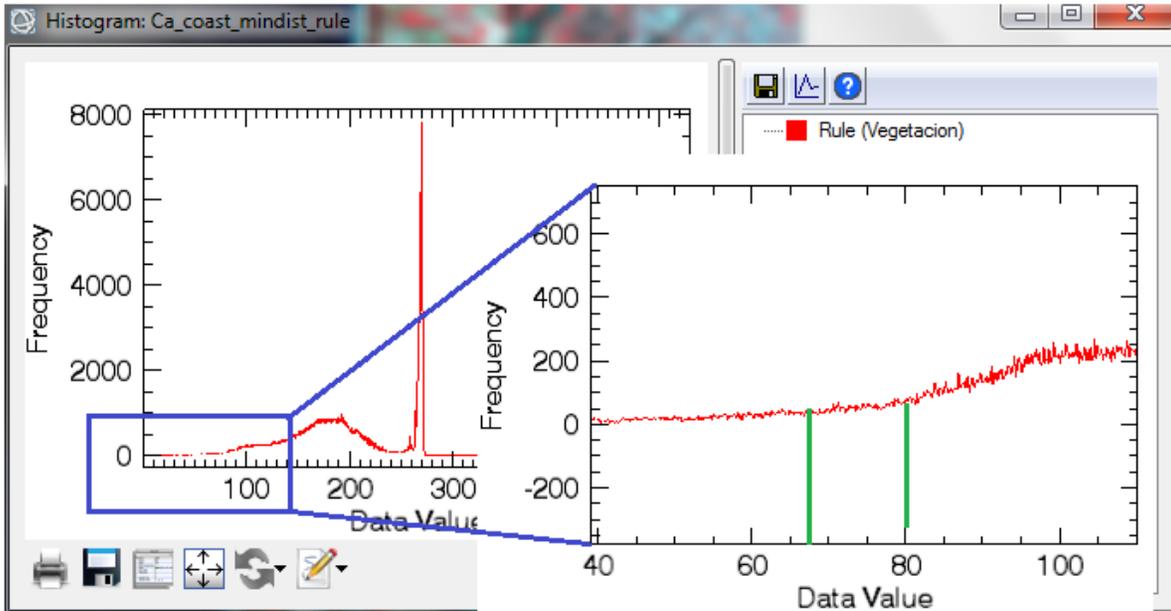
Figura 42. a. Histograma de toda la escena; b. Recorte del Histograma a los valores mínimos para un ROI.

A continuación, utilizamos la *Regla de Clasificación* para establecer diferentes umbrales para cada clase. La herramienta *Rule Classifier* (Clasificador de Regla) permite establecer los límites adecuados de inspección de los histogramas de las imágenes de la *Regla de Clasificación*.

Lo primero que debemos hacer en la herramienta *Rule Image Classifier* es establecer el mismo algoritmo con el que hemos trabajado, que es mínima distancia. Esto significa que los pequeños valores de los píxeles de las imágenes de reglas indican un mejor partido.

Visualizamos el histograma para las dos clases: vegetación y agua dulce, para cada uno de ellos establecemos un límite. Las cosas que debemos considerar para analizar el histograma y establecer un límite son la abundancia y variedad de las clases; es decir, materiales que son raros en la escena se encuentran en la cola del histograma, los materiales que son abundantes estarán representada por un pico.

ENVI presenta la opción de una visualización previa del umbral elegido, así el resultado es guardado en la memoria y no como un archivo generado.



Fuente: Elaboración propia

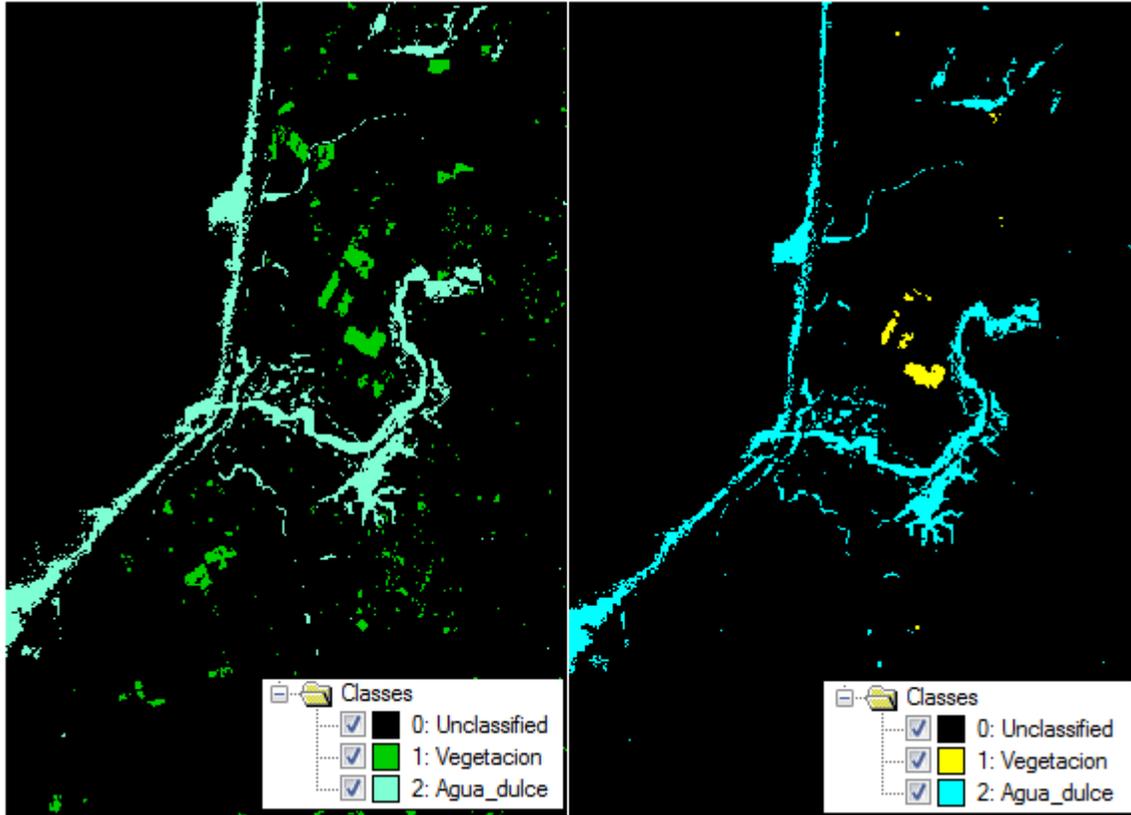
Figura 436. Histograma de Vegetación para seleccionar el umbral que mejor realiza la misma.

La figura 43 ilustra el histograma correspondiente a la clase vegetación, a la izquierda observamos los picos y las colas de todo el histograma. Si recordamos que los valores pequeños son los que mejor representan el material en estudio, podemos decir que el mejor umbral para la clase vegetación se localiza entre 65 y 80, debido a que es en esta zona donde aparecen los primeros cambios de pendiente.

Una vez definidos los umbrales para todas las clases, aplicamos a la escena entera, por medio del algoritmo de *mínima distancia* y el resultado aparece del lado izquierdo de la figura 44.

Posteriormente, convertimos los pixeles clasificados para todas las clases, en vectores con atributos; como observamos en la figura 45. Estos vectores como resultado de la clasificación supervisada se encuentran georreferenciados y con atributos. Listos para generar más información, dependiendo de los objetivos, a

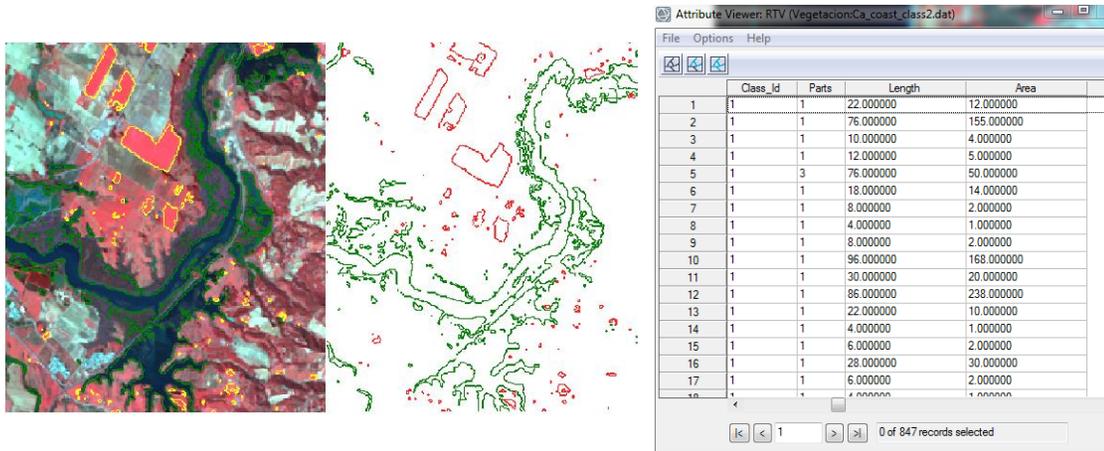
partir del objetivo de su creación. Cabe mencionar que los vectores generados pueden ser gestionados en cualquier software de SIG.



Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Clasificación Supervisada Mínima Distancia: lado izquierdo con umbrales personalizados, lado derecho mismo umbral para las clases.

Diferencia entre un umbral de 5 y un umbral personalizado de esta clasificación establece a menudo distribuciones de datos muy diferentes, y el uso de un umbral único para todas las clases conduce a resultados que no son tan exactos como podrían ser.



Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Generación de vectores con atributos a partir de la clasificación supervisada.

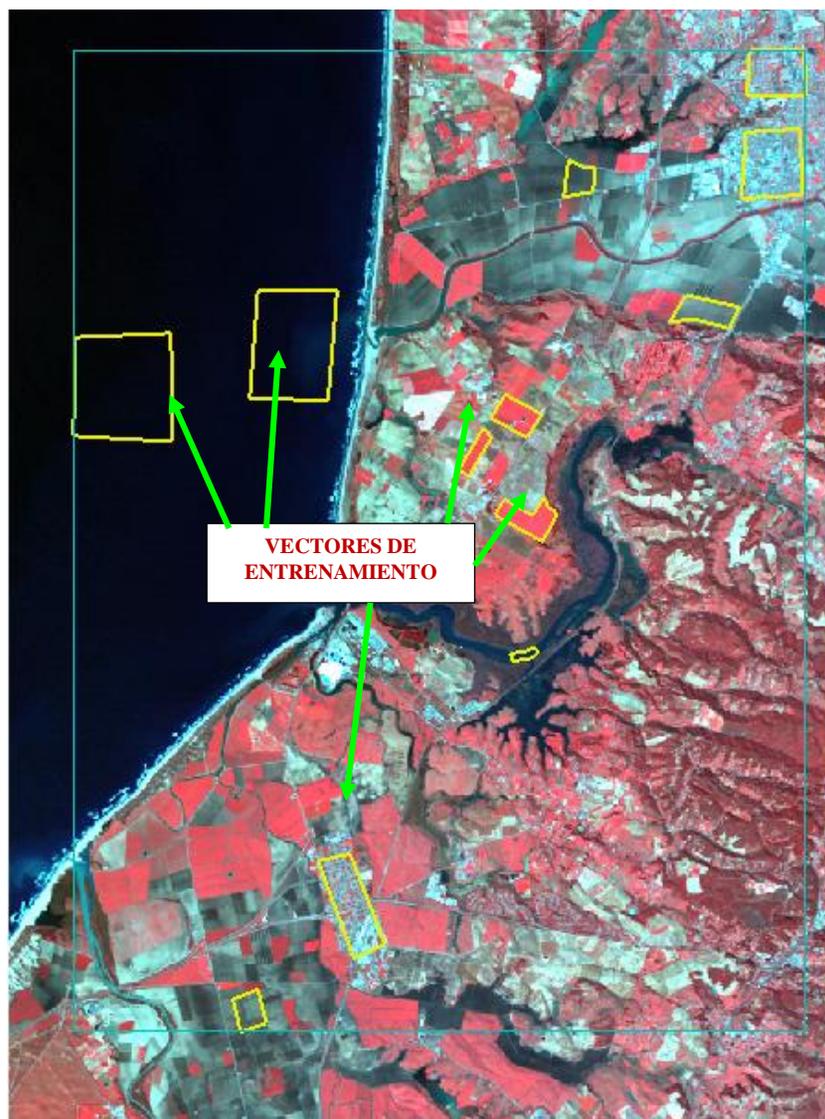
3.3.2.2 Máxima verosimilitud

El clasificador de máxima verosimilitud usa la distribución de datos dentro de cada uno de los ROI, para calcular n-D funciones de probabilidad en cada una de las clases. Cada pixel es asignado a la clase para la cual la mayor probabilidad es calculada. Este tipo de clasificación refleja mejores resultados cuando los datos tienen comportamiento de una distribución normal.

$$g_i(x) = \ln p(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - m_i)$$

Dónde:

- i = número de clase
- x = datos n-dimensionales (donde n es el número de bandas)
- p(ω_i) = probabilidad de que una clase ocurra en la imagen y se asume la misma para todas las clases
- |\Sigma_i| = determinación de la matriz de covarianza de los datos en una clase
- \Sigma_i⁻¹ = la inversa de la matriz de covarianza de una clase
- m_i = media del vector de una clase



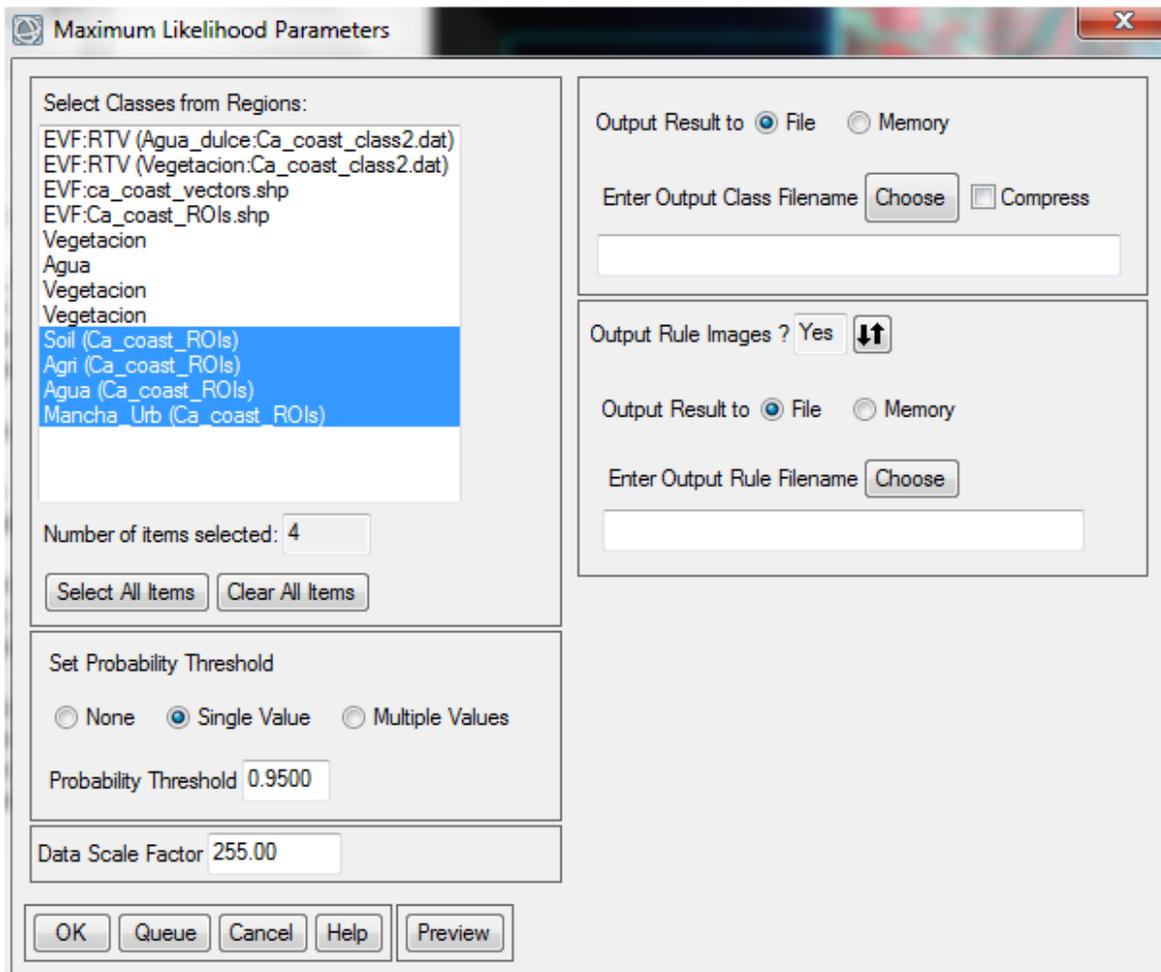
Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Generación de vectores de entrenamiento.

Iniciamos creando vectores de entrenamiento sobre la imagen como muestra la figura de arriba. Estos vectores de entrenamiento también son ROIs, la diferencia radica en que elegimos los ROIs directamente sobre la imagen a través de vectores (polígonos) y no sobre un gráfico de dispersión.

Para este caso, dibujamos polígonos de vectores en áreas de suelo desnudo, campos desnudos, material urbano, marino, ríos, humedales y matorrales nativos. Para este tipo de clasificación elegimos cuatro clases, las cuales

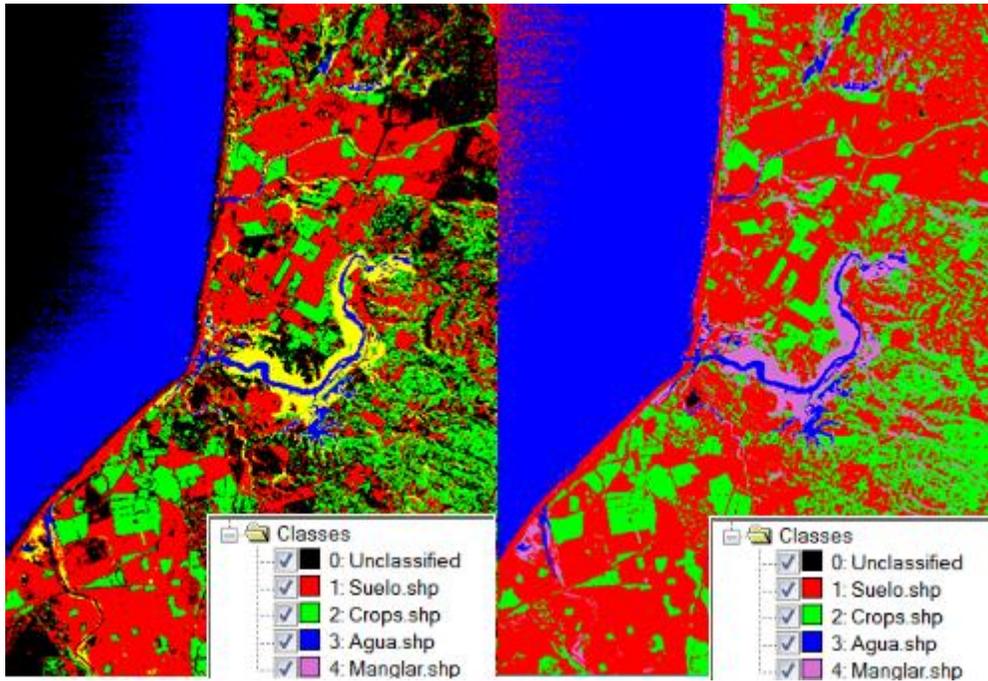
representan suelo, manglares, agua (ríos, mares) y mancha urbana. Cabe señalar que sólo debemos incluir un material de por clase, y también asegurarnos de elegir los sitios de entrenamiento suficientes para representar a la diversidad de cada clase



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Generando el algoritmo de clasificación supervisada máxima verosimilitud. Modificado de Exelisvis/Tutorial.

Al igual que el método de clasificación de mínima distancia, primeramente generamos una clasificación con el mismo umbral de probabilidad para todas las clases. Posteriormente, realizamos otra clasificación; pero ahora con umbrales personalizados.



Fuente: Elaboración propia

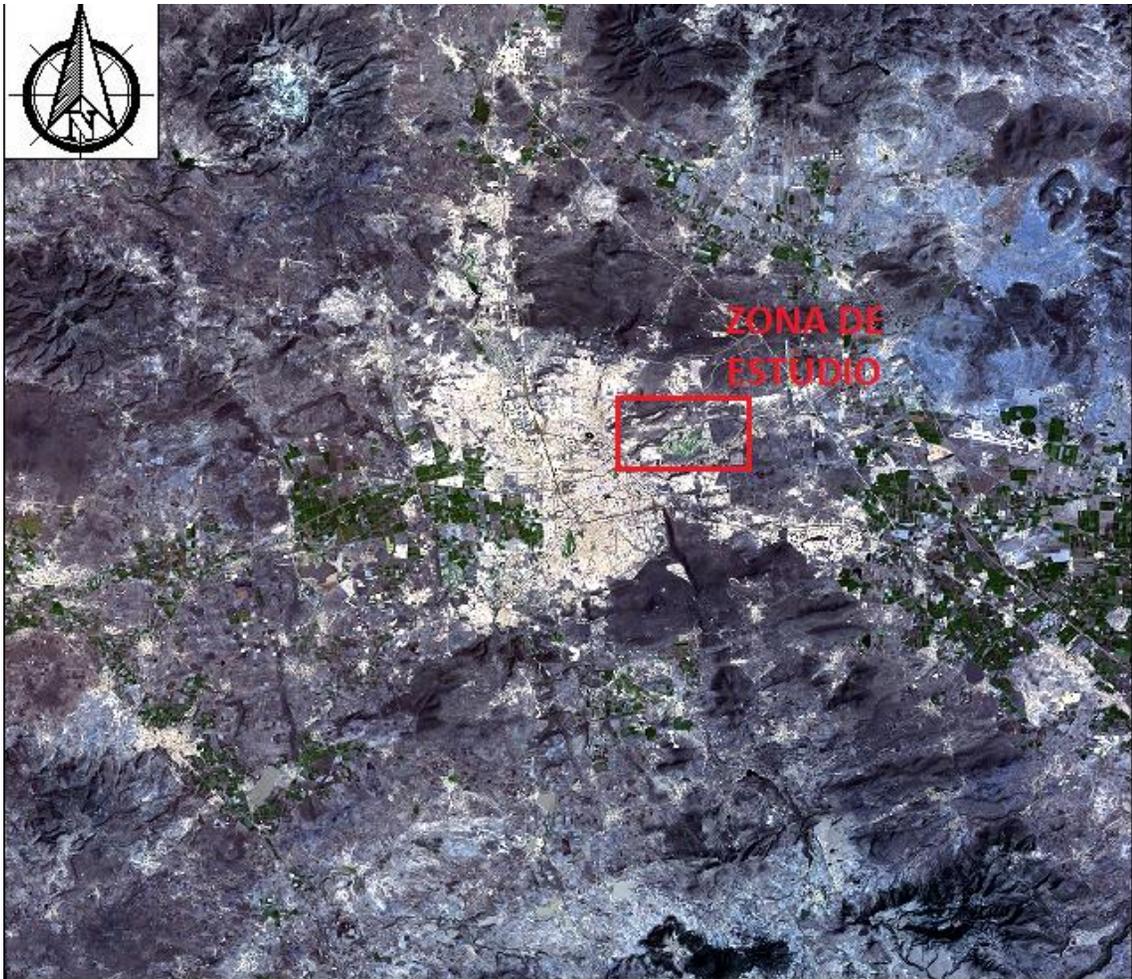
Figura 41. Clasificación Máxima verosimilitud; a la izquierda mismo umbral, a la derecha umbrales personalizados. Modificado de Exelisvis/Tutorial.

En la figura 48 introdujimos un valor umbral de probabilidad de 0,95 para todas las clases. Esto significa que si la probabilidad más alta calculada para todas las clases para un píxel dado es menor que 0,95, entonces el píxel permanecerá sin clasificar.

Después, con el histograma de cada clase, elegimos el mejor umbral que representa dicha clase. Una vez más, los valores de píxeles en las imágenes de reglas representan un píxel en particular y coincide con una clase. Los lugares lógicos para poner umbrales son entre picos del histograma o en un cambio brusco de pendiente del histograma que por lo general se producen en la transición entre diferentes tipos de materiales.

3.3.2.3 Clasificación Supervisada del Terreno

A continuación, utilizamos el asistente TERCAT de ENVI para aplicarlo al caso en estudio; es decir, a la carretera estatal No. 200. Para ello utilizamos la imagen multiespectral SPOT 6 de la ZMQ. Como lo muestra la figura 49. La categorización del terreno (TERCAT) es herramienta que crea un producto de salida donde los píxeles con propiedades espectrales similares son agrupados en clases. Estas clases las definiremos más adelante, pero pueden ser generados automáticamente por el algoritmo de clasificación. En términos generales, esta herramienta de ENVI proporciona de manera más versátil todos los métodos de clasificación supervisada y no supervisada, más utilizados por profesionales en la materia, incluidos entre ellos los vistos en capítulos anteriores.



Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Imagen SPOT 6 de la ciudad de Querétaro.

La figura 50 refleja la máxima resolución espacial del sensor SPOT6 en multiespectral; es decir, es el máximo zoom de la imagen antes de que se “píxeleé”. Mostrando en esta ocasión la carretera estatal No. 200.



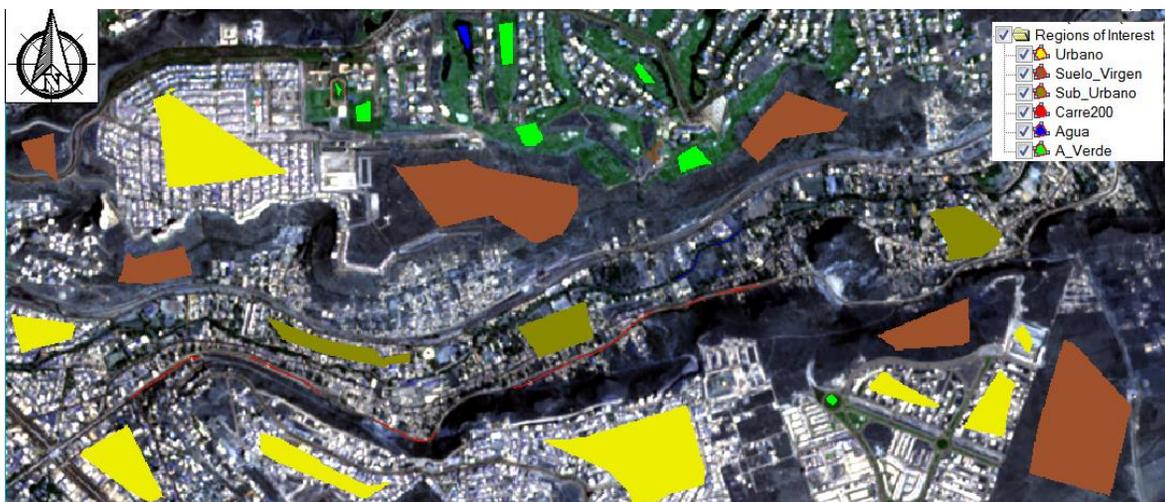
Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Imagen SPOT 6 carretera estatal No. 200. Elaboración propia.

Adicionalmente a los métodos de clasificación supervisada que ya hemos visto (*Maximum Likelihood* y *Minimum Distance*), también usaremos el método de clasificación supervisada *Spectral Angle Mapper*, Como ya es sabido, es un método de clasificación espectral de base física que utiliza un ángulo n-D (donde n representa el número de bandas que se utilizan en la clasificación) para hacer coincidir éste dato con los datos de las áreas de entrenamiento (ROI's) y así asignar una clasificación.

Posteriormente, procedemos a generar las zonas de interés o de entrenamiento para la zona de estudio. En la figura 51, podemos observar cómo se generó la caracterización de la zona, de acuerdo con los tipos y usos de suelo observados.

Encerrados en polígonos, representamos al uso de suelo urbano en color amarillo; el color siena simboliza el suelo virgen; el color café oscuro personifica a colonias muy viejas, que para este caso las llamamos suburbano; el color azul significa los cuerpos de agua y por último en polígono se encama de color verde propiamente a la vegetación o área verde, como la llamamos comúnmente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 51. Zonas de entrenamiento (ROI's) de la zona en estudio.

Por otro lado, para el caso de la carretera estatal No. 200, realizamos la zona de entrenamiento por medio de una poli línea, si recordamos las características técnicas del sensor SPOT 6, visto en el capítulo 2.4.2; la resolución espacial de la imagen multiespectral es de 6m, por lo que casi un pixel representaría el ancho de calzada de la carretera.

De esta manera, observamos -en la imagen de arriba- una poli línea en color rojo que representa el ancho de calzada de la carretera estatal No. 200. Adicionalmente, generamos otra poli línea representando un arroyo. Dicho arroyo

termina convirtiéndose en el Río Querétaro, el cual atraviesa al municipio con el mismo nombre.



Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Acercamiento a la imagen SPOT 6, para catalogar a la carretera estatal No. 200

En la imagen de arriba podemos apreciar la poli línea de entrenamiento y como la resolución espacial de la imagen SPOT6 multiespectral, 6m x pixel, es difícil a simple vista clasificar la carretera; por consecuencia, no esperamos un resultado favorable.

3.4 Clasificación por Objetos

Técnica que consiste en detectar objetos según su forma, color, textura y luminosidad; en esta técnica empleamos una herramienta de ENVI llamada *Feature Extraction*, éste algoritmo realiza una clasificación basada en objetos o también llamados segmentos. Un objeto o segmento lo podemos definir como un grupo de píxeles con atributos espaciales, espectrales y de textura similares. Realidad contraria con los métodos de clasificación supervisada vistos en capítulos anteriores donde las propiedades espectrales son las utilizadas para clasificar la imagen.

El módulo de extracción de información obtiene los polígonos que representan tejados, techos, traspacios, cocheras etc. de los predios invasores del derecho de vía, de la carretera estatal No. 200 en su tramo del Km 2+000 al Km 8+160. Dichos polígonos son extraídos de la segmentación hecha con el algoritmo *Feature Extracción* en una imagen SPOT 6 pancromática de la ZMQ. Más adelante, aunado con los resultados de clasificación supervisada, obtendremos el área de invasión al derecho de vía.

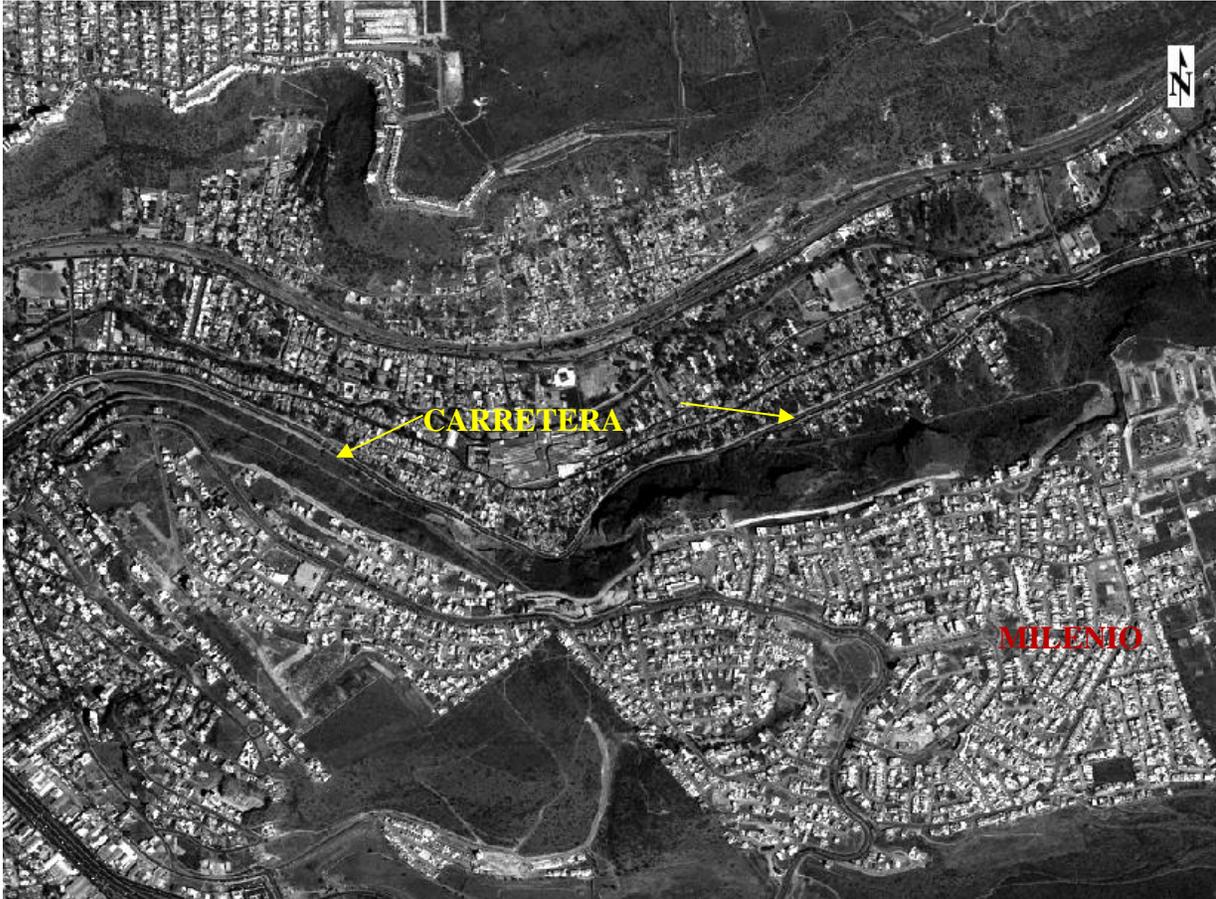
Debido a que la resolución espacial en pancromático (1.5m por pixel) es mucho mayor que en multiespectral (6m por pixel) del sensor SPOT 6, elegimos la primera para realizar esta tarea; ya que, por obvias razones, esperamos mejores resultados de clasificación por objetos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Imagen SPOT 6 en pancromático de la ZMQ.

Comenzamos con un subconjunto de la figura 53, de la zona de estudio; es decir, recortamos la imagen pancromática de la ZMQ al área de interés, pero respetando sus propiedades intrínsecas, con el propósito de optimizar tiempo y trabajo en el procesamiento de la imagen. El resultado aparece en la figura 54.

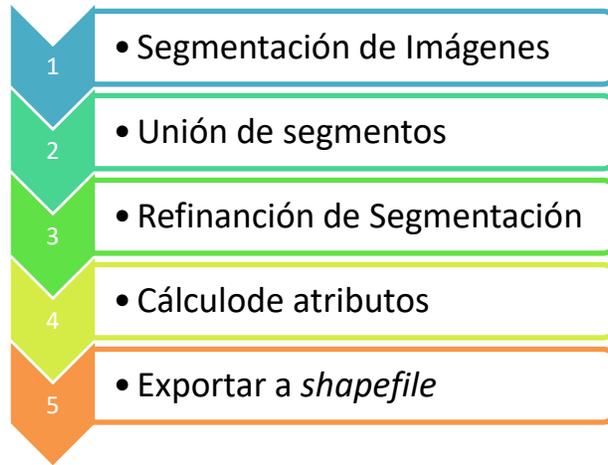


Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Subconjunto espacial de la imagen SPOT 6 pancromática, de la zona de estudio.

3.4.1 Algoritmo de Segmentación (Feature Extracción)

Debido a que *Feature Extraction* es una rutina preestablecida, de alguna manera es muy sencillo obtener los objetos deseados; de tal manera que el mayor tiempo invertido será en la interpretación de los resultados y no tanto en la forma de obtenerlos. A continuación, presentamos de manera resumida, el flujo de trabajo de éste algoritmo que remite en primero plano, encontrar los objetos y extraer las características y posteriormente hacer una clasificación, si así se desea.



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9. Metodología Feature Extraction.

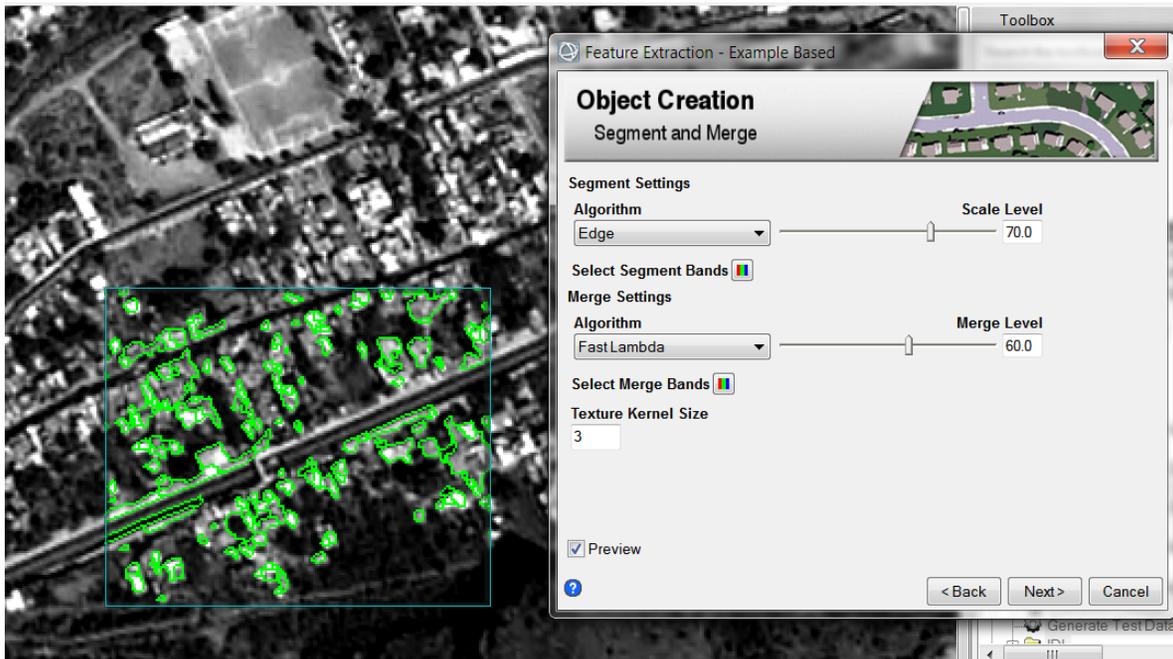


Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Imagen pancromática SPOT 6 de la ZMQ en máxima resolución espacial.

En la figura 55, podemos apreciar la zona de estudio a máxima resolución espacial pancromática. En esta imagen vemos cómo aparecen más detalles -o más definidos- que la imagen en multiespectral.

Comenzamos generando la segmentación, para ello hay que cargar la herramienta *Feature Extraction* y seleccionar la imagen con la que vamos a trabajar (subconjunto figura 56). Cabe mencionar que como se está trabajando con una imagen de una sola banda espectral; previo a la segmentación, elegimos un contraste lineal del 5%; esto para resaltar de mejor manera los brillos de los pixeles oscuros, que por lo general recaen en la vegetación y cuerpos de agua en estos últimos.



Fuente: Elaboración propia

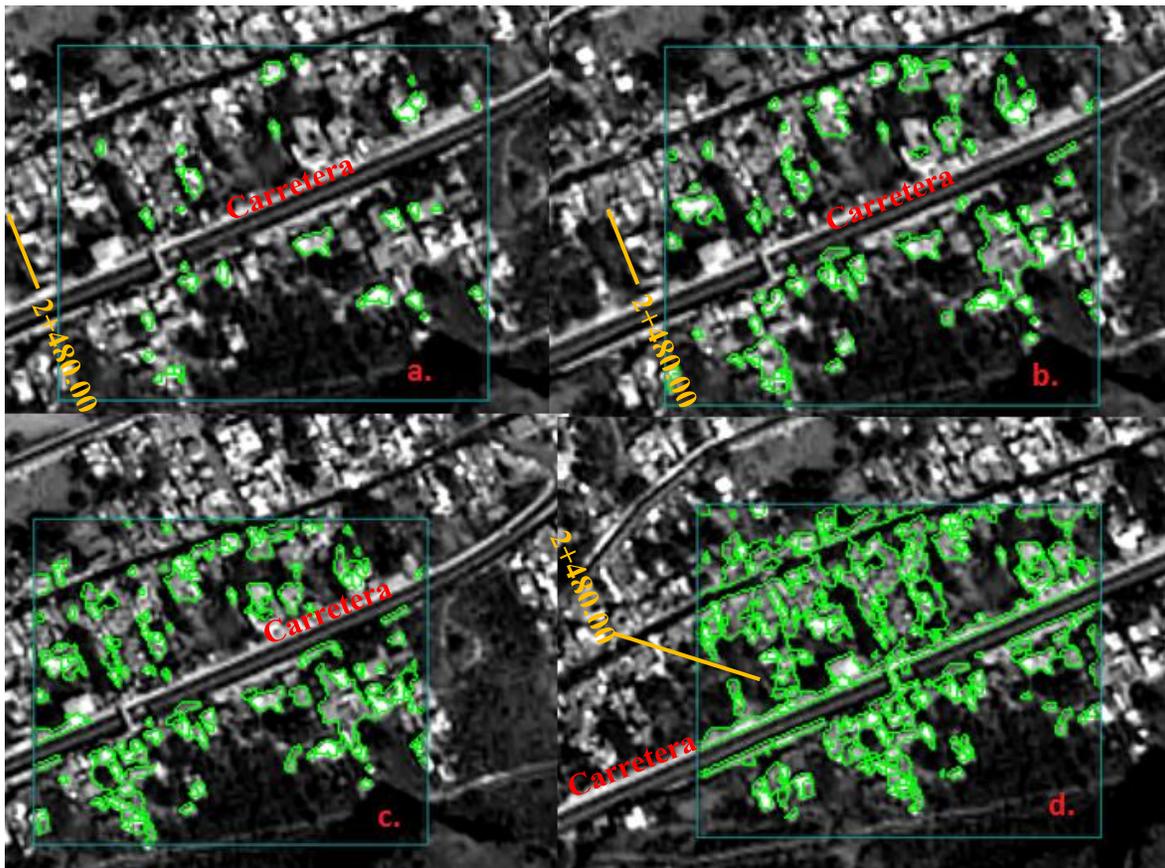
Figura 44. Feature Extraction subconjunto espacial imagen SPOT 6 de la ZMQ. Elaboración propia.

En la imagen 56, dentro del recuadro azul, podemos apreciar de color verde una segmentación inicial, donde se encierra en polígonos a un grupo de pixeles con una misma relativa intensidad de brillo, y que además pueden tener una misma textura. Del lado derecho de la imagen, observamos la ventana de trabajo de esta herramienta (*Feature Extraction*); debemos cambiar los valores de “Scale Level” y “Merge Level” hasta obtener una segmentación satisfactoria.

La elección de un nivel alto de escala (Scale Level) provoca que menos segmentos puedan ser definidos, y la elección de un nivel bajo de escala provoca

que más segmentos sean definidos. Lo ideal es optar por un nivel de escala equilibrado que cumpla con los objetivos del estudio en que se perfilan los límites de los objetos de interés, lo mejor posible. Una buena segmentación garantiza que los resultados de clasificación sean más precisos. Si colocamos un nivel de escala demasiado alto, los límites entre segmentos no serán delineados correctamente y se perderán las características de interés.

Debemos asegurar que los objetos de interés no estén agrupados en segmentos representados por otros objetos que no son de nuestro interés. También se debe asegurar que una característica de interés no se divide en muchos segmentos pequeños; es decir, una sobre segmentación, que por lo general es el resultado de un nivel bajo de escala. Si no podemos evitar este problema en el paso de la segmentación, entonces pasamos a variar el nivel de fusión (Merge Level) para mejorar la delineación y refinar los límites de los objetos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Variación del parámetro “Scale Level” y “Merge Level” Feature Extraction.

En la figura 57 **a** comenzamos con un nivel de escala de 90 y podemos ver cómo pequeños segmentos son generados, son los grupos de píxeles con más brillo y representan construcciones reales. En figura 57 **b** bajamos el nivel de escala a 80 y como especificamos en párrafos anteriores se aumenta un poco el nivel de segmentos en la imagen; no obstante, el nivel de segmentación, no es suficiente para englobar todos o la mayoría de las construcciones existentes en ese tramo, es importante observar que aquí todavía no se segmenta alguna clase de vegetación como pueden ser árboles o jardines. En figura 57 **c** tenemos un nivel de escala de 70, dentro del recuadro azul con polígonos de color verde podemos apreciar que prácticamente todas las construcciones son encerradas en un polígono; sin embargo, también es posible distinguir algunos pequeños polígonos que representan vegetación, patios con suelo de terreno natural o jardines. En la figura 57 **d** llegamos a un nivel de escala de 60; en este punto podríamos decir que tenemos un nivel incipiente de sobre-segmentación, a razón de que algunos polígonos que en escalas anteriores representaban una sola construcción ahora se divide en dos polígonos más pequeños; además, observamos cómo se existe un aumento de polígonos de vegetación. Aquí podríamos decir que nuestro nivel de escala estaría en un rango entre 60 y 70; para nuestro caso dejamos un nivel de escala de 70, ahora pasamos a definir el nivel de fusión (Merge Level) para refinar nuestros resultados, realizamos el mismo ejercicio pasado y dejamos un nivel de fusión de 60.



Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Definición de la segmentación, Elaboración propia

4 Resultados

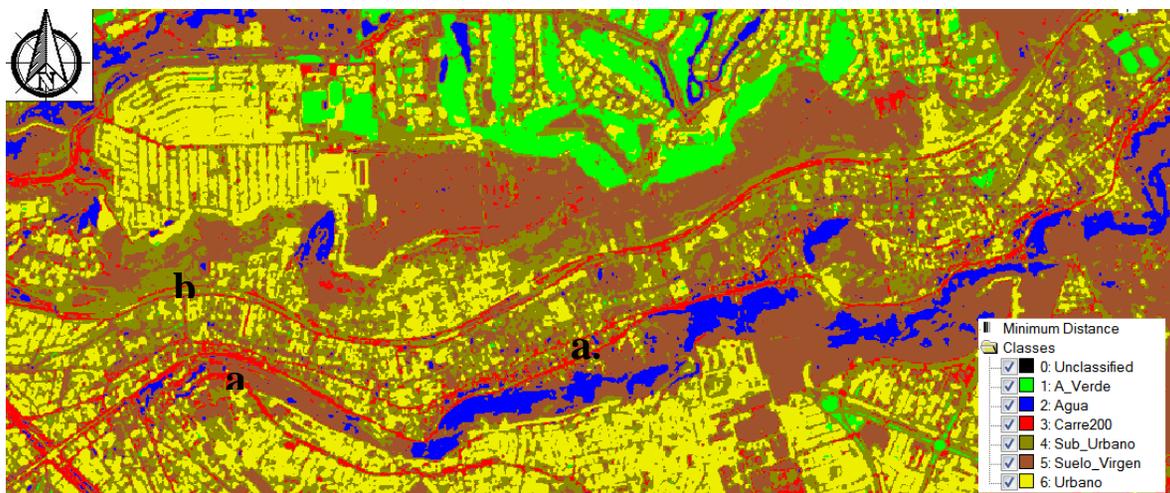
4.1 Comparativa de clasificación supervisada SPOT 6

En estudios previos han sido evaluadas distintas alternativas de aplicación de la Teledetección al sector transporte en el país, pero en esta investigación, presentamos este método que es más robusto y preciso que los métodos convencionales; debido a que utiliza más variables y tecnología de vanguardia en su desarrollo.



Fuente: Elaboración propia

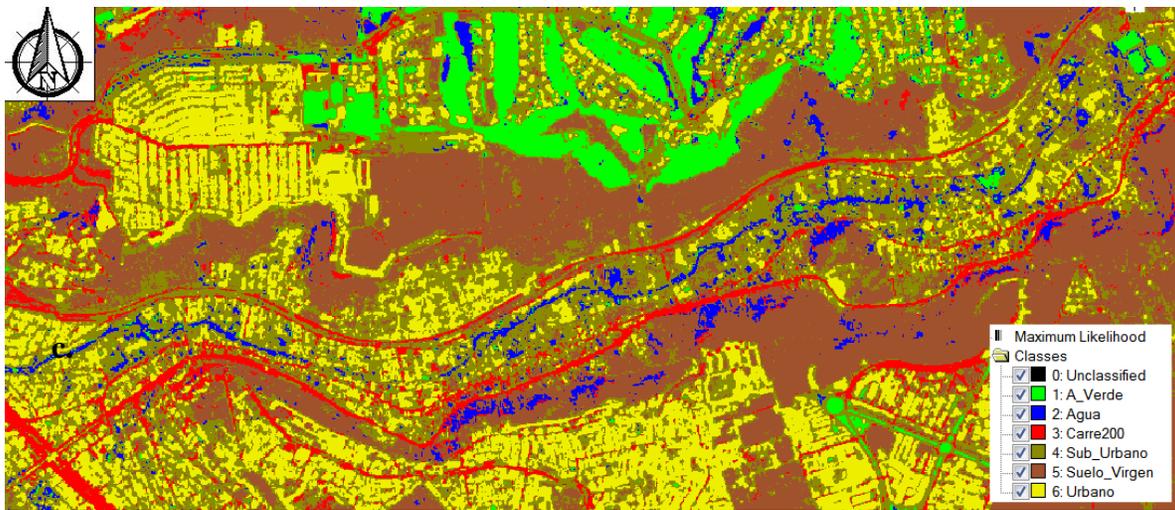
Figura 47. Imagen multispectral SPOT 6 carretera estatal No. 200 (en rojo).



Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Clasificación Supervisada “Mínima Distancia” imagen SPOT 6 ZMQ.

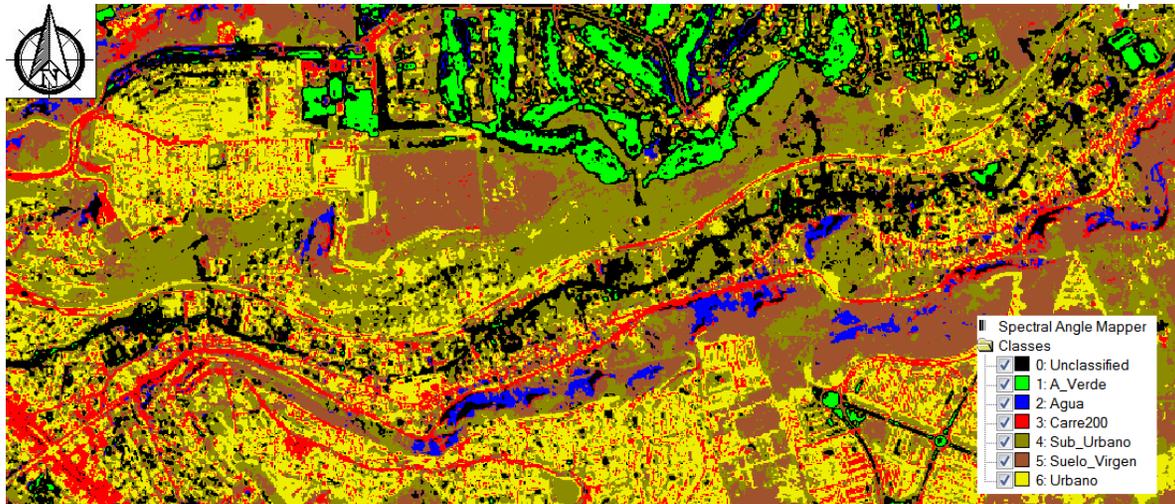
El resultado de mínima distancia se puede ver reflejado en la figura 60; en primera instancia muestra zonas en color azul debajo de la carretera (a) que estaría representando los cuerpos de agua, lo cual es falso, pues al ver la figura 6 corresponde a laderas naturales con muy escasa vegetación; es decir, terreno natural. Por otro lado, logramos ver discontinuidades en la clasificación de la carretera (b). Las demás zonas de clasificación de alguna manera corresponden a lo representado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Clasificación Supervisada “Máxima Verosimilitud” imagen SPOT 6 ZMQ. Elaboración propia

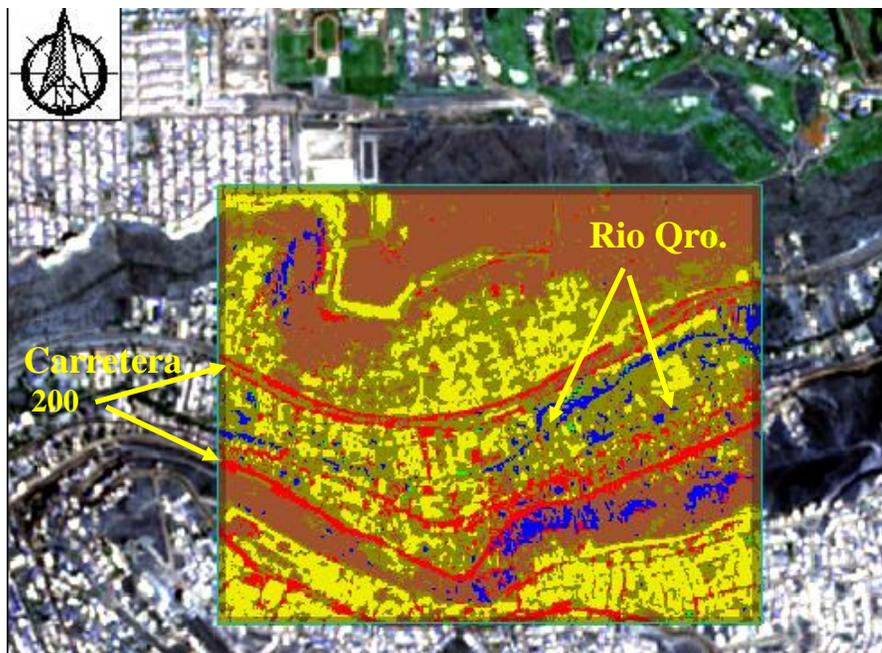
En la figura 61 podemos observar el resultado de clasificación supervisada para el método de máxima verosimilitud; en nuestra consideración, por las propiedades técnicas de la imagen, este método es el que mejor resultado presenta. Podemos distinguir, para la carretera 200, una clasificación más consistente; prácticamente sin discontinuidades. Asimismo, este método sí exhibe la clasificación del Río Querétaro, contrario a los otros dos métodos utilizados, y aunque de manera no satisfactoria pero mayormente positiva sí se aprecia el flujo de este cauce; esto debido muy probablemente a una escases en los ROI's de este cuerpo de agua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Clasificación Supervisada “Spectral Angle Mapper” imagen SPOT 6 ZMQ. Elaboración propia

La figura 62 corresponde a la clasificación supervisada por el método “Spectral Angle Mapper”, se logra ver cómo este método presenta mayores áreas sin clasificar; es decir, los valores de esos píxeles sin clasificar superaron los valores límites de cada uno de los ROI’s establecidos; por lo tanto, el algoritmo de este método dentro del software, los coloca dentro de la etiqueta como sin clasificación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Portal de la imagen multispectral SPOT 6 con el resultado de “Máxima Verosimilitud”.

La figura 63 pertenece a un portal de la clasificación supervisada “máxima verosimilitud”, con la imagen en color verdadero SPOT 6 de la ZMQ. Se consigue ver que efectivamente la clasificación para la carretera 200 y el Río Querétaro son correspondientes.

4.2 Comparativa clasificación por objetos SPOT 6

La mayoría de los predios invasores del derecho de vía en la carretera estatal no. 200 tiene diferentes texturas; es decir, existen casas o negocios con patio o cochera, traspatio o jardín, y la propia construcción, que en la mayoría de los casos es de concreto, aunque en algunos casos se aprecia lámina galvanizada. Al realizar la ampliación de la carretera es necesario obtener la franja del derecho de vía. Al hacerlo, podemos ver predios que no se ven afectados en su construcción sino en su patio de enfrente o cochera, decimos cochera porque, aunque no haya nada construido hay espacio para estacionar un coche, y esta se ve delimitado por una especie de barda primitiva hecha de madera vieja o malla electro soldada en mal estado.

Por esta razón y debido a que la diversidad de materiales traducidos en texturas, es difícil hacer una segmentación completa o exacta del predio de acuerdo con los m² que le corresponden cada predio, así que nos enfocamos a realizar la segmentación a las construcciones existentes. Esta segmentación puede ser vista en la figura 64; donde los polígonos en color rojo representan, en la medida de lo posible, las construcciones existentes a lo largo de la carretera estatal no. 200.



Fuente: Elaboración propia

Figura 51. Segmentación de construcciones existentes

4.3 Obtención del derecho de vía

A continuación, presentamos el levantamiento con el método tradicional, el cual utilizaremos para hacer la comparativa de los resultados con el método propuesto en esta investigación.

Este levantamiento topográfico fue realizado por la empresa “Ingeniería Civil Avanzada” (INCA), con sede en la ciudad de Querétaro; y forma parte del proyecto ejecutivo: “SUBSISTEMA VIAL LA CAÑADA, EL MARQUÉS, QUERÉTARO”, que esta empresa elaboró a finales del 2009 y principios del 2010, para la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas (SDUOP) del Estado de Querétaro.

El crecimiento de la mancha urbana en la capital del estado, de la zona oriente de la ciudad (donde se ubica el área de estudio), es un espacio en el cual

se da lugar a la conurbación de los municipios de Querétaro y el Marqués; donde se presenta una gran afluencia de vehículos que circulan por la carretera 200, esto fue lo que obligó al Gobierno del Estado decidirse en hacer este proyecto de ampliación.

La obtención del derecho de vía fue, primeramente, a partir del levantamiento topográfico tradicional y su posterior trabajo de oficina. De esta manera, como podemos ver en la figura 65, en color magenta delimita la franja correspondiente del derecho de vía de la carretera estatal no. 200. Los colores rojos representan la sección de calzada de proyecto y las líneas en color azul simbolizan a la carretera existente, así como sus entradas y salidas.

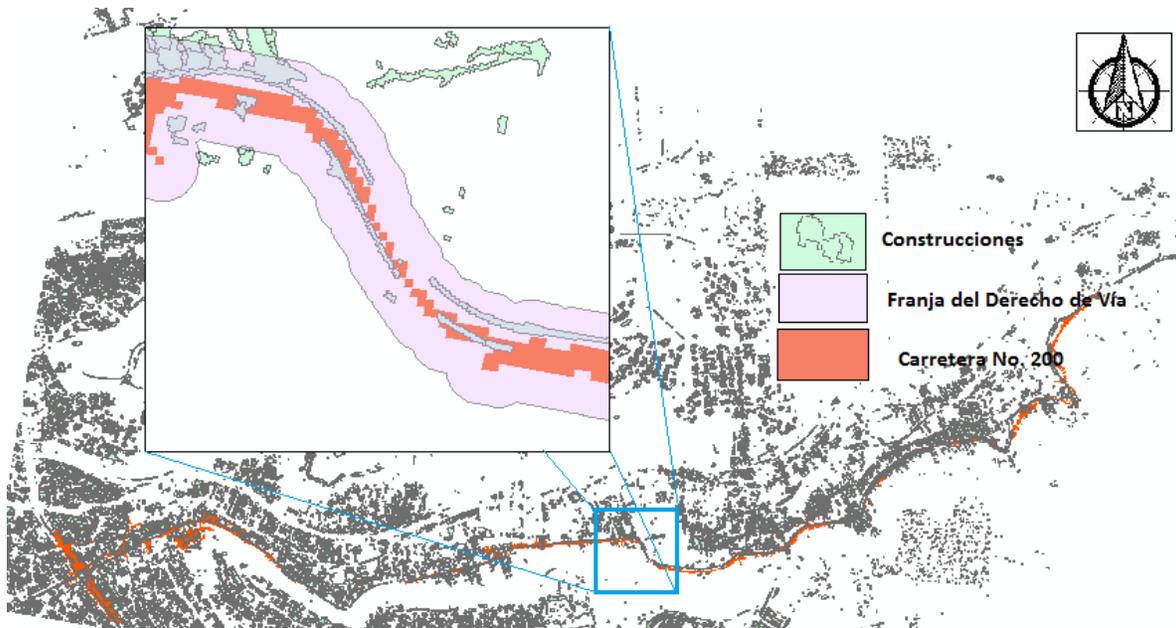


Fuente: INCA 2010.

Figura 52. Levantamiento topográfico carretera estatal No. 200 (antes de ampliación).

Para el caso de la metodología propuesta en esta investigación, la franja del derecho de vía fue definida de la siguiente manera:

- I. Obtuvimos el polígono que representa la franja de la carretera estatal no. 200 existente, a partir del proceso de clasificación supervisada de la imagen multiespectral SPOT 6 de la ZMQ; cuyo mejor método de clasificación fue máxima verosimilitud.
- II. Generamos los polígonos que representan las construcciones existentes a pie de carretera, derivado del proceso de clasificación por objetos (*Feature Extracction*).
- III. Ambos polígonos en formato "shp" son agregados al software ArcGis 10.0, a ambos les asignamos una protección UTM (Universal Transverse Mercator), debido a que provenían de un sistema de coordenadas geográficas del software de origen; y que además es necesario hacerlas en esta proyección a razón de que el método tradicional fue ejecutado en esta misma proyección.
- IV. Por último, generamos un ensanchamiento (buffer) del polígono que representa la carretera estatal no, 200, al mismo tamaño de la franja del derecho de vía (40m).



Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Invasión del derecho de vía a través de clasificación supervisada y segmentación.

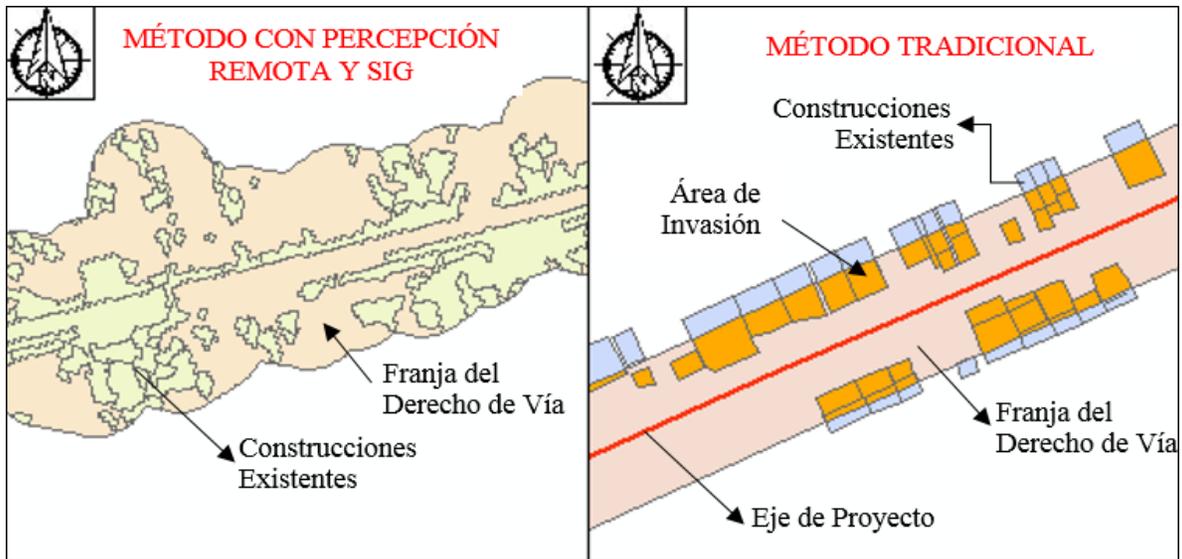
De la imagen de arriba, el color verde representa los polígonos de las construcciones existentes a pie de carretera, obtenidas de la clasificación por objetos (Feature Extraction) con ayuda de la imagen SPOT 6 en pancromático. Los polígonos en color naranja atañen a la carretera existente; es decir, la carretera estatal no.200, que fue generada a partir del proceso de clasificación supervisada “máxima verosimilitud” de la imagen SPOT 6 multiespectral para la ZMQ. Por último, el polígono en color violeta simboliza la franja del derecho de vía de la carretera estatal no. 200.

Esta franja fue obtenida realizando un ensanchamiento (buffer) de la unión de los polígonos de la carretera; dicho “ensanchamiento” fue de 17m a cada lado, debido a que los tramos donde únicamente clasificábamos un solo pixel de la carretera representan 6m; por consiguiente, si la franja del derecho de vía son 40 m, hacía falta ensanchar la franja 17 metros a cada lada, para sumar 34 m. más 6 m. que teníamos como mínimo dan un total de 40m en las zonas más delgadas de la franja.

4.4 Cálculo del área de invasión al derecho de vía

Una vez obtenida la franja del derecho de vía -tanto por el método tradicional como por el método aquí propuesto- para ambos casos, la determinación del área de afectación de predios invasores, en específico a construcciones existentes, fue realizada a partir de la intersección de la capa de construcciones existentes basados en el perímetro del contorno de la capa del derecho de vía.

En dicha intersección, conservamos los atributos de las capas, para realizar los cálculos anteriormente citados. De esta manera en la figura de abajo podemos ver la intersección de las capas por los dos métodos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Área de invasión del derecho de vía.

A continuación, presentamos las tablas de cálculo tanto para la franja del derecho de vía, como para el cálculo del área de los predios invasores del derecho de vía en el tramo del Km 2+00.00 al Km 8+160.00.

Cuadro 10. Resultados Franja del Derecho de Vías.

Franja del Derecho de Vía carretera estatal no. 200, tramo Km 2+000.00 al Km 8+160.00		
Método	Perímetro (m)	Área (m²)
Clasificación Supervisada y por Objetos	9,634.999	262,395.188
Tradicional	12,398.869	246,361.470

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11. Resultados área de invasión al derecho de vía.

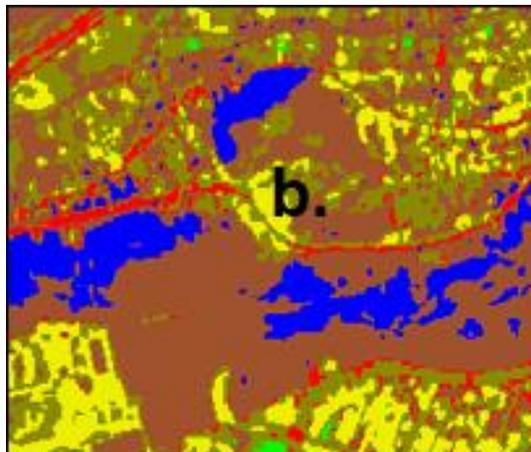
Cálculo del área de invasión al derecho de vía carretera estatal no. 200, tramo Km 2+000.00 al Km 8+160.00			
Método	No. de Predios Afectados	Área de Invasión (m²)	Porcentaje de Invasión en el tramo
Clasificación Supervisada y por Objetos	1,006	54,831.045	20.90%
Tradicional	172	28,206.478	11.45%

Fuente: Elaboración propia

5 Conclusiones y recomendaciones

A pesar de que la resolución espacial con que cuenta el sensor SPOT 6 en pancromático, es difícil hacer una segmentación satisfactoria debido a que la escala de grises no permite diferenciar entre texturas de diferentes materiales; aunado a que el algoritmo no puede hacer una clasificación espectral por tener solo una banda, de esta manera la segmentación es hecho solo por color, brillo y algo de textura.

Para el caso de la imagen multiespectral del mismo sensor (SPOT 6), aparecen algunas discontinuidades, como las de la figura 68.

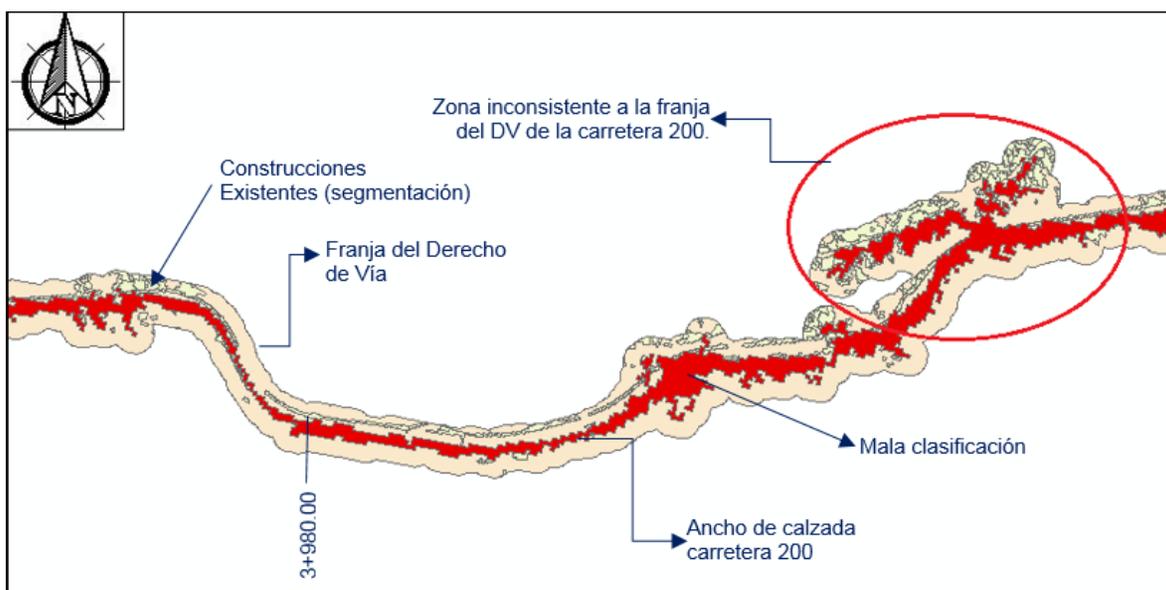


Fuente: Elaboración propia

Figura 55. No continuidad de la clasificación supervisada.

Estas discontinuidades (b) en este tipo de imagen que utilizamos son comunes debido a que la resolución espacial es de 6m por pixel, casi el ancho de calzada, y además por la existencia de materiales granulares, (arcillas, arenas, etc.), o por el exceso envejecimiento del asfalto; por tanto, sumados estos dos factores dan como resultado que la clasificación en ese tramo no corresponda a una carretera.

Otro tipo de problemas al obtener la franja de la carretera por medio de la clasificación supervisada con el sensor SPOT es la extensión de brazos o zonas de derecho de vías inconsistentes; tal es el caso de la figura 69, donde podemos apreciar cómo la zona encerrado en color rojo no corresponde a la franja del derecho de vía. Sin embargo, puede representar realmente una entrada y salida a la carretera 200, o una vialidad paralela revestida de pavimento asfáltico; es por ello que se aprecia un ramal en la clasificación (píxeles en color rojo). Este problema se presenta en menor grado a lo largo del tramo en estudio de la carretera, y es casi inevitable desaparecerlo por las razones obvias citadas al principio de este párrafo.

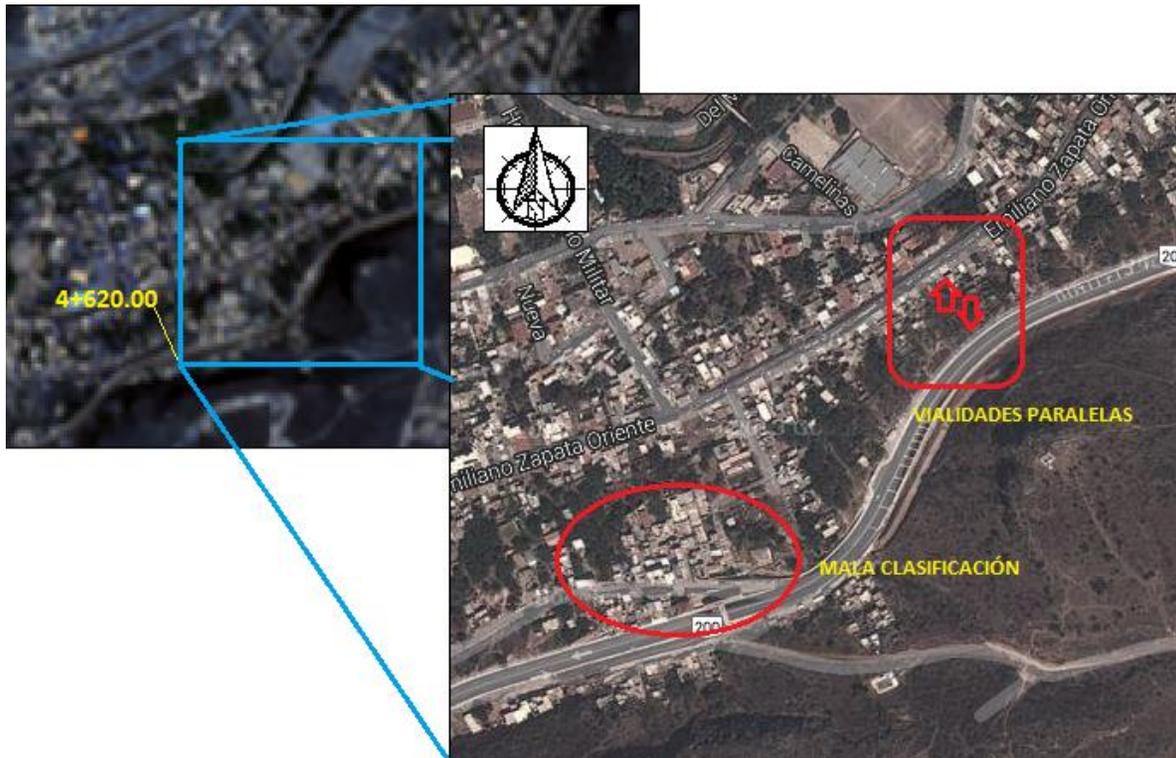


Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Invasión al DV a través de la percepción remota y SIG.

En la figura 70, vemos de mejor manera lo anteriormente citado. Del lado izquierdo de la figura tenemos a una fracción de la imagen multispectral SPOT 6 de la ZMQ; a la derecha, una imagen de "Google Earth" de la misma zona. Podemos definir que la zona a la que señalamos como mala clasificación corresponde a una vialidad de entrada a la carretera 200, y que a su vez la vialidad está rodeada por construcciones con calles adyacentes a estas.

La vialidad está revestida de un asfalto muy viejo, las calles adyacentes son de empedrado; es decir, los valores espectrales tanto de la calle de entrada como de las calles adyacentes son similares; junto con ello está la parte de la carretera 200 en la que se junta con la vialidad de entrada; lo que hace de esta pequeña zona, un nodo de aglomeración de píxeles, como si todo estuviera recubierto de asfalto; esto se debe principalmente a la resolución espacial de la imagen.



Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Problemática de la clasificación supervisada con SPOT 6 en multiespectral.

La parte de la clasificación a la que llamamos zona inconsistente es debido a la presencia de una vialidad paralela muy cercana, como podemos ver del lado derecho de la figura 70. Esta vialidad cercana, revestida de asfalto -con base en la resolución espacial de la imagen- provoca una especie de unión entre las carreteras, como si se tratase de una incorporación, (aunque no es el caso).

Debido al comportamiento espectral anterior de la imagen, a la segmentación a lo largo del tramo, es que tenemos un número mayor de predios invasores (casi 6 veces más) del derecho de vía, a través de ésta metodología (1,006 construcciones) comparada con el método tradicional (172 construcciones). Así obtuvimos como resultado casi el doble de área invadida de lo que realmente es; 54,831.045 m² para el método con percepción remota y SIG; 28,206.478 m² para el método tradicional.

La clasificación de la carretera, por métodos espectrales, es un poco relativo; cuando un pavimento es nuevo, la mayoría de los métodos de clasificación supervisada presentan buenos resultados, a pesar que se encuentren coches, basuras, o materiales granulares dentro de la franja de pavimento, y esto provoca que se observe la aparición de pixeles en otro color que no corresponden a la clasificación de una carretera revestida con mezcla asfáltica; sin embargo, estos pixeles pueden ser refinados al realizar un mejoramiento en su clasificación, de tal manera que tomen los valores de los pixeles vecinos circundantes y así tener un resultado de clasificación satisfactorio.

Al disponer de imágenes de satélite actuales y de mayor resolución, el incremento en la calidad de los estudios y proyectos permitirán el desarrollo de metodologías más ágiles para su procesamiento y obtención de resultados en intervalos reducidos, de tiempo. Para el caso específico del transporte, está demostrado que las técnicas de Percepción Remota o Teledetección tienen el potencial de proveer información detallada de caminos y puentes y pueden ofrecer una forma más rápida y económica de mejorar las prácticas comunes para la observación y el inventario de la red de transporte. La cartografía digital georreferenciada se liga fácilmente a variables censales e indicadores socioeconómicos y ambientales. De tal suerte que facilita la extracción de información y la construcción de indicadores de calidad de vida y de desarrollo.

El programa SPOT puede crear una gran línea de desarrollo; actualmente es un programa amplio, muy bien conformado, no obstante, de contar con varias bandas espectrales y diferentes resoluciones espaciales, el Centro Nacional de Estudios Espaciales francés (CNES) está trabajando en la elaboración de las nuevas líneas de desarrollo que traerán más sofisticados (SPOT 7 y Pléyades) con vida útil hasta el 2020.

Las nuevas tendencias de captura de información van orientadas a obtener imágenes de satélite orto rectificadas de manera directa, sin trabajo de campo y menos trabajo de gabinete; menores niveles de procesamiento en las imágenes, así como sensores de alta resolución tanto espacial como temporal. La mayoría de los sensores cuentan con otro espejo receptor para la elaboración de pares o tripletas estereoscópicas. Esto es básico para la visión 3D.

Es fundamental la participación del Gobierno Federal para el apoyo de más antenas receptoras de imágenes satelitales, no solo de estos tipos de sensores (MODIS, SPOT) sino, todos aquellos que puedan convenir a la sociedad científica; así como, mayor inversión tanto económica como en infraestructura, en el área de investigación o proyectos de aplicación, financiados por este.

Los costos para la obtención tanto de software como de imágenes son aún muy elevados, resulta necesario abaratar aún más estos costos, o buscar otras opciones, ya sea software libre (existente); así como la búsqueda de nuevos sensores remotos menos comerciales, como satélites, japoneses, Idus, griegos o rusos.

La percepción remota es una línea estratégica de investigación científica vinculada a cualquier área de estudio, para el caso del sector transporte, la correcta y eficaz aplicación de los recursos por parte de profesionistas, académicos y representantes de la sociedad civil deberán reflejarse en una mejor calidad de vida y observar con seguridad el desarrollo hacia un mejor país.

6 Bibliografía

- Backhoff, M. A y García, G.** 1992. Los sistemas de información geográfica y el transporte. Publicación Técnica No. 32. IMT, SCT, México.
- Backhoff, M. A.** 2005. Transporte y espacio geográfico. Una aproximación geo informática. UNAM. México.
- Bocco, Gerardo, R. Sánchez, and Hugo Riemann.** 1994. "Evaluación del impacto de las inundaciones en Tijuana (Enero de 1993): uso integrado de percepción remota y sistemas de información geográfica." *Frontera Norte* 5.10, 51-83.
- Bañón Blázquez, Luis; Beviá García, José Francisco.** 2000. Manual de carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., Vol. 1. ISBN 84-607-0267-7
- Bañón Blázquez, Luis; Beviá García, José Francisco.** 2000. Manual de carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., Vol. 2. ISBN 84-607-0123-9
- Barredo José Ignacio and Bosque-Sendra Joaquín.** Comparison Of Multi-Criteria Evaluation Methods Integrated In Geographical Information Systems To Allocate Urban Areas. Department of Geography, Universidad de Alcalá de Henares (Spain). Supported partially by Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Project no. AMB 94-1017).
- Beger Reinhard, Gedrange Claudia, Hecht Robert, Neubert Marco.** 2011. Data fusion of extremely high resolution aerial imagery and LiDAR data for automated railroad centre line reconstruction, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 66, Issue 6, Supplement, December 2011, Pages S40-S51, ISSN 0924-2716, 10.1016/j.isprsjprs.2011.09.012
- Bowen Brent, Vlasek Karisa, and Webb Cindy.** 2004. An Assessment of Remote Sensing Applications in Transportation. Instituto de Aviación, Universidad de Nebraska.
- Christopher T. Morehart.** 2012. Cartografía paisajes antiguos chinampas en la cuenca de México: un enfoque de la teledetección y SIG, *Journal of Archaeological Science*, Volumen 39, Número 7, julio 2012, páginas 2541-2551, ISSN 0305 a 4.403, 10.1016 / j. jas.2012.03.001.

Chuvienco, Emilio. 1996. Fundamentos de Teledetección Espacial - 3ª Edición revisada REF.REVISTA/LIBRO: Madrid, Rialp, 568 pags. 1996. ISBN 84-321-3127-X.

Di Bella, C.M., Posse, G., Beget, M.E., Fischer, M.A., Mari, N., Veron, S. 2008. La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. Ecosistemas 17(3):39-52

Femat A. 2012. Adelgazamientos y orientación de segmentos longitudinales en imágenes: aplicación a la caracterización de fisuras en micrografías. Tesis, Facultad de Ingeniería, UAQ.

García Contreras, Erika; Lira Chávez, Jorge. 2010. La percepción remota aplicada al análisis urbano-regional de la ciudad de México empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spot5. A: International Conference Virtual City and Territory. "6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali, 5, 6 y 7 Octubre 2010". Mexicali: UABC.

García, E., Lira, J. 2010. La percepción remota aplicada al análisis urbano-regional de la ciudad de México empleando imágenes ópticas Terra/Aster y Spot5. A: International Conference Virtual City and Territory. "6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali, 5, 6 y 7 Octubre 2010". Mexicali: UABC.

Gómez Delgado, M. y Barredo Cano, J. I. 2005. Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. ISBN 84-7897-673-6, edición publicada por RA-MA Editorial, MADRID, España.

Hernández, h.j. & Montaner, D. 2009. Patrones de Respuesta Espectral (Cap. 3). En: Tecnologías Geoespaciales: Experiencias Aplicadas al Estudio y Gestión del Territorio. Carlos Mena (Ed.) ISBN: 978-956-7717-14-7.

Kruse, F. A., A. B. Lefkoff, J. B. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon, and A. F. H. Goetz, 1993, "The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data." Remote Sensing of the Environment, v. 44, p. 145 - 163.

Lilles, T.M. y Kiefer, R.W. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons Inc., New York, USA.

- Lira J.** 1995. La percepción remota: nuestros ojos desde el espacio. Fondo de Cultura Económica, México.
- Mas, Jean-François.** 2005. "Un método para combinar datos espectrales e información auxiliar en una red artificial neuronal." Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 3543-3549.
- Retana Olvera, Alaidé y Némiga, Xanat Antonio.** La teledetección como herramienta para la localización de espacios propensos para el desarrollo sustentable. Caso: sustentabilidad social en el sureste de la zona metropolitana de la ciudad de Toluca. Quivera 2010, vol. 12
- Richards J.A.,** 1999, Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.
- Rongqun Zhang, Daolin Zhu.** 2011. Study of land cover classification based on knowledge rules using high-resolution remote sensing images. Expert Systems with Applications, Volume 38, Issue 4, Pages 3647-3652
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes.** 1997. Manual de Procedimientos para el Aprovechamiento del derecho de vía en caminos y puentes de cuota.
- Shlomo Angel, Jason Parent, Daniel L. Civco, Alexander Blei, David Potere.** 2011. The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000–2050, Progress in Planning, Volume 75, Issue 2, Pages 53-107, ISSN 0305-9006, 10.1016/j.progress.2011.04.001.
- Thomas M. Lillesand and Ralph W. Kiefer, John Wiley.** 2000. REMOTE SENSING AND IMAGE INTERPRETATION, New York. No. of pages: 736.
- Tou, J. T. and R. C. Gonzalez,** 1974. Pattern Recognition Principles, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- Ujjwal Maulik, Indrajit Saha.** 2009. Modified differential evolution based fuzzy clustering for pixel classification in remote sensing imagery. Pattern Recognition, Volume 42, Issue 9, Pages 2135-2149

Williamson, R. A. 2002. Remote sensing and transportation security. In Pecora 15/land satellite information IV/ISPRS commission I/FIEOS conference proceedings.

Sitios en Internet:

Atlas cibernético del transporte del IMT:

<http://www.imt.mx/SitiolMT/USIG/ServiciosInvestigacion/ProyectosDesarrollo/frmAtlasCibernetico.aspx>

Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM V2):

<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>

Instituto Mexicano del Transporte (IMT): <http://www.imt.mx/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI): <http://www.inegi.org.mx/>

Anexo A

Índice de Tablas

Tabla	Página
TABLA 1 ALGUNAS ESPECIFICACIONES DEL SENSOR SPOT. EUROPEAN AIRBUS DEFENCE & SPACE.	31
TABLA 2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SPOT 6 Y SPOT 7. EUROPEAN AIRBUS DEFENCE & SPACE.	31
TABLA 3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SPOT 6 Y SPOT 7. EUROPEAN AIRBUS DEFENCE & SPACE.	32
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SPOT 6 Y SPOT 7. EUROPEAN AIRBUS DEFENCE & SPACE.	33
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SPOT 6 Y SPOT 7. EUROPEAN AIRBUS DEFENCE & SPACE.	34
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES QUE RECIBE ERMEX NG. SAGARPA, SIAP.	37
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE GEOEYE-1. FUENTE DIGITAL GLOBE.	42
TABLA 8. ESPECIFICACIONES DE LA SOLICITUD POR POLÍGONO. ERMEXS NG. ELABORACIÓN PROPIA.	47
TABLA 9. METODOLOGÍA FEATURE EXTRACTION. MODIFICACDO FEATURE EXTRACTION TUTORIAL.	84
TABLA 10. RESULTADOS FRANJA DEL DERECHO DE VÍAS. ELABORACIÓN PROPIA.	97
TABLA 11. RESULTADOS ÁREA DE INVASIÓN AL DERECHO DE VÍA. ELABORACIÓN PROPIA.	98

Anexo B

Índice de Figuras

Figura	Página
FIGURA 1. PROGRAMA SPOT. AIRBUS DEFENSE AND SPACE.	3
FIGURA 2 MOSAICO DE IMÁGENES SPOT 5, QUE ILUSTRAN LA CONTINUIDAD DE ESTUDIO DE LA TELEDETECCIÓN DENTRO DE LA USIG. ELABORACIÓN: USIG, IMT.	14
FIGURA 3. ALINEAMIENTO DEL DERECHO DE VÍA	16
FIGURA 4. FRANJA DE LIBERACIÓN DEL DERECHO DE VÍA EN CARRETERA DE UN SOLO CUERPO. ELABORACIÓN PROPIA.	17
FIGURA 5. FRANJA DE LIBERACIÓN DEL DERECHO DE VÍA EN CARRETERA DE DOS CUERPOS.	18
FIGURA 6. SECCION DE LA CARRETERA FEDERAL MÉXICO – PACHUCA POSTERIOR A SU AMPLIACIÓN. FUENTE: EXCELCIOR.	23
FIGURA 7 ESQUEMA OPERATIVO DE UN SATÉLITE DE OBSERVACIÓN. FUENTE: SEMAR.	25
FIGURA 8. A) CAPTA LA ENERGÍA QUE REFLEJAN O EMITEN LOS OBJETOS DE LA SUPERFICIE TERRESTRE. B) POSEE UNA FUENTE DE ENERGÍA PROPIA Y OPERA INDEPENDIEMENTE DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS. FUENTE: INEGI.	26
FIGURA 9. ELEMENTOS DE UN PROCESO DE TELEDETECCIÓN DESDE SATÉLITES. ELABORACIÓN PROPIA.	28
FIGURA 10. ESTACIÓN DE RECEPCIÓN MÉXICO DE LA CONSTELACIÓN SPOT (ERMEXS). SEMAR.	35
FIGURA 11. ERMEX NG. SAGARPA, SIAP.	36
FIGURA 12. ÁREA DE INFLUENCIA ERMEX NG. SAGARPA, SIAP.	38
FIGURA 13. EVISMAR. FUENTE: SEMAR.	40
FIGURA 14. SATÉLITE GEOEYE 1. FUENTE: SEMAR.	41
FIGURA 15 CARRETERA ESTATAL NO. 200, QUERÉTARO-TEQUISQUIAPAN. ELABORACIÓN PROPIA.	43
FIGURA 16. PORTAL ERMEX NG.	45
FIGURA 17. TIPO DE SOLICITUD, PORTAL ERMEX NG.	45
FIGURA 18. LLENADO DE SOLICITUD POR POLÍGONO. PORTAL ERMEXS NG	46
FIGURA 19. IMAGEN SPOT5 (MOSAICO) DEL ESTADO DE QUERÉTARO, POLÍGONO DE SOLICITUD. FUENTE: USIG (IMT).	48
FIGURA 20. SOLICITUD DE IMÁGENES GEOEYE1. SEMAR (EVISMAR).	49
FIGURA 21. ENVI 5.0, ARCGIS 10.0.	50
FIGURA 22. DESCARGA DE IMÁGENES DE SATÉLITE VÍA “FTP”.	52
FIGURA 23. DESCARGA DE IMÁGENES VÍA DE SATÉLITE “FTP”.	52
FIGURA 24. DESCARGA DE IMÁGENES VÍA DE SATÉLITE “FTP”.	53
FIGURA 25. IMAGEN QUICKBIRD. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	53
FIGURA 26. IMAGEN GEOEYE1. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	54
FIGURA 27. IMAGEN AVHRR. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	54
FIGURA 28. IMAGEN WORLDVIEW2. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	55
FIGURA 29. IMAGEN THEMATIC MAPPER SIMULATOR. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	55
FIGURA 30. TIPOS DE CONTRASTE PREDETERMINADOS DE ENVI 5.0; A) SIN ESTIRAMIENTO, B) ESTIRAMIENTO LINEAL, C) E. LINEAL AL 1%, D) E. LINEAL AL 2%, E) E. LINEAL AL 5% F) DE IGUALDAD, G) GAUSSIANA H) RAÍZ CUADRADA, I) LOGARÍTMICA, J) OPTIMIZADO LINEAL.	58
FIGURA 31. VALORES DE LOS DATOS EN EL OCEANO IMAGEN SECOAST. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	59
FIGURA 32. HISTOGRAMA DE LA BANDA SST DE LA IMAGEN SECOAST; A) RANGO MÍNIMO Y MÁXIMO, B) RANGO MÍNIMO IGUAL A 20 HASTA EL MÁXIMO. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	59
FIGURA 33. NÚMERO DE CLASES Y RANGOS DE CLASES DEL HISTOGRAMA SECOAST (BANDA SST) CON VALOR MÍNIMO DE 20. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	60
FIGURA 34. IMAGEN SECOAST BANDA SST CON 7 RANGOS DE CLASE. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	61

FIGURA 35. A LA IZQUIERDA IMAGEN TSM EN INFRARROJO PARTE DE LA COSTA DE CALIFORNIA EE.UU, A LA DERECHA NÚMERO DE BANDAS Y SUS RESPECTIVAS LONGITUD DE ONDA EN MICRAS. ELABORACIÓN PROPIA.	62
FIGURA 36. A) GRÁFICA DE DISPERSIÓN DE BANDAS ADYACENTES; B) GRÁFICA DE DISPERSIÓN DE BANDAS CON LONGITUDES DE ONDA MUY DIFERENTES. ELABORACIÓN PROPIA.	63
FIGURA 37. UBICACIÓN DE LOS PÍXELES EN LA GRÁFICA DE DISPERSIÓN, DE LA ZONA DE INTERÉS O ROIS.	64
FIGURA 38. IDENTIFICACIÓN DE UNA ZONA DE INTERÉS O ROI (A), A TRAVÉS DEL AGRUPAMIENTO DE PUNTOS EN UNA GRÁFICA DE DISPERSIÓN (B), COMO RESULTADO ZONAS DE COLOR AMARILLO (C). ELABORACIÓN PROPIA.	65
FIGURA 39. DEFINICIÓN DE ROIS. EN AMARILLO APARECE LA VEGETACION Y EL COLOR CYAN OBEDECE AL AGUA. ELABORACIÓN PROPIA.	66
FIGURA 40. GENERANDO REGLA DE CLASIFICACIÓN MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	69
FIGURA 41. A. APLICACIÓN DE LOS ROIS EN TODA LA ESCENA, B. RESULTADO DE REGLA DE CLASIFICACIÓN EN ESCALA DE GRISES. MODIFICADO DE EXELISVIS./TUTORIAL	70
FIGURA 42. A. HISTOGRAMA DE TODO LA ESCENA; B. RECORTE DEL HISTOGRAMA A LOS VALORES MÍNIMOS PARA UN ROI. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	71
FIGURA 43. HISTOGRAMA DE VEGETACIÓN PARA SELECCIONAR EL UMBRAL QUE MEJOR REALZA LA MISMA. MODIFICADO DE EXELISVIS./TUTORIAL	71
FIGURA 44. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA MÍNIMA DISTANCIA: LADO IZQUIERDO CON UMBRALES PERSONALIZADOS, LADO DERECHO MISMO UMBRAL PARA LAS CLASES. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	73
FIGURA 45. GENERACIÓN DE VECTORES CON ATRIBUTOS A PARTIR DE LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	74
FIGURA 46. GENERACIÓN DE VECTORES DE ENTRENAMIENTO. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	75
FIGURA 47. GENERANDO EL ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA MÁXIMA VEROSIMILITUD. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	76
FIGURA 48. CLASIFICACIÓN MÁXIMA VEROSIMILITUD; A LA IZQUIERDA MISMO UMBRAL, A LA DERECHA UMBRALES PERSONALIZADOS. MODIFICADO DE EXELISVIS/TUTORIAL.	77
FIGURA 49. IMAGEN SPOT 6 DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO. ELABORACIÓN PROPIA.	78
FIGURA 50. IMAGEN SPOT 6 CARRETERA ESTATAL NO. 200. ELABORACIÓN PROPIA.	79
FIGURA 51. ZONAS DE ENTRENAMIENTO (ROI'S) DE LA ZONA EN ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA.	79
FIGURA 52. ACERCAMIENTO A LA IMAGEN SPOT 6, PARA CATALOGAR A LA CARRETERA ESTATAL NO. 200	81
FIGURA 53. IMAGEN SPOT 6 EN PANCROMÁTICO DE LA ZMQ. ELABORACIÓN PROPIA.	82
FIGURA 54. SUBCONJUNTO ESPACIAL DE LA IMAGEN SPOT 6 PANCROMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA.	83
FIGURA 55. IMAGEN PANCROMÁTICA SPOT 6 DE LA ZMQ EN MÁXIMA RESOLUCIÓN ESPACIAL.	84
FIGURA 56. FEATURE EXTRACTION SUBCONJUNTO ESPACIAL IMAGEN SPOT 6 DE LA ZMQ. ELABORACIÓN PROPIA.	85
FIGURA 57. VARIACIÓN DEL PARÁMETRO "SCALE LEVEL" Y "MERGE LEVEL" FEATURE EXTRACTION. ELABORACIÓN PROPIA.	86
FIGURA 58. DEFINICIÓN DE LA SEGMENTACIÓN, ELABORACIÓN PROPIA	88
FIGURA 59. IMAGEN MULTIESPECTRAL SPOT 6 CARRETERA ESTATAL NO. 200 (EN ROJO). ELABORACIÓN PROPIA.	89
FIGURA 60. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA "MÍNIMA DISTANCIA" ELABORACIÓN PROPIA.	89
FIGURA 61. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA "MÁXIMA VEROSIMILITUD" IMAGEN SPOT 6 ZMQ. ELABORACIÓN PROPIA.	90
FIGURA 62. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA "SPECTRAL ANGLE MAPPER" IMAGEN SPOT 6 ZMQ. ELABORACIÓN PROPIA	91
FIGURA 63. PORTAL DE LA IMAGEN MULTIESPECTRAL SPOT 6 CON EL RESULTADO DE "MÁXIMA VEROSIMILITUD". ELABORACIÓN PROPIA.	91
FIGURA 64. SEGMENTACIÓN DE CONSTRUCCIONES EXISTENTES. ELABORACIÓN PROPIA.	92
FIGURA 65. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CARRETERA ESTATAL NO. 200 (ANTES DE AMPLIACIÓN). MODIFICADO INCA 2010.	94
FIGURA 66. INVASIÓN DEL DERECHO DE VÍA A TRAVÉS DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA Y SEGMENTACIÓN. E. PROPIA.	9595
FIGURA 67. ÁREA DE INVASIÓN DEL DERECHO DE VÍA. ELABORACIÓN PROPIA.	97
FIGURA 68. NO CONTINUIDAD DE LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA.	99
FIGURA 69. INVASIÓN AL DV A TRAVÉS DE LA PERCEPCIÓN REMOTA Y SIG. ELABORACIÓN PROPIA.	100
FIGURA 70. PROBLEMÁTICA DE LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA CON SPOT 6 EN MULTIESPECTRAL.	101



INSTITUTO
MEXICANO DEL
TRANSPORTE



Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>