



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA E
IMÁGENES DE SATÉLITE EN EL SIAP 2007 - 2011**

**INFORME ACADEMICO POR ACTIVIDAD PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA**

OSCAR MANUEL DE JESÚS CERÓN

**ASESOR:
LIC. ANA ELSA DOMÍNGUEZ CEBALLOS**

CIUDAD UNIVERSITARIA 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, que con su sacrificio, protección y amor, me ha hecho una persona muy feliz.

A mi padre, que gracias a su esfuerzo, disciplina y ejemplo me ha hecho ser un hombre fuerte, capaz de enfrentar momentos difíciles.

A ambos, con profunda admiración, respeto y amor, por los grandes esfuerzos que realizaron para que pudiera concluir una carrera, estoy inmensamente agradecido.

A mi hermano, con el que compartí grandes momentos de mi infancia, peleas, juegos, risa y llanto, que forman parte hoy de mis más preciados recuerdos.

A mis tíos, a los que agradezco su apoyo en todo momento, en especial a Chente y a mi tía Maribel por ser tan buenas personas. A mi tío Amado, por sus consejos y apoyo; a mi tía Bertha, por su cariño.

A mis primos, con los que siempre paso excelentes momentos.

A dos hermosas mujeres que ya no están conmigo y que extraño demasiado, sé que desde el cielo están guiándome y protegiéndome, algún día volveré a verlas para llenarlas de besos y hacerlas enojar una vez más. Las amo abuelas Martina y Mere.

Al Don, que es ejemplo de fortaleza y determinación, una persona que admiro y respeto mucho.

A mis suegros, su apoyo y cariño.

A mis amigos, por esos felices momentos.

A los profesores que me ayudaron en la realización de este trabajo y aquellos que, a lo largo de mi vida académica, me transmitieron sus conocimientos y experiencias, les estoy agradecido.

A mi presente y mi futuro, dos grandes mujeres que Dios ha puesto en mi camino, con las que estoy viviendo grandes momentos. A mi esposa, a la que agradezco su amor y apoyo, que me hace sentir un hombre amado y feliz y por la que pido a Dios que conserve siempre a mi lado. A mi hermosa hija quien me inspira y me da la fortaleza para seguir día a día. A ellas por quienes sigo adelante en mi lucha contra el cáncer.

A Dios por darme el privilegio de conocer a esas personas a las que quiero y por las que pido siempre cuide. Por regalarme una segunda oportunidad para seguir disfrutando del más hermoso regalo que nos pudo dar, la vida.

ÍNDICE

Introducción	3
Capítulo I	
Geografía en el SIAP	6
1.1 Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SNIDRUS).....	7
1.2 ¿Qué es el SIAP?.....	14
1.3 Geografía en el SIAP.....	17
Capítulo II	
Los Sistemas de Información Geográfica e Imágenes de Satélite en el SIAP	22
2.1 SIG, GPS y Percepción Remota.....	23
2.2 Uso de las Imágenes de Satélite en el SIAP.....	35
2.3 Procesamientos aplicados a las imágenes SPOT en la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial.....	56
Capítulo III	
Aplicación de los SIG e Imágenes de Satélite en los proyectos realizados en la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial del SIAP	71
3.1 Estimación de superficie agrícola sembrada por muestreo de áreas y teledetección espacial.....	73
3.2 Estimación de daños a la agricultura ocasionados por fenómenos meteorológicos (sequías, heladas, huracanes).....	104
3.3 Levantamiento de polígonos por teledetección (invernaderos).....	118
Conclusiones	122
Bibliografía	132
Anexo	136

INTRODUCCIÓN

Antes de iniciar una relación laboral con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) tuve la oportunidad de realizar mi servicio social en esta institución, lo cual representó la oportunidad de conocer el manejo de los Sistemas de Información Geográfica.

Mi colaboración en la institución durante ese periodo fue en el proyecto llamado *Marcos de Muestreo* cuya finalidad era la estimación de la superficie sembrada de los cultivos de interés en determinados estados del país.

Realizar el servicio social en esta institución me sirvió para incorporarme en el ámbito laboral del SIAP. Esta oportunidad se dio en febrero del 2007 donde formé parte del equipo de trabajo del área de Geografía.

Ingresé formando parte del área de Geografía en el departamento de Sistemas de Información Geográfica, que se encontraba a cargo del Geog. José Lidio Ramírez Navarro cuyos conocimientos y experiencia me llevaron a una mejor comprensión del manejo y análisis de información vectorial mediante el software de ArcGIS.

Para las actividades relacionadas al levantamiento de información en campo, trabajar con el encargado del departamento de Sistemas de Posicionamiento Global, el Geog. José Luis Hernández González, contribuyó a mis conocimientos sobre el manejo de equipos GPS así como de las experiencias para la planeación del trabajo de campo.

Mi conocimiento sobre imágenes de satélite comenzó al formar parte en el año 2009 del Departamento de Sensores Remotos a cargo del planificador Humberto Martínez Román cuya experiencia en el tema me sirvió para conocer el manejo de esta herramienta, que conforme pasa el tiempo se vuelve indispensable para el estudio de la superficie terrestre.

A lo largo de estos cinco años laborar en esta institución me ha permitido adquirir el conocimiento y la experiencia para reconocer el potencial que tienen estas herramientas para los diversos análisis que el geógrafo realiza en distintas áreas competentes a esta ciencia.

Este trabajo tiene como objetivo describir los tres elementos usados para la generación de la información en el área de Geografía del SIAP (SIG, GPS e imágenes de satélite) así como mostrar los procesos que se aplican a las imágenes de satélite y a la información vectorial a través de programas especializados. Se muestran tres proyectos realizados en el área, donde se ejemplifica el uso de estas herramientas y su evaluación, los análisis aplicados basados en metodologías adaptadas a cada proyecto, evaluando las mismas, así como los programas y procesos empleados.

El trabajo se compone por tres capítulos, en el primero de ellos se describen las funciones y objetivos del SIAP. Se mencionan los principales componentes del Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SNIDRUS) donde se establece la necesidad de la generación de datos estadísticos y geográficos que justifican el establecimiento del área de geografía en la institución.

En este capítulo se describen también las funciones que el área de Geografía desempeñó para cumplir con los objetivos del programa SNIDRUS que coordina el SIAP, así como la alusión a las decisiones tomadas por los directores que ha tenido esta institución, durante el periodo de tiempo que tengo laborando en ella, lo que ha llevado a la presente situación del área de Geografía, que actualmente es la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial (DSIG).

El segundo capítulo se integra por un glosario que define los elementos en los que se apoya el área de Geografía para la obtención de la información geográfica que demanda el SNIDRUS, donde la SAGARPA a través del SIAP genera esta información. Estos elementos son los SIG, GPS y la aplicación de la percepción remota por medio de imágenes de satélite.

Se establecen cuáles son los modelos de información en los que se estructura el manejo de la información del mundo real en un sistema informático, así como los programas comerciales existentes para el manejo de esta información, mencionando cuáles son los que se emplean en el SIAP. De igual forma se describen los principales equipos GPS empleados en los operativos de campo para la obtención de información y localización de los elementos a estudiar.

En este capítulo se encontrará además, la información de los principales tipos de imágenes que se utilizan en el SIAP, siendo las imágenes SPOT las más utilizadas en el área para la generación de información de los distintos proyectos realizados. Esto debido a que es el SIAP la institución encargada de administrar la “Estación de Recepción México de la Constelación Spot” (ERMEXS), la cual se encuentra ubicada en las instalaciones de la Secretaría de Marina.

Dentro del tema del uso de las imágenes de satélite en el SIAP incluido en este capítulo, se ejemplifican también los principales trabajos realizados por medio de imágenes de satélite provenientes de sensores diferentes a SPOT, las cuales son utilizadas como complementos para algún proyecto o trabajo específico solicitado al área de Geografía.

Este capítulo concluye con la descripción de los procesos aplicados a estas imágenes para obtener la información deseada, donde el número y tipo de procesos aplicados a estas depende de la metodología establecida para cada proyecto con la finalidad de cumplir con los objetivos de cada uno de ellos.

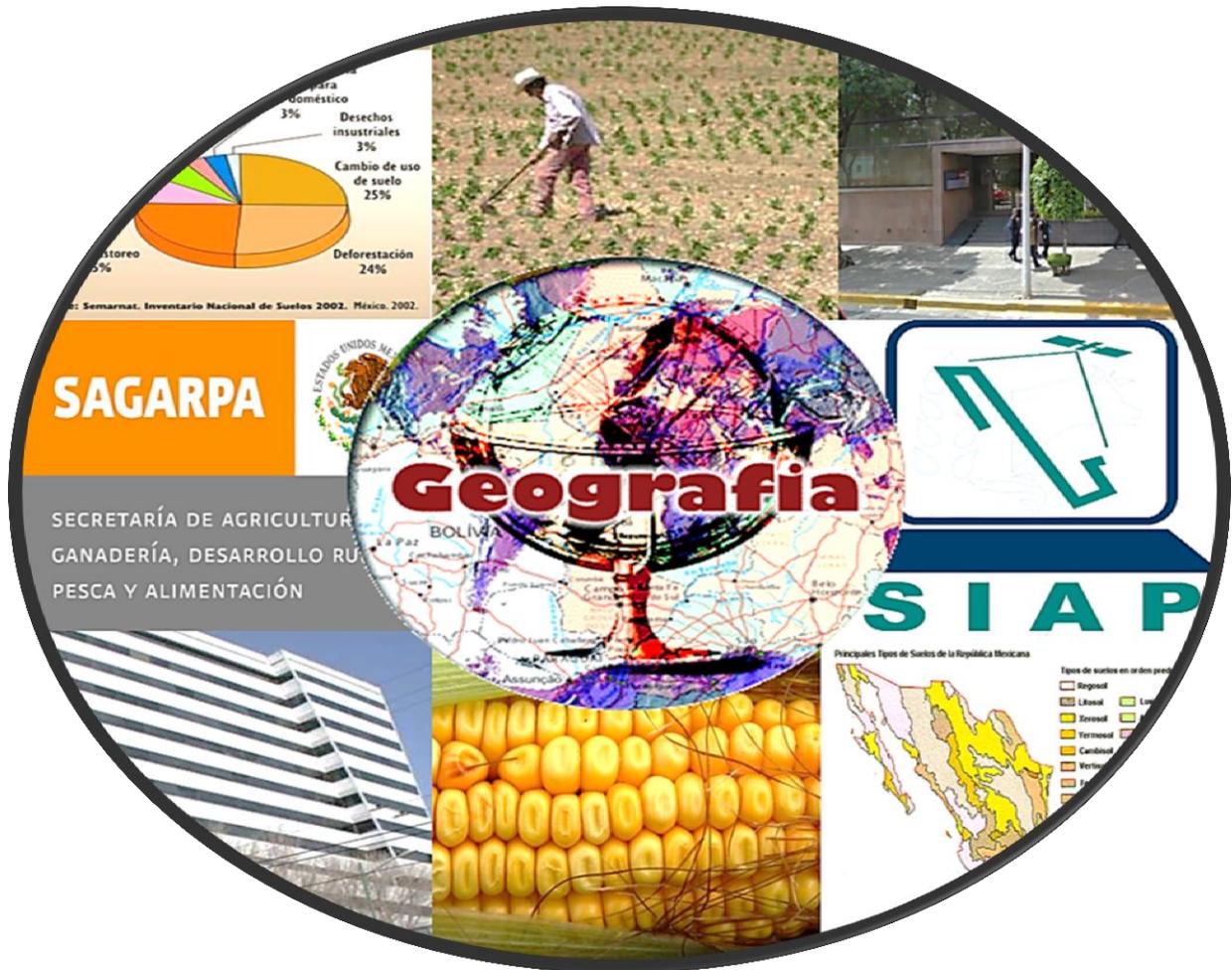
En el capítulo tercero se podrá observar la aplicación de los SIG e imágenes de satélite en tres proyectos realizados en esta Dirección, donde se describirán los objetivos, así como la metodología establecida para cumplirlo.

La descripción de cada proyecto va acompañada con algunos ejemplos de trabajos que se han realizado en el área durante el periodo 2007 – 2011.

Se concluirá con la evaluación de los SIG e imágenes de satélite empleados en la DSIG, así como los procesos aplicados a estas imágenes, las metodologías empleadas en los proyectos descritos. También se mencionarán los factores externos que influyen en la calidad de la información generada y la situación actual de la DSIG en el SIAP, señalando los cambios que ha sufrido la dirección así como los proyectos que actualmente se llevan a cabo en ésta.

CAPÍTULO I

Geografía en el SIAP



1.1 Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SNIDRUS)

Situación histórica de la información del sector rural

La SAGARPA ha sido responsable de generar estadísticas del sector agrícola y pecuario mediante la recopilación de datos a través del personal dedicado a realizar asesorías en el campo, anteriormente eran profesionales adscritos a la secretaría los que realizaban recorridos por las zonas de temporal y reunían información de estimaciones de rendimiento y producción. Actualmente técnicos de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) y los Centros de Atención para el Desarrollo Rural (CADER) son quienes realizan estimaciones con base en recorridos de campo.

Entre las variables que las estadísticas de agricultura contienen están: superficie sembrada, superficie siniestrada, superficie cosechada, rendimiento, producción, precio medio rural y valor de la producción, de cultivos anuales y perennes, por ciclo y modalidad de riego o temporal. La información se da a conocer a nivel municipal, DDR, entidad y nacional; en los formatos de avances mensuales, así como por ciclo agrícola y año agrícola en anuarios.

En cuanto a la producción pecuaria, las variables que se estiman para ganado y aves son: inventario, valor del inventario, producción y valor de la producción, así como sacrificio por especie, toneladas de carne en canal y su peso promedio. Para productos como leche, huevo para plato, miel, cera y lana se reportan producción, precio y valor de la misma. En los anuarios estadísticos pecuarios los datos se reportan a nivel DDR, por estado y a nivel nacional.

Las variables que se incluyen en la información pesquera son la producción en peso vivo (estimado con base en el peso desembarcado) por especie y entidad federativa; captura y acuicultura, valor de la producción (del peso desembarcado) por entidad; balanza comercial y consumo nacional *per cápita*.

Las dificultades que enfrentaba la estimación se debían a que las estadísticas básicas del sector ponían mayor énfasis en el registro histórico de volúmenes de producción; además de que las secretarías estatales del ramo solían levantar estadísticas propias, muchas

veces redundantes con las del gobierno federal, ocasionando que las autoridades ofrecieran dos valores para una misma variable, creando una incertidumbre en la calidad de la estimación.

Aunado a esto, los municipios no cuentan con un sistema propio de información de lo que ocurre en su territorio respecto al desarrollo rural sustentable, y lejos de participar en la generación de información estadística, acuden a los sistemas estatales de información, donde con frecuencia no se encuentra el nivel de disgregación que se requiere.

Por ello surgió la necesidad de formularse el cómo, para qué y a qué niveles de disgregación debería de generarse la información del sector.

Generación de la Información Estadística del Sector



Fuente: INEGI - SIAP

Creación del SNIDRUS

Para afrontar el mejoramiento del sistema de información agropecuaria reduciendo el gasto corriente, desde 1996 la Alianza para el Campo ha destinado recursos para modernizar la infraestructura y mejorar la generación de estadísticas en un esquema de transferencias a los estados y subsidios directos.

Con la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS) de diciembre del 2001, surgió el mandato de integrar un sistema de información que incluya varios aspectos relevantes para el desarrollo del sector rural. Por lo que se crea el Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SNIDRUS).

“En el Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable se integrará información internacional, nacional, estatal, municipal y de distrito de desarrollo rural relativa a los aspectos económicos relevantes de la actividad agropecuaria y el desarrollo rural; información de mercados en términos de oferta y demanda, disponibilidad de productos y calidades, expectativas de producción, precios; mercados de insumos y condiciones climatológicas prevalecientes y esperadas. Asimismo, incluirá la información procedente del Sistema Nacional de Información Agraria y del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y otras fuentes.” (Artículo 134)¹

Se establece que el SNIDRUS debe estar disponible para su difusión y consulta abierta al público en general, a nivel nacional, estatal, regional y de DDR, en cada una de las oficinas de las instituciones que integran el sistema.

Con lo anterior el Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable define al SNIDRUS como el “mecanismo de concurrencia y coordinación de las diversas dependencias e instancias públicas y privadas, en donde cada una de ellas participa de acuerdo a sus atribuciones y competencias, para lograr los propósitos de proveer información actualizada, confiable y oportuna a los productores y agentes económicos que participan en la producción y en los mercados agropecuarios e industriales y de servicios”.

El programa Alianza para el Campo es uno de los principales programas para el desarrollo agropecuario y rural en México, el cual agrupa actualmente siete programas: cuatro de

¹ Diario Oficial de la Federación, 7 de diciembre 2001, páginas 132-174.

ellos -*Fomento Agrícola, Fomento Ganadero, Desarrollo Rural y Acuicultura y Pesca*- consisten primordialmente en subsidios para bienes de capital y servicios profesionales que buscan desarrollar capacidades. Dos programas -*Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria y Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable*- son proveedores de bienes públicos y el *Fondo de Estabilización, Fortalecimiento y Reordenamiento de la Cafecultura* implementa un precio mínimo para el café.

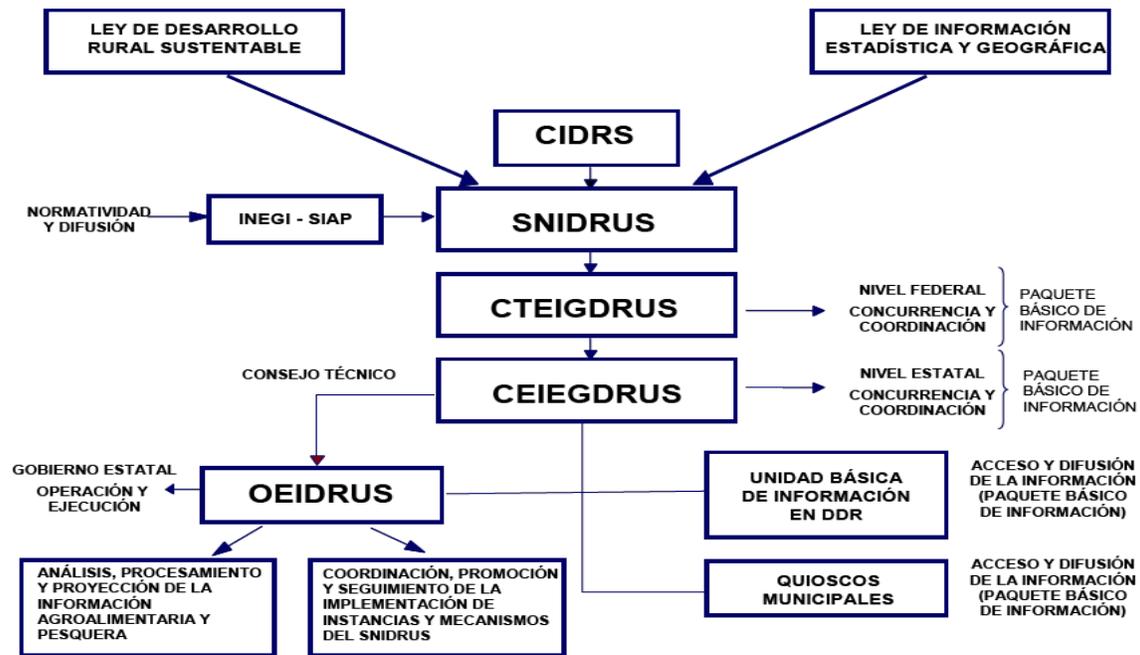
La estrategia del programa Alianza para el Campo, en teoría, consiste en fomentar la inversión en capital físico, humano y social, para incrementar el ingreso de los productores del campo y elevar su calidad de vida.

Este programa ha destinado recursos a la modernización de los sistemas de información agropecuaria y a partir del 2002 está destinado a complementar la construcción del Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable.

Así mismo la LDRS le otorga a la SAGARPA, a través del SIAP la responsabilidad de promover y coordinar la implementación del SNIDRUS.

El siguiente esquema muestra la coordinación del SNIDRUS, aquí se puede apreciar que es la LDRS quien crea el Sistema, el cual basa sus funciones conforme a lo establecido en las disposiciones de la Ley de de Información Estadística y Geográfica, donde el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) y el SIAP se encargan de la normatividad y la difusión de este Sistema. Por otra parte, el Comité Técnico de Estadística y de Información Geográfica para el Desarrollo Rural Sustentable (CTEIGDRUS) es quien implementa los lineamientos generales de operación del SNIDRUS a nivel Federal y son los Comités Estatales de Información Estadística y Geografía para el Desarrollo Rural Sustentable (CEIEGDRUS) y las Oficinas Estatales de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OIEDRUS) al igual que las Delegaciones de la SAGARPA los que se encargan a nivel Estatal de la operación y ejecución del SNIDRUS.

Esquema de concurrencia y coordinación del SNIDRUS



Fuente: INEGI - SIAP

En el esquema se puede observar una intensa participación de las OIEDRUS, las cuales son importantes para cumplir los objetivos del SNIDRUS. Estas fueron creadas por los Secretarios de Desarrollo Agropecuario en los estados, que decidieron aprobar la construcción de las Oficinas Estatales de Información para el Desarrollo Rural Sustentable en abril del 2002.

Su objetivo es evitar la duplicidad de esfuerzos entre gobierno federal y gobiernos estatales y contar con cifras uniformes en todo el sector. Se considera a los Gobiernos Estatales como los responsables del sistema de información en la entidad, respetando la normatividad, estandarización y evaluación del INEGI.

Las OEIDRUS tienen como principales funciones:

- Integración de información
- Encuestas y Geografía
- Indicadores y Modelos
- Sistemas y telecomunicaciones
- Atención al productor

La LDRS también establece que la información del Sistema debe estar disponible en un paquete básico (Art. 138). De esta forma el INEGI y el SIAP diseñaron sus contenidos, los cuales contaron con la aprobación de los CTEIGDRUS en las 32 entidades federativas; elaboraron un sistema electrónico para su integración, que repartieron a cada estado, donde llevaron a cabo labores de capacitación a sus operadores. El objetivo del paquete básico es “integrar y difundir información estadística y geográfica sobre aspectos económicos relevantes de la actividad agropecuaria y el desarrollo rural sustentable a fin de fortalecer la autonomía en la toma de decisiones de productores y demás agentes del sector rural”.²

El Programa SNIDRUS

La Ley establece que el Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable integrará los esfuerzos de varias instituciones, públicas y privadas, que generen información pertinente para el sector (Artículo 135).

Ordena que el SNIDRUS esté disponible a consulta abierta al público en general, en oficinas, así como por medios electrónicos y publicaciones idóneas y ordena a la SAGARPA a establecer una unidad de información en cada distrito de desarrollo rural (Artículo 137).

Como parte de las medidas para dar cumplimiento a lo establecido en la LDRS, SAGARPA modificó el capítulo de Alianza para el Campo relativo al sistema de información agropecuaria, para incluir en el ejercicio 2002 un Programa para el Sistema de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (Programa SNIDRUS), con el fin de implementar los instrumentos y mecanismos ordenados en la LDRS y contribuir a la integración del SNIDRUS.

La Alianza para el Campo 2003, incluyó el Programa SNIDRUS. Teniendo como objetivo general: “apoyar el establecimiento del SNIDRUS, con la participación de las entidades federativas y el INEGI, mediante el otorgamiento de apoyos para la realización de acciones de estadística agropecuaria, de recursos naturales, tecnología, servicios técnicos, industrial y de servicios del sector, con el fin de proveer información oportuna a los productores y agentes económicos que participan en los procesos de producción, que apoyen la toma de

² INEGI – SIAP. *Coordinación Federación – Estados en el SNIDRUS*, julio 2004.

sus decisiones y contribuyan a la integración de cadenas agroalimentarias y de pesca.” (Reglas de Operación 2003, Art. 97.)

El Programa SNIDRUS dentro de Alianza para el Campo está concebido como un apoyo para la construcción del SNIDRUS, es decir, se pretende que mediante el recurso destinado a este programa los productores agropecuarios y otros agentes económicos del sector rural se beneficien, no por transferencias en efectivo, sino como usuarios de la información que el sistema genere y difunda, ya que el Programa SNIDRUS destina sus recursos para la obtención y mantenimiento de equipos de cómputo, y periféricos, construcción y mantenimiento de redes de telecomunicación, sistemas de información geográfica, y pago de honorarios, a estudios (especialmente encuestas agrícolas para pronosticar cosechas), así como también para capacitación y para la difusión de la información, descritos en el siguiente cuadro.

Componentes Generales de Apoyo	
Equipamiento	Se otorgan apoyos para la adquisición y/o arrendamiento, instalación y operación de equipos que integran los Sistemas Estatales de Información para el Desarrollo Rural Sustentable y el SNIDRUS, tales como computadoras, periféricos, GPS, imágenes satelitales, sistemas de manejo estadístico, sistemas de telecomunicación, así como para equipar y operar las Unidades de Información para consulta y atención a los productores y demás agentes del sector rural.
Estudios	Se otorgan apoyos para el diseño y levantamiento de encuestas en la materia, sobre costos de producción, precios pagados al productor, rendimientos e integración de directorios de productores; así como estudios de oferta y demanda estatales, pronósticos de producción, infraestructura industrial y de servicios y circuitos de comercialización. Apoyos para la captación, verificación y seguimiento de las estadísticas básicas del SNIDRUS.
Capacitación	Se otorgan apoyos para la modernización e impartición de cursos y talleres de capacitación sobre el manejo de la normatividad de los sistemas de captura; geografía y encuestas; indicadores y proyecciones de la producción agroalimentaria; informática y telecomunicaciones; y sistemas para el desarrollo rural sustentable.
Difusión	Se otorgan apoyos para la edición y distribución de publicaciones impresas y en medios electrónicos sobre información económica y productiva para el desarrollo rural sustentable, como anuarios, boletines, revistas, trípticos y folletos, incluidos apoyos para participaciones en ferias y exposiciones agroalimentarias y pesqueras para difundir la información.

Fuente: INEGI – SIAP. *Coordinación Federación – Estados en el SNIDRUS*, septiembre 2002.

De esta manera el Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable se integra con información que generan diversas instituciones que concurren en los comités estatales y nacionales de información. Destacando la información agropecuaria y pesquera, responsabilidad de SAGARPA por medio del SIAP.

La estadística básica de la SAGARPA se integra a través de los sistemas de información agrícola y pecuaria de captura (SIACAP y SIPCAP, respectivamente). Las cifras que se encuentran en estos sistemas para llevar el avance de siembras tienen origen en los técnicos de los CADER, que preguntan la superficie sembrada por cultivo a los productores.

Esta información se concentra en el SIAP y con estos datos este organismo alimenta el Sistema de Consulta (SIACON), así como los anuarios estadísticos y la información de México a nivel internacional.

Otra de las fuentes de importancia para el SNIDRUS son los pronósticos de producción; estos constituyen importantes esfuerzos en cuanto a la aplicación de métodos objetivos a las estimaciones, con diseño cuidadoso del tamaño de la muestra y las zonas precisas que han de visitarse.

1.2 ¿Qué es el SIAP?

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, en lo sucesivo SIAP, es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), que establece las normas, lineamientos y políticas de la información estadística y geográfica del sector agroalimentario y pesquero, que a la vez genera, integra y difunde.

Tiene como misión proveer a los productores agropecuarios, pesqueros y agentes económicos que participan en las cadenas agroalimentarias, información confiable y oportuna para la toma de decisiones que contribuya al desarrollo rural sustentable.³

³ Fuente: www.siap.gob.mx

Función

Dentro de las atribuciones conferidas en el reglamento interior de la SAGARPA el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera tiene las siguientes funciones relacionadas con la información estadística y geográfica:

- Establecer normas, lineamientos y políticas en materia de Información Estadística, Geográfica, Agroalimentaria y Pesquera.
- Dictaminar y validar la información estadística y geográfica correspondiente al ámbito de competencia de la Secretaría.
- Proponer y promover, con la participación que corresponda a las demás unidades administrativas de la Secretaría, el marco conceptual para la construcción de un sistema de información geográfica que considere los insumos interinstitucionales, tanto cartográficos como de base de datos, que permita un análisis integral de la información para el desarrollo rural sustentable.
- Promover la celebración de acuerdos y convenios de intercambio de información estadística y geográfica con dependencias y entidades de la administración pública federal y estatal, así como con instituciones nacionales e internacionales y los sectores sociales y privados.
- Ser la institución coordinadora del Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SNIDRUS). Fuente de estadística e información geográfica del sector agroalimentario y pesquero, con información integrada por la participación de las instituciones y demás agentes involucrados en la materia.

Las oficinas del SIAP se encuentran ubicadas en la Avenida Benjamín Franklin núm. 146, Col. Escandón, delegación Miguel Hidalgo, México, D.F.

Estructura orgánica del SIAP

El SIAP está compuesto por una Dirección General, 7 Direcciones, 20 Subdirecciones, 32 Jefaturas de Departamento y una Unidad Jurídica y de Innovación Tecnológica.

Estructura orgánica operativa del SIAP (Dirección de Encuestas y Geografía)⁴



Fuente: Elaboración propia

Este organigrama se elaboró en base a los datos obtenidos de la página de internet del SIAP; cabe destacar que esta información está actualizada al 27 de junio del 2011, donde aún no aparecen los cambios realizados al área de Geografía. El 27 junio de 2011 por decisión del actual director de la institución, el Soc. Pedro Díaz de la Vega, se convirtió en la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial, conformada por la Subdirección de Información Geográfica y las tres jefaturas de departamento que se observan en el esquema.

⁴ El esquema anterior muestra la estructura orgánica del SIAP. Únicamente se desglosó la información de la dirección donde se encuentra el área de geografía por ser solo está la de interés para este trabajo.

1.3 Geografía en el SIAP

De acuerdo a las funciones y a lo establecido en sus atribuciones legales, el SIAP, requiere de la existencia del Área de Geografía que tiene como objetivo hacer cumplir las tareas de Información Geográfica a nivel nacional que le confiere la Ley de Desarrollo Rural.

Tiene la misión de completar la calidad de la información aplicando la tecnología de sistemas electrónicos que aporten a los productores y agentes económicos, que participan en las cadenas agroalimentarias, de información confiable y oportuna para la toma de sus decisiones que contribuya al Desarrollo Rural Sustentable.

Sus objetivos van enfocados a implementar un sistema que permita contar con información georreferenciada de las actividades productivas agrícola, pecuaria y pesquera, analizando el espacio agropecuario en los ámbitos nacional, estatal y municipal para conocer las semejanzas y diferencias regionales, sus limitantes y potencialidades a considerar en la instrumentación de la política sectorial.

De igual manera, se requiere mantener actualizada y estandarizada la información geográfica del país a partir de la recopilación, generación e integración de cartografía digital obtenida con base en el procesamiento de información georreferenciada a través del uso y manejo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistema de Posicionamiento Global (GPS), y Percepción Remota (PR).

Con base a lo anterior las funciones del área son:

- Aplicar la tecnología de Percepción Remota, GPS y SIG para identificar y cuantificar la superficie de cultivos en un territorio y tiempo definidos, que apoyen la calidad de la información estadística del sector.
- Administración técnica de la antena receptora de imágenes de satélite de la constelación Spot, cuyo propósito para la SAGARPA es dar seguimiento oportuno al monitoreo de los principales cultivos del país.

- Evaluar y cuantificar las afectaciones provocados por fenómenos naturales (heladas, sequías, inundaciones) que influyan en el rendimiento y producción de los cultivos de interés en el territorio nacional.
- Mantenimiento de un sitio en Internet con la compilación de información meteorológica relacionada con las actividades agropecuarias para que los usuarios encuentren en un solo lugar dicha información, además de las ligas con organismos Nacionales e Internacionales generadores de tal información.
- Actualizar y dar mantenimiento a los padrones georreferenciados de cultivos perennes elaborados por la SAGARPA y las Secretarías de Desarrollo Rural de los Gobiernos Estatales.

Otro de los objetivos del área es la implementación de un programa de capacitación mediante talleres estatales y regionales en materia de percepción remota, sistemas de información geográfica y sistema de posicionamiento global, que responde por mandato jurídico al proceso de federalización a través de la ley de Desarrollo Rural Sustentable y a las necesidades de los usuarios.

Para ello realiza actividades como:

- Difundir los métodos y las técnicas en materia de percepción remota con la finalidad de continuar capacitando al personal técnico, cuyos conocimientos adquiridos les permitan obtener resultados óptimos respecto de la estimación de la superficie de los cultivos, el volumen y la producción de las cosechas o de algún tema de interés particular, logrado mediante el uso de métodos, técnicas y softwares especializados en el análisis y procesamiento de imágenes de satélite.
- Mantener a la vanguardia al personal técnico del SNIDRUS en el conocimiento y aplicación del sistema de posicionamiento global y sistemas de información geográfica, con sus respectivos softwares, con el propósito de apoyar en el desarrollo de metodologías y en la generación información espacial que sirva para su posterior procesamiento y análisis.

- Difundir las nuevas tecnologías de internet que permiten la consulta y visualización de información espacial del sector urbano y rural a través de capacitación para el desarrollo de motores gráficos y la publicación de información geográfica tabular a través de mapas temáticos en forma dinámica.
- Colabora con instituciones del exterior y hacia el interior de las Entidades Federativas, con el diseño e intercambio de metodologías y tecnología para la captación de información del sector en los sistemas anteriormente mencionados, dentro de un proceso continuo de capacitación – producción con la finalidad de apoyar el proceso de federalización.

Cambios en el Área de Geografía

La Subdirección de Geografía como ya se mencionó, cuenta con los departamentos de Sensores Remotos, Sistemas de información Geográfica y Sistemas de Posicionamiento Global.

En los últimos cinco años ha tenido una serie de cambios de carácter administrativo, esto como consecuencia de los cambios efectuados en la Dirección del SIAP.

Estructuralmente la Subdirección de Geografía formaba parte de la Dirección de Encuestas y Geografía. Pese a ello, el área de Geografía tenía cierta independencia del área de Encuestas ya que mientras encuestas tenía la finalidad de estimar datos en cuanto a volúmenes de producción y rendimientos entre otros objetivos, mediante la implementación de cuestionarios aplicados directamente a los productores, el área de Geografía se encargaba de estimar datos de superficie sembrada de un determinado cultivo, mediante la utilización de sistemas de información geográfica e imágenes de satélite, además de los distintos proyectos que tiene a su cargo, funciones que actualmente conserva.

El encargado del área de Geografía, en ese entonces (2009), tenía el cargo de subdirector, lo que daba aún más independencia al área, pese a que no estaba considerada estructuralmente como una Dirección, ya que éste era el representante directo y responsable de la entrega de resultados generados en el área.

En el año 2009 se presentó el primer cambio en la Dirección General del SIAP (2007-2011) sin embargo el área no presentó ningún cambio estructural. En cuanto a los proyectos se siguieron manteniendo, cambiando sólo el orden de importancia según los intereses del nuevo director.

Se propuso dar impulso a la capacitación de las dependencias estatales del ramo (OIEDRUS y delegaciones estatales de la SAGARPA) con la finalidad de que estas aprendieran las metodologías utilizadas para la generación de la información y fueran estas quienes generaran la información cuando fuese requerida, así el área de Geografía del SIAP se dedicaría a la evaluación y aprobación de la información generada por las instituciones de cada entidad.

Sin embargo, poco después, se presentó de nuevo un cambio en la Dirección General a finales del 2009, lo que trajo consigo una nueva forma de funcionar para el área de Geografía.

La Subdirección de Geografía siguió perteneciendo a la Dirección de Encuestas y Geografía, sin embargo por decisión del director la mitad del personal del área fue separada para formar una nueva área llamada Centro de Colaboración Geoespacial (CCG), esto debido al interés de tener la información generada disponible en cualquier momento vía internet, designando como tarea del CCG la creación de Sistemas de Información Geográfica vía Web, para que dicha información pudiera ser mostrada y manejada a través de estos sistemas en cualquier computadora y lugar mediante el acceso a internet. Se dio más impulso a las cuestiones de programación cuya principal función es la presentación de los resultados finales, obtenidos por los procesos técnicos y análisis de la información que se realizan en el área.

Estos cambios no tuvieron los resultados deseados, ya que al no delimitarse bien las funciones que deberían de tener cada área tanto del Centro de Colaboración Geoespacial como Geografía, y al haber sido parte de la misma estructura, no podían actuar de manera independiente, debido a que la generación de un proyecto de una de las áreas requería de la participación conjunta de ambas, es decir, solo se dividieron los procesos que en conjunto funcionaban correctamente, además de caer en el error de duplicar trabajo para generar la misma información.

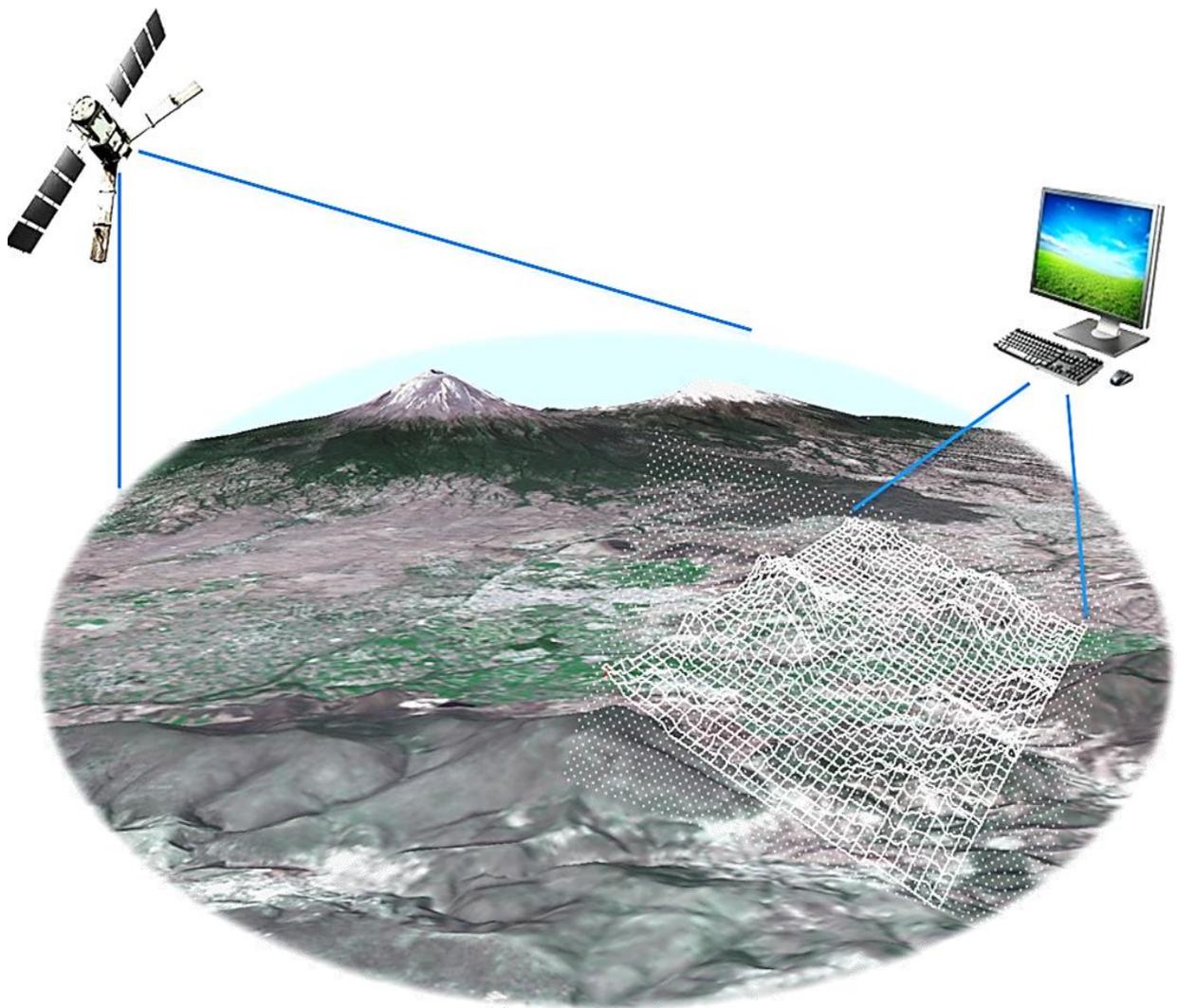
Para el año 2010, con la llegada del actual Director General del SIAP (el tercer cambio en el periodo de tiempo señalado) Geografía tiene una nueva modificación, se convierte en la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial (DSIG), es decir, deja de formar parte de la Dirección de Encuestas y el Centro de Colaboración Geoespacial se disuelve, incorporándose el personal a la DSIG.

La nueva Dirección hereda las responsabilidades y proyectos que estaban a cargo del área de Geografía y preserva los departamentos de Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de Posicionamiento Global y Percepción Remota.

Al igual que en las anteriores administraciones el grado de importancia de cada proyecto o el surgimiento de nuevos, está sujeto a los intereses de la nueva administración. Sin embargo, es importante resaltar que todos los cambios de Director General, así como los cambios de proyectos, de personal y hasta presupuestales, no han cambiado o afectado el uso de los SIG, ni tampoco la participación de los geógrafos en el SIAP, en este sentido se puede afirmar con toda certeza que la importancia y trascendencia de ambos es evidente.

CAPÍTULO II

Los Sistemas de Información Geográfica e Imágenes de Satélite en el SIAP



2.1 SIG, GPS y Percepción Remota

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y la Percepción Remota son elementos básicos e indispensables para el funcionamiento de la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial del SIAP para llevar a cabo el correcto análisis y entrega de resultados de los proyectos a su cargo; por lo que la DSIG cuenta en su estructura con los departamentos de Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de Posicionamiento Global y Sensores Remotos, que en conjunto hacen posible cumplir con las tareas asignadas a la dirección que están enfocadas al desarrollo y generación de información geográfica en el marco del SNIDRUS.

Sistemas de Información Geográfica

Gracias a la creación y constante evolución de las tecnologías computacionales, principalmente a las enfocadas al manejo de bases de datos y transferencia de información, se logró el desarrollo de los SIG que, en la actualidad y debido a la diversidad de software y hardware especializados en el manejo de información geográfica, se puede



Fuente: Componentes de un SIG, Gacano's Blog,
<http://gacano.wordpress.com>

adquirir a un bajo costo, lo que ha permitido su llegada a instituciones del país enfocadas a distintos campos de estudio como: educación, agricultura, climatología, entre otros.

Un SIG es un sistema que está integrado por cuatro componentes básicos: hardware, software, datos (vectoriales, raster y tabulares) y las personas que manejan, manipulan y analizan los datos que se encuentran referenciados espacialmente, estos elementos

están debidamente integrados lo que hace posible visualizar, comprender, cuestionar, interpretar, analizar, procesar y almacenar estos datos permitiendo generar información que facilite la toma de decisiones.

El *hardware* o el componente físico del sistema (BOSQUE, 1992) está compuesto por una plataforma de computadora (estación de trabajo, PC) y una serie de periféricos englobados en dos grupos: de entrada y de salida. En los primeros se puede incluir las tablas digitalizadoras, el escáner (lectores raster o barredores electrónicos) y el teclado; en los segundos, las impresoras, plotters y monitores.

El *software* es donde se va a realizar el manejo de los datos y el procesamiento de estos. Existe una numerosa oferta de programas los cuales se tienen que evaluar para elegir el que realice los procesos que se requieren y se adecue a la disposición de recursos económicos que se tengan. Algunos software son: ArcInfo, ArcView, ArcPad, Idrisi, MapInfo, Iris, Geomedia, ERDAS IMAGINE, PCI Geomatics, ENVI, entre otros.

Los programas que se utilizan en el SIAP son:

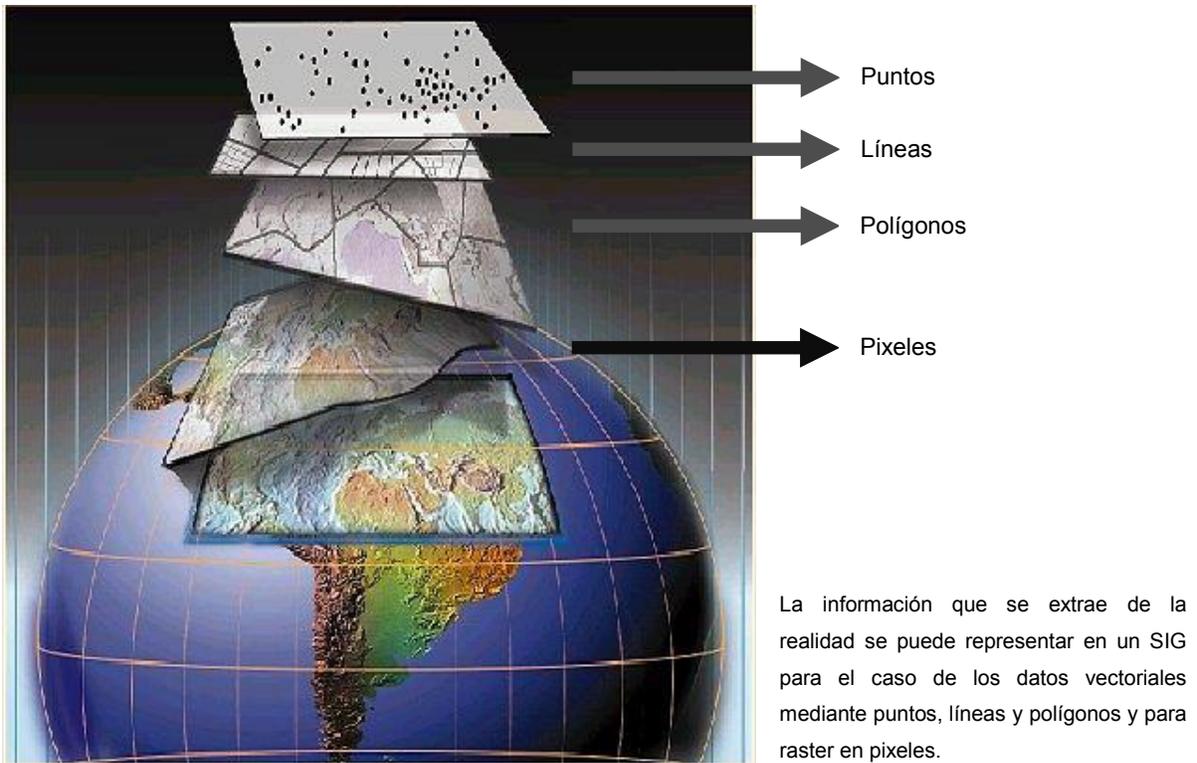
- Para el manejo y procesamiento de datos vectoriales: ArcGIS, ArcView, ArcPad e Iris.
- Para el manejo y procesamiento de imágenes de satélite: ERDAS IMAGINE y PCI Geomatics.

Los *datos geográficos* son la base de todo el sistema ya que sin ellos no tiene sentido los demás componentes del SIG. Si no están presentes, no tiene caso la existencia de hardware y software especializados para el manejo de estos datos, ni la presencia de los usuarios.

Los datos geográficos y tabuladores pueden ser adquiridos por quien usa el sistema de información, así como por terceros que cuentan con estos datos disponibles.

Los *usuarios* son el elemento que hace posible la integración de cada uno de los componentes del SIG y está compuesto por las personas que lo utilizan.

Los datos espaciales que aporta la realidad tienen que convertirse en digitales para su manejo en el SIG. En lo que Comas y Ruiz (1993) denominan *de la realidad al bit*.



De esta forma se tiene la existencia de dos modelos para estructurar la información real a un sistema informático, los cuales son:

El modelo vectorial

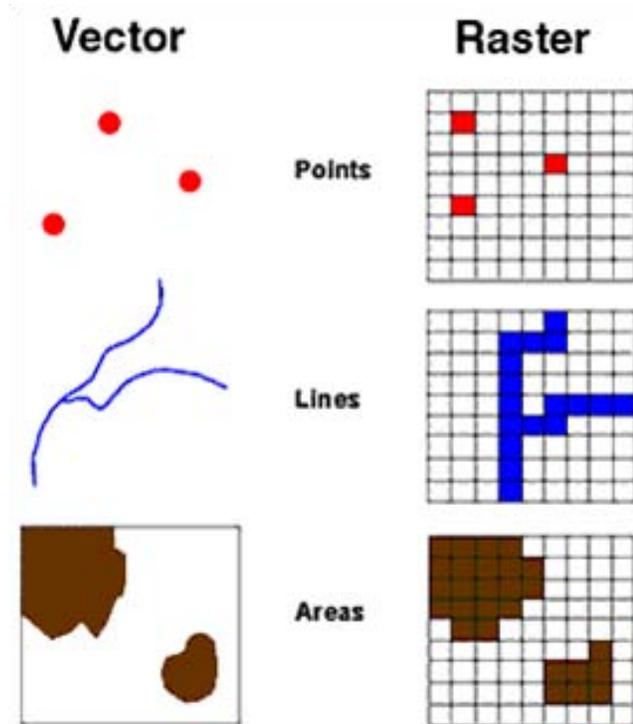
Resume en tres conceptos básicos la representación de los datos obtenidos de la realidad espacial, los cuales son: puntos, líneas y polígonos.

Cualquier fenómeno geográfico puede referirse mediante un punto, una línea o un área definidos tanto por su localización espacial respecto a un sistema de coordenadas como por sus atributos no espaciales.

El modelo raster

Su característica básica es la creación de una trama de celadas o píxeles donde cada uno de ellos tiene una propiedad espacial única. En este modelo lo que interesa es la propiedad espacial, más que los límites exactos.

El pixel es su elemento básico, generalmente su forma es cuadrada y todos tienen el mismo tamaño.



Mientras que para el modelo vectorial el interés se centra en marcar los límites exactos de los datos, para el modelo raster la importancia está en representar la propiedad espacial de los datos.

Fuente: Estructura de datos: Raster y Vector,
<http://aileenred1.blogspot.mx>

Sistema de Posicionamiento Global

El GPS está formado por una constelación de 24 satélites llamada NAVSTAR (NAVigation System with Timing And Ranging); es un sistema de radionavegación, su distribución está pensada para que sean visibles al menos cuatro satélites en cualquier parte del mundo.

Fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines bélicos, su objetivo es dar referencia para calcular posiciones con precisiones que pueden llegar a milímetros.

El GPS provee bajo cualquier condición climática, en todo el mundo, información temporal y posicional las 24 horas del día.

Los receptores reciben las señales desde los satélites GPS y calculan una posición que es mostrada en la pantalla, la información se obtiene en coordenadas en grados o metros, según el sistema de coordenadas que este configurado en el receptor. También pueden

calcular la velocidad y el rumbo cuando se está en movimiento, lo que permite navegar entre posiciones.

El Sistema GPS está compuesto por tres segmentos:

Segmento espacial: compuesto por los 24 satélites ubicados en seis planos orbitales con cuatro satélites en cada plano a una altura de 20,180 Km. El periodo orbital es de 11 horas 58 minutos, lo que hace posible la determinación de la latitud, longitud y altitud de un punto sobre la Tierra.

La precisión va a depender del equipo que se emplee y de las obstrucciones que estén presentes en el momento de la adquisición de las coordenadas, como arboles, edificios, montañas, entre otras; y de la cantidad de satélites que estén visibles en ese momento.

Constelación "NAVSTAR"



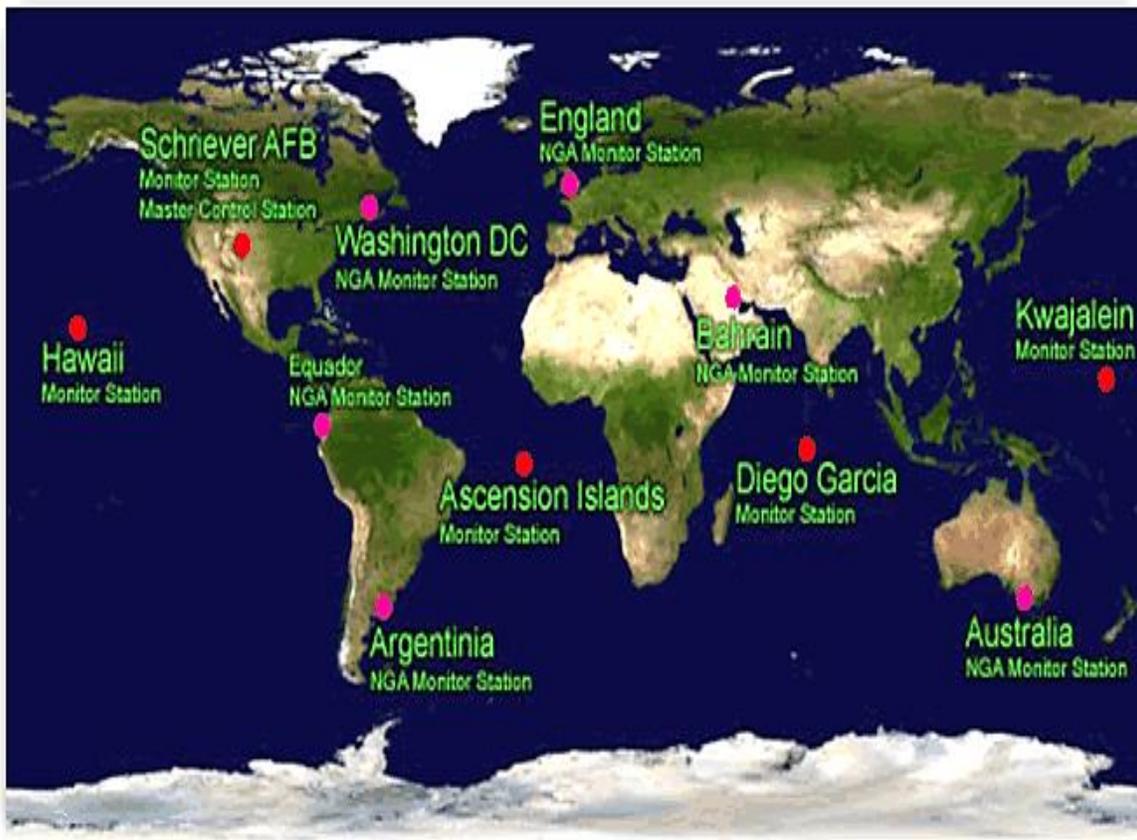
Fuente: Fundamentos del GPS, <http://www.xatakaciencia.com>

La constelación "NAVSTAR" está integrada por 21 satélites operativos y tres de respaldo.

Segmento de control: compuesto por cinco estaciones de control ubicados alrededor del mundo cercanas al Ecuador. Es el control de los satélites a través del rastreo para comprobar su salud, operacionalidad y su posición exacta en el espacio. Los provee de información orbital y de tiempo.

Cuatro estaciones de monitoreo reciben la información de los satélites GPS, las cuales posteriormente envían la información a la Estación de Control Maestra, donde es corregida esta información y reenviada de nuevo a los satélites GPS.

Ubicación de las Estaciones de Control



Fuente: Earthmap: NASA; <http://visibleearth.nasa.gov/>

Los puntos rojos representan las cinco estaciones de control, mientras que los puntos rosas representan las seis estaciones de reserva, que también son de rastreo satelital. La estación Schriever AFB ubicada en Colorado Springs es la Estación de Control Maestra.

Segmento usuarios: se compone del hardware y el software de los equipos GPS, así como las personas que utilizan este sistema. El hardware incluye los componentes de los receptores como antena, unidad de control, pantalla, unidad de almacenaje, cables, baterías, entre otros.

El Departamento de Defensa Estadounidense controla el acceso al sistema mediante códigos. En mayo del año 2000 se liberó por completo la señal compuesta por el código de nombre C/A (Clear/Adquisition) que brinda una precisión en metros. El código P encriptado es empleado para la navegación de alta precisión la cual es en milímetros y su uso es exclusivo del ejército norteamericano.

Los equipos GPS utilizados en el SIAP son:

eTrex VISTA



- Es un receptor de 12 canales⁵, cuenta con cartografía y una montura resistente al agua.
- Memoria de 1000 *waypoints*⁶ y 20 rutas con capacidad de almacenamiento de 125 puntos en cada ruta.
- Tiene la capacidad de generar 10 *tracklogs*⁷ de hasta 10,000 puntos y es compatible con el sistema WAAS⁸.
- Su capacidad de memoria es de 24MB con una pantalla de alta resolución.
- Su alimentación es con 2 pilas AA y tiene un peso de 150g (incluyendo pilas).

⁵ Canales: la cantidad de número de señal de satélites que puede recibir.

⁶ Waypoints: coordenadas para ubicar puntos de referencia (latitud, longitud y altitud), se emplea para trazar rutas mediante agregación secuencial de puntos.

⁷ Tracklogs: rutas de recorridos

⁸ WAAS (Wide Area Augmentation System): es un Sistema de Aumentación Basado en Satélites desarrollado por EU, sirve para proporcionar una mayor precisión y seguridad en las señales, permitiendo una precisión en la posición menor de dos metros.

Garmin 12 XL



- Es un receptor de 12 canales paralelos, con tiempo de adquisición de 15 segundos aproximadamente y una precisión de 5m.
- Tiene una carcasa resistente al agua, un peso de 269 g, aproximadamente, utiliza cuatro pilas AA de 1.5 voltios.
- Memoria de 500 waypoints, 20 rutas con capacidad de almacenamiento de 30 waypoints en cada ruta, así como la generación de tracklog.

Mapa Móvil Juno ST



- Sistema operativo Windows Mobile 5.0 con procesador Samsung 300 MHz.
- 64 MB en RAM, memoria flash de 128 MB no volátil, con ranura para tarjeta de memoria SD.
- Bateria de Li-ion recargable y extraíble.
- Tecnología inalámbrica integrada: Bluetooth y WiFi 802.11 b/g.
- Receptor y antena GPS/WAAS de alta sensibilidad SIRF integrado.
- Precisión de 2-5 metros, con 12 canales y soporte NMEA y SIRF.

Mapa Móvil NOMAD 800I



- Sistema operativo Windows Mobile 6.0, con procesador de 806 MHz.
- 128MB en RAM, memoria flash de 1GB no volátil, con ranura para tarjetas SD/CF.
- Batería de Li-ion recargable y extraíble.
- Tecnología inalámbrica integrada: Bluetooth 2.0 y Wireless LAN.
- Receptor GPS integrado de 12 canales.
- Exactitud con código posprocesado 2 a 5 mts.
- Especificaciones IP67 para uso rudo y pantalla VGA (640x480) touch screen.

Percepción Remota

Antes de tratar el tema sobre imágenes de satélite es necesario hablar de la percepción remota (PR) por ser el principio en el que se basa la obtención de todas las imágenes satelitales.

La percepción remota es la obtención de información de un objeto que se encuentra a distancia mediante un instrumento que no está en contacto directo con él.

Las aplicaciones de la PR son variadas pueden ser aplicadas en medicina; por ejemplo, las imágenes del cuerpo humano obtenidas mediante rayos X, las sonografías que se aplican a las mujeres embarazadas y la observación de la Tierra.

Los seres humanos siempre han tenido curiosidad por conocer el mundo que los rodea el cual empezó a observar desde la altura subiéndose en los principios de su historia a árboles o a montañas para obtener una mejor visión; conforme el tiempo avanzó y el ser humano se fue desarrollando, construyó torres de observación donde las observaciones

eran capturadas por dibujantes y escritores. Sin embargo, no fue sino hasta la invención de la cámara fotográfica en 1822 cuando hubo un mayor impulso para el desarrollo de la observación de la Tierra.

Fue en 1909 cuando se inició la toma de fotografías aéreas para fines cartográficos gracias al perfeccionamiento de los aviones, dando pauta a la observación terrestre a partir de plataformas espaciales.

En la Segunda Guerra Mundial la observación de la Tierra tuvo grandes avances, ya que en esta época no solo se expandió la toma de fotografías aéreas desde aviones, sino que se implementó por primera vez el uso de películas sensibles a la luz infrarroja lo que permitió diferenciar los objetos camuflajeados de la vegetación real. También se desarrolló la percepción remota a través del radar y las microondas y, con el desarrollo de cohetes para fines bélicos durante esta guerra, fue posible que en años posteriores se iniciara su uso como plataformas de observación a distancia.

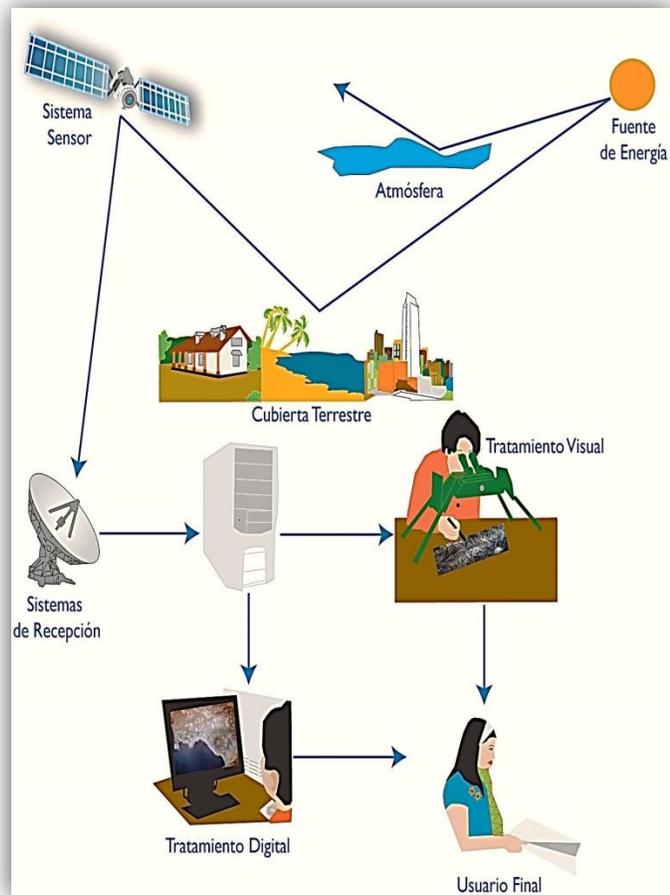
Con la denominada Guerra Fría se dio un gran incentivo al desarrollo de estas tecnologías de observación a distancia entre Estados Unidos de América y la URSS, donde esta última lanza el 4 de octubre de 1957 el primer satélite artificial al espacio llamado Sputnik I que fue seguido por otro de los E.U., meses después, el satélite llamado Vanguard, el cual no tuvo éxito ya que se incendió en el momento de su lanzamiento; sin embargo, al año siguiente los E.U. colocaron su primer satélite en órbita, el Explorer I.

En la década de los años 60 las plataformas satelitales reemplazaron a las aéreas y los sensores electrónicos multiespectrales, acoplados a computadoras, reemplazaron las cámaras fotográficas. Dando inicio así a la disciplina conocida hoy en día como percepción remota o teledetección espacial.

Componentes de un sistema de percepción remota

Chuvieco(1990) identifica seis elementos fundamentales en un sistema de percepción remota:

- i. *Fuente de energía:* es el origen del flujo energético detectado por el sensor para la teledetección pasiva, este es el sol (la fuente de energía más importante) y para la activa puede tratarse de un haz energético emitido por el propio sensor.
- ii. *Cubierta terrestre:* son las distintas masas de vegetación, suelos, agua, construcciones humanas que reflejan o emiten las señal energética proveniente del sol o de un haz emitido por algún sensor. La manera e intensidad con la que reflejan o emiten esta energía depende de las características físicas de cada cobertura de la superficie terrestre.
- iii. *Sistema sensor:* está compuesto por el sensor y por la plataforma que lo sustenta, éste capta la energía procedente de la cubierta terrestre, codifica la información, la almacena o la envía directamente al sistema de recepción.
- iv. *Sistema de recepción – comercialización:* es donde se recibe la información capturada por el sensor, es grabada en un formato apropiado y se le aplican oportunas correcciones para finalmente ser distribuidas a los intérpretes.
- v. *Intérprete:* es el que analiza la información (imágenes digitales o analógicas), traduciendo la información espectral en información relevante (temática o cuantitativa) para aplicaciones específicas.

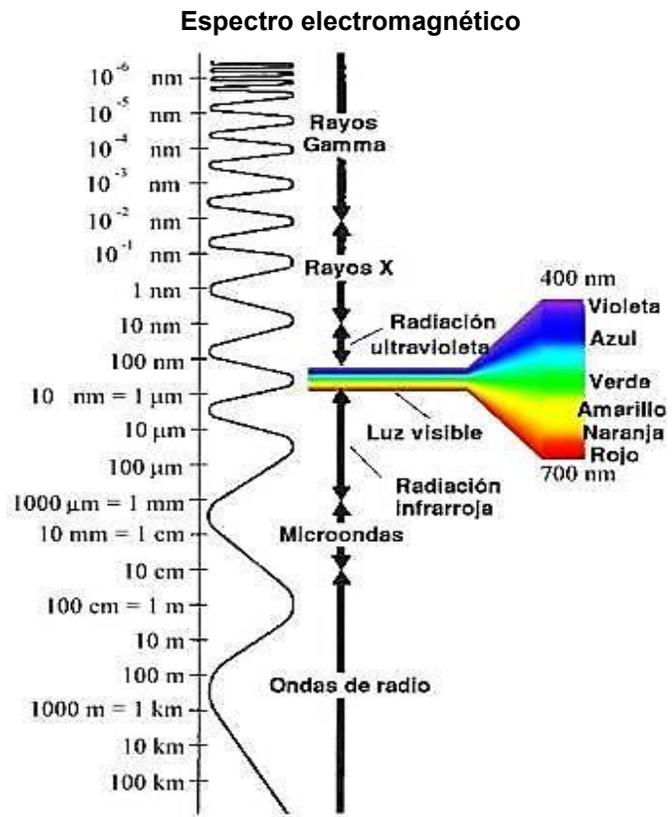


Fuente: Componentes de un sistema de percepción remota, <http://geoservice.igac.gov.co>

- vi. *Usuario final:* analiza el documento generado por la interpretación y dictamina sobre las consecuencias que de él se deriven.

La visión humana es en sí un sistema de teledetección que permite caracterizar con detalle los objetos que se observan (Chuvienco1990). Sin embargo, la visión humana presenta algunas limitaciones, esto debido a que solo puede apreciar un determinado tipo de energía (espectro visible), otros tipos de energía como el calor, rayo x, microondas, entre otras, no son perceptibles para el ojo humano por ello es preciso contar con elementos externos que nos permitan ampliar nuestras posibilidades. Otra limitación que presenta la visión humana tiene que ver con la perspectiva de observación la cual está reducida a la estatura del observador. Si bien la perspectiva puede ampliarse ubicándose en alturas mayores como en la cima de una montaña, aun así se trata de una perspectiva oblicua con un pequeño radio de acción lo que dificulta observar fenómenos muy extendidos como inundaciones o incendios, donde las estimaciones directas son generalmente imprecisas.

Para poder resolver estas limitaciones es necesario el empleo de sensores montados en plataformas situadas a una cierta altitud para tener acceso a tipos de energía no visibles para el ojo humano además de una perspectiva vertical y panorámica que nos ayuda a tener un mejor conocimiento del medio que nos rodea, facilitando la interpretación de los procesos que afectan a la Tierra.



Fuente: El Espectro Electromagnético, <http://infobservador.blogspot.mx>

Los satélites de percepción remota tienen sensores que detectan la luz visible, al igual que las fotos, pero también pueden detectar radiación que los seres humanos no son capaces de ver (por ejemplo: luz infrarroja y las ondas de radar). El espectro electromagnético es un espectro continuo de todos los tipos de radiación electromagnética ordenados generalmente de acuerdo a su longitud de onda como se muestra en la imagen.

2.2 Uso de las Imágenes de Satélite en el SIAP

Una imagen de satélite se puede definir como la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial cuya unidad mínima de información se denomina píxel y que es proporcional en tamaño a la unidad mínima de observación en la realidad. Estos sensores recogen la información reflejada por la superficie terrestre donde la intensidad de esta energía va a depender de lo que hay sobre la superficie (cultivo, suelo desnudo, zonas urbanas) y que, procesada convenientemente, entrega valiosa información sobre las características de la zona representada.

Las imágenes satelitales ofrecen una perspectiva única de la Tierra, sus recursos y el impacto que los seres humanos ejercen sobre ella. La teledetección satelital ha sido una fuente valiosa de información para diversas aplicaciones como: planificación urbana, exploración minera, vigilancia del medio ambiente, gestión de cultivos y muchas otras más.

La visión global de los objetos y el detalle de la superficie terrestre que se tiene en las imágenes de satélite han facilitado la comprensión de las relaciones entre ellos ya que muestran mucho más de lo que el ojo humano puede observar.

Las imágenes satelitales son elegidas para la realización de diversos estudios por tener varios puntos a favor como:

- Al ser digitales, las imágenes están listas para ser utilizadas en un SIG para su tratamiento, evitando la necesidad de tener que escanearse. También se pueden procesar y manipular para extraer detalles sutiles e información que en otras fuentes no se puede detectar.
- La rapidez con la que un satélite puede capturar una extensa área, como un vasto bosque o toda una ciudad, aunado a que los satélites no tardan más de una semana en adquirir imágenes de una misma área.
- Al poder adquirir la imagen pocos días después de la toma, la información esta actualizada.

- Para grandes áreas, las imágenes de satélite tienen generalmente un costo menor que las fotografías aéreas.
- Son de un carácter global ya que los satélites pueden sobrevolar todas las zonas del planeta; al estar en orbitas polares, no están limitados por fronteras geográficas ni políticas.
- En una sola toma se tiene una gran variedad de información desde carreteras, infraestructuras, cultivos, relieve, cuerpos de agua.
- En una imagen de satélite en bruto (sin procesar) la representación es precisa, objetiva e imparcial de los objetos y de la superficie terrestre.
- Los procesos y análisis de las imágenes de satélite pueden ser tanto sencillos como complicados según lo que se desee.

Por ello, la utilización de las imágenes se ha convertido en algo casi imprescindible para muchas instituciones tanto del sector público como privado que requieren de un análisis espacial.

En la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial (DSIG) del SIAP el empleo de las imágenes satelitales es primordial para llevar a cabo los proyectos que se realizan, ya sea utilizándolas en gabinete como base para la digitalización del área agrícola de un estado, en campo para la correcta localización de parcelas a visitar, para realizar procesos más especializados como una clasificación para la obtención de superficie sembrada de un determinado cultivo o bien, para la estimación de daños ocasionados por fenómenos meteorológicos. También son usadas para la visualización de las condiciones de los cultivos (monitoreo de cultivos).

Cuando se discuten y comparan los sistemas de percepción remota y las imágenes producidas, se toman a consideración al menos cuatro características:

1. *Resolución espacial*: hace referencia al objeto más pequeño que se puede distinguir en la imagen, mide la menor separación angular o lineal entre dos objetos. Se mide en unidades de longitud (en milímetros sobre la imagen, o en metros sobre el terreno) y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie.

Mientras mejor es la resolución espacial, el tamaño de los archivos digitales aumenta y por lo tanto, exige para su tratamiento un espacio de almacenamiento considerable en la computadora.

2. *Resolución espectral*: indica la cantidad y anchura de bandas espectrales que el sensor puede capturar; de esta manera, mientras mayor sea el número de longitudes de onda (bandas) que el sensor puede discriminar, este será más idóneo para facilitar la caracterización espectral de las distintas coberturas de la superficie.

El radar es uno de los sensores espaciales que menor resolución espectral tienen, estos generalmente trabajan con solo un canal.

3. *Resolución radiométrica*: es la sensibilidad que el sensor tiene para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe, es decir, el número máximo de niveles digitales (intensidad luminosa o nivel de gris) de la imagen. La mayor parte de los sistemas ofrecen las imágenes digitales con 256 niveles por píxel (de 0 a 255), ya que generalmente aporta suficiente detalle sin sacrificar demasiado espacio de almacenamiento en la computadora.

4. *Resolución temporal*: es la periodicidad con la que el sensor puede adquirir una nueva imagen de la misma porción de la superficie terrestre. Se define por la velocidad con la que el sensor realiza su órbita alrededor de la tierra.

La secuencia temporal de los sistemas espaciales varía de acuerdo con los objetivos fijados para el sensor. Los satélites meteorológicos tienen por ejemplo el objetivo de ofrecer información en periodos cortos de tiempo, ya que se dedican a observar fenómenos muy dinámicos como son los huracanes.

Las imágenes de satélite con las que se trabaja en el SIAP son principalmente: imágenes MODIS (Espectroradiométrico de Imágenes de Resolución Moderada), imágenes de Radar e imágenes SPOT (Satélite Para la Observación de la Tierra).

Imágenes MODIS

Estas imágenes son registradas por el sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) que se encuentra a bordo de los satélites Terra-1 y Aqua-1.

Características:

Resolución espacial: La imagen tiene tres resoluciones, dos canales de 250 metros (bandas 1 y 2), cinco canales de 500 metros (bandas 3 - 7) y el resto de 1000 metros (bandas 8 - 36).

Resolución espectral: Tiene 36 bandas entre el rango visible y el infrarrojo térmico.

Resolución temporal: Diario. Para cubrir toda la República Mexicana se requieren de 3 escenas máximo.

En la DSIG son utilizadas principalmente para la observación de la condición de los cultivos que son afectados por fenómenos meteorológicos que se presentan a gran escala en nuestro país y que involucran cambios en la agricultura, o bien para la observación de situaciones que no afectan directamente a la agricultura pero sí a alguna zona natural de nuestro país, como un derrame de petróleo en el mar o incendios forestales, lo cual requiere de un trabajo interinstitucional, es decir, del apoyo del SIAP a otras instituciones gubernamentales en cuanto al procesamiento de estas imágenes.

Las imágenes son adquiridas gratuitamente en las páginas de internet de la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio) y de la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), ésta última tiene en sus instalaciones una antena receptora de estas imágenes.

A continuación se presenta un ejemplo de dos trabajos realizados en la DSIG que requirieron el apoyo de las imágenes MODIS.

Derrame de petróleo en el Golfo de México

El primer ejemplo es el seguimiento del derrame de petróleo ocurrido el 20 de abril del 2010 en el Golfo de México por la explosión de la plataforma petrolera Deepwater Horizon, operada por British Petroleum. El hundimiento de la plataforma provocó la fuga de una inmensa cantidad de petróleo en las costas de Luisiana, EE.UU.

Se obtuvo una cobertura SPOT de la zona afectada, sin embargo, por el intenso monitoreo que se tenía que hacer y debido a la extensa área a monitorear, las imágenes MODIS resultaron ser la mejor herramienta gracias a su alta resolución temporal con una visita diaria y a las pocas tomas necesarias para abarcar la zona de estudio (fueron necesarias de una a dos tomas al día para cubrir el área). Se utilizaron imágenes con resolución de 500 y 250m.

El área de Geografía (hoy Dirección de Sistemas de Información Geoespacial) tuvo a su cargo las actividades de:

- La búsqueda y obtención de imágenes MODIS las cuales fueron descargadas de la página de la NASA y otras de la CONABIO.
- La importación de cada una de las imágenes (para el caso de las imágenes adquiridas del sitio ftp de CONABIO, por ser archivos binarios⁹) a formato "img"¹⁰ con el software de ERDAS. Del portal de la NASA se descargaron las imágenes en formato "jpg"¹¹ (no hubo necesidad de realizar la importación).
- Se le definieron sus parámetros cartográficos a cada una de las imágenes: su tamaño de pixel, unidad en la que están y su proyección. Para las imágenes que no contaban con su información de origen, es decir sus parámetros, hubo la necesidad de georreferenciarlas en el software de ArcGIS.
- Se mejoró el aspecto de las imágenes realizando cambios en su brillo y contraste. Para las imágenes descargadas de la CONABIO se hicieron fusiones entre las

⁹ Archivo Binario: es un archivo informático que contiene información de cualquier tipo codificado en binario para el propósito de almacenamiento y procesamiento en ordenadores.

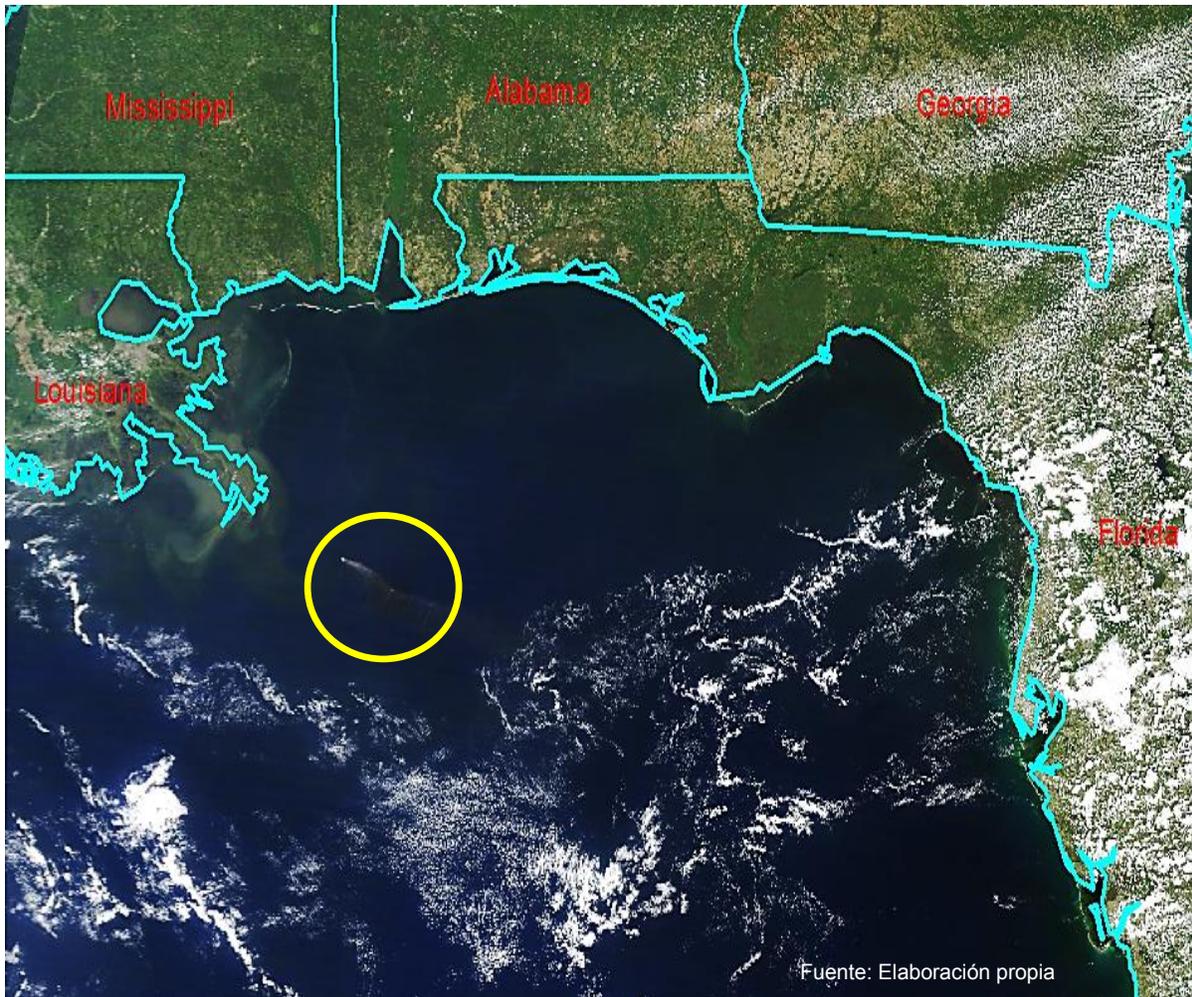
¹⁰ Formato "img": es creado con el software de procesamiento de imagen IMAGINE de ERDAS. Estos archivos pueden almacenar datos de banda única y multibanda tanto continuos como discretos.

¹¹ Formato "jpg": es una forma de almacenar una imagen digital, es el formato más popular. Es un algoritmo compresor que provoca pérdida de la calidad, pero ocupa poco espacio de almacenamiento; puede decidirse el nivel de compresión que se desea tener.

imágenes de 500m y 250m de resolución, además de un cambio en sus bandas para su visualización a color verdadero.

- Se proyectaron al sistema de coordenadas CCL (Lambert Conformal Conic)¹² y se exportaron a un formato ECW (Enhanced Compressed Wavelet)¹³ para su fácil despliegue en el SIG vía web.

Imagen Terra del 21 de abril del 2010 con resolución de 250m

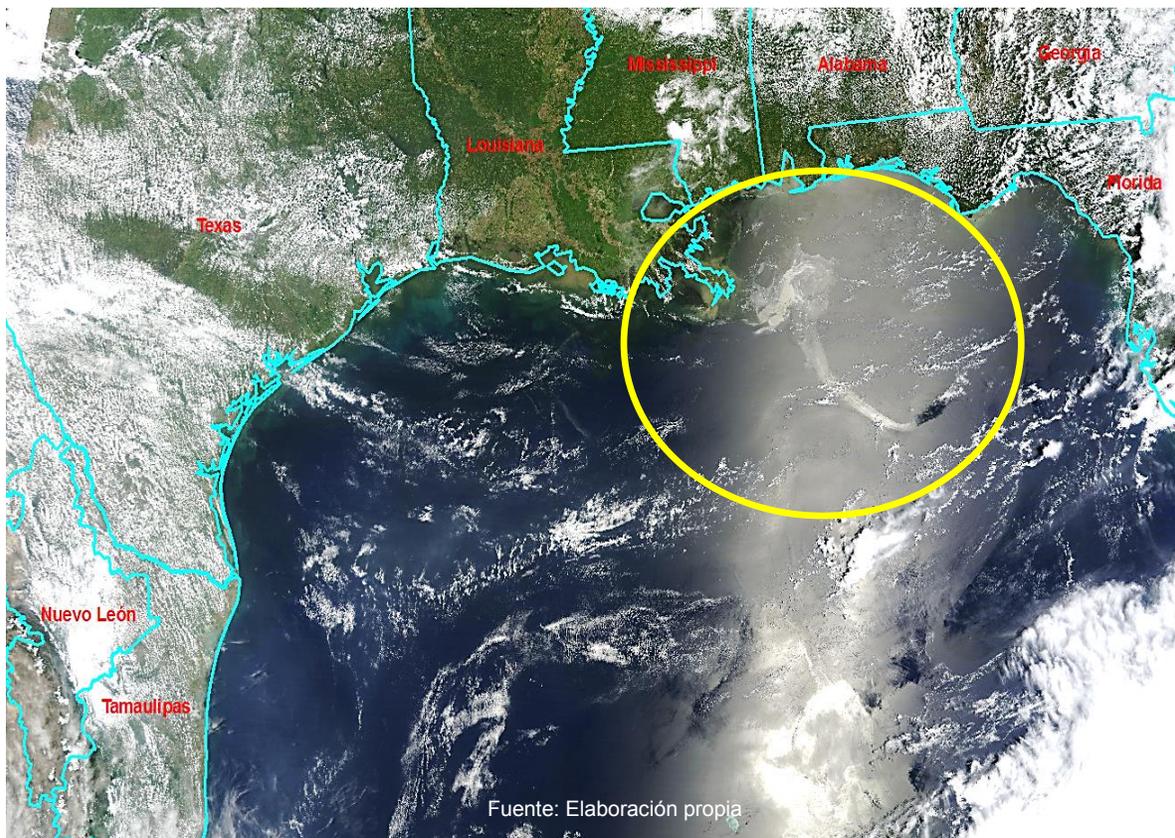


El círculo amarillo señala el humo emitido por la explosión de la plataforma petrolera Deepwater Horizon de British Petroleum ocurrida el 20 de abril del 2010.

¹² CCL: es una proyección cartográfica cónica. Los parámetros oficiales para la proyección CCL en México son: Latitud del Primer Paralelo Estándar: 17°30'N, Latitud del Segundo Paralelo Estándar: 29° 30' N, Latitud del Origen de la Proyección: 12° N, Longitud del Meridiano Central: 102° 00' W, Falso Este del Origen: 2'500,000.00 y Falso Norte del Origen: 0.00.

¹³ ECW: es un formato de compresión para imágenes raster con pérdida de información, desarrollado por la empresa Earth Resource Mapping, (en la actualidad propiedad de Leica Geosystems). Como consecuencia de esto se reduce considerablemente el tamaño de los archivos, manteniendo una alta calidad gráfica y permitiendo una rápida compresión y descompresión mediante un uso escaso de la memoria RAM. Es ampliamente utilizado en geomática en software de procesamiento de imágenes digitales dado que preserva la georreferenciación de la imagen.

Imagen Terra del 17 de mayo del 2010 con resolución de 250m



El círculo amarillo muestra la extensión que abarcaba la mancha de petróleo para el 17 de mayo del 2010.

El Centro de Colaboración Geoespacial se encargó de:

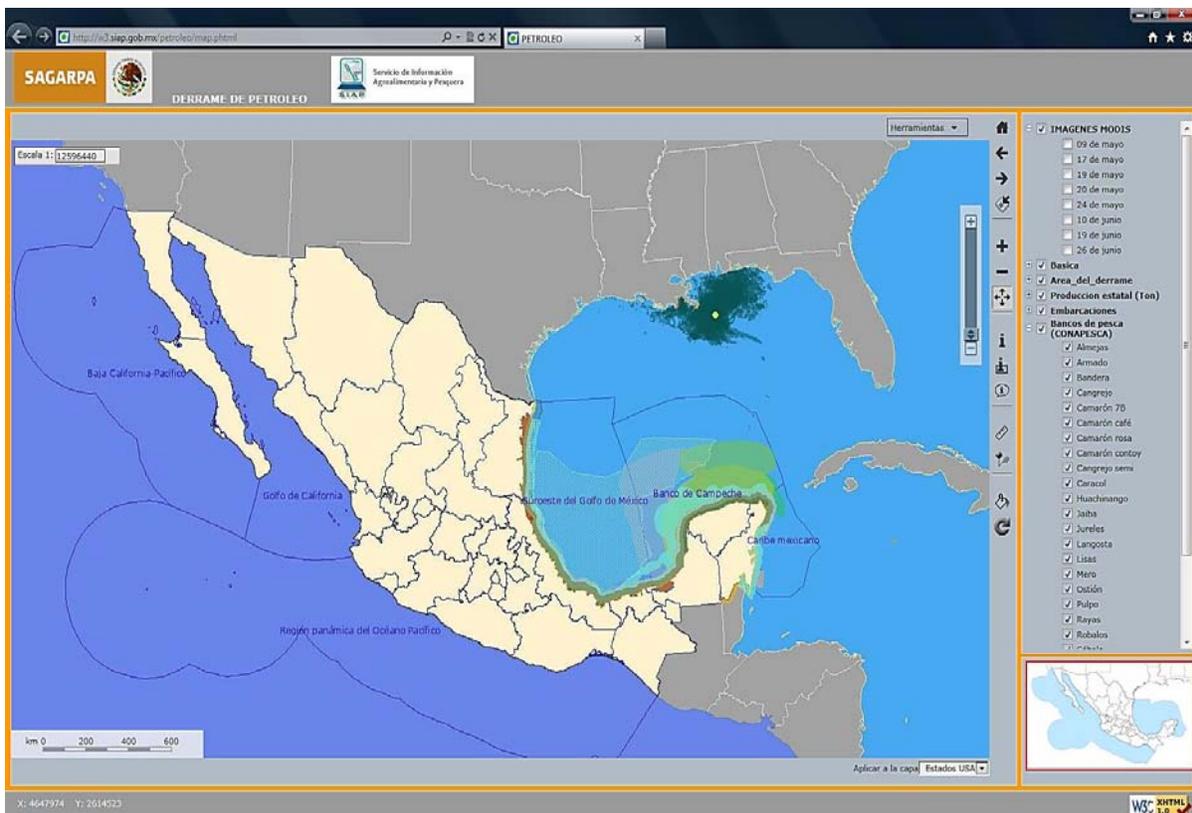
- Diseñar un Sistema de Información Geográfico al cual se podía acceder vía web.
- Subir la información vectorial y raster al SIG:
 1. Información vectorial básica como límites estatales de México y Estados Unidos, fronteras y zona económica exclusiva.
 2. Imágenes MODIS del derrame.
 3. Información vectorial del área del derrame.
 4. Información de la producción estatal en toneladas de los estados de Campeche, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz.
 5. Información de embarcaciones y bancos de pesca.
- Monitoreo del crecimiento y dirección de la mancha de petróleo para el oportuno aviso en caso de que el derrame llegara a territorio nacional.

El seguimiento que comenzó en los inicios de mayo, concluyo a finales de agosto del 2010 por decisión del Director General del SIAP.

Durante el monitoreo realizado en este periodo la mancha de petróleo, según lo observado en las imágenes MODIS, no llegó al territorio nacional.

Anteriormente se podía acceder a la visualización del SIG en la siguiente dirección: <http://w3.siap.gob.mx/petroleo/map.phtml>

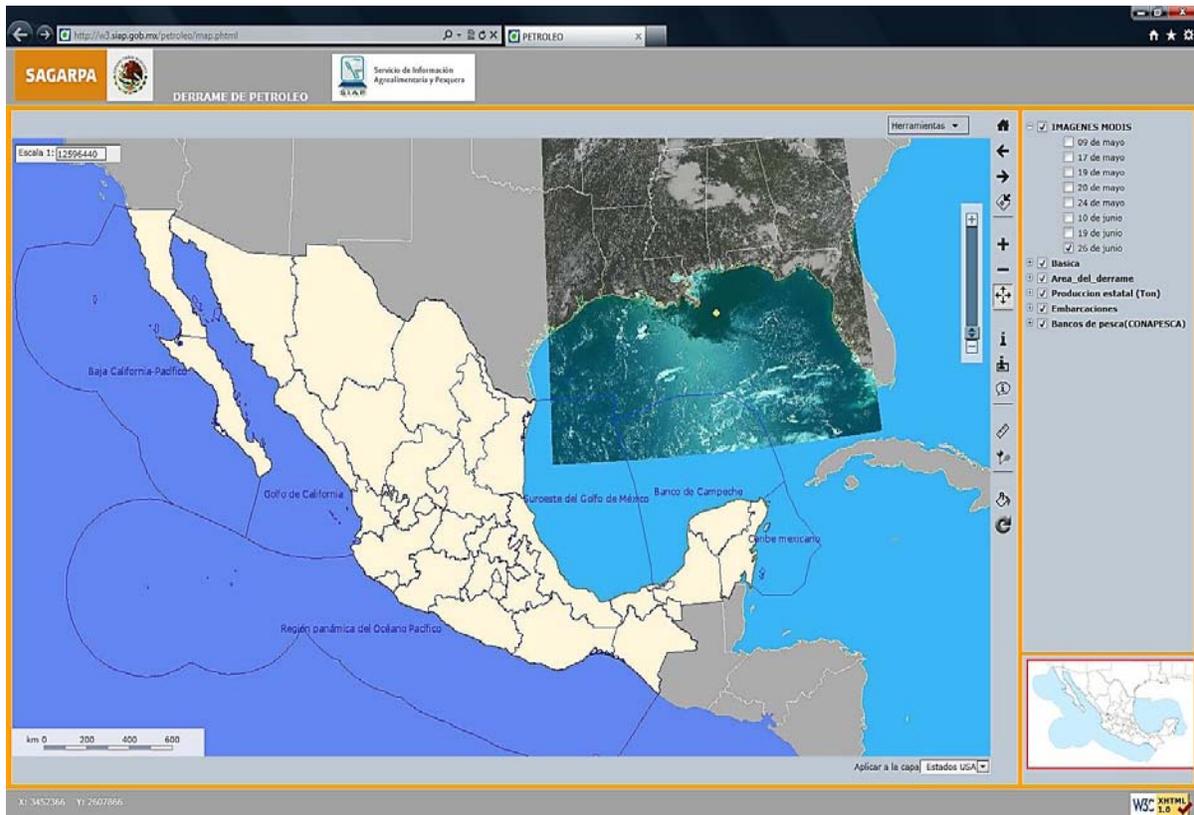
Vista 1 del SIG del seguimiento del derrame de petróleo en el Golfo de México



Fuente: SIAP

Vista del Sistema de Información Geográfica creado para seguir vía web el avance de la mancha de petróleo en las costas de Louisiana. En ella se puede observar las capas de los límites estatales tanto de Estados Unidos de América como de la Republica Mexicana, así como las capas de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de México representado por las líneas azules, área del derrame representado por el manchón oscuro y los bancos de pesca representados por los manchones de color dentro de la ZEE de México.

Vista 2 del SIG del seguimiento del derrame de petróleo en el Golfo de México



Fuente: SIAP

La imagen muestra la activación de la imagen MODIS del 26 de junio del 2010 en el SIG.

Helada en Sinaloa

El segundo ejemplo es sobre las heladas ocurridas en el estado de Sinaloa durante el mes de febrero del 2011.

La importancia de este trabajo se debió a que Sinaloa es uno de los principales productores de maíz en México y dado que el maíz forma parte de los granos básicos de la dieta nacional, aunado a la extensa área de afectación, surgió la preocupación a tal acontecimiento debido a que el fenómeno meteorológico provocó la pérdida total de este cultivo.

El análisis que se llevó a cabo con las imágenes MODIS consistió en la observación de la condición del cultivo y la extensión del siniestro. La observación se dio en tres etapas:

- La observación del “antes”, es decir, se vio la condición del cultivo y su cobertura con imágenes del mes de enero, antes del siniestro.
- El “después” consistió en la observación del daño en el cultivo y en el impacto espacial que dejó este fenómeno meteorológico.
- La tercera etapa fue el monitoreo de la “resiembra”. Al determinar que el daño fue una pérdida casi total, las autoridades competentes realizaron acciones para contrarrestar el impacto negativo que dejaron las heladas. Una de las acciones consistió en dar apoyo mediante el abastecimiento de semillas a los productores para que realizaran una resiembra. Por ello, se decidió que todos los lunes a partir del mes de marzo se descargaran y procesaran junto con su NDVI (Índice Diferencial de Vegetación Normalizado) las imagen MODIS de la zona para el monitoreo del desarrollo del cultivo.

El análisis realizado se basó en la respuesta espectral que tiene la cubierta vegetal representada en la imagen. En una vegetación sana es bastante baja la reflectancia en la porción del espectro electromagnético correspondiente al visible, ya que la mayor parte de esta energía es absorbida por la planta y una muy pequeña porción es reflejada. Esta reflectancia es mayor en la longitud de onda del verde debido a que la hoja absorbe menos longitud de esta onda, por ello observamos el follaje sano de ese color.

“Cuando una planta está bajo estrés (falta de nutrientes, falta de agua, enfermedades) la producción de clorofila disminuye, carece de pigmentación clorofílica y, por esta causa, las plantas absorben menos en la banda de absorción de la clorofila. Estas plantas tendrán muy alta reflectancia en la porción roja del espectro y aparecen amarillentas o cloróticas”. (Swain y Davis, 1978).

En la porción correspondiente al infrarrojo cercano el aumento en la reflectancia se debe a la estructura interna de las hojas, mientras que la reflectancia en el infrarrojo medio aumenta si el contenido de humedad de las hojas es mayor.

El sensor en base a las características de reflectividad de la hoja (en función de la cantidad de pigmentos, estructura celular y contenido de agua de ésta), la morfología de la planta (altura, grado de cobertura del suelo) y situación geográfica de la planta (pendiente,

asociación con otros cultivos, geometría de la plantación) permite discernir entre unas especies y otras su nivel de desarrollo así como su estado sanitario.

Imagen Terra del 25 de enero del 2011 con resolución de 250m



Fuente: Elaboración propia

La imagen muestra la situación del área agrícola del estado de Sinaloa para el 25 de enero, donde se puede apreciar que los cultivos sembrados presentan un crecimiento y vigorosidad normal. El cultivo de maíz, por la fecha de la toma, se encuentra en una etapa de desarrollo.

Imagen Terra del 10 de febrero del 2011 con resolución de 250m



Fuente: Elaboración propia

La imagen muestra la pérdida de los cultivos sembrados en el estado de Sinaloa, que al compararla con la imagen del 25 de enero las tonalidades verdes han desaparecido lo que demuestra el daño provocado por las heladas. Se observan algunos manchones que conservan un verdor, síntoma de la presencia aun de cultivos, que son los que lograron sobrevivir a las heladas.

Imagen Terra del 12 de mayo del 2011 con resolución de 250m



Fuente: Elaboración propia

La imagen muestra la situación de los cultivos para el 12 de mayo perteneciente a la etapa de la resiembra, efectuada después de las heladas. Se observa que la situación del crecimiento de los cultivos y su vigorosidad son normales, donde la mayoría de los cultivos sembrados como el maíz, sorgo, alfalfa, caña de azúcar, entre otros, se encuentran en una etapa fenológica en desarrollo de acuerdo a la información recabada en campo.

Todas las imágenes MODIS utilizadas para este seguimiento tienen como fuente de origen la página de internet de la NASA. El seguimiento concluyó con la imagen del 27 de junio del 2011 debido a que se comenzó con la labor de cosecha.

Imágenes de Radar

El radar es un sistema activo que, mediante un haz energético, ilumina la superficie terrestre y mide la señal reflejada por lo que una imagen de radar es la relación de la energía de microondas transmitida a la Tierra con la energía reflejada directamente de regreso al sensor. Esta energía reflejada se llama retrodispersión la cual va a depender de la topografía local, la rugosidad y las propiedades dieléctricas que están directamente afectadas por los niveles de humedad.

Al ser un sensor activo puede adquirir imágenes tanto en el día como en la noche. Las señales electromagnéticas que emite el sensor son de una longitud de onda de microondas determinada, por ello las imágenes de radar son en blanco y negro.

Las superficies con gran rugosidad, como las ciudades, aparecen muy brillantes; mientras que las superficies lisas como una carretera se ven casi negras.

Los datos capturados por estos satélites sirven para el monitoreo de nuestro entorno las 24 horas del día y en condiciones meteorológicas desfavorables, cuando otros satélites no pueden funcionar.

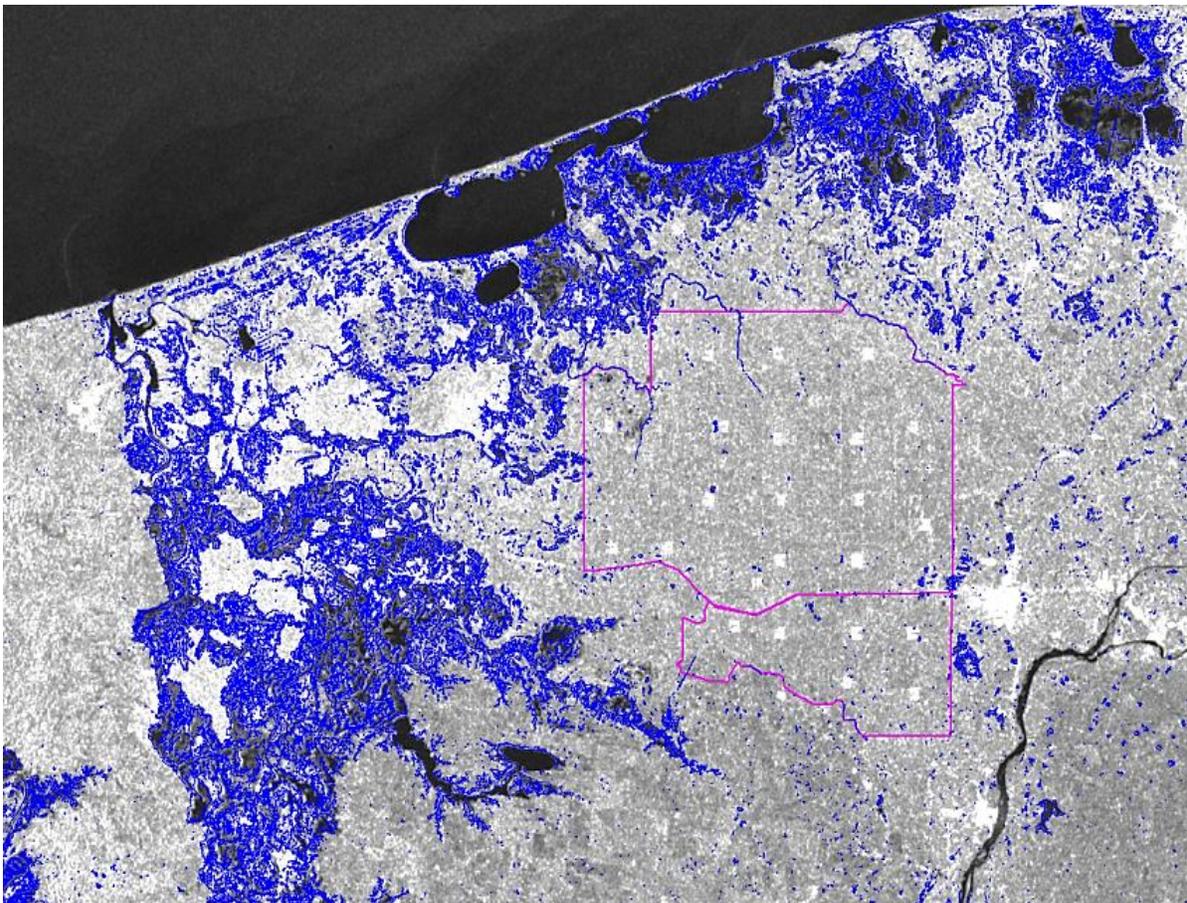
Son de gran utilidad para el monitoreo de inundaciones, para detectar cambios en la superficie terrestre como el crecimiento de la vegetación, variaciones de la humedad del suelo, cambios ocurridos por movimientos sísmicos, para hacer mapeos, entre otros.

Para el caso de estas imágenes, la utilización en el SIAP es escasa debido a que la institución tiene como fuente principal de información las imágenes de satélite SPOT. Debido a que el SIAP tiene un contrato con la empresa francesa SPOT IMAGE para la adquisición de estas imágenes, tiene a cargo una antena receptora; por ello, los trabajos realizados con otros sensores como MODIS o Radar son solo para complementar algún proyecto.

La adquisición de las imágenes de Radar es por medio del intercambio de información con otras instituciones gubernamentales que cuentan con estas imágenes.

De los trabajos realizados con estas imágenes se encuentran principalmente los casos de clasificación para la estimación de superficie inundada, provocada por fenómenos meteorológicos como los huracanes; cuando las condiciones atmosféricas (presencia de nubosidad) impiden la toma de imágenes SPOT claras se recurre a las imágenes de radar, ya que estas no son afectadas por dichas condiciones lo que permite realizar una clasificación completa de la zona afectada, sin perder información por la presencia de nubes.

Clasificación del área inundada de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo en el Estado de Tabasco con imagen de radar del 15 de noviembre del 2009



Fuente: Elaboración propia

- Área inundada obtenida mediante imagen de RADAR
- Área de inundación declarada por el Gobierno del Estado

La clasificación fue realizada con una imagen de radar del 15 de noviembre del 2009 para obtener el área y la localización de la zona afectada por inundación de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo en el estado de Tabasco, las intensas lluvias fueron provocadas por el huracán Ida y por el frente frío 9 (ver Anexo 1). Durante la clasificación se pudo identificar que la ubicación de la zona así como la superficie inundada declarada por el gobierno del estado eran incorrectas.

En la imagen se puede ver la localización y el área inundada con polígonos de color rosa declarada por el Gobierno del estado dentro de los cuales se observa la escasa presencia de inundación, apreciada por los manchones de color azul, que es el resultado de la clasificación realizada a la imagen de radar; de esta forma se obtuvo la superficie inundada correcta y se detectaron las zonas con mayor daño.

Imágenes SPOT

La constelación SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) consiste en una serie de satélites diseñados y lanzados por el Centro Nacional de Estudios Espaciales de Francia, con apoyo de Suecia y Bélgica, y operados por la empresa Spot Image, tiene una cobertura mundial.

La constelación está compuesta actualmente por dos satélites, Spot 4 y 5 con capacidad de captura de imágenes de mediana y alta resolución y su capacidad de adquisición y de revisita permite adquirir diariamente una imagen de cualquier punto del planeta.

La información adquirida mediante estas imágenes es de gran utilidad para estudios de monitoreo de coberturas, aplicaciones en agricultura, seguimientos de bosques, aplicaciones de planeación urbana, entre otras; es una herramienta que permite obtener información de gran ayuda en la toma de decisiones.

Satélites SPOT

Desde 1986 se han lanzado 5 satélites SPOT que orbitan a una altura de 832 km. El tamaño típico de las imágenes es de 60 km x 60 km en visión vertical y de 60 km x 80 km en oblicua.

Los satélites SPOT 1, 2 y 3 estaban dotados del sensor HRV (High Resolution Visible) que proporcionaba imágenes en las zonas visibles e infrarrojo cercano del espectro electromagnético. Las imágenes son de 60 Km de ancho y con una resolución espacial de 10 a 20 metros.

El periodo de vida del satélite SPOT-1 llegó a su fin en noviembre del 2003, para el SPOT-2 en Julio del 2009 y para SPOT-3 en noviembre de 1996.

En el satélite SPOT-4 (puesto en órbita en marzo de 1998) se modificaron los sensores, introduciéndose el HRVIR que añade a los canales del HRV una banda infrarroja. Se incorporó también el sensor VEGETATION orientado al seguimiento diario de la cobertura vegetal a escala regional o planetaria (la anchura de imagen es de 2250 Km y la resolución espacial de 1 Km).

En mayo del 2002 se pone en órbita el SPOT-5, el cual mejora notablemente la resolución espacial de las imágenes además de incorporar capacidades estereoscópicas y una nueva versión del sensor VEGETATION que mejora el estudio dinámico de la cobertura vegetal.

Características principales de los Satélites SPOT 2, 4 y 5

SENSOR	ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	TAMAÑO DEL PÍXEL	BANDAS ESPECTRALES
Spot 1 Spot 2 Spot 3	Pancromático B1: verde B2: rojo B3: infrarrojo cercano	10 m 20 m 20 m 20 m	0.50 – 0.73 μm 0.50 – 0.59 μm 0.61 – 0.68 μm 0.78 – 0.89 μm
Spot 4	Monoespectral B1: verde B2: rojo B3: infrarrojo cercano B4: infrarrojo medio (MIR)	10 m 20 m 20 m 20 m 20 m	0.61 – 0.68 μm 0.50 – 0.59 μm 0.61 – 0.68 μm 0.78 – 0.89 μm 1.58 – 1.75 μm
Spot 5	Pancromático B1: verde B2: rojo B3: infrarrojo cercano B4: infrarrojo medio (MIR)	2.5 m ó 5 m 10 m 10 m 10 m 20 m	0.48 – 0.71 μm 0.50 – 0.59 μm 0.61 – 0.68 μm 0.78 – 0.89 μm 1.58 – 1.75 μm

Fuente: SPOT IMAGE

ERMEXS

Estación de Recepción México de la Constelación SPOT

La Secretaría de Marina (SEMAR) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Alimentación (SAGARPA) trabajaron conjuntamente para lograr la instalación, custodia y operación de la Estación de Recepción México de la Constelación SPOT (ERMEXS). Ésta es en una terminal de recepción, almacenamiento, extracción y archivo de datos SPOT, así como su administración y procesamiento.¹⁴

Su principal función es obtener, como insumo, un cubrimiento nacional cada año para las diferentes dependencias a nivel federal, estatal y municipal, de igual forma capta y distribuye imágenes de satélite SPOT en espacios y tiempos definidos.

En el año 2007 se renovó 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.¹⁵

En este mismo año se efectuó el cambio de administración de la antena pasando de ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria) al SIAP creándose así un Grupo Directivo integrado por cada una de las dependencias que operan en la ERMEX.

El grupo directivo está integrado por el INEGI, SIAP y SEMAR, las cuales desarrollan las normas y políticas para su administración.

Fuente: SIAP

¹⁴ Fuente: www.semar.gob.mx

¹⁵ Ibidem

La SEMAR tiene bajo su resguardo la estación y la seguridad de las imágenes además del control y evaluación de gestores. El SIAP es el responsable de la administración, designa al Director Ejecutivo, quien coordina al personal técnico de SEMAR e INEGI. A su vez el INEGI proporciona los procedimientos técnicos para el buen aprovechamiento de las imágenes y apoya con personal técnico para la operación de la antena.

Las imágenes satelitales SPOT que la ERMEXS capta son consideradas de seguridad nacional y por el contrato que se hizo con SPOT IMAGE, sólo se pueden distribuir a dependencias gubernamentales a nivel federal, gobiernos estatales y municipales, así como a instituciones educativas y de investigación, siempre y cuando se coordinen con cualquier dependencia federal a través de un proyecto o acciones comunes. Para la solicitud de las imágenes es necesario registrarse en la página de la SEMAR la cual se encargará de evaluar a la persona que solicita la inscripción como gestor así como el proyecto que justifica el uso de las imágenes.

Las imágenes SPOT que se trabajan en el SIAP se reciben de la ERMEX y son provenientes de los satélites SPOT-4 y SPOT-5 las cuales tienen las siguientes características:

- **Pancromáticas:** el sensor mide la reflectancia de energía en una amplia parte del espectro electromagnético (estas porciones del espectro se denominan bandas). Tienen una resolución espacial de 2.5 y 5 metros y una resolución espectral de una banda que abarca la parte visible y de infrarrojo cercano del espectro (imágenes en blanco y negro).
- **Multiespectrales:** el sensor mide la reflectancia en cuatro bandas, dos correspondientes a la parte visible (banda verde y roja), una correspondiente al infrarrojo cercano y otra al infrarrojo medio del espectro electromagnético, es decir, tienen una resolución espectral de cuatro bandas y una resolución espacial de 10 y 20 metros.

Esta imagen se muestra en una coloración denominada falso color, que es la representación artificial de una imagen multispectral. Al estar la visión humana limitada al

espectro visible, es necesario crear un falso color en las imágenes multispectrales que permita “ver” los infrarrojos.

El SIAP ha recibido un total de tres cubrimientos nacionales: 2007, 2008 – 2009 y 2009 – 2010 y en este año (2012) se estará recibiendo el más reciente cubrimiento que tendrá imágenes del 2010 y 2011. Los cubrimientos constan de imágenes pancromáticas y multispectrales abarcando cada imagen un área de 60 x 60 kilómetros.

Las imágenes constan de tres niveles de procesamiento:

➤ **Nivel 1A**

Para este nivel de procesamiento no se lleva a cabo ninguna corrección geométrica. En radiometría sólo se corrigen los efectos instrumentales mediante un modelo lineal destinado a igualar la sensibilidad de los detectores. Estas correcciones mínimas se aplican, de forma sistemática, a todos los datos SPOT. La imagen no sufre ningún remuestreo.

➤ **Nivel 2A**

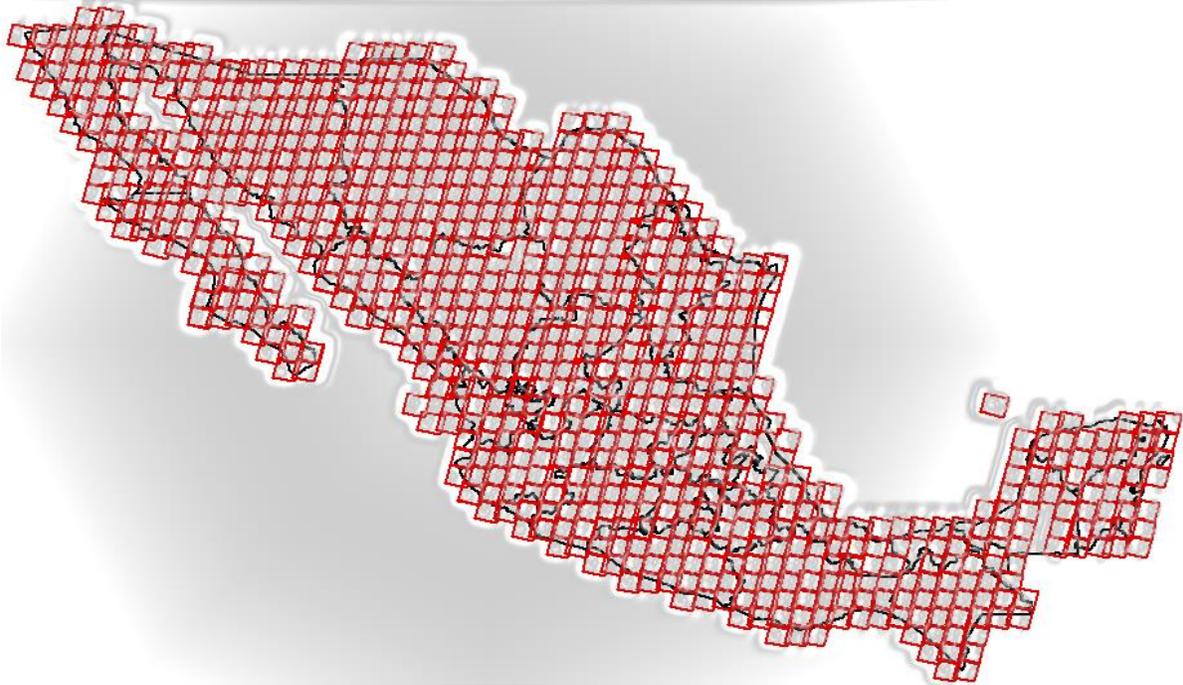
La escena se restituye sin toma de puntos de apoyo, en un sistema de representación cartográfica determinado. Se puede calibrar cualquier punto de la imagen por sus coordenadas rectangulares. Tiene un nivel de precisión georreferenciado.

➤ **Nivel 3 (u orto)**

También llamado “orto-imagen”, corrige los errores residuales de paralaje debidos al relieve gracias a la utilización de un modelo digital de elevación. La imagen se somete a un remuestreo que toma en cuenta las distorsiones debidas a las condiciones de captura de la imagen y las transformaciones para dar la proyección cartográfica requerida.

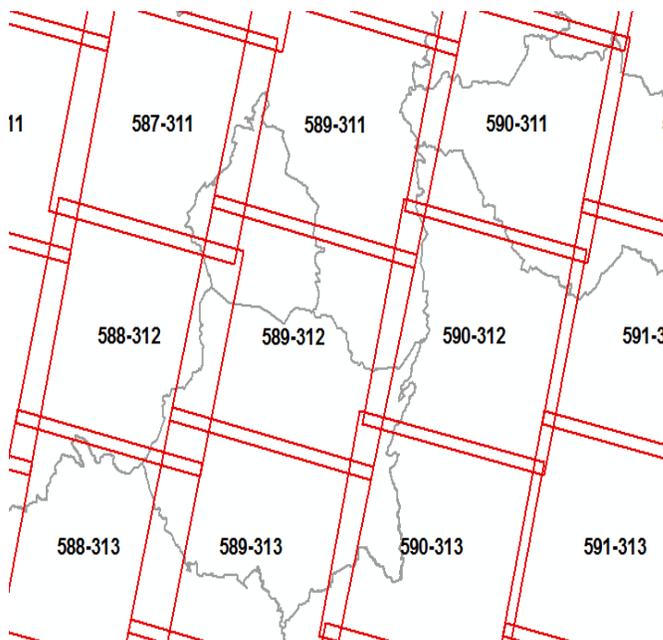
La ERMEX proporciona las imágenes a nivel 1A y 2A, para tener las imágenes en un nivel de procesamiento 3A u ortorrectificadas, se aplica el procedimiento de corrección geométrica en la DSIG. Este proceso se explicará en el siguiente tema.

Path Row de la cobertura de imágenes SPOT para México



Fuente: Elaboración propia

Para el cubrimiento del territorio nacional se necesitan alrededor de 811 imágenes SPOT.



Acercamiento al Path Row de la cobertura de imágenes SPOT para el país, donde se puede apreciar la existencia de una numeración tanto de columnas (K) como de renglones (J). Estos KJ nos permiten identificar cuantas y cuales imágenes necesitamos para cubrir nuestra área de interés.

Fuente: Elaboración propia

2.3 Procesamientos aplicados a las imágenes SPOT en la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial.

Las imágenes de satélite SPOT utilizadas en el SIAP, son solicitadas a la ERMEXS y dependiendo del nivel de procesamiento pedido en la solicitud a las imágenes, es necesario realizarle una serie de procesos técnicos especializados (la cantidad de procesos depende de la finalidad del proyecto para el que van a ser utilizadas las imágenes), para poder realizar el análisis de la información contenida en ellas.

Las principales funciones de procesamiento realizadas para el análisis de imágenes digitales, pueden agruparse en cuatro categorías: pre-procesamiento, realces y filtros, transformación y clasificación. A continuación se explicará cada una.

Pre – procesamiento de imágenes

Son funciones que se realizan antes de poder analizar la información contenida en la imagen.

❖ Correcciones radiométricas

Corrigen los errores debidos a irregularidades no deseadas en el sensor o en la atmósfera para que los datos sean más precisos. Estas correcciones son realizadas directamente por el proveedor (SPOT Image).

❖ Correcciones geométricas u ortorrectificación

Las imágenes de satélite crudas son solo grupos de pixeles que podrían representar la superficie de cualquier lugar del planeta, para que correspondan a un lugar en particular es necesario asignarle coordenadas geográficas a los pixeles de esa imagen. Estos datos en bruto poseen un cierto grado de corrección geométrica y radiométrica, es decir, solo se eliminan las distorsiones causadas por el propio sensor.

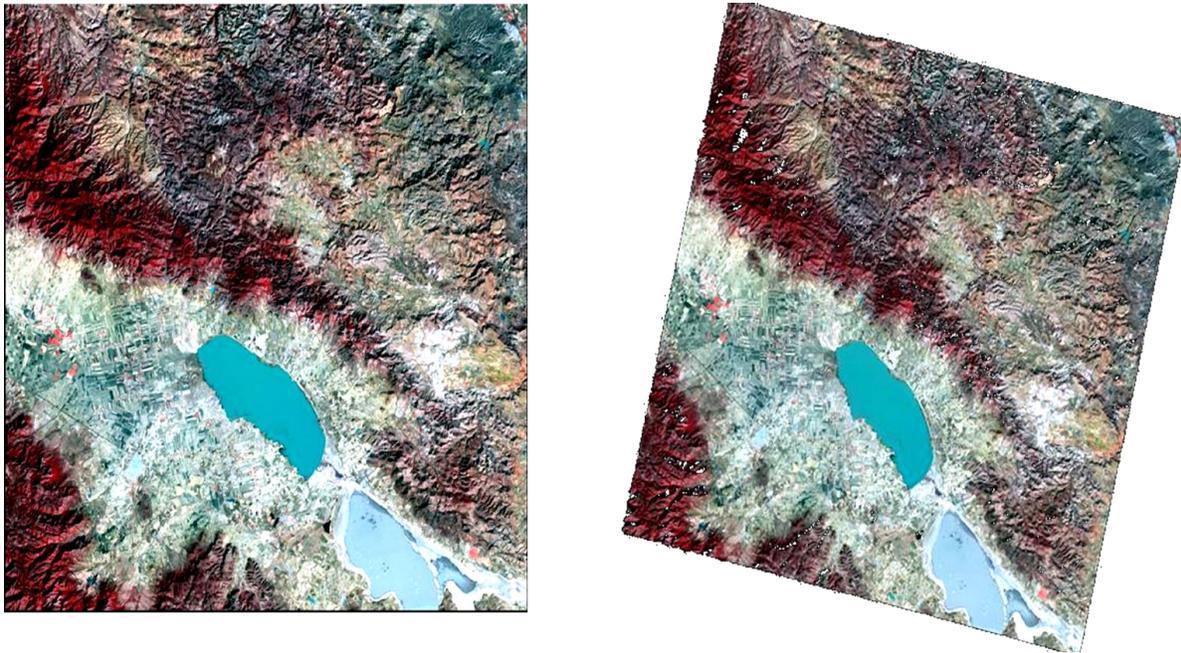
Las correcciones geométricas incluyen la corrección de distorsiones debidas a la diferencia entre el sensor y la geometría de la Tierra, y la conversión de los datos a coordenadas de la superficie misma. Estas distorsiones geométricas se deben a distintas causas, tanto instrumentales, como la perspectiva del sensor, el movimiento del sistema de barrido, el movimiento del satélite, su altura y velocidad; como naturales, el relieve del terreno, la

curvatura y rotación de la Tierra. Las correcciones geométricas intentan corregir estas distorsiones para que la representación de la imagen pueda ser más real.

Debido a estas causas se realiza la ortorrectificación donde es preciso identificar coordenadas de la imagen (en fila y columna) de varios puntos identificables, llamados “puntos de control en el terreno” (ground control point), en la imagen distorsionada y asignarles sus verdaderas posiciones en coordenadas del terreno, su latitud (Y) y su longitud (X). Las coordenadas del terreno se pueden obtener a partir de un mapa, de ortofotos, de imágenes ya ortorrectificadas, de datos vectoriales u otra fuente de información confiable. Una vez identificados suficientes puntos de control bien distribuidos en toda la imagen, la información de las coordenadas es procesada en el software para determinar la ecuación de transformación adecuada. De esta forma las coordenadas de la imagen en fila y columna se convierten en coordenadas en el terreno.

Las orto-imágenes poseen el mismo valor cartográfico que un plano sobre el que se pueden medir distancias, ángulos, superficies y con una precisión muy confiable. Se obtiene información tridimensional con la extracción de la tercera coordenada determinada a través del Modelo Digital de Elevación (DEM). Estas orto-imágenes son utilizadas como fuente primaria de información para la actualización de la cartografía existente, teniendo en cuenta que las mismas brindan información geoméricamente precisa.

La ortorrectificación en la DSIG se hace a través del software PCI con el módulo de OrthoEngine, donde se le definen sus parámetros cartográficos de la imagen a ortorrectificar. Se trabaja en coordenadas UTM y unidades en metros, y se utiliza el esferoide y el datum WGS84. Los puntos de control se extraen del sistema de ortofotos del INEGI el cual es visualizado en ArcGis.



Fuente: Elaboración propia

Aquí podemos observar una imagen con nivel de procesamiento 1A (izquierda) y una imagen con nivel 3A u ortorectificada (derecha), a la que se le corrigieron los errores de desviación, producidos por la captura de los sensores, resultando una imagen geoméricamente correcta y con parámetros cartográficos. Proyección UTM, Datúm WGS 84, Esferoide WGS 84.

Mejoramiento de las imágenes (realces y filtros)

Existen diversos procedimientos para el mejoramiento de las imágenes de satélite desde el punto de vista radiométrico; mediante estos procedimientos se manipula una imagen con la finalidad de hacer más fácil la interpretación visual, teniendo una mejor definición de los rasgos del terreno presentes en la imagen.

Estas funciones han sido desarrolladas en forma de algoritmos y están implementadas en los programas especializados en el tratamiento digital de imágenes, por lo que se pueden emplear distintas técnicas. Estos procedimientos se realizan mediante el software de ERDAS IMAGINE.

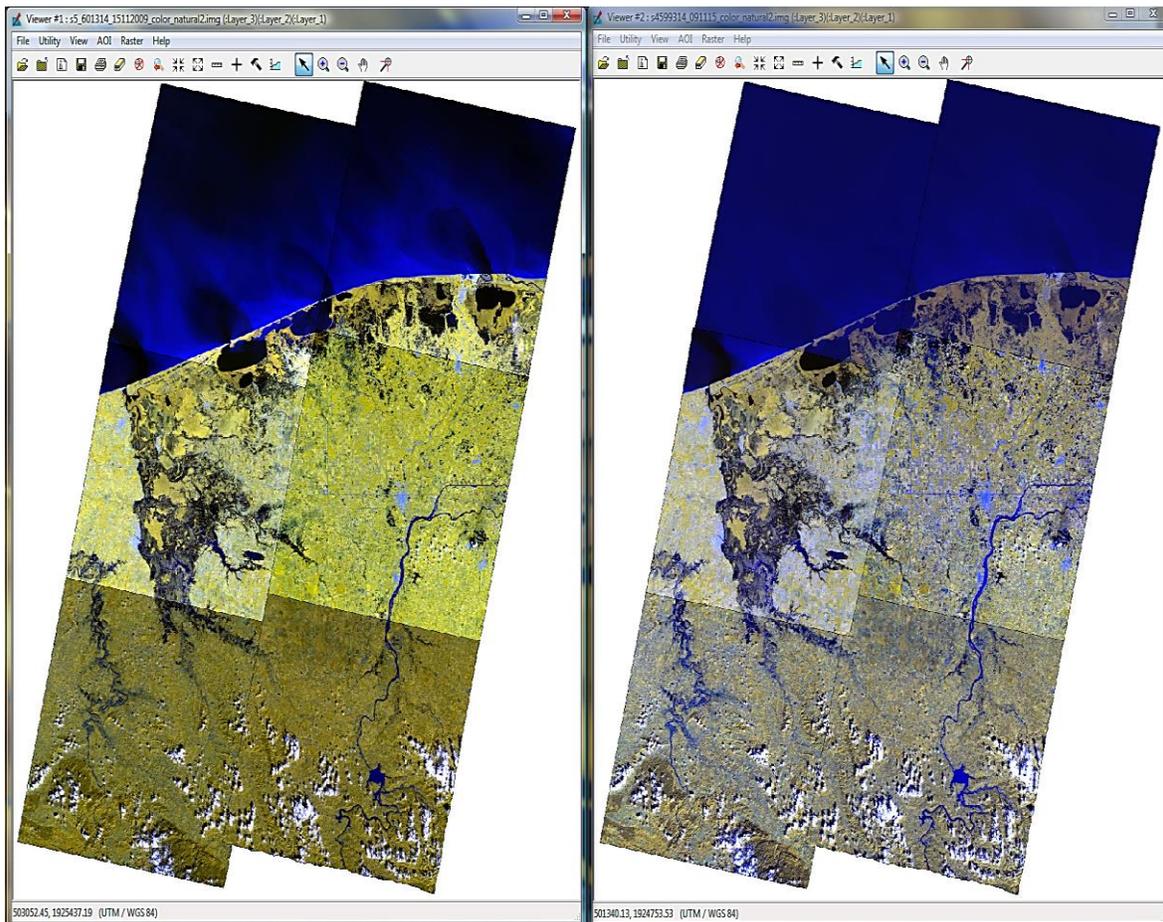
❖ Realces

Se usan para mejorar la visualización de la imagen y destacar ciertos rasgos ajustando los contrastes de ésta, con el objetivo de ayudar en la interpretación visual y el análisis.

En la imagen original los valores digitales para cada banda se encuentran concentrados en una pequeña porción del rango de valores digitales. El estiramiento de contraste o estiramiento de histograma¹⁶ cambia los valores originales de los píxeles para distribuirlos mejor en todo el rango, aumentando así el contraste que se percibe.

Debido a las grandes variaciones en la respuesta espectral de un amplio número de rasgos (bosques, desiertos, campos nevados, agua) ninguna corrección radiométrica genérica puede considerarse la mejor para desplegar óptimamente el intervalo de brillantez y contrastar todos los rasgos. Así, para cada aplicación y cada imagen, es normalmente requerido un ajuste personalizado del intervalo y distribución de valores de brillantez.

Vistas de 6 imágenes SPOT a color natural de 10 metros de resolución



Fuente: Elaboración propia
Imágenes SPOT color natural RGB: 3, 2,1

Fuente: Elaboración propia
Imágenes SPOT color natural RGB: 3,2,1

¹⁶ El histograma de una imagen es la representación gráfica de los valores de brillantez (radiancia) que componen a una imagen en el eje x, junto a su frecuencia en el eje y.

En la imagen anterior se puede observar del lado izquierdo que se encuentran desplegadas 6 imágenes SPOT a color verdadero de 10 m de resolución, que entre ellas presentan variaciones obvias en su brillo y contraste, por lo que es necesario aplicar realces para obtener una igualación del color entre ellas, ya que los procesos a realizarse consecuentemente requieren de la utilización de las seis imágenes unidas en un mosaico, que de ser realizado así, sin hacer ningún tratamiento para la igualación entre ellas, el mosaico resultante no sería homogéneo en su tonalidad.

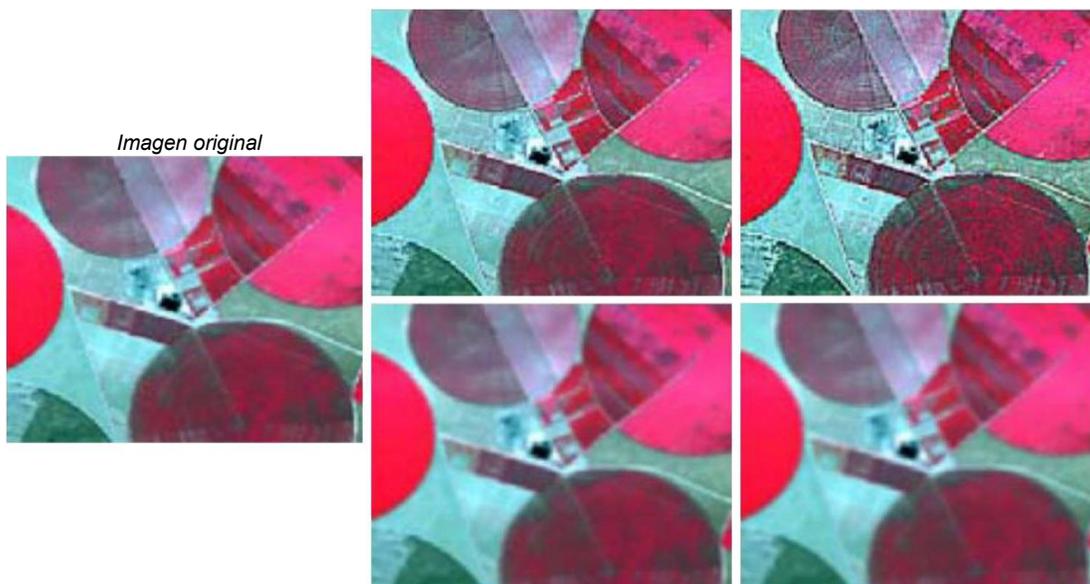
Del lado derecho se pueden observar las mismas 6 imágenes desplegadas en otra ventana, a las cuales se les aplico una serie de realces para obtener un comportamiento visual homogéneo entre ellas.

❖ Filtros

Se usan para realzar la apariencia de una imagen. Hay distintos tipos de filtros que resaltan o suprimen rasgos específicos de una imagen basándose en su frecuencia espacial (textura de la imagen).

Las áreas de texturas *ásperas* de una imagen, dónde los cambios en tono son abruptos en un área pequeña, tienen frecuencias espaciales altas; mientras las áreas *lisas* con poca variación en tono en varios píxeles tienen frecuencias espaciales bajas.

Efectos de filtrado



Fuente: Elaboración propia

Estos tratamientos que se le aplican a las imágenes son de gran utilidad para la realización de procesos subsecuentes, como los mosaicos, que ayudan para la clasificación de algún objeto determinado; ya que con el tratamiento correcto, el cual depende del objeto a resaltar, se logra que sea más fácil la identificación de los elementos de la superficie terrestre a estudiar.

Transformaciones de imágenes

Son procesos que se aplican a una combinación de bandas espectrales donde operaciones aritméticas (suma, resta, multiplicación, división, entre otras) son realizadas para combinar y transformar las bandas originales en nuevas imágenes que muestran mejor o resaltan ciertas características de la escena. Los principales procesos de transformación de imágenes que se aplican en el SIAP son los siguientes:

❖ Color natural

Como se ha mencionado una imagen digital está compuesta por pixeles los cuales poseen un nivel digital (intensidad luminosa o nivel de gris), es decir, la imagen representa un valor de brillo en ese punto; sin embargo, cuando se quiere representar una imagen en color la interpretación puede cambiar. Por ejemplo, en función de la división de colores de un cubo RGB (del inglés: Red, Green, and Blue) se puede descomponer toda la imagen en tres bandas. Así cada una de ellas presentará el brillo rojo, verde y azul, respectivamente. El color visualizado en un punto concreto será el resultante de combinar los valores de ese punto en las tres bandas.

Es posible elegir qué banda se asigna a cada cañón RGB, para obtener una composición a color que realce las coberturas de interés; por ejemplo, la asignación 4,2,1 en una imagen multiespectral quiere decir que la banda 4 del satélite está en rojo, la banda 2 en verde y la 1 en azul.

La imagen SPOT multiespectral de cuatro bandas, muestra la escena como ésta aparecería en un filme de colores infrarrojos, para visualizar las dos bandas infrarrojas que tiene (falso color).

Para generar una imagen a color natural que presente colores perceptibles para el ojo humano, es decir, que muestre los elementos de la superficie terrestre con tonalidades

semejantes a las que se observan en nuestro entorno, se le asigna a tres bandas de la imagen multiespectral su composición RGB, resultando una combinación que se aproxima a los colores naturales de la escena. Al necesitar solo tres bandas, en este proceso la imagen multiespectral sufre la eliminación de una banda.

Generación de una imagen en color natural



Imagen SPOT en falso color a 10m



Imagen SPOT en color natural a 10m

Fuente: Elaboración propia

El proceso se realiza en el software de ERDAS. Mediante algoritmos que el software tiene implementados, se elimina una banda de la imagen multiespectral original (imagen de la izquierda) y a las tres bandas restantes se le asigna su composición RGB, para generar una nueva imagen con tonalidades semejantes a la realidad (imagen de la derecha).

❖ Fusión

Este proceso hace posible fundir dos tipos de imágenes de satélite distintas (multiespectral y pancromática) para crear un producto híbrido que une las ventajas de ambas imágenes.

Se genera una imagen con las características de la multiespectral pero con la resolución espacial de la pancromática, es decir, una imagen SPOT a color con 4 o 3 bandas (dependiendo si la fusión es con una imagen a falso color o con una a color natural) con 2.5 metros de resolución ideales para poder identificar visualmente de una manera más fácil los rasgos de la superficie terrestre.

Fusión de imágenes SPOT

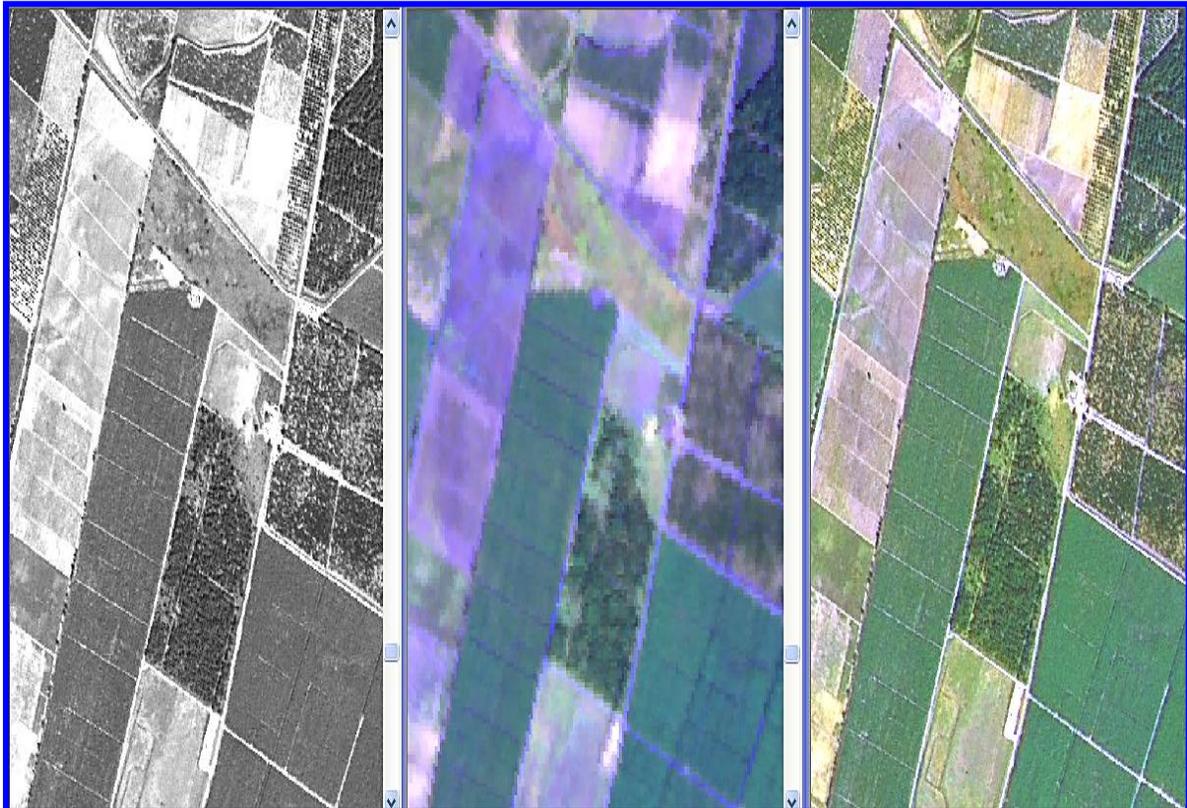


Imagen pancromática SPOT a 2.5m

Imagen a Color Natural RGB 1,2,3 a 10m

Fusión SPOT a Color Natural 2.5m

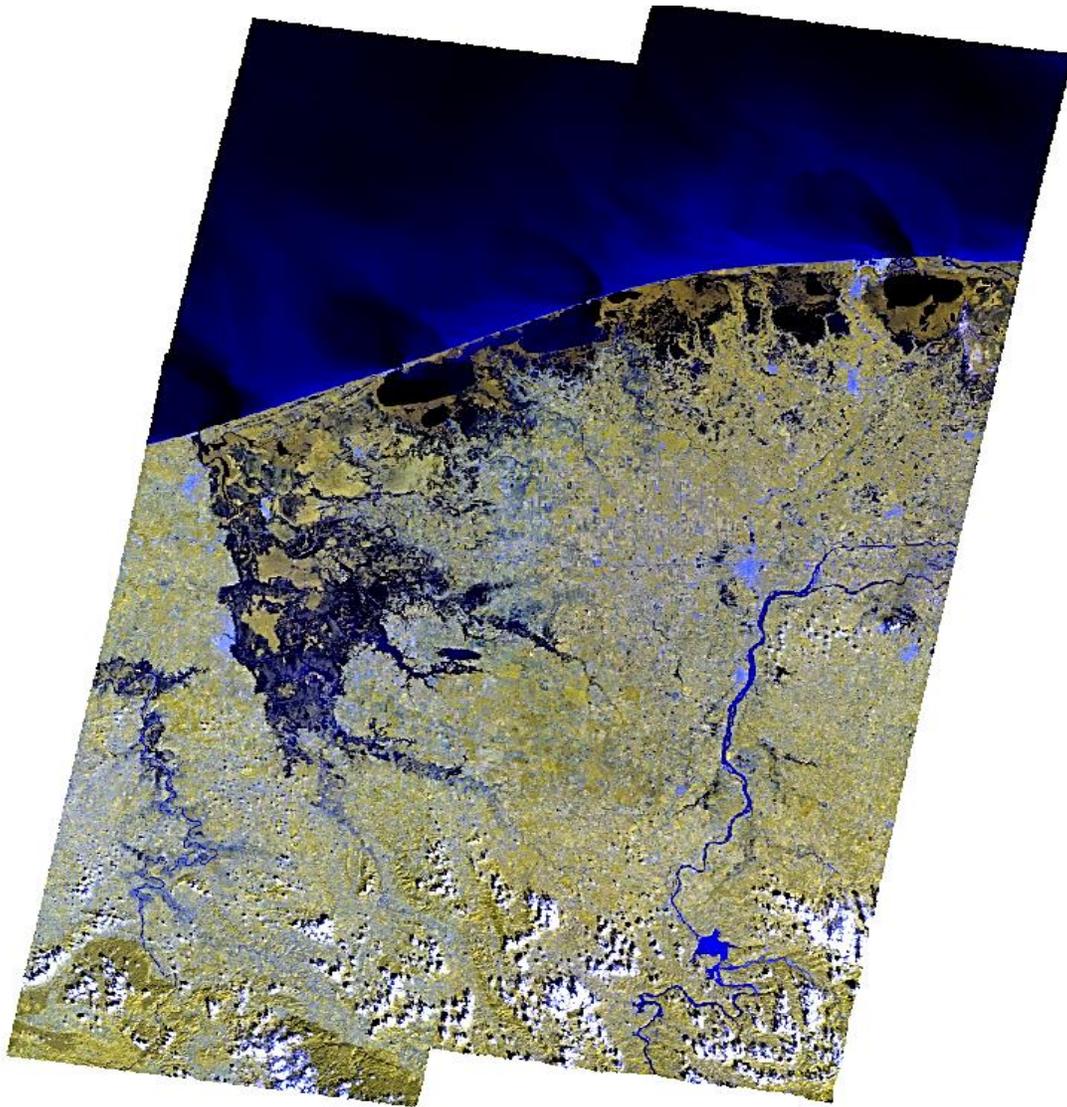
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar a la izquierda, una imagen pancromática de 2.5 metros de resolución, la cual fue fusionada con la imagen del centro, una imagen en color natural con resolución espacial de 10 metros, teniendo como resultando la imagen de la derecha, una imagen a color verdadero con tres bandas y a 2.5 metros de resolución.

❖ Mosaicos

Cuando la escena de la imagen de satélite no cubre la totalidad del área de interés, se emplean dos o más imágenes adyacentes, las cuales es necesario unir las para poder visualizar y trabajar con una sola imagen la zona de estudio. Este proceso se realiza mediante la herramienta de “Mosaic Images” del software ERDAS IMAGINE que utiliza algoritmos para pegar dos o más escenas y así generar una sola imagen.

Mosaico SPOT a Color Natural de 10 metros de resolución



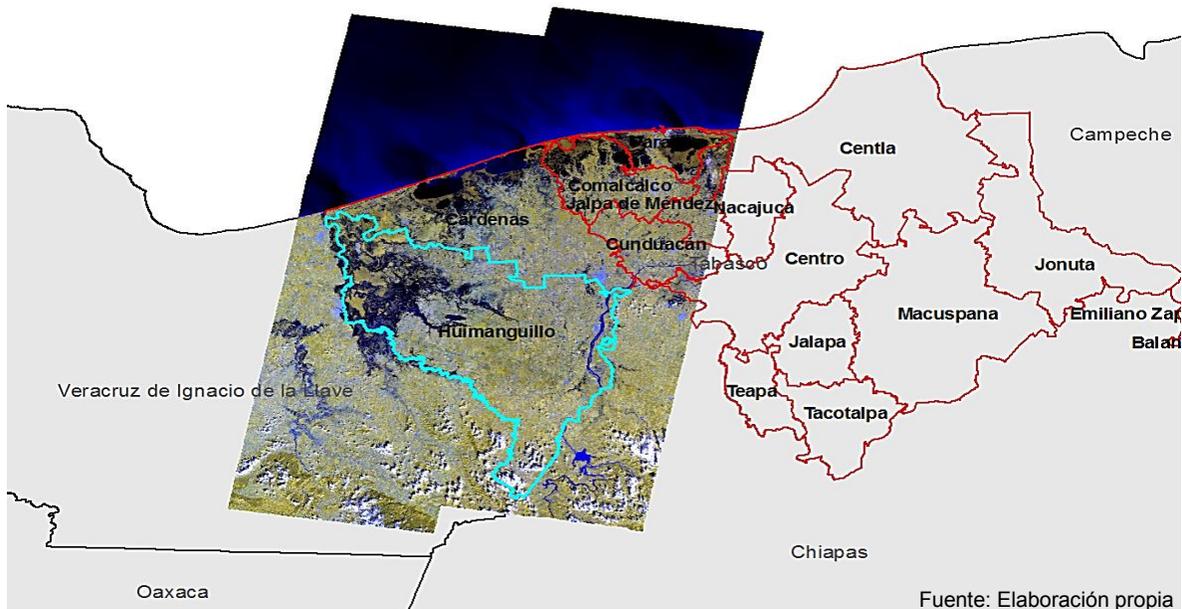
Fuente: Elaboración propia

El mosaico fue generado a partir de 6 imágenes multiespectrales a color natural de 10 metros de resolución, cada una, para poder cubrir el área abarcada por los municipios de Cárdenas y Huimanguillo del Estado de Tabasco, afectados por la inundación provocada por el huracán Ida y el Frente Frio número 9 en el 2009. (Ver anexo 1)

❖ Recortes

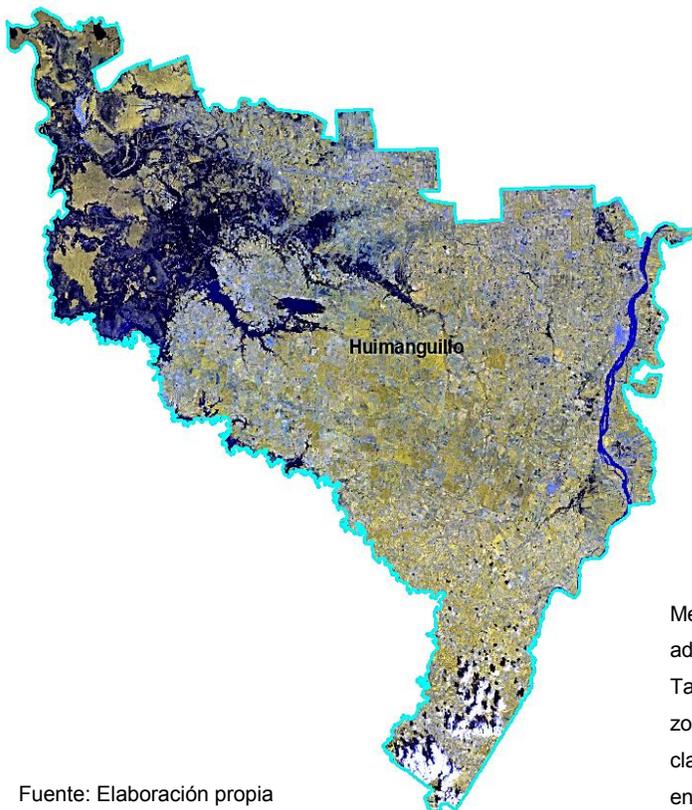
Este proceso se realizan mediante la herramienta Subset Image del módulo DataPrep de ERDAS IMAGINE con la finalidad de extraer solamente el área a trabajar de una imagen, es decir, si una escena o un mosaico abarcan un área más extensa que la zona de interés, ésta puede ser recortada con los límites deseados, por ejemplo, el límite de un municipio, estado, aérea agrícola, entre otros, o bien los creados por el propio usuario.

Cobertura de imágenes SPOT del municipio de Huimanguillo, Tabasco.



El mapa muestra que el mosaico de imágenes SPOT abarca un área más extensa que el municipio de Huimanguillo, por lo que es necesario realizar un recorte para extraer la imagen solo del área del municipio.

Recorte SPOT del municipio de Huimanguillo, Tabasco.



Mediante el archivo vectorial del límite político - administrativo del municipio de Huimanguillo, Tabasco, se recortó el mosaico SPOT para extraer la zona abarcada por dicho municipio y realizar la clasificación de la zona inundada únicamente de esta entidad administrativa.

Fuente: Elaboración propia

Clasificación

Este proceso realiza la extracción de información temática de un determinado territorio haciendo uso de técnicas matemáticas y estadísticas implementadas mediante algoritmos en programas informáticos.

El proceso de clasificación de las imágenes de satélite es un agrupamiento estadístico de píxeles que permite la obtención de la información sobre los elementos del terreno y en particular de los cultivos por medio de la imagen digital de satélite. Si un píxel satisface un conjunto dado de criterios entonces el píxel se asigna a la clase correspondiente a ese criterio.

La clasificación no busca una definición absoluta de cada cubierta que pudiera ser aplicable a cualquier imagen, sino una característica peculiar, válida para una determinada imagen, un territorio concreto y un momento dado.

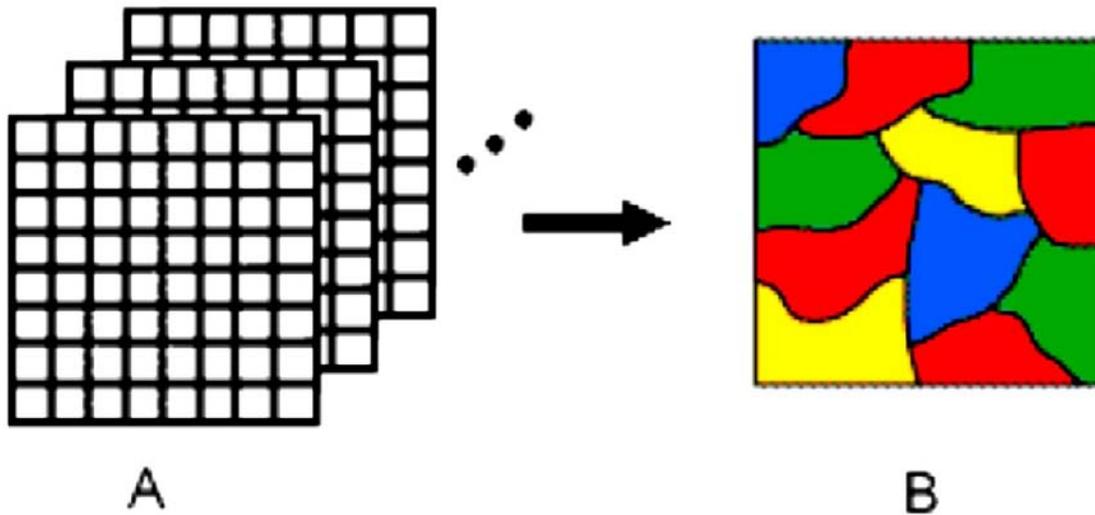
La clasificación digital se dirige a obtener una nueva imagen en la cual, cada uno de los píxeles originales venga definido por un nivel digital o un color, que es el identificador de la clase en donde se haya incluido; estas clases pueden describir distintos tipos de cubiertas, que para el caso particular de las clasificaciones realizadas en el SIAP, estas cubiertas serían, por ejemplo, cultivos de interés.

Clases de información y clases espectrales

Las clases de información son las categorías de interés que la persona que está haciendo el análisis está intentando identificar en la imagen como los diferentes tipos de cultivos. Mientras que las clases espectrales son grupos de píxeles que son uniformes (o casi similares) con respecto a sus valores de brillantez en los diferentes canales espectrales.

El objetivo es hacer coincidir las clases espectrales con las clases de información de interés teniendo así una complejidad para poder realizar la clasificación, ya que habrá clases espectrales únicas que pueden no corresponder a alguna clase de información de interés para el analista o bien, puede presentarse que distintas clases de información sean semejantes espectralmente creando así una confusión en la clasificación. Alternativamente, una clase de información amplia (por ejemplo un bosque) puede contener un número de clases espectrales con variaciones espectrales únicas.

En las áreas agrícolas, las diferencias en las clases espectrales pueden deberse a los diferentes tipos de cultivo y la densidad de estos, o bien, por las variaciones en la etapa fenológica de un mismo cultivo. Por lo que, el analista debe decidir sobre la utilidad de las diferentes clases espectrales y su correspondencia a las clases de información útiles.



La clasificación normalmente se realiza en imágenes multispectrales (A), este proceso asigna cada píxel en una imagen a una clase particular o tema (B) basado en las características estadísticas de los valores de brillantez del píxel.

Existen dos formas de clasificar los píxeles en distintas categorías, estas son: supervisada y no supervisada.

❖ Clasificación supervisada

Es más controlada por el usuario. En este proceso, el usuario selecciona píxeles que representan patrones que reconoce o que puede identificar con la ayuda de otras fuentes como las muestras obtenidas en campo.

El software de ERDAS IMAGINE es el que se utiliza en la DSIG para realizar la clasificación de imágenes satelitales, el cual se basa en algoritmos que el software contiene para determinar los patrones numéricos para cada clase de entrenamiento. Una vez que se han determinado las firmas para cada clase, cada píxel en la imagen se compara a estas firmas y es etiquetado como la clase a la que se parece digitalmente. Así, en una clasificación supervisada primero se establecen las clases de información que son usadas para determinar las clases espectrales que las representan en la imagen.

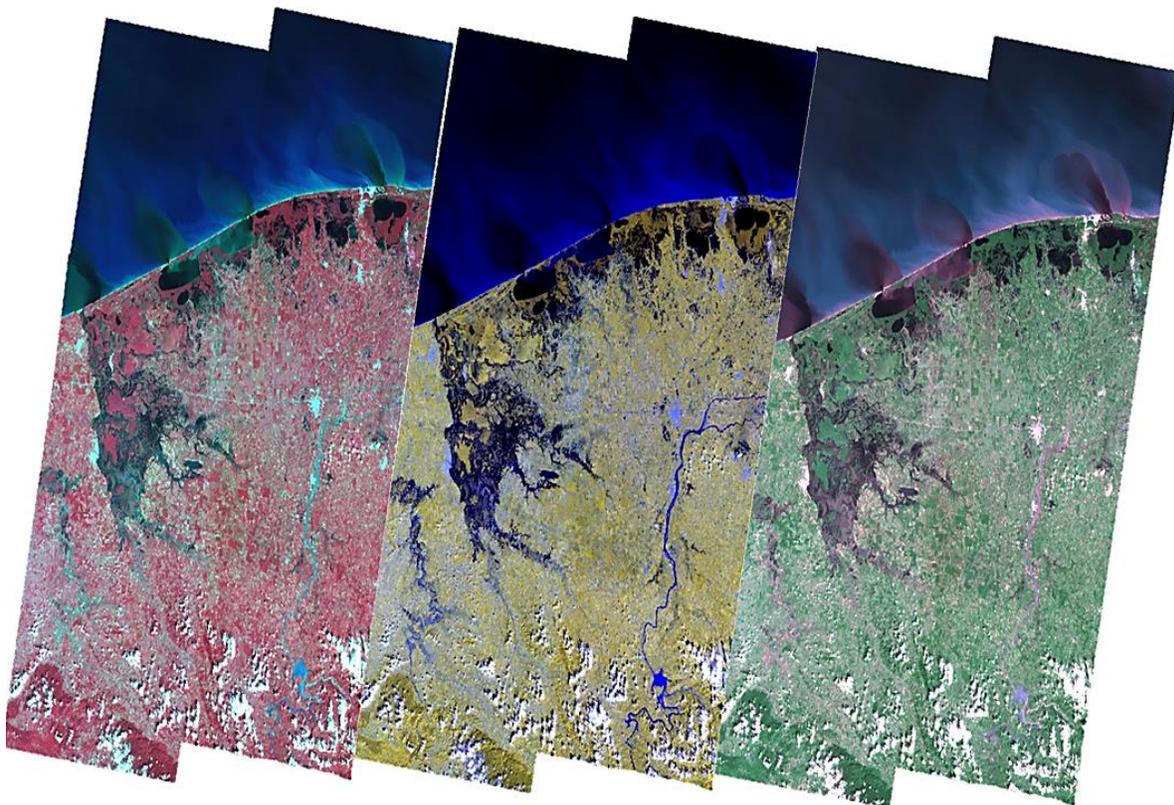
❖ Clasificación no supervisada

Es más automatizada. Ella le permite al usuario especificar parámetros que la computadora usa como guía para descubrir patrones estadísticos de los datos.

Aquí el usuario especifica cuantas clases espectrales serán formadas con los datos de la imagen, así como los parámetros relacionados a la distancia de la separación entre las clases y la variación dentro de cada una.

El resultado final de este proceso puede producir algunas clases que el usuario requiera combinar, o bien, clases que deben ser divididas. Este tipo de clasificación forzosamente necesita la intervención y análisis del usuario para poder ser concluida.

Mosaicos SPOT con diferentes tratamientos y acomodos de banda



Mosaico SPOT multispectral
RGB: 1,2,3

Mosaico SPOT a color verdadero
RGB: 3,2,1

Mosaico SPOT a color verdadero
RGB: 1,2,3

Fuente: Elaboración propia

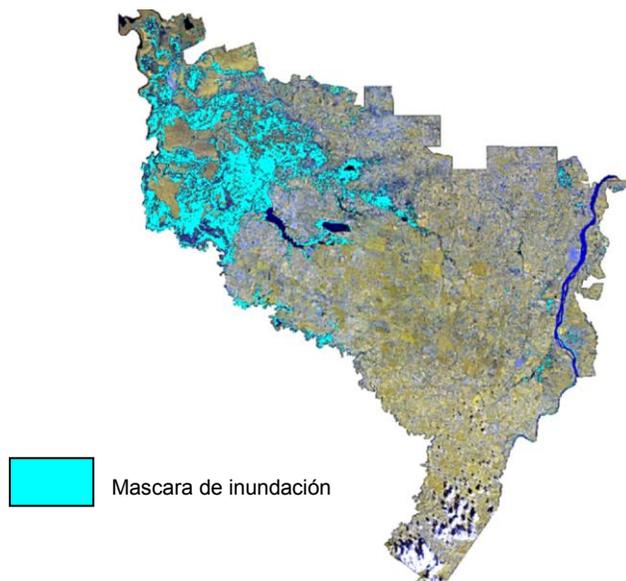
En la imagen anterior podemos observar tres mosaicos correspondientes a la zona del municipio de Huimanguillo, Tabasco, los cuales muestran la inundación que dejaron las intensas lluvias provocadas por el Frente Frio #9 el 15 de noviembre del 2009.

El primer mosaico (de izquierda a derecha) es una imagen multiespectral con cuatro bandas, las cuales al momento de ser desplegadas en un viewer de ERDAS se les asignó un RGB de 1,2,3. Aquí se puede observar a la vegetación en tonalidades rojizas y la presencia de agua en tonalidades azules y verdes.

El segundo mosaico, es una imagen a color verdadero, donde, en el proceso de conversión para tener colores semejantes a la realidad, se usó una combinación de bandas en el orden de 4,3,1; de esta forma, se obtuvo como resultado un mejor resalte de los cuerpos de agua, mostrándose en tonalidades azulosas. Esta combinación fue la más adecuada para realizar la clasificación del área inundada para este caso.

El último mosaico es una imagen a color verdadero con la combinación de bandas 1,2,3, que da como resultado una imagen donde la vegetación adquiere distintas tonalidades de verdes, más semejantes a la realidad, a diferencia del primero donde la vegetación se muestra en tonos de rojo, o en el segundo, donde se muestra en tonos amarillentos. Sin embargo, los cuerpos de agua no resaltan tanto por presentar tonalidades violetas.

Máscara de clasificación del área inundada del municipio de Huimanguillo, Tabasco

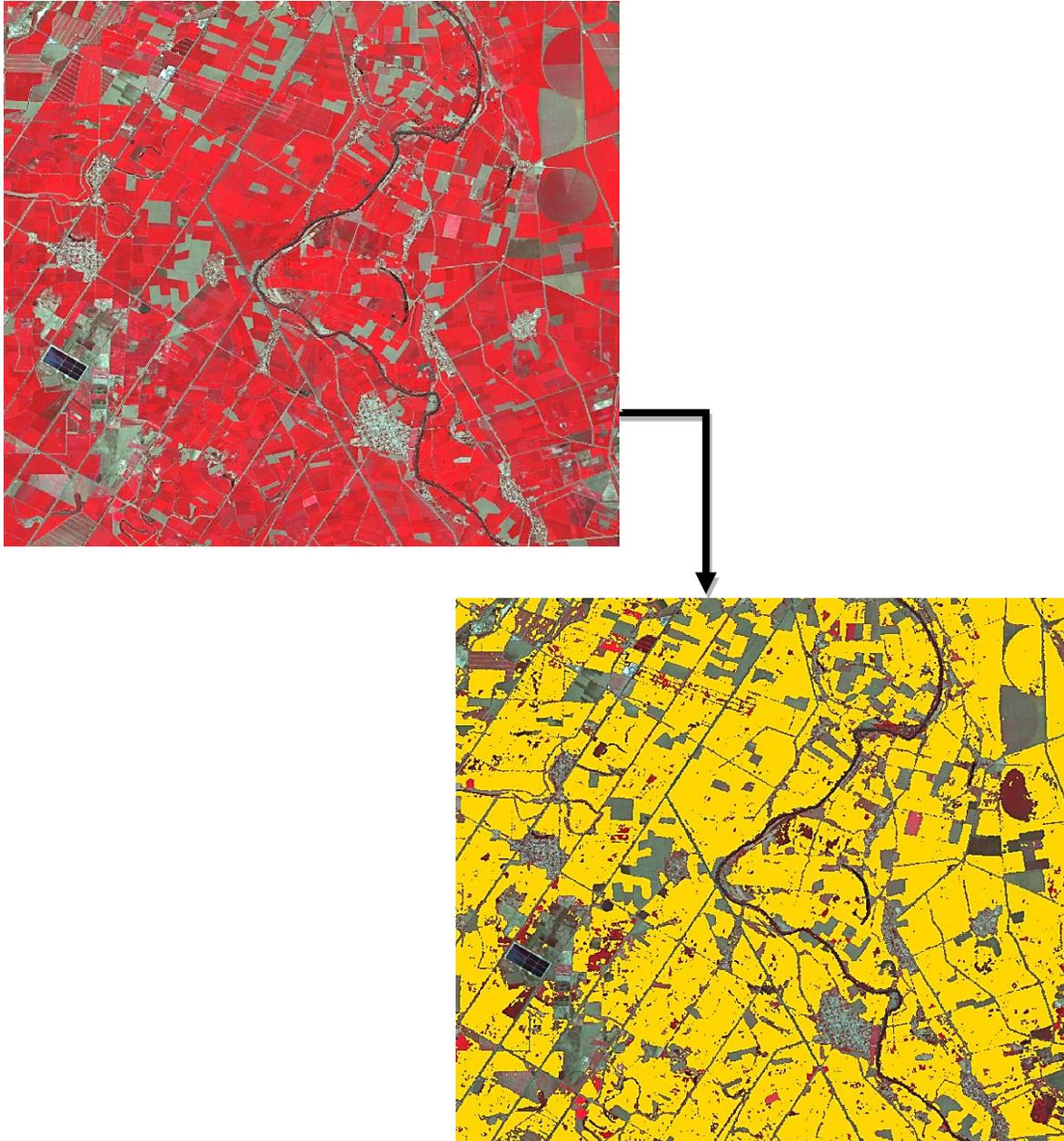


En esta imagen se puede ver la clasificación de la inundación del municipio de Huimanguillo. Se utilizó el recorte SPOT que cubre solo el área del municipio de interés. Se puede observar que los cuerpos de agua perenes no formaron parte de la clasificación.

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la clasificación de los cultivos se utilizan las imágenes multispectrales que no sufran modificaciones en sus bandas. Debido a que las características espectrales de esta imagen, permiten tener una mejor identificación de los cultivos, tanto en la diferenciación, como en la vigorosidad y salud de éstos.

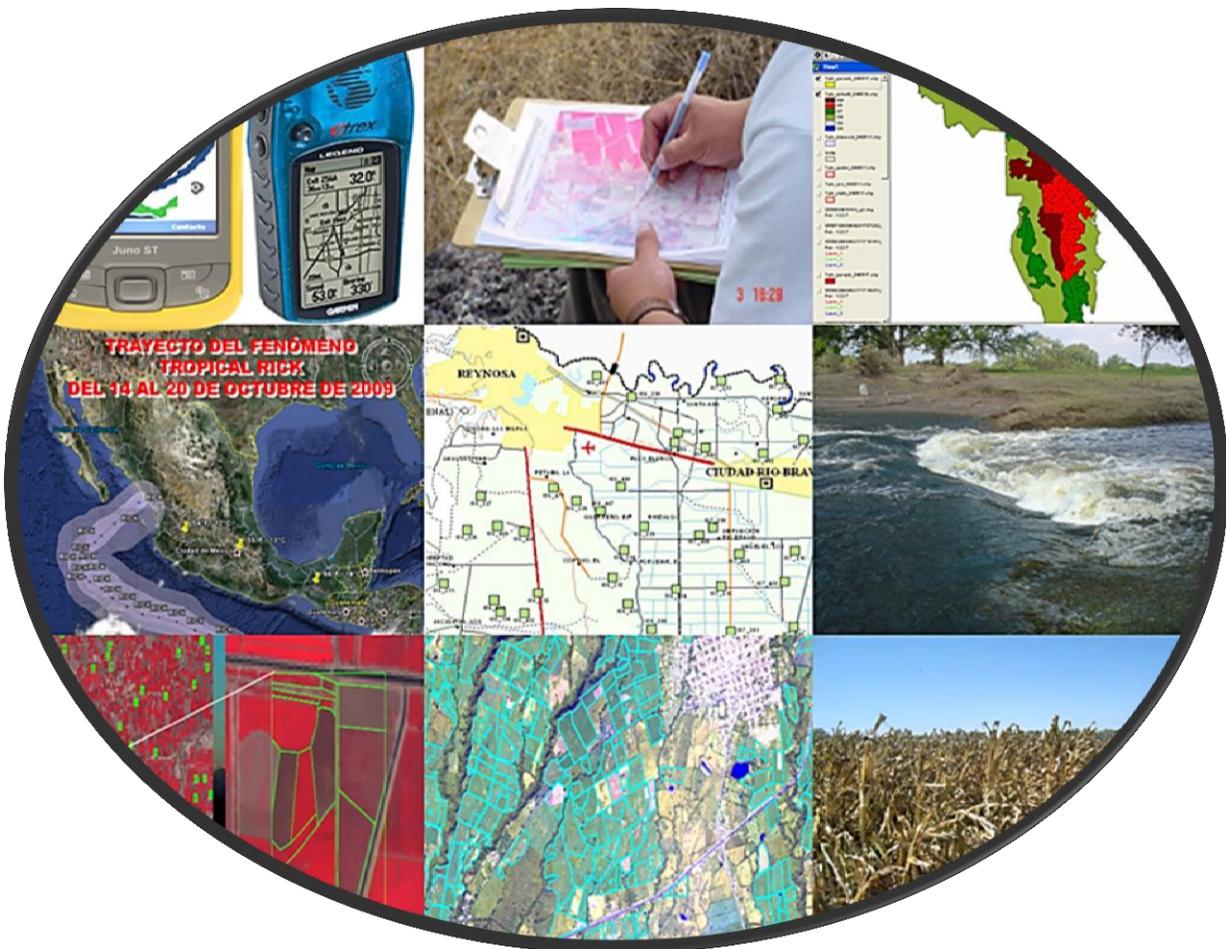
Clasificación de Maíz de una imagen SPOT multispectral



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

Aplicación de los SIG e Imágenes de Satélite en los proyectos realizados en la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial del SIAP

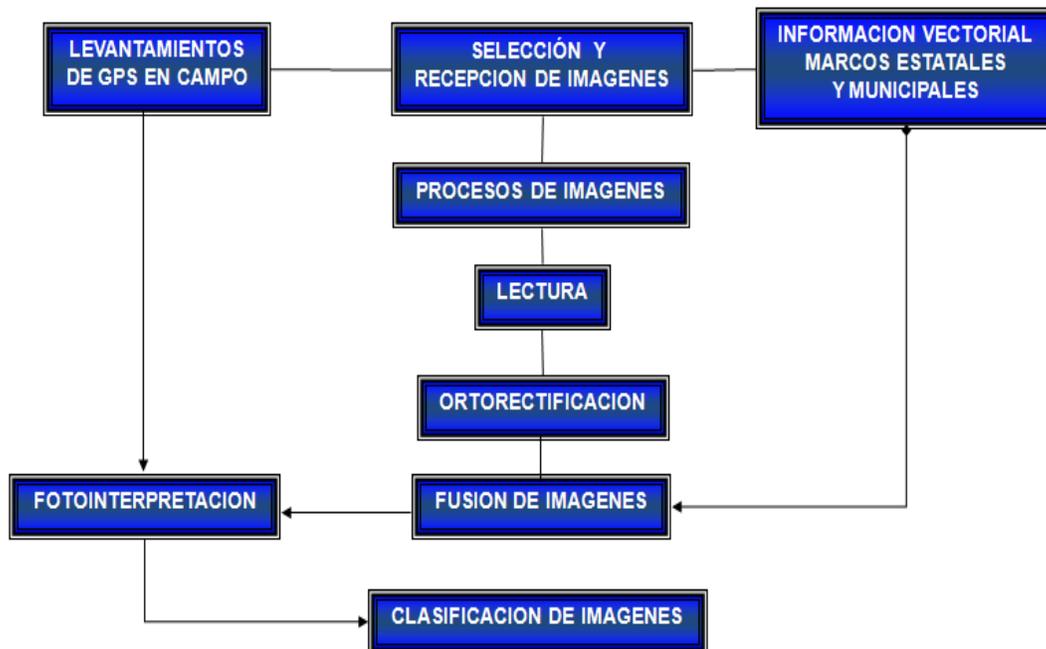


Los proyectos realizados en la DSIG tienen el objetivo de proveer a los productores agropecuarios, pesqueros y agentes económicos, que participan en las cadenas agroalimentarias, de información confiable y oportuna para la toma de decisiones que contribuya al desarrollo rural sustentable.

La realización de éstos, como ya se ha mencionado, se logra con la participación de tres elementos fundamentales: la aplicación de los sistemas de información geográfica, los sistemas de posicionamiento global y la percepción remota, donde el grado de participación de cada uno de los elementos va a depender de los objetivos particulares de cada proyecto.

En el esquema siguiente se muestra la estructura metodológica para llevar a cabo los proyectos, mismos que se explicarán en este capítulo, mencionando la metodología que se sigue para cada uno, así como ejemplos de ellos.

Estructura metodológica de los proyectos realizados en la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial



Fuente: SIAP

En la parte referente a la selección, recepción y procesos aplicados a imágenes, sólo se realizan a las imágenes de satélite SPOT.

3.1 Estimación de superficie agrícola sembrada por muestreo de áreas y teledetección espacial

La aplicación de estadísticas agrícolas, por métodos de muestreo de áreas y clasificación de imágenes satelitales, que necesitan el diseño de un muestreo de campo, es un método utilizado tanto por el USDA (Departamento de Agricultura de los Estado Unidos) como en la Unión Europea a través del Programa MARS (Monitoreo Agrícola por Sensores Remotos).

Este proyecto tiene como objetivo cuantificar la superficie agrícola sembrada de los cultivos de interés a nivel estatal y municipal.

Se lleva a cabo en dos periodos, que en conjunto forman un año agrícola, donde se identifican los principales cultivos de interés de cada ciclo, otoño-invierno y primavera-verano, así como la zona donde se va a realizar el muestreo.

Para el caso de México se implementó la metodología de marcos de muestreo de área por segmentación de la Unión Europea, donde se muestrea el 2% con respecto al total del área agrícola definida; dicha tasa de muestreo está calculada en base a la homogeneidad y tamaño de las parcelas, así como de la diversidad de cultivos existentes.

Sin embargo, dado a que en el país se presentan características diferentes como un elevado nivel de minifundio a lo largo del territorio nacional así como una heterogeneidad de los cultivos en las diferentes regiones agrícolas, se tuvo que adaptar esta metodología incrementando la tasa de muestreo al 3%.

Este proyecto estaba a cargo de ASERCA con el nombre de PRONESPRES (Programa Nacional de Estimación de Superficie, Producción y Rendimiento) el cual pasó en el 2007 a ser parte del SIAP con el nombre de Sistema Nacional de Encuestas Continuas (SINEC).

Principales productos y estados productores seleccionados

OTOÑO-INVIERNO		PRIMAVERA-VERANO	
Frijol	Maíz grano	Arroz	Frijol
Chiapas Nayarit Sinaloa Veracruz	Chiapas Oaxaca Sinaloa Sonora Tamaulipas Veracruz	Campeche Michoacán Nayarit Tabasco Veracruz	Chiapas Chihuahua Durango Guanajuato San Luis Potosí Zacatecas
Arroz	Trigo grano	Maíz grano	Trigo grano
Campeche Michoacán Nayarit Sinaloa Tamaulipas	Baja California Guanajuato Jalisco Michoacán Sinaloa Sonora	Chiapas Guanajuato Guerrero Jalisco México Michoacán Puebla	Guanajuato Jalisco México Oaxaca Puebla Tlaxcala
Sorgo grano		Sorgo grano	
Nayarit Tamaulipas		Guanajuato Jalisco Michoacán Sinaloa Tamaulipas	

Fuente: SIAP

En cuadro se puede observar los productos y entidades federativas que regularmente son de interés para realizar la estimación de superficie. No siempre son los mismos (ni los cultivos, ni las entidades productoras) la selección depende de diversos factores.

En cada ciclo agrícola no siempre se realiza la estimación de todos los cultivos si bien, para determinado ciclo, los cultivos de interés pueden ser cinco; por ejemplo, debido a cuestiones como falta de personal, presupuesto, tiempo, entre otros factores, sólo se realiza la estimación para aquéllos que las autoridades consideren de mayor relevancia, generalmente son dos o tres. Para el caso de la selección de los estados productores son elegidos los que acumulan el 80% del valor de la producción nacional, para determinado cultivo y ciclo agrícola; en el momento de hacer la selección, para estas entidades, sólo participan los municipios que acumulan el 80% de la superficie sembrada del cultivo elegido. Esta información es obtenida de la base de datos del Sistema de Información Agrícola de Captura (SIACAP), que puede consultarse en la página de internet del SIAP en el apartado de Agricultura, donde se muestra información de producción mensual y anual

de superficie sembrada, superficie cosechada, producción obtenida y rendimiento obtenido por estado o por cultivo, por ciclo agrícola, modalidad (riego, temporal o mixto), año, mes y a nivel geográfico de desagregación (nacional, estatal, distrital y municipal).

Una vez definido el cultivo o los cultivos a estimar y las entidades donde se va a llevar a cabo la cuantificación de la superficie sembrada, se realiza la estimación mediante dos métodos: muestreo por segmentación y mediante técnicas de teledetección espacial (clasificación de imágenes).

La metodología establece que para emitir un mejor resultado es necesario la realización de ambos métodos, donde los resultados finales obtenidos de cada proceso se someten a un método de ajuste de regresión, el cual consiste en calcular la regresión lineal existente entre ambos datos, es decir, estos totales estimados se ajustan de acuerdo con la ecuación de regresión lineal calculada para observar la relación entre ambas variables, donde dicha correlación entre éstas debe ser mayor al 85%, que nos permita obtener resultados con un grado de confiabilidad mayor al 90%. Este método de regresión lineal y la fórmula utilizada serán explicados más adelante.

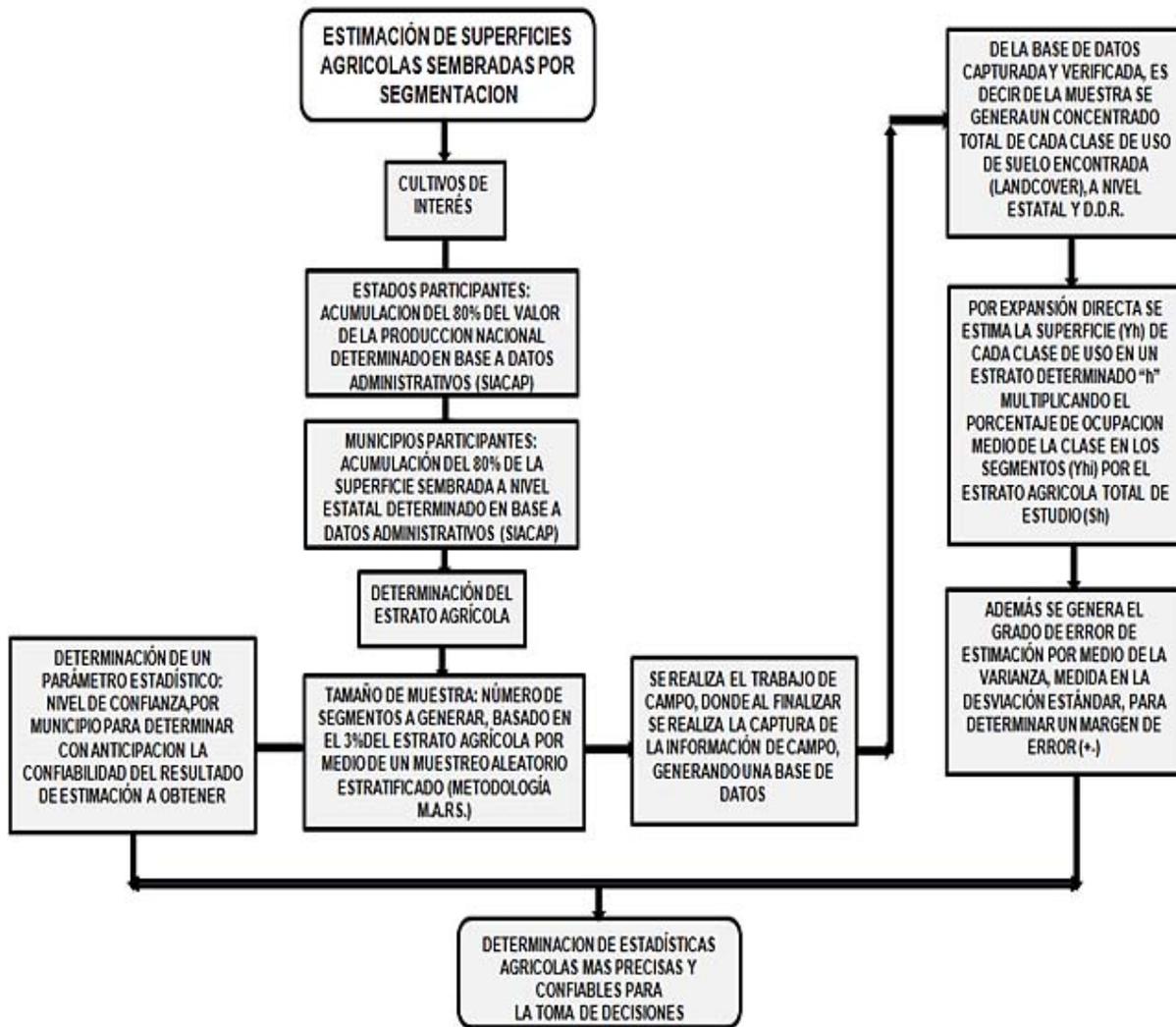
No siempre se realizan ambos métodos, en ocasiones los resultados emitidos provienen de una sola metodología, ya sea por segmentación o por clasificación de imágenes. El método a emplearse depende de las decisiones del director del SIAP quien evalúa los costos y el tiempo que se requiere para poder realizar uno o ambos procesos.

Muestreo por segmentación

Esta metodología consiste en una serie de procesos que son necesarios realizar para obtener el resultado final.

El diagrama que se muestra en la página siguiente explica los procedimientos que se realizan para llegar a la estimación de la superficie sembrada de los cultivos muestreados.

Diagrama metodológico para la estimación de superficie agrícola sembrada por muestreo de área



Fuente: SIAP

Determinación del cultivo de interés y la zona de estudio

El primer paso es establecer cuál es el cultivo de interés que se va a estimar, el estado y los municipios donde se va a realizar esta estimación de superficie sembrada. Una vez teniendo la delimitación de la zona de estudio se comienzan a preparar los insumos necesarios para realizar el trabajo de campo, donde la información obtenida servirá para generar un resultado.

Para obtener el diseño del marco de muestreo de áreas es necesario contar con cartografía digital, que es la base precisa de las mediciones. La cartografía que se requiere es la división político-administrativa para la referencia de la zona de estudio, así como el área agrícola, a la cual es necesario realizarle una serie de ajustes, ya que se detectó que la cartografía del estrato agrícola generado por el INEGI no cumplía con las condiciones adecuadas de delimitación.

Actualización del Estrato Agrícola

El país cuenta con coberturas geográficas a escalas medianas (1:250,000) de uso de suelo y vegetación; sin embargo, no se cuenta con una cobertura detallada de la Frontera Agrícola que permita reducir los errores que el muestreo conlleva, es decir, si se utiliza un estrato que no esté detallado y actualizado, éste puede contener superficie que en la actualidad no es agrícola, considerando dentro de su superficie zonas urbanas recién formadas o zonas urbanas que han experimentado un crecimiento, o bien, zonas cuyo uso de suelo es diferente al agrícola (pastos, matorrales, bosque y selvas) que provocan errores en la estimación.

Por ello, se realiza el análisis del estrato agrícola que se obtiene de la cartografía digital del uso de suelo del INEGI, a la cual, en base a imágenes de satélite SPOT fusionadas y actuales, se modifica para eliminar áreas que en la actualidad ya no son de uso agrícola, teniendo como resultado una estratificación agrícola estatal precisa y actualizada.

En la siguientes imágenes se ejemplifica la corrección que se hizo al estrato agrícola, en la primera imagen (Imagen 1) se puede observar una fusión SPOT a color verdadero con 2.5 metros de resolución a la cual se le sobrepuso el estrato agrícola del INEGI (en color verde) donde se observa que no se consideraron algunas parcelas agrícolas y se incorporaron áreas que no son de cultivo.

En la segunda imagen (Imagen 2) se observa la misma imagen fusionada pero ahora con el estrato agrícola modificado en el SIAP, aquí se puede apreciar que se incluyeron las zonas agrícolas faltantes y se eliminaron aquellas que no eran cultivables para tener un estrato más confiable.

Imagen 1

Imagen SPOT con el estrato agrícola del INEGI

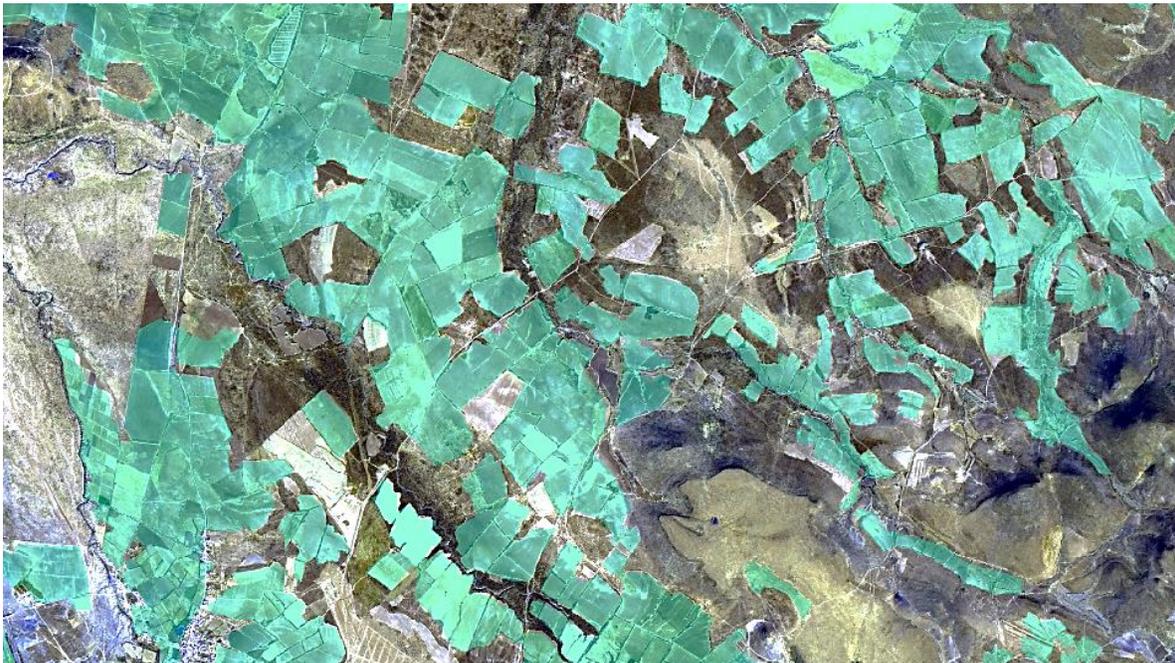


Guamúchil, Sinaloa

Fuente: Elaboración propia

Imagen 2

Imagen SPOT con el estrato agrícola del INEGI, corregido en el SIAP



Guamúchil, Sinaloa

Fuente: Elaboración propia

Distribución y tamaño de muestra

Este método está basado en una selección aleatoria de unidades de muestreo en campo denominados *segmentos*. Para el diseño se define una muestra de carácter estratificado y aleatorio sobre las zonas potencialmente agrícolas con una tasa de muestreo del 3%. El tamaño de la unidad de muestreo, es decir, de los segmentos se hace variable en función del tamaño de las parcelas que se encuentran en la entidad a trabajar, por lo que se puede definir de 49 hectáreas para los estratos con un tamaño de parcela medio y, de 25 hectáreas para los estratos de pequeño tamaño de parcelas.

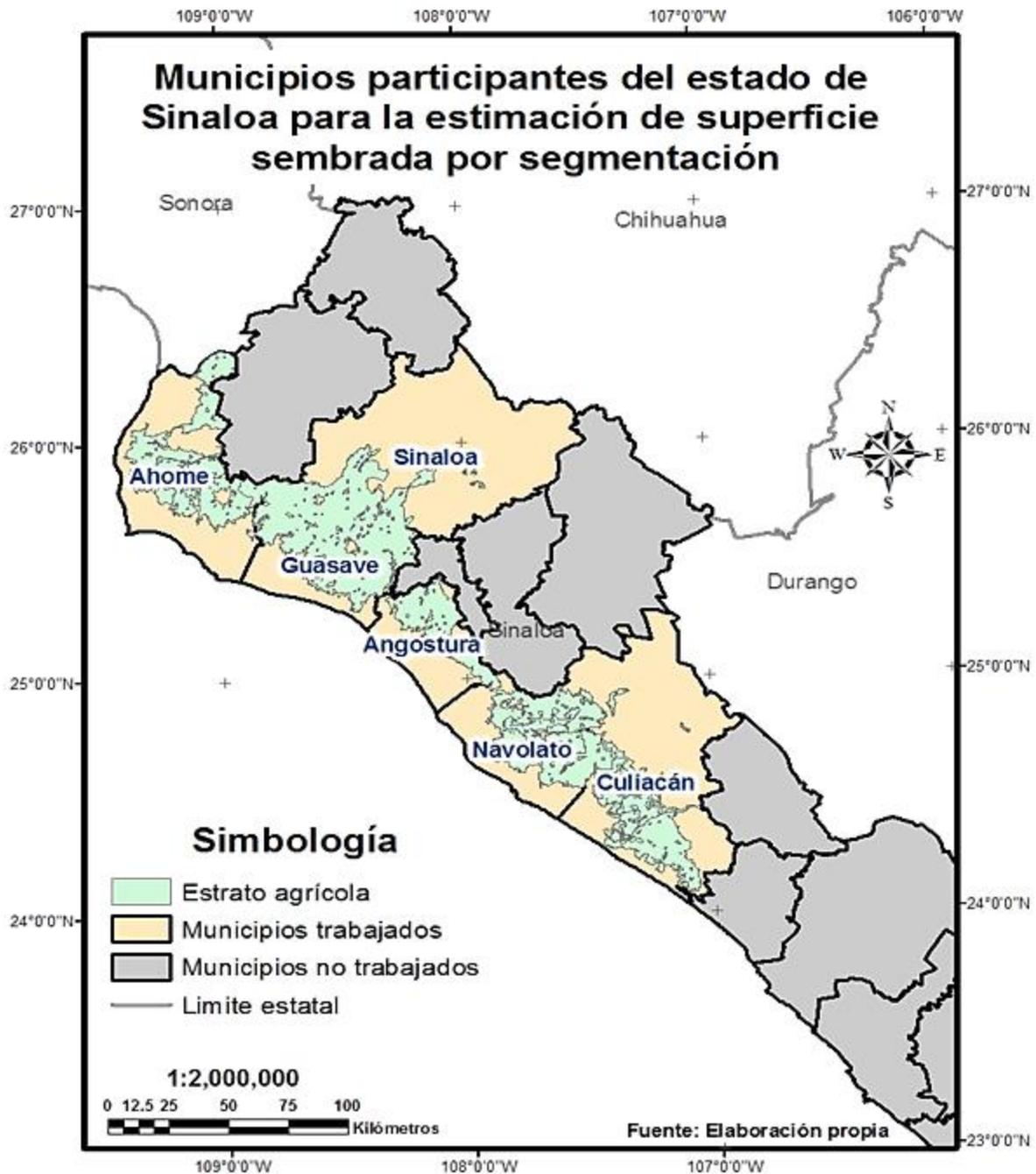
Para el diseño de la muestra, es necesario utilizar información de los registros administrativos del cultivo de interés donde se deben analizar los datos por estado y municipio que se están reportando en el momento y los registros históricos de los tres últimos ciclos homólogos anteriores del cultivo. Esta consulta servirá para seleccionar los municipios que participan con el 90% de la superficie sembrada del cultivo de interés.

De esta forma se utiliza un muestreo aleatorio estratificado, donde se va a utilizar el estrato agrícola corregido para tener una mayor precisión. Se utiliza como muestra el 3% con respecto al área total del estrato y es mediante el software de ArcView que se generan estas muestras, por medio de un script, al igual que la distribución de éstas la cual realiza de manera aleatoria. Quedando así los segmentos distribuidos en el área agrícola de los municipios que intervienen.

Se tomará como ejemplo la estimación de superficie sembrada de maíz en el estado de Sinaloa, realizada en mayo de 2011. Teniendo ya un estrato agrícola del estado corregido y los datos administrativos, del SIACAP, de la superficie sembrada de maíz con fecha de corte el 28 de febrero de este año, cuyos datos sirven para determinar los municipios participantes en el operativo. Se ordenan los datos de mayor a menor para determinar la acumulación del 90% del total de la superficie sembrada en la entidad.

Se identificaron seis municipios participantes con aproximadamente el 90% de la superficie sembrada acumulada (Mapa 1) y con un nivel de confianza *a priori* del 95% del resultado a obtener.

Mapa 1



En la siguiente tabla se puede observar de manera sintetizada los municipios participantes, donde se acumula una superficie de 774,388 Has; basándose en la metodología del MARS, se utilizó el 3% para el marco de muestreo de áreas, generando las unidades de muestreo (segmentos) dio como resultado un total de 474 distribuidos en base al estrato agrícola de los seis municipios participantes.

Tabla 1

AVANCE DE SIEMBRAS Y COSECHAS; ESTADO DE SINALOA												
OTOÑO-INVIERNO												
RIEGO												
SITUACIÓN AL 28 DE FEBRERO DE 2011												
MAIZ GRANO												
DDR	MUNICIPIO	SUP SEMB (HA)	SUP SIN (HAS)	REP %	% ACUMULATIVO	ESTRATO AGRICOLA	MUESTRA 3%	UNIDADES DE MUESTREO (SGM)	SGM REP	TOTAL	COSTO	Nivel de Confianza
GUASAVE Y LOS MOCHIS	GUASAVE	114,699	103,828	22.99	22.99	197,092	5912.76	121	7	128	\$72,401.14	X>=90%
LOS MOCHIS	AHOME	94,659	70,349	18.97	41.96	170,084	5102.52	104	7	111	\$62,479.84	X>=90%
CULIACÁN Y LA CRUZ	CULIACAN	74,686	49,706	14.97	56.93	145,334	4360.02	89	4	93	\$53,388.00	X>=90%
CULIACÁN	NAVOLATO	74,529	66,519	14.94	71.87	110,228	3306.84	67	3	70	\$40,491.92	X>=90%
GUAMUCHIL	ANGOSTURA	46,196	46,104	9.26	81.13	76,216	2286.48	47	3	50	\$27,997.71	X>=90%
GUASAVE	SINALOA	35,891	29,031	7.19	88.32	75,434	2263.02	46	3	49	\$27,710.45	X>=90%
TOTALES	6	440,660	365,537	88.32		774,388	23,232	474	27	501	\$284,469.06	X>=90%

Los porcentajes obtenidos para determinar el 3% de cada estrato agrícola de los municipios, así como los demás cálculos, en cuanto al costo de la realización de los segmentos y el nivel de confianza, son generados por el área estadística de la DSIG.

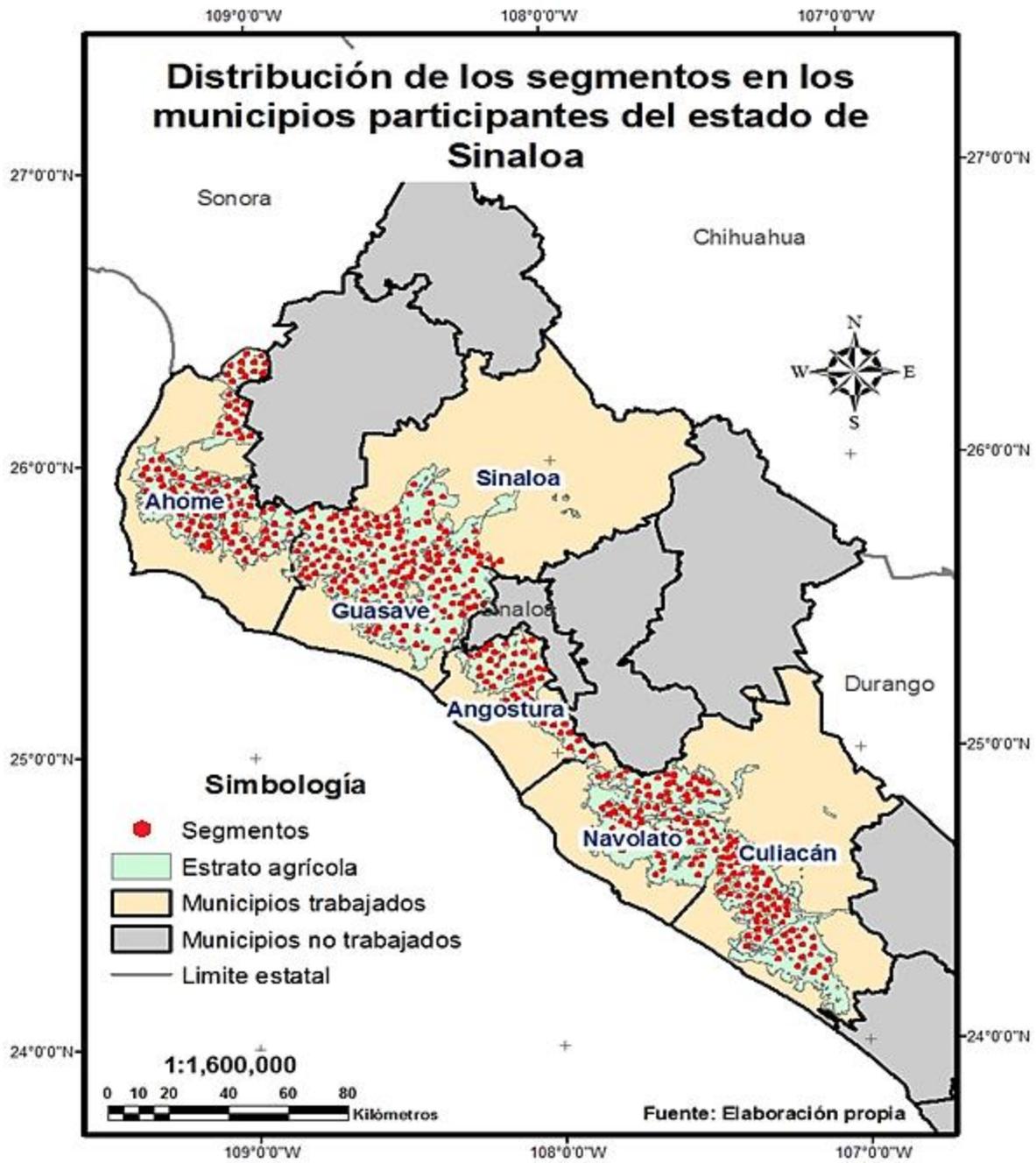
En la tabla también se observa que se generaron segmentos adicionales para el caso de cualquier imprevisto que impida el levantamiento de la información de campo de algún o algunos segmentos, así como el costo total del operativo, el cual se calcula dando un valor aproximado de \$600.00 pesos por segmento.

En el mapa que se muestra a continuación (Mapa 2) se puede apreciar la distribución de los segmentos teniendo que, para:

- El municipio de Ahome se generaron 121 segmentos,
- Guasave 104,
- Culiacán 89,
- Navolato 67,
- Angostura 47
- Sinaloa de Leyva 46.

Dando un total de 474 segmentos de los cuales 27 son adicionales.

Mapa 2



Nivel de confianza *a priori*

Como una referencia estadística más, se determina con anticipación la confiabilidad del resultado a estimar, es decir, se calcula el nivel de confianza por medio de la probabilidad de incidencia, que es el resultado de la división del estrato agrícola entre el dato administrativo (esto es a nivel municipal, DDR y estatal).

Además se utiliza un nivel de significancia del 0.05, es decir, se acepta un grado de error de estimación del 5%. Aunado al tamaño de muestra del 3%, se determina el número de segmentos de 49 hectáreas; todo ello para calcular el intervalo de confianza y así poder determinar finalmente el nivel de confianza, el cual, utilizando el criterio de un límite superior del 30% de confiabilidad, se generan las cuatro frecuencias siguientes:

- 1.- Si $M \geq 30\%$, entonces $X \geq 90\%$
- 2.- Si $M < 30\%$ pero $M \geq 20\%$, entonces $60\% < X < 90\%$
- 3.- Si $M < 20\%$ pero $M \geq 10\%$, entonces $30\% < X \leq 60\%$
- 4.- Si $M \leq 10\%$, entonces $X \leq 30\%$

Donde: M= Límite Máximo del Intervalo de Confianza.

X= Resultado a estimar

Digitalización de los segmentos

Se realiza una fotointerpretación utilizando el software de ArcGIS, donde a las imágenes SPOT fusionadas a color verdadero y con 2.5 metros de resolución, se le sobrepone la información vectorial de los segmentos. Cualquier rasgo que se encuentre dentro de éstos será digitalizado, es decir, caminos, parcelas (guiándose por los límites parcelarios), cuerpos de agua, infraestructuras, entre otros.



Una vez que se digitalizaron los 501 segmentos, los 474 y los 27 adicionales, se genera el formato F1; que se lleva a campo junto con el F2 (el uso de ambos formatos en campos será explicado más adelante).

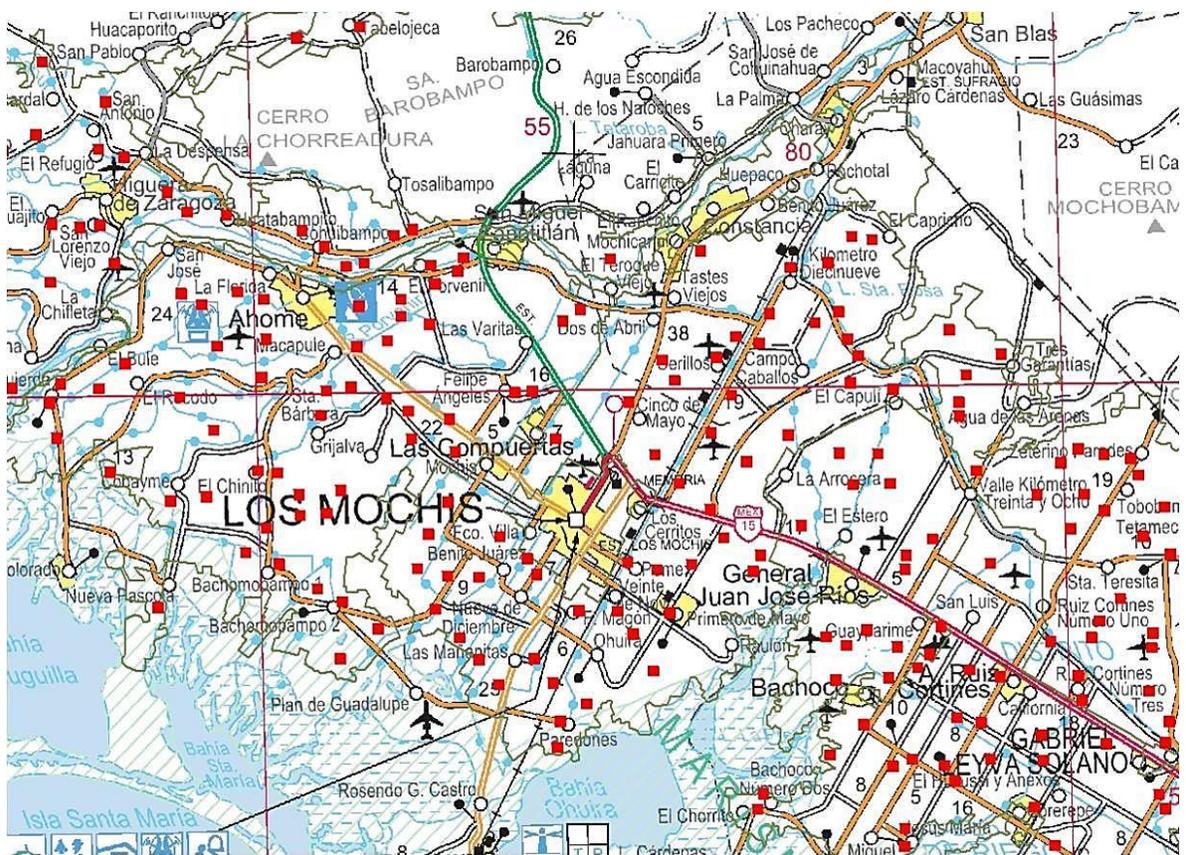
Formato F1

Formato F1: Aerial satellite image with overlaid land parcels and a survey grid. The form includes logos for SAGARPA and SIAP, a title "PROGRAMA NACIONAL DE ESTIMACION DE SUPERFICIES, PRODUCCION Y RENDIMIENTOS", and fields for "Estado", "Municipio", and "DDR". Below the image are fields for "Levantado:", "Supervisado:", a north arrow, "Segmento: 01000 Y", and a scale bar labeled "Escala: 1:10000".

El Formato F1 está compuesto en la parte superior por los logos de la SAGARPA y del SIAP, así como el nombre del proyecto. Debajo de estos contiene cuatro líneas a llenar: nombre del estado, municipio, DDR al que pertenece, y la fecha del levantamiento. La mayor parte la abarca la vista del segmento digitalizado con la imagen SPOT de fondo a una escala 1:10,000. Por último, en la parte inferior se encuentra a la izquierda el símbolo del Norte; debajo de éste, el identificador del segmento llamado SGMID, compuesto por 6 números, el cual es asignado en la tabla de atributos a la hora de ser generados los segmentos. Le siguen dos renglones a llenar: el nombre de la persona que realizó el levantamiento y de quien está supervisando y, finalmente, en la parte inferior derecha se encuentra la escala gráfica así como la numérica.

También se generan los mapas que se van a utilizar en campo, los cuales consisten en la sobreposición de los segmentos georreferenciados a la carta de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de la entidad donde se va hacer el levantamiento que contiene información de caminos, carreteras, ciudades, localidades, límites municipales y estatales, entre otros. Estos mapas son entregados a cada una de las brigadas para que, con base a la distribución de los segmentos a lo largo del estado, realicen la planeación del levantamiento en campo de su carga de trabajo.

**Mapa de ubicación de los segmentos en los Mochis,
Cabecera municipal de Ahome, Sinaloa.**



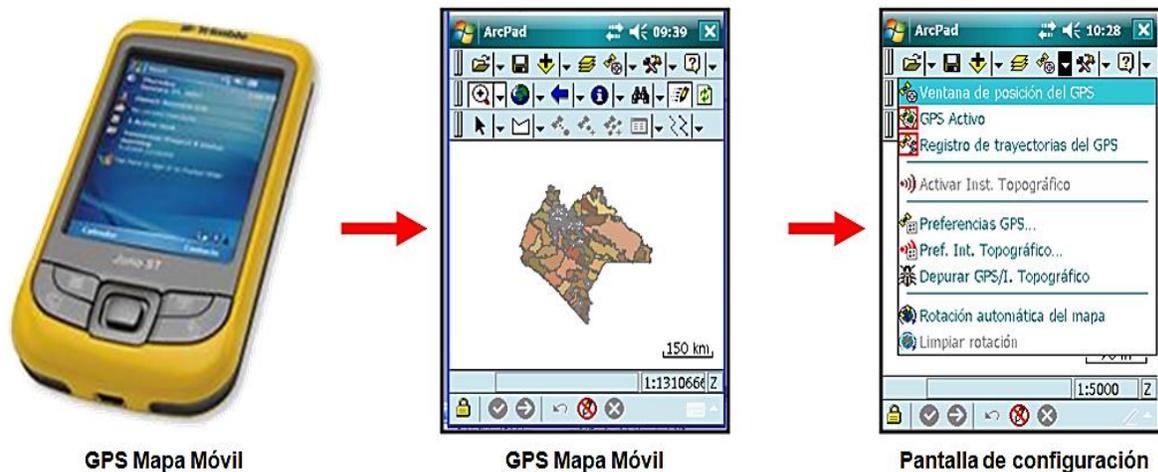
Fuente: SCT

 Segmentos

Se configuran además los equipos GPS que se van a emplear en campo, a los cuales se les carga la información vectorial de los segmentos o las coordenadas de los centroides de cada segmento dependiendo del equipo a usarse.

Para el caso de los equipos *Mapa Móvil Juno* y *NOMAD* se les cargan los archivos vectoriales de los segmentos y de la división municipal del estado, así como las imágenes de satélite utilizadas como base en la digitalización, el mapa de carreteras y localidades de la SCT.

Para los equipos GPS *Garmin 12XL* y *eTrex VISTA* se les carga sólo la información de las coordenadas de los centroides de cada segmento para la localización de estos, debido a que no tienen la misma capacidad que los GPS Mapas Móviles¹⁷.



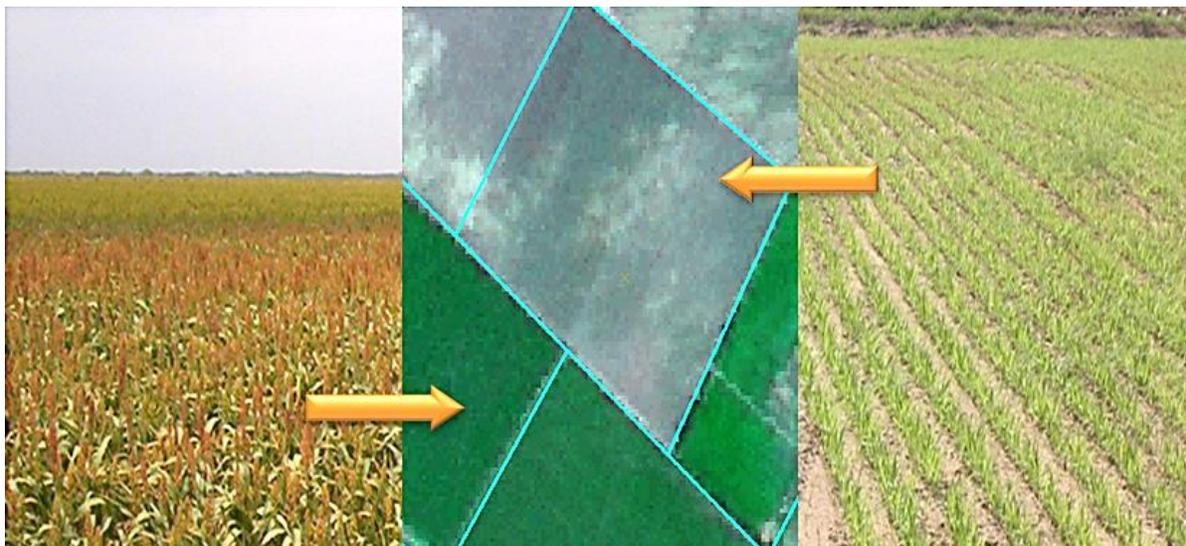
Operativo de campo

La verificación de los segmentos en campo es la parte fundamental de la estimación, si ésta no se realiza correctamente, se tendrá un error considerable en el dato estimado; por ello, es importante capacitar correctamente a las personas que se van a encargar de realizar este operativo, brindándoles herramientas que les permitan tener una buena ubicación de los segmentos en campo, principalmente cuando se emplean los receptores GPS que sólo contienen las coordenadas del centro de los segmentos ya que, cuando no se tiene experiencia, se puede caer en una desorientación que provoca la confusión de las parcelas a verificar; también es necesario que el brigadista tenga un excelente manejo de los equipos así como el conocimiento del correcto llenado de los formatos.

¹⁷ La tecnología Mapa Móvil utiliza el sistema GPS, pero con el beneficio de contar con información vectorial y de imágenes satelitales, este procedimiento disminuye el error en los operativos. Estos equipos aumentan el grado de precisión de la información obtenida en campo, haciéndolo un insumo de alta confiabilidad.

También es importante que la persona que va a realizar el levantamiento logre identificar los diversos cultivos que se pueden encontrar dentro de los segmentos así como las etapas fenológicas en las que se encuentran dichos cultivos, o bien, debe estar acompañada por personal de las delegaciones estatales o de las OEIDRUS, que generalmente son ingenieros agrónomos que tienen conocimientos de los cultivos y sus características para evitar errores en la estimación. El segmento debe recorrerse completamente.

En el Formato F1, a cada parcela identificada se le asignará un número y se anotará la información solicitada en el Formato F2; si la parcela sigue igual que en la imagen usada para la digitalización, sólo se le identifica con el número, pero si ésta presenta cambios en sus límites, el responsable del levantamiento debe trazar en este formato los nuevos límites de la parcela.



Las coloraciones visuales que se pueden observar en las imágenes facilitan la identificación de los rasgos visibles del terreno, para lograr una fácil y mejor ubicación del técnico en las parcelas por muestrear al momento del levantamiento de la información en campo.

En el Formato F2, se anotan las características de los polígonos identificados (parcelas) que se encuentran dentro de cada segmento, las cuales consisten en escribir el nombre del cultivo, el estado fenológico del cultivo en general, el porcentaje de cobertura de suelo del cultivo, su altura, modalidad (riego o temporal) y una columna para escribir observaciones, en caso de ser necesarias; ya sea, porque el cultivo se encuentre en mal estado o este intercalado con otros cultivo, por ejemplo.

Formato F2

FORMATO 2. IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE CULTIVOS

Segmento: _____ Fecha: _____ Edo: _____ DDR: _____ Mun: _____

Estado Fenológico del Cultivo en General		Descripción			
1 Plántula	<= 10 cm	% De suelo Cubierto	1 = 80 a 100	2 = 50 a 80	3 = 0 a 50
2 Desarrollo	Sin flor ni fruto	Modalidad	1 Riego	2 Temporal	3 No Aplica
3 Floración	Presencia gral. de flores, s/fruto				
4 Fructificación	Presencia gral. de fruto o grano				
5 Senescencia	Presencia gral. de hojas secas				

Claves de Cobertura					
1	AGAVE	16	CHILE	31	MINA
2	AGUA	17	CIENEGA (Z. INUND)	32	NOPAL
3	ALFALFA	18	ESPARRAGO	33	SORGO FORRAJERO
4	ALGODÓN	19	FRESA	34	OTROS CULTIVOS
5	ARBOLES	20	FRIJOL	35	PAPA
6	ARROZ	21	FRUTALES	36	PASTIZAL
7	AVENA	22	GARBANZO	37	PEPINO
8	BRÓCOLI	23	HABA	38	SOYA
9	CALABACITA	24	PASTO NATURAL	39	SANDIA
10	CAMINO	25	INFRAESTRUCTURA	40	SORGO GRANO
11	CANA DE AZÚCAR	26	MAIZ FORRAJERO	41	SUELO DESNUDO
12	CARTAMO	27	MAIZ GRANO	42	SUELO EN DESCANSO
13	CEBADA	28	MANGLAR	43	TABACO
14	CEBOLLA	29	MATORRAL	44	TOMATE (ROJO)
15	CHICHARO	30	MELÓN	45	TOMATE VERDE
				46	TRIGO
				47	VID
				48	ZANAHORIA
				49	ZONA PROD ACUICOLA
				50	ZONA URBANA
				51	
				52	
				53	
				54	
				55	
				56	
				57	
				58	
				59	
				60	

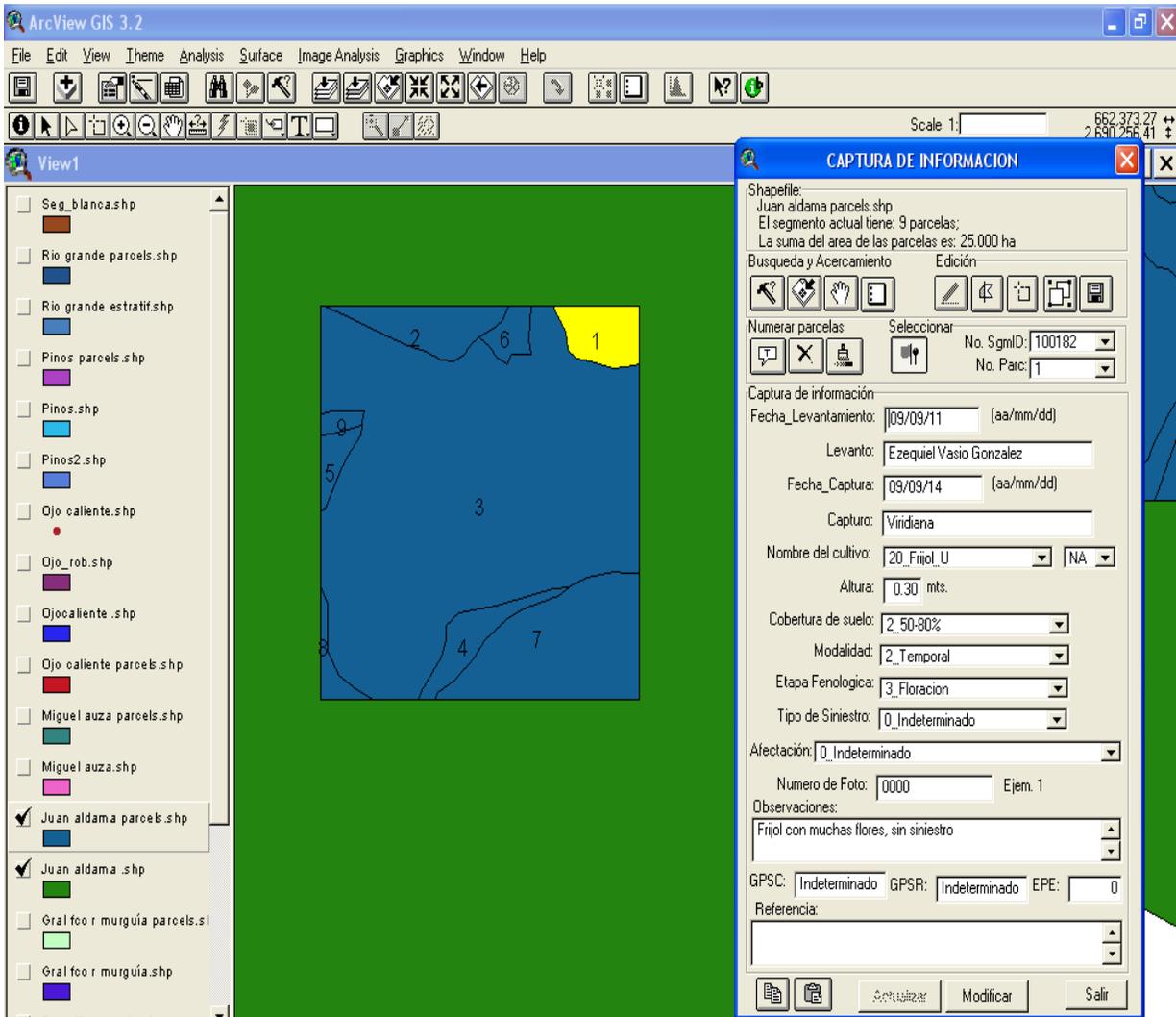
Núm. Parcela	Clave	Altura	Suelo	Modalidad	EF	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						

Responsable del Levantamiento: _____

En el Formato F2, en la parte superior se escribe el identificador del segmento, la fecha del levantamiento, nombre del estado, nombre del DDR y del municipio. Su llenado se realiza por medio de claves que indican aspectos de las características del cultivo para hacer más rápido el levantamiento. En el rectángulo azul se encuentran las claves para anotar el estado fenológico del cultivo; en el rectángulo verde, las claves del porcentaje de suelo cubierto, así como la modalidad (riego o temporal); en rojo, están señaladas las claves de los nombres de las coberturas y, en amarillo el espacio donde se anotan esta claves según el número con el que se identificó cada polígono dentro del segmento, así como una columna para anotar observaciones. En la parte inferior se coloca el nombre del responsable del levantamiento.

Captura de la información de campo

Se realiza por medio de un script diseñado en ArcView para facilitar la captura, aquí se llena la tabla de atributos de cada polígono identificado en los segmentos así como la actualización de límites parcelarios o la combinación de polígonos, en caso de que el personal técnico encargado del levantamiento lo señale.



Una vez terminada la captura se procede a cuantificar la superficie de cada una de las coberturas identificadas, así como el número de polígonos totales de cada cobertura para obtener el resultado de la estimación.

Factor de expansión

El resultado estimado es generado por el *factor de expansión directa* que consiste en una relación directa, como su nombre lo indica, entre los porcentajes de la superficie ocupada por cada uso de suelo con respecto al total de la muestra de campo y de la población.

El modelo de expansión directa se representa de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \mu_i \pm \epsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} = Resultado estimado

μ_i = Media Poblacional

ϵ_{ij} = Error de estimación

Por ejemplo, se quiere estimar la superficie ocupada por Y cultivo en la zona de estudio, tenemos que:

$$Y_h = N_h \sum_{i=1}^n \frac{y_{hi}}{n_h}$$

Donde:

Y_h = Estimación total para el estrato h.

N_h = Total de segmentos muestra del estrato h.

Y_{hi} = Total de superficie de la muestra i.

n_h = Cantidad de segmentos que integran la muestra en h.

Siguiendo con el ejemplo de la estimación de superficie sembrada de maíz en Sinaloa, de la base de datos capturada se generó un landcover (ocupación del suelo) el cual describe la superficie encontrada en m² y el número de parcelas encontradas de cada uno de los cultivos identificados resultando la siguiente tabla:

LANDCOVER			
ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE SEMBRADA DE MAIZ EN			
CONCEPTO	NUM PARCELAS	SUMA_ARE A (Yh)	COBERTURA (Yhi)
Agua	47	1581483.09	0.006494
Alfalfa	52	1357559.91	0.00557451
Arroz	1	13126.641	5.3902E-05
Avena	1	1520.426	6.2433E-06
Camino	484	8066159.52	0.03312183
Caña de Azucar	122	7609453.25	0.03124647
Cartamo	12	685041.333	0.00281296
Chile	2	106109.746	0.00043572
Cienega	9	466699.834	0.0019164
Frijol	5	314604.872	0.00129185
Frutales	22	1221725.54	0.00501673
Garbanzo	14	841827.402	0.00345677
Hortaliza	29	857757.934	0.00352219
Indeterminado	314	8587768.8	0.03526369
Infraestructura	343	8159168.31	0.03350375
Maiz Forrajero	3	150759.477	0.00061906
Maiz Grano	1784	123675740	0.50784594
Matorral	65	1918463.38	0.00787773
Nopal	1	25119.287	0.00010315
Otros Cultivos	17	521259.569	0.00214043
Papa	4	234273.365	0.00096199
Pastizal	52	1816904.74	0.0074607
Pepino	2	91596.958	0.00037612
Sandia	2	34505.18	0.00014169
Sorgo Forrajero	8	285249.022	0.00117131
Sorgo Grano	691	47488704.5	0.19500143
Suelo Desnudo	179	9669657.33	0.03970622
Suelo en Descanso	131	6190743.92	0.02542086
Tomate (rojo)	8	388450.902	0.00159508
Tomate (verde)	2	94262.477	0.00038707
Trigo	47	2236232.15	0.00918257
Z Prod Acuicola	2	24783.487	0.00010177
Z Urbana	146	6713340.65	0.02756679
Zona de Arboles	75	2099983.36	0.0086231
Total general	25767	243530037	1

Una vez obtenidos los datos, se procede a sustituir los valores de la formula de expansión donde se tiene que:

Yh = Estimación total del cultivo de maíz en el estrato h.

Nh = Total de la superficie del estrato h.

774,388 Has

Yhi = Total de superficie identificada en la muestra del cultivo de maíz.

123,675,740m² = 12,368 Has

nh = Total de superficie muestra del estrato h.

243,530,037m² = 24,353 Has

Entonces tenemos que:

Yh = 774,388 x (12,368/24,353) =

393,270 Has

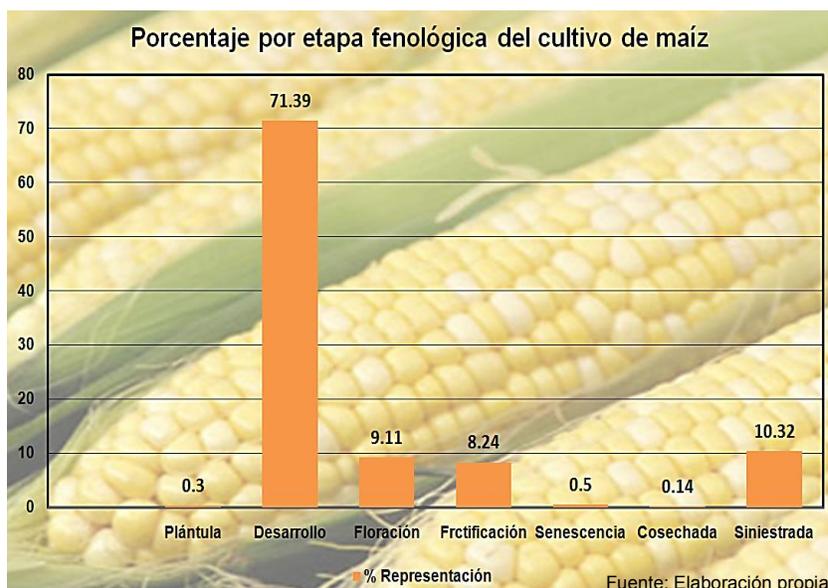
Estimación de la superficie por etapa fenológica

Para este caso, se realizó el mismo procedimiento de expansión directa, pero ahora por etapa fenológica, donde se obtuvo el siguiente resultado:

Superficie estimada de maíz por etapa fenológica					
Etapa fenológica	Superficie estimada (has)	% Representación	Tipo*	Total (has)	Total final (has)
Plántula	1,172	0.3	Resiembra	281,937	352,157
Desarrollo	280,765	71.39			
Floración	35,845	9.11	1ra. Siembra	70,220	
Fructificación	32,395	8.24			
Senescencia	1,980	0.5			
Cosechada	538	0.14	No contabilizado	41,113	41,113
Siniestrada	40,575	10.32			
Total general	393,270	100.00		393,270	393,270

Fuente: SIAP

*Este valor se determinó tomando en cuenta el periodo de crecimiento que tiene el maíz, de esta manera, considerando la fecha en que inició la resiembra, más la fecha del operativo en campo, el maíz encontrado en etapa de desarrollo pertenecía a la resiembra, mientras que, el encontrado en etapas más avanzadas como floración, fructificación o senescencia, era perteneciente a la primera siembra.



Observamos en la tabla que aproximadamente 41,113 hectáreas se encontraron fuera de contorno, es decir, la superficie cosechada y la superficie que se encontró aun siniestrada por las heladas no se contemplaron dentro del resultado final; por lo que, se estimó una

superficie de **352,157 Has**, considerando que 281,937 Has corresponden a la etapa de la resiembra, mientras que las 70,220 Has son de la primera siembra, es decir, la superficie que no resultó dañada por la helada.

Error de estimación

Toda estimación trae consigo un margen de error y para ello se utiliza el siguiente algoritmo acoplado a estimaciones agrícolas.

$$\xi_i = \frac{Z_{\alpha/2} N_h \sigma \sqrt{1-f}}{\sqrt{n_h}}$$

Donde:

ξ_i = Superficie total estimada del cultivo i en el estrato h .

$Z_{\alpha/2}$ = Valor crítico calculado en la distribución normal estándar.

N_h = Total de segmentos muestra del estrato h .

σ = Desviación estándar.

f = n/N , Fracción muestral.

n_h = Total de segmentos muestra seleccionados en el estrato h .

Para poder calcular el error de estimación necesitamos determinar la ocupación de suelo del cultivo de interés, en este caso es el maíz, en cada uno de los segmentos levantados en campo donde se encontró dicho cultivo para poder obtener la varianza y la desviación estándar.

Una vez teniendo la superficie que ocupa el maíz en los segmentos se obtiene la media; la varianza se va obtener restando cada cobertura a la media obtenida, el resultado se eleva al cuadrado y, finalmente, se saca la raíz cuadrada a la varianza para tener así la desviación estándar.

Una vez obtenido lo anterior se aplica el algoritmo con un nivel de significancia del 0.05, es decir, aceptando un grado de error del 5%, donde se obtuvo un margen de error de estimación de superficie sembrada de maíz de:

± 17,803 Has.

Resultado Final

Como se mencionó anteriormente, el modelo de expansión directa empleado es como sigue:

$$Y_{ij} = \mu_i \pm \epsilon_{ij}$$

De esta manera se obtuvo como resultado lo siguiente:

Superficie estimada de maíz por etapa fenológica							
Etapa fenológica	Superficie estimada (has)	% Representación	Tipo*	Total (has)	Margen de error	Intervalo de confianza	
						Superior	Inferior
Plántula	1,172	0.33	Resiembra	281,937	14,253	296,190	267,684
Desarrollo	280,765	79.73					
Floración	35,845	10.18	1ra. Siembra	70,220	3,550	73,770	66,670
Fructificación	32,395	9.20					
Senescencia	1,980	0.56					
Total general	352,157	100.00		352,157	17,803	369,960	334,354

Fuente: SIAP

La tabla muestra, con un 95% de certeza, el valor verdadero se encuentra dentro del intervalo de confianza dado, lo que estadísticamente es válido para la toma de decisiones precisas.

Tomando en cuenta únicamente la parte de la resiembra y de la primera siembra con el nivel de confianza superior tenemos que, el dato de superficie es de **369,000 Has** aproximadamente en los seis municipios muestreados que representan el 90% de la superficie sembrada de maíz. El 10% restante, es decir, el porcentaje perteneciente a los nueve municipios que también sembraron maíz, se determinó administrativamente teniendo como superficie un total de 30,140 Has aproximadamente, como se muestra en el siguiente cuadro:

Concepto	Dato estimado (6 municipios)	Dato administrativo (9 municipios)	Total
Resiembra	296,190	12,410	308,600
1ra Siembra	73,770	17,730	91,500
Total	369,960	30,140	400,100

Fuente: SIAP

Método por clasificación de imágenes

La teledetección se incorpora al método del marco de área mediante el empleo de clasificaciones de imágenes de satélite para la discriminación espectral y cuantificación de superficies, cuyos resultados son empleados para la realización de una regresión sobre los resultados iniciales de expansión directa (Cochran, 1977).

Para este caso, se realizó una clasificación supervisada en la cual se utilizaron los segmentos como clases de información, los cuales permiten obtener firmas espectrales de los diferentes elementos encontrados en campo de cada segmento.

Como primer paso se procedió a establecer las fechas adecuadas para la solicitud de imágenes SPOT, basadas en los calendarios de siembras y cosechas, para establecer cuál es el momento oportuno para que el satélite pueda tomar la imagen, es decir se elige el periodo de tiempo donde el cultivo se encuentre en su máximo desarrollo.

ERMEUS Comisión de Promoción Municipal de la Constelación Spot **SSOI**
 Sistema de Solicitudes
 Usuario: em0224 Miércoles 20 de Julio de 2012 11:42 AM 423 881

Solicitud Enviada

DATOS GENERALES

Acto de Solicitud: 20120720-10234-148
 Usuario Solicitante: em0224
 Dependencia: SIAF-SP
 Subdependencia: SAGIFPA
 Fecha de Captura: 20/07/2012 11:42:48 a.m.

TITULO

Agricultura

PERIODO DE ESTUDIO

PRIMER PERIODO: 01/08/2012 - 15/08/2012
 SEGUNDO PERIODO: -
 TERCER PERIODO: -

PROCESAMIENTO

Resolución: 10 Metros
 Modo Espectral: Multiespectral a 4 Bandas
 Nivel: Nivel 11

ÁREA DE TOMA
 Círculo a Vertical (# 120)

ÁREA DE ESTUDIO

# de Punto	Longitud en Grados	Longitud en Minutos	Latitud en Grados	Latitud en Minutos
1	102	24	24	27
2	102	36	24	30
3	102	12	24	03
4	102	42	24	15
5	102	03	24	45
6	102	17	24	39

COBERTURA DE NUBES

Menor 10%

JUSTIFICACION DEL USO DE LA(S) IMAGEN(ES)

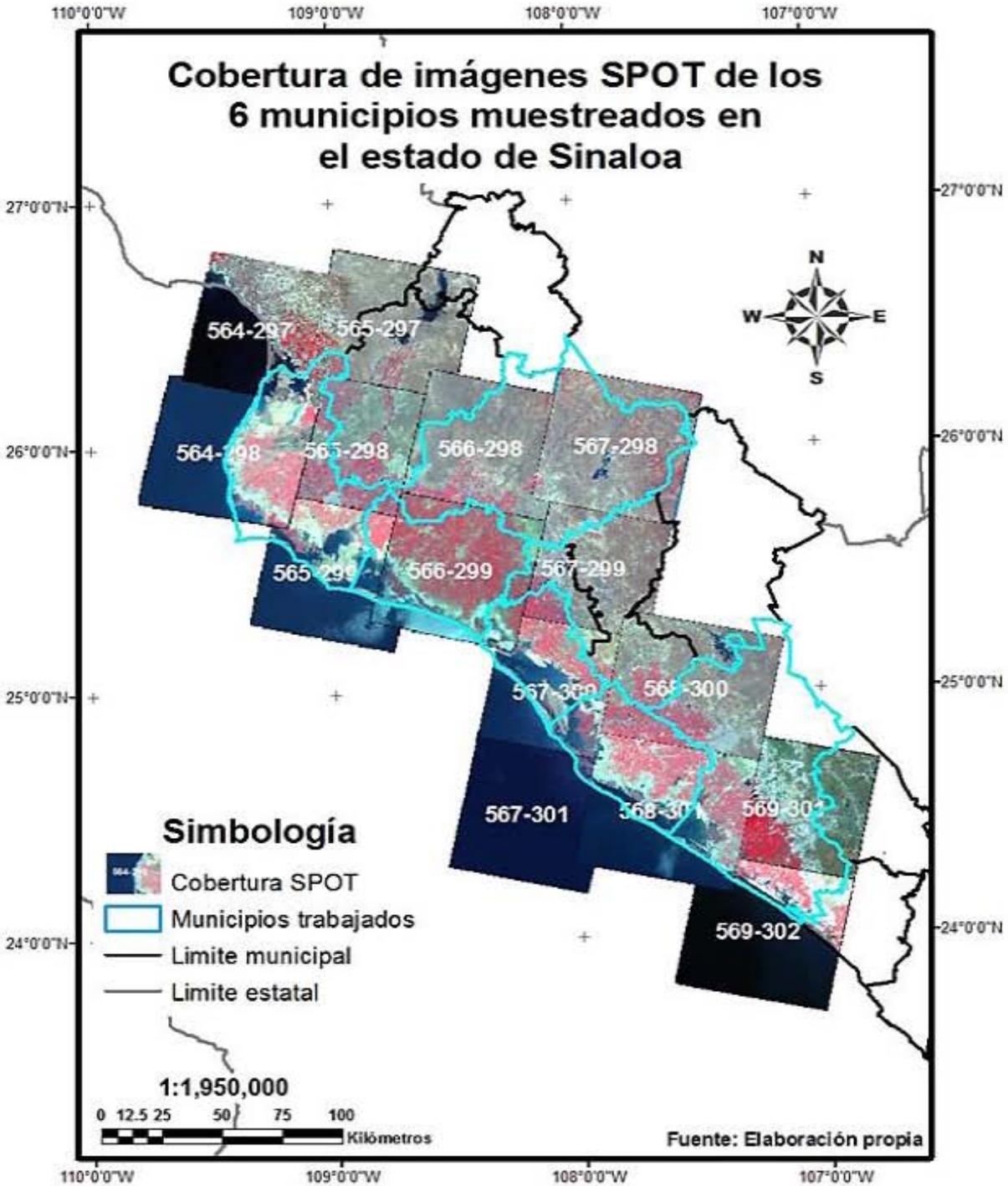
1. Naturaleza y Alcance: Estimación de la superficie agrícola en el Distrito de Desarrollo Rural Río Grande, en el estado de Zacatecas, para el año agrícola Primavera - verano 2012.
2. Ubicación: Distrito de Desarrollo Rural, Río Grande, Zacatecas.
3. Necesidad: Quince días a partir de la entrega de las imágenes.
4. Instituciones y Personal involucrados: Personal del SIAF.
5. Recursos Adicionales: Trabajo en gabinete previo y posterior a la recepción de las imágenes, reparto en campo y procesamiento de las imágenes.
6. Formas de medición: Medición estadística de las superficies agrícolas mediante la clasificación de las imágenes.
7. Relevancia para la APP: Obtención de cifras agrícolas de una manera veraz y oportuna.
8. Comentarios e Observaciones: Solo Distrito de Desarrollo Rural, ha sido seleccionado para ser el primer en realizar con una metodología más actualizada y confiable para la obtención de cifras agrícolas, por eso recibir la importancia de obtener imágenes de estos datos en campo y tener en muy entera.

Formato de solicitud aceptada por la ERMEX

Las imágenes solicitadas fueron multiespectrales (4 bandas) a 10 metros de resolución, al contar con estas imágenes se determina cuáles son las que cubren el área a clasificar, en este caso se trabajo con las imágenes que cubrían el área agrícola de los seis municipios muestreados.

Una vez teniendo las imágenes que cubren la zona a clasificar (ver Mapa 3), se procede a ortorrectificarlas por estar a un nivel de procesamiento 1A.

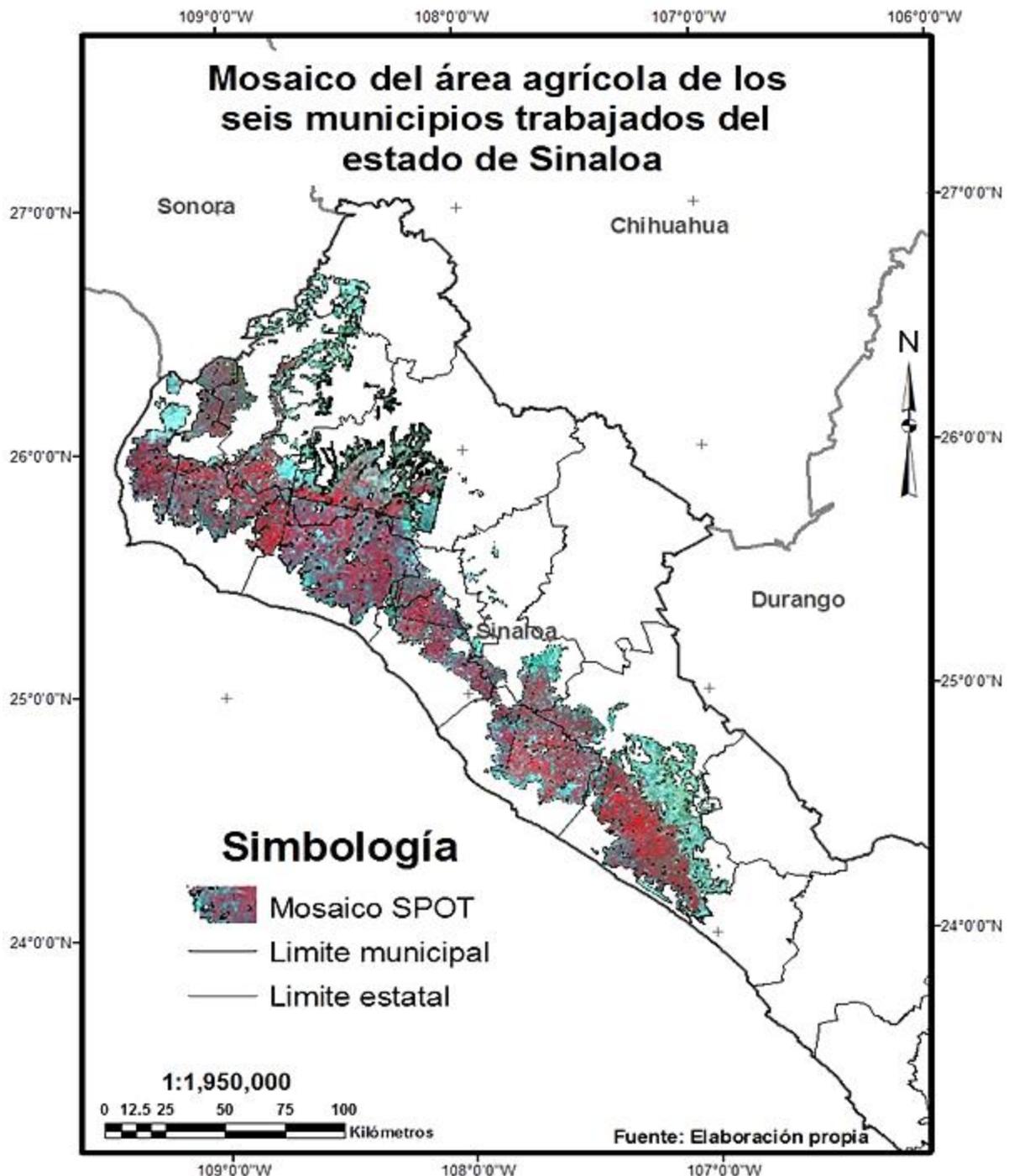
Mapa 3



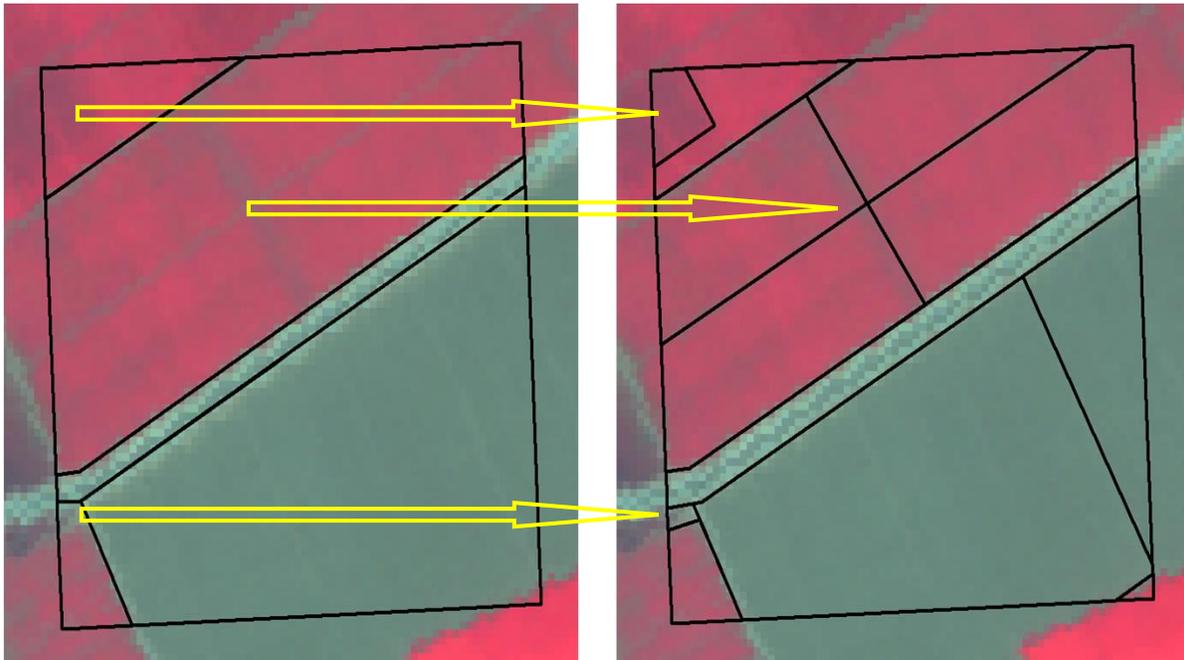
Se trabajaron un total de 15 imágenes, que se identifican con su KJ mostrado en la cobertura que se observa en el mapa. Las fechas de toma de las imágenes se encontraban entre finales de abril y principios de mayo del 2011, las cuales cubrían al 100% el área agrícola de los seis municipios muestreados por segmentación: Ahome, Angostura, Culiacán, Guasave, Navolato y Sinaloa.

Una vez ortorrectificadas se realizó un corte del área agrícola que abarcaba cada una de las imágenes mediante el software de ERDAS, utilizando el estrato agrícola corregido en el SIAP. Posteriormente se realizó un mosaico de los recortes del área agrícola, para tener en una sola imagen toda la superficie agrícola, como se muestra en el siguiente mapa.

Mapa 4

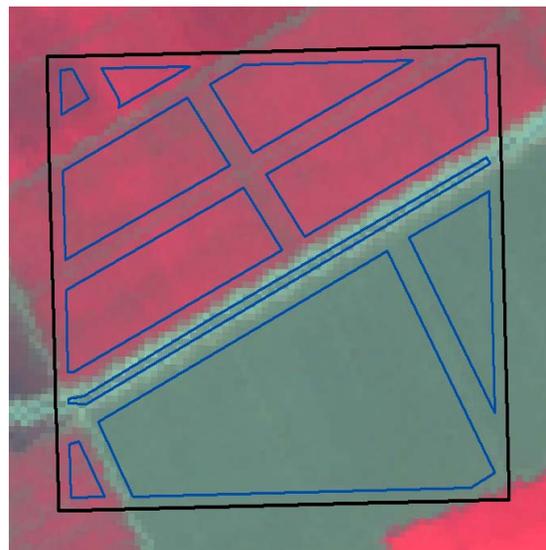


Antes de realizar la clasificación a la información vectorial de los segmentos, se realiza una serie de procesos para reducir los errores en la clasificación. Estos procesos consisten en digitalizar los comportamientos espectrales diferentes identificados mediante fotointerpretación, en cada polígono que conforman los segmentos, como se muestra en la siguiente imagen.

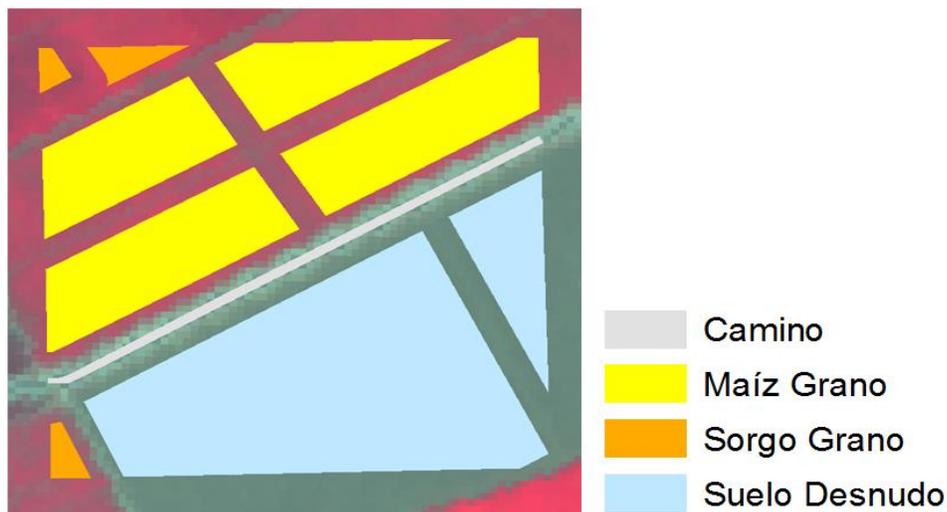


En la izquierda se observa un segmento que perteneció a los que fueron capturados y usados para la estimación por muestreo, a la derecha se puede ver el mismo segmento pero con más divisiones, indicadas por las flechas amarillas. Ya que para la clasificación cada pixel diferente dentro de una muestra (polígono) causa confusión para la designación de dicha muestra en una clase, por ello se digitaliza cada comportamiento espectral diferente.

El objetivo de digitalizar los segmentos que ya fueron corregidos por el trabajo en campo, es para que al momento de introducir cada muestra al software esta vaya lo más limpia posible, es decir, que no contenga informaciones espectrales distintas dentro de cada polígono pues provocaría mayor grado de confusión al momento de generar las clases para la clasificación; por ello, aunado a la digitalización se realiza un buffer de cada polígono para descartar los pixeles distintos que se encuentran en los límites de cada polígono, como se muestra en la imagen.



Posteriormente esta información vectorial se exporta a formato Grid¹⁸ para crear las firmas espectrales de cada cobertura y poder realizar la clasificación.



Una vez obtenida la clasificación, se le realizan si es necesario, una serie de filtros para que los pixeles que se quedaron sin clasificar se unan a la clase más cercana a sus valores espectrales y también para eliminar los pixeles que se quedaron aislados, esto se realiza para cada imagen por ser clasificadas cada una por separado.

Ya teniendo las máscaras de clasificación de cada imagen, se elabora un mosaico para tener toda la información en una sola máscara y así conocer la superficie clasificada de las distintas coberturas encontradas en los segmentos de los seis municipios trabajados en el estado de Sinaloa.

Debido a que el cultivo de interés para este caso fue el maíz, la mayor cantidad de muestras obtenidas en campo pertenecían a este cultivo, por lo que contará con un mayor grado de confiabilidad; teniendo para los demás elementos encontrados que mientras menor sea el número de muestras para cada elemento restante, su confiabilidad va ser reducida.

La tabla siguiente muestra los resultados de la superficie obtenida de la clasificación de imágenes para cada clase, se puede observar que se identificaron 15 clases a diferencia

¹⁸ Grid: es un formato raster nativo de ESRI. Define el espacio geográfico como una matriz de celdas de igual tamaño, ordenadas en filas y columnas. Cada punto de la cuadrícula almacena un valor numérico que representa un atributo geográfico (por ejemplo, la elevación o inclinación de la superficie).

de los 34 elementos cuantificados por el método de muestreo de áreas, esto debido a que muchos cultivos presentaron muy poco grado de incidencia al momento de obtener la probabilidad para cada clase, la mayoría de estos se descartaron automáticamente al no presentar ningún valor en la probabilidad debido a su nulo tamaño de muestra; como el caso de la avena donde, por el método de muestreo por segmentación, se obtuvo sólo cinco hectáreas de superficie, ya que únicamente se identificó un solo polígono con información de este cultivo de los 25,767 polígonos totales.

Resultados de la clasificación de imágenes para cada clase	
Cobertura	Superficie (ha)
Agua	4757.980
Alfalfa	1104.660
Arboles	530.900
Camino	7517.750
Caña	21016.250
Infraestructura	18728.530
Maíz	395166.920
Matorrales	3674.970
Otros Cultivos	2728.450
Pastizal	1788.460
Sorgo	86130.400
Suelo Descanso	113934.970
Suelo Desnudo	101244.610
Trigo	15064.020
Zona Urbana	2438.950

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar la clasificación de las imágenes se elabora una matriz de confusión, donde se realiza la comparación de los segmentos resultantes del operativo de campo, utilizados en el muestreo por segmentación con el área clasificada de cada uno de estos segmentos por medio del software de ArcView.

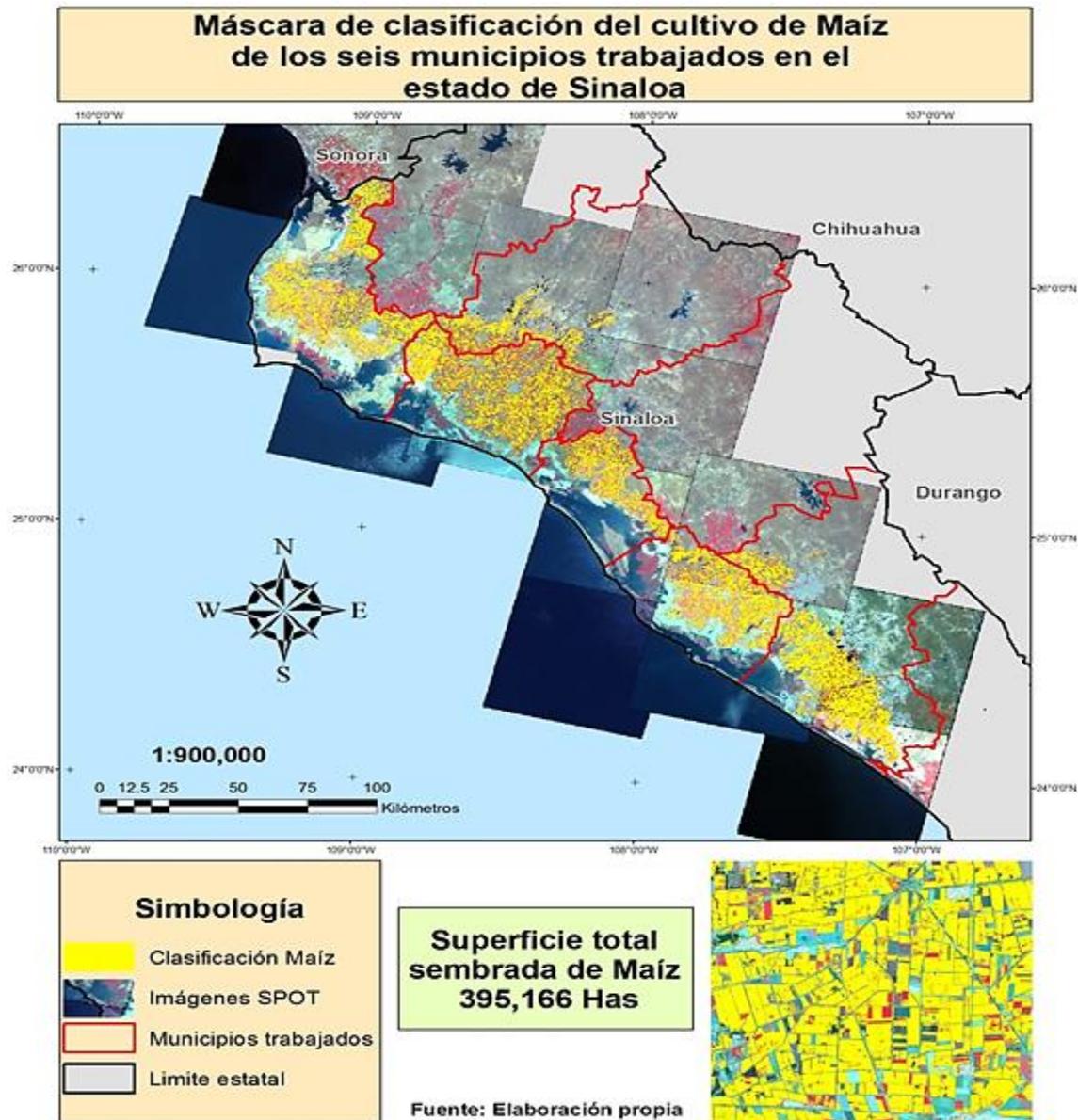
Matriz de confusión

	Agua	Camino	Infraestructura	Arboles	Matorrales	Zona Urbana	Suelo desnudo	Suelo descanso	Pastizal	Otros cultivos	Alfalfa	Caña	Maíz
Sin clasificar	45.20%	31.40%	16.00%	46.00%	43.20%	34.20%	18.30%	25.30%	50.50%	29.40%	12.00%	33.10%	4.10%
Agua	19.50%	0.20%	0.00%	2.70%	0.60%	0.10%	0.40%	0.10%	0.00%	0.20%	0.00%	0.30%	0.20%
Camino	0.70%	2.40%	3.70%	0.20%	1.30%	1.40%	0.70%	0.70%	0.50%	0.30%	0.00%	0.10%	0.10%
Infraestructura	1.40%	5.40%	28.90%	0.40%	1.80%	13.00%	1.60%	2.30%	0.40%	0.60%	0.00%	0.30%	0.10%
Arboles	0.10%	0.00%	0.00%	0.10%	0.20%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Matorrales	0.40%	0.10%	0.10%	3.80%	0.40%	0.70%	0.00%	1.50%	0.00%	0.00%	0.70%	0.00%	0.10%
Zona Urbana	0.10%	0.10%	0.20%	0.10%	0.10%	0.40%	0.00%	0.30%	0.00%	0.10%	0.00%	0.10%	0.00%
Suelo desnudo	6.00%	34.20%	30.10%	6.60%	9.80%	18.50%	37.40%	21.60%	6.90%	15.00%	0.50%	0.60%	1.00%
Suelo descanso	6.50%	4.70%	4.20%	12.70%	27.10%	16.00%	13.90%	18.90%	5.90%	15.10%	10.60%	0.60%	1.20%
Pastizal	0.00%	0.10%	0.10%	0.00%	0.40%	0.80%	0.10%	0.20%	0.10%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%
Otros cultivos	0.60%	0.30%	0.50%	0.10%	0.00%	0.60%	0.10%	0.50%	0.00%	7.10%	0.00%	0.10%	0.10%
Alfalfa	0.10%	0.10%	0.00%	0.10%	0.40%	0.90%	0.00%	0.50%	1.10%	0.30%	5.90%	0.00%	0.00%
Caña	1.00%	3.40%	2.90%	1.20%	0.60%	1.80%	4.70%	3.80%	0.60%	0.40%	0.10%	26.40%	0.30%
Maíz	15.70%	7.40%	9.40%	22.80%	9.80%	5.80%	10.70%	14.90%	14.60%	19.70%	14.40%	27.50%	85.30%
Sorgo	2.80%	10.30%	4.00%	2.50%	4.00%	5.40%	6.20%	7.00%	19.00%	11.60%	55.90%	10.80%	7.60%
Trigo	0.10%	0.10%	0.00%	0.80%	0.40%	0.20%	5.90%	2.40%	0.40%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar, en la matriz de confusión, la comparación entre cada cobertura que para el caso del maíz, arroja una correlación positiva del 85% entre la información de campo y la máscara de clasificación, lo que indica que la clasificación era correcta. También se observa que la mayor confusión del maíz fue con el sorgo, ya que ambos presentan un comportamiento espectral similar.

Mapa 5



De esta manera, se tiene que por el método de clasificación de imágenes de satélite se obtuvo una superficie de maíz en los seis municipios muestreados del estado de Sinaloa de 395,166 Hectáreas.

Estimación de superficies agrícolas por regresión lineal

La metodología de estimación de superficies mediante el método de ajuste por regresión, consiste en calcular la regresión lineal existente entre los segmentos de campo y los datos obtenidos para los mismos segmentos mediante la clasificación de imágenes de satélite. Los totales estimados de cada uso se ajustan de acuerdo con la ecuación calculada y con los valores totales de cada uso resultante de la clasificación de las imágenes de satélite.

Esta regresión de las superficies realizada a partir de los resultados de la clasificación de las imágenes de satélite, consigue generalmente una mejora en la precisión de las estimaciones o bien, alternativamente, una reducción de la muestra manteniendo la precisión de la estimación inicial (Ambrosio, 1993).

De esta forma se tiene que, ajustando la media estimada de la variable \underline{Y} (resultado obtenido por segmentación) en función de los resultados obtenidos para la variable auxiliar \underline{X} (resultado obtenido por clasificación de imágenes) tenemos el siguiente modelo de regresión:

$$\hat{Y}_h = N_h \bar{y}_h + b_h (X_h - N_h \bar{x}_h)$$

Donde:

\hat{Y}_h

= Estimador de la superficie total Y_h del cultivo en cuestión en el estrato "h".

N_h = Número de segmentos que integran el estrato "h"

\bar{y}_h = Valor medio de los valores obtenidos por segmentación del cultivo de interés.

b_h = Valor de la pendiente ó Coeficiente angular de la recta de regresión de Y_{hi} sobre X_{hi}

X_h = Superficie estimada vía teledetección que ocupa el uso en estudio, en el total del estrato "h".

\bar{x}_h = Valor medio de la muestra a partir de las imágenes satelitales.

El valor b_h (la pendiente) y el de la correlación se calcula por medio del programa SAS, es mediante este programa que se analizan las variables que van a contener la misma superficie, es decir, se comparan los 501 segmentos utilizados para la estimación por muestreo de áreas y la clasificación por medio de imágenes de satélite de los 501 segmentos, para obtener el valor de la pendiente y poder sustituir los valores de la fórmula.

Para tener la clasificación de cada uno de los segmentos, se utiliza la máscara de clasificación y el archivo vectorial de los segmentos para que, por medio del programa de Erdas IMAGE, se le realice un corte a dicha máscara mediante los segmentos, extrayéndose así la clasificación de cada uno de estos.

Posteriormente se realiza una conversión de la información raster de la clasificación de los segmentos a información vectorial, a la cual se le va a separar y sumar cada una de las clases identificadas, para obtener la superficie total de cada clase. Esta separación y sumatoria se realiza también para los segmentos levantados en campo.

De esta manera, el encargado de la parte estadística de la DSIG obtiene, mediante el programa SAS, la relación entre las variables "X" y "Y", que en este caso resultó positiva siendo mayor al 85%.

Una vez conociendo el valor de la pendiente, el número de segmentos empleados y los resultados obtenidos de la segmentación y de la clasificación de imágenes de satélite del cultivo de maíz se obtuvo el siguiente resultado:

Superficie estimada ajustada = **398,908 Has.**

Se calcula el margen de error de esta cifra, donde se obtuvo un resultado de: **±12,500 Has.**

Por lo tanto, como resultado final se obtuvo que:

Resultados finales en la estimación de superficie sembrada de maíz grano en el estado de Sinaloa				
Concepto	Superficie estimada ajustada (has)	Margen de error	Intervalo de confianza	
			Superior	Inferior
Resiembra	307,678	9,642	317,320	298,036
1ra. Siembra	91,230	2,859	94,089	88,371
Total	398,908	12,501	411,409	386,407

Fuente: SIAP

Así, con los resultados obtenidos de ambas metodologías, se genera, mediante la regresión lineal, uno solo que es el que se emite como resultado final señalando su intervalo de confianza superior e inferior determinados por el margen de error del resultado final.

3.2 Estimación de daños a la agricultura ocasionados por fenómenos meteorológicos (sequías, heladas, huracanes).

La presencia de un cambio climático preocupa tanto a los individuos como a los gobiernos por sus efectos en los patrones climáticos y su impacto en la sociedad y la naturaleza, se tiene identificado al cambio climático como uno de los problemas globales a los que se enfrentan las sociedades actuales. Se han realizado una diversidad de análisis sobre estos impactos, los cuales se han hecho bajo diversos escenarios uno de ellos es el escenario del costo que conlleva para un país enfrentar los efectos de dicho fenómeno.

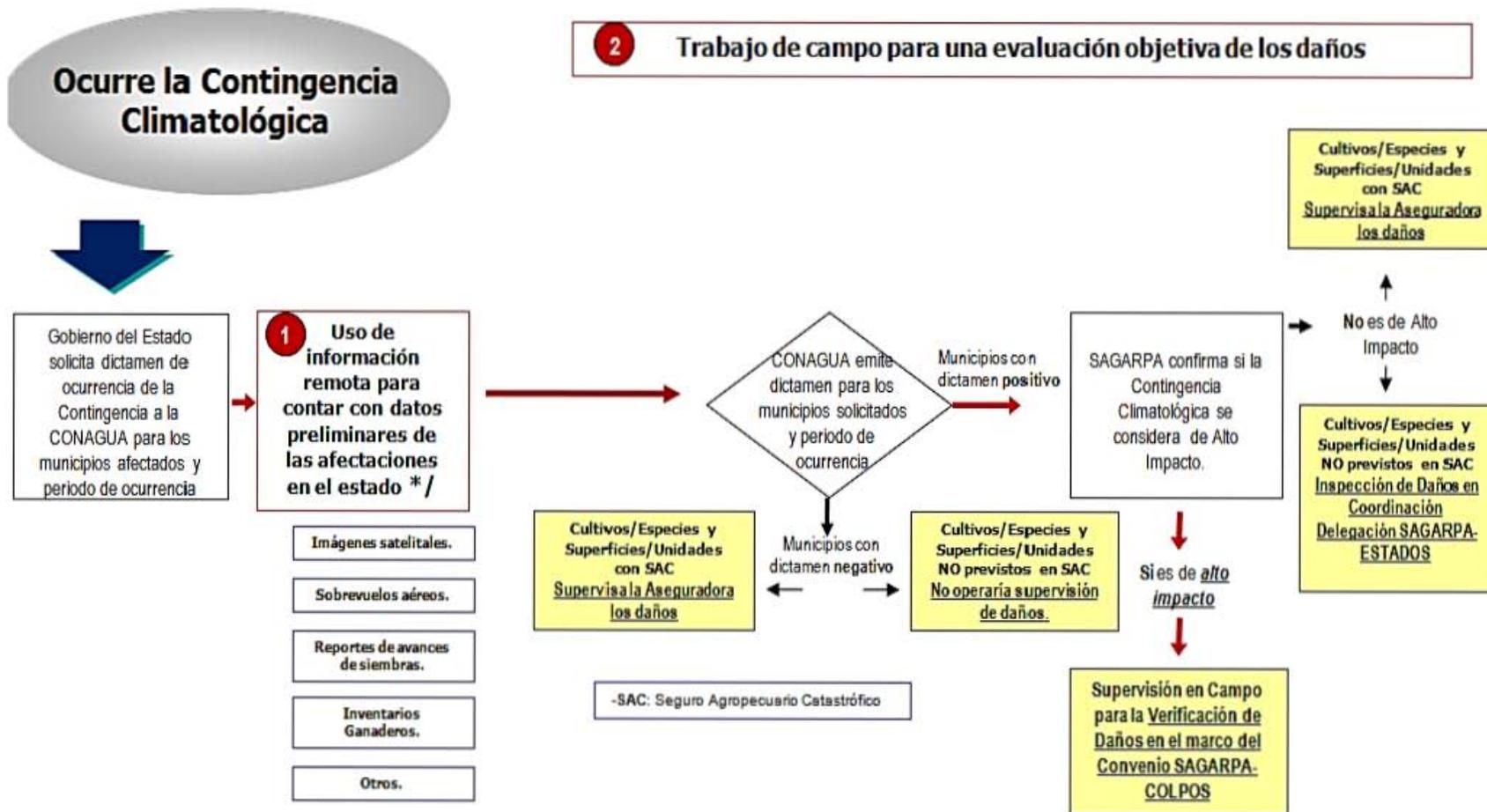
México se encuentra en una región geográfica vulnerable a sufrir efectos en el régimen de lluvias, en aumentos de temperatura e impacto de fenómenos extremos como sequías, heladas y huracanes en mayor número e intensidad; como los efectos experimentados durante el año 2005 o, más reciente, durante el 2010 donde se vivieron las temporadas de huracanes más activos en la historia reciente del país.

Por lo tanto, se tiene que una de las actividades productivas que se ve afectada por estos fenómenos son las del sector primario, donde los efectos de estos fenómenos naturales repercuten en la disponibilidad y precio de los alimentos, por ello es importante la existencia de una estrategia oportuna y objetiva para la cuantificación y atención de los daños en el sector agropecuario.

Este proyecto tiene como objetivo cuantificar la superficie agrícola de cultivos afectados por fenómenos meteorológicos (sequías, heladas y huracanes) mediante el método de la clasificación de imágenes de satélite o por medio de un muestreo por segmentación.

Por ello, la SAGARPA diseñó una estrategia para realizar de manera oportuna y objetiva la cuantificación y atención de los daños en el sector, cuya forma de proceder se resume en el esquema siguiente.

Procedimiento:



1 Se obtiene un reporte oportuno de las afectaciones.

2 Genera un reporte detallado y objetivo de los daños para su atención con los programas.

- Evaluación de daños con apoyo de tablas de ajuste.
- Muestreo con números aleatorios y personal técnico especializado

Fuente: SAGARPA

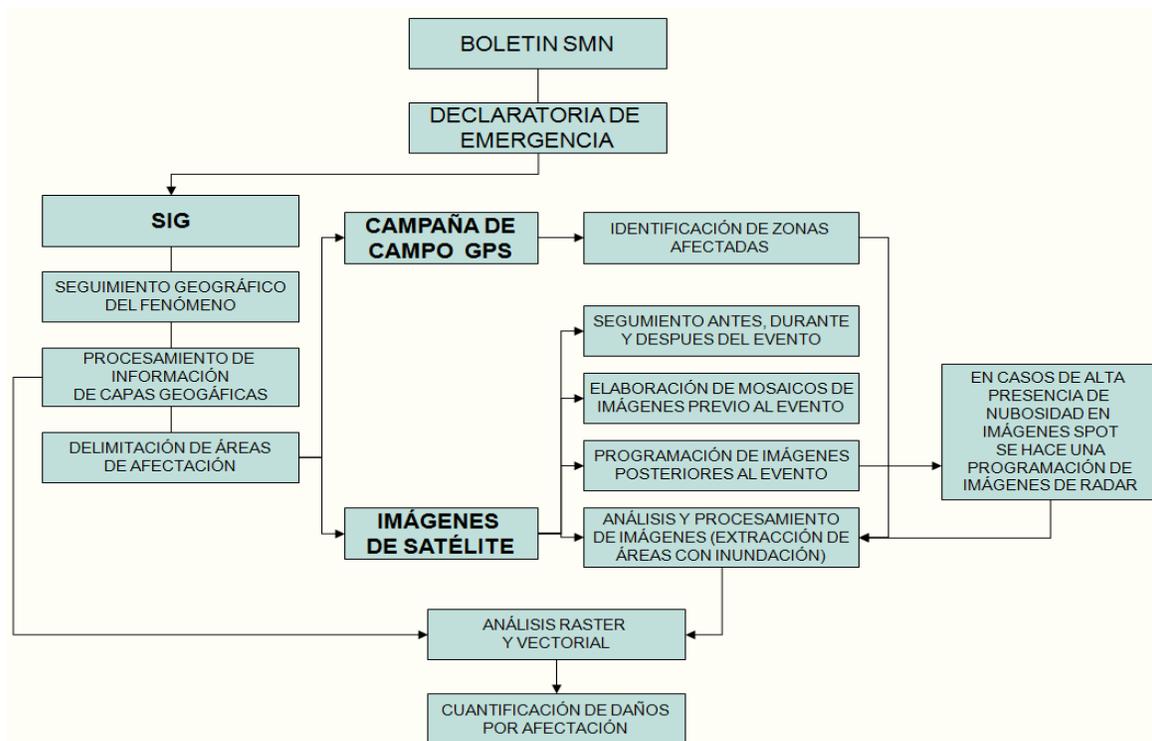
El esquema anterior muestra la forma y los casos en los que se realizaría una estimación de daños en agricultura por fenómenos meteorológicos; en base a ello, en la DSIG del SIAP se diseñó la metodología a seguir para realizar estas estimaciones.

Para los casos de daños ocasionados por sequías y heladas, la metodología a emplearse es la misma que se utiliza para el proyecto de estimación de superficie agrícola sembrada explicada en el tema anterior, es decir, se realiza una estimación mediante segmentación para tener muestras de los cultivos presentes en las zonas afectadas y conocer mediante el método de expansión directa la superficie siniestrada de cada cultivo, especialmente los de mayor importancia y, si es solicitado, también se realiza una clasificación de imágenes satelitales donde al final con los resultados de ambas metodologías se calcula la superficie final mediante la regresión lineal.

Para los casos de los daños en la agricultura provocados por inundaciones, el método que se utiliza es el de la clasificación de imágenes de satélite, debido a que se requiere de una rápida generación de la información para obtener una cifra preliminar del área siniestrada de los cultivos ubicados en las zonas afectadas, para que la toma de decisiones sea oportuna.

Se opta por realizar este método ya que, para una estimación por segmentación, se tendría que esperar a que el nivel del agua bajara para poder tener acceso a los segmentos a identificar, ya que las condiciones que se presentan en las zonas siniestradas por inundaciones no hacen posible recabar la información de campo, por presentarse situaciones como accesos limitados a las zonas de cultivos debido a que los caminos se encuentran dañados o bien el nivel del agua es alto, reduciendo la posibilidad de poder llegar a los segmentos y recabar la información. Por lo tanto, una cantidad considerable de muestras no sería levantada quedándose con información inconclusa que generaría errores y por lo tanto, una estimación poco confiable.

La metodología a seguir para el cálculo de estimación de daños por inundaciones mediante teledetección se muestra en el siguiente esquema.



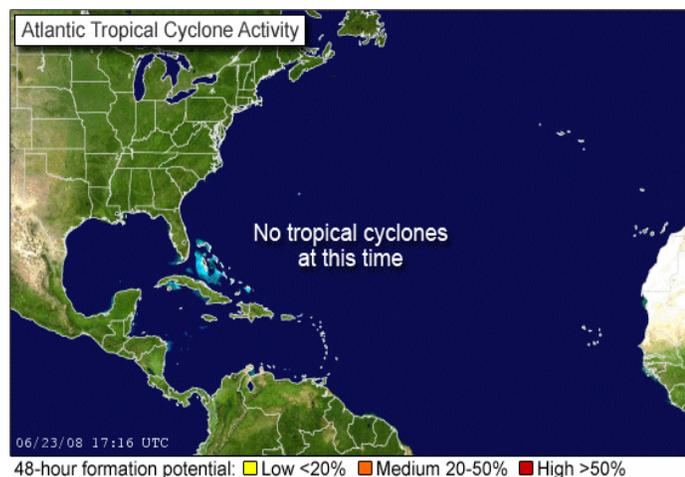
Fuente: SIAP

Boletines del Servicio Meteorológico Nacional

Se utilizan como insumo los Boletines del Servicio Meteorológico Nacional, para conocer la ubicación y características de los fenómenos naturales (frentes, ciclones, tormentas, entre otros) para realizar un seguimiento y determinar el área de influencia de los mismos.

Se establecen las zonas de riesgo de acuerdo a la información oficial donde se incluyen además, otras fuentes de información como los modelos del Centro de Huracanes, entre otros.

Se capturan en una base de datos las coordenadas del fenómeno de acuerdo a los boletines, si se trata de un huracán, por ejemplo, se revisa la información emitida por el Centro Nacional de Huracanes de Miami sobre el pronóstico de la probable trayectoria.



Fuente: <http://www.nhc.noaa.gov/>

La revisión de esta información se realiza de manera periódica una vez iniciada la temporada de Ciclones Tropicales y, en caso de contingencias (sequías, heladas).

Seguimiento geográfico del fenómeno

Aquí se delimita el área que está siendo afectada, por ejemplo, la identificación de las zonas con nula precipitación para el caso de sequías o bien, la digitalización de la trayectoria de un huracán en un SIG para establecer las áreas de riesgo mediante una zona de influencia (*buffer*), que sirve para dimensionar las posibles áreas de impacto en función de los registros administrativos (SIACAP) y de los estratos agrícolas.

Trayectoria del huracán Dean agosto del 2007



Fuente: SIAP

La digitalización de la trayectoria y el buffer se realizan con el programa ArcGis.

Procesamiento de información vectorial de capas geográficas

Se hace un procesamiento de información vectorial de capas geográficas como áreas agrícolas, padrones georreferenciados de cultivos perennes, marco geoestadístico, información administrativa (consulta de datos del SIACAP para ver la información del avance de siembra de los municipios afectados).

Superficie agrícola en riesgo por el huracán “DEAN” 2007

ESTADO	MUNICIPIO	CICLO AGRÍCOLA	SS*	OBSERVACIONES
QUINTANA ROO	OTHON P. BLANCO	PERENNES	27,744.00	PRACTICAMENTE, YA CONCLUYERON LAS COSECHAS DE ESTOS PRODUCTOS (99 % YA COSECHADO) QUEDANDO PENDIENTE DE COSECHAR ÚNICAMENTE ALGUNOS CULTIVOS COMO NARANJA (4,000 TON.), PAPAYA (3,000 TON.), PIÑA (1,400 TON.), PLÁTANO, ACHIOTE Y MANDARINA. EL PRINCIPAL CULTIVO DE ESTE MUNICIPIO ES CAÑA DE AZÚCAR CON 24,500 HAS. SEMBRADAS.
		PV	33,022.00	LOS PRINCIPALES CULTIVOS SEMBRADOS SON MAÍZ GRANO Y ELOTE QUE CUBREN ALREDEDOR DE 30,500 HAS, ES DECIR MÁS DEL 90% DE LAS SIEMBRAS REALIZADAS.
	FELIPE CARRILLO PUERTO	PERENNES	1,374.00	LAS COSECHAS DE ESTOS PRODUCTOS ESTÁN MUY AVANZADAS (70 % YA COSECHADO) QUEDANDO PENDIENTE DE COSECHAR ALGUNOS CULTIVOS COMO NARANJA (2,000 TON.), PAPAYA (3,000 TON.), ACHIOTE Y PITAHAYA. EL PRINCIPAL CULTIVO DE ESTE MUNICIPIO ES NARANJA QUE APORTA EL 90% DE LO SEMBRADO.
		PV	33,022.00	EL PRINCIPAL CULTIVO SEMBRADO ES MAÍZ GRANO CON 26,500 HAS, ES DECIR MÁS DEL 99% DE LAS SIEMBRAS REALIZADAS.
	JOSE MARIA MORELOS	PERENNES	2,561.00	LAS COSECHAS DE ESTOS PRODUCTOS ESTÁN AL 70 %, PENDIENTE DE COSECHAR ALGUNOS CULTIVOS COMO NARANJA (2,000 TON.), PAPAYA (3,000 TON.), ACHIOTE Y PITAHAYA. EL PRINCIPAL CULTIVO DE ESTE MUNICIPIO ES NARANJA QUE APORTA EL 90% DE LO SEMBRADO.

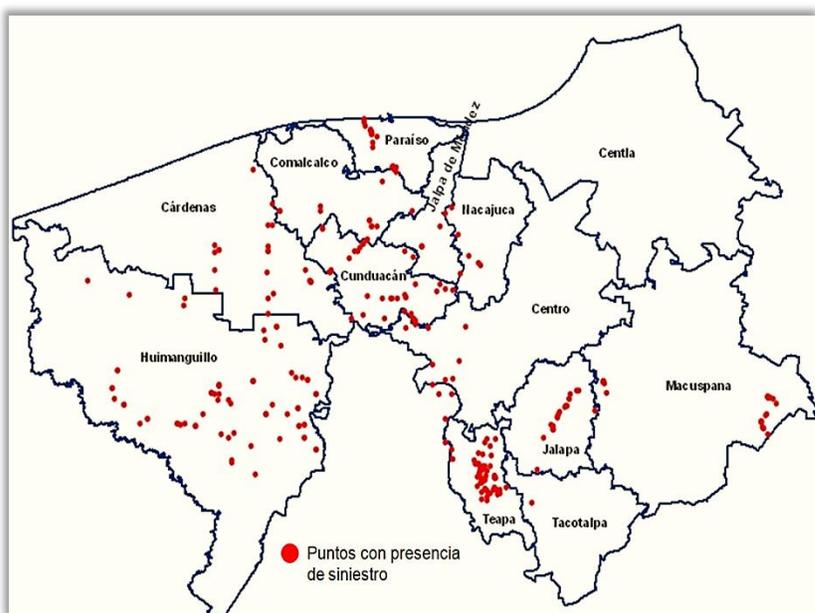
*Superficie Sembrada

Fuente: SIAP/SIACAP

El cuadro anterior muestra la información de la superficie agrícola que se encontraba en posible riesgo por el paso del huracán “DEAN” en el año 2007, donde se analizó la información de la superficie agrícola y de la situación presente de los cultivos en los municipios que se encontraban en la zona de influencia del huracán.

Operativo de campo

Se realiza un recorrido en campo de la zona afectada para tener un panorama general del daño en los cultivos, mismos a los que se toman puntos mediante GPS para la ubicación exacta de las áreas siniestradas que es de utilidad para el análisis que se realiza con las imágenes de satélite.



La imagen muestra los puntos de siniestralidad encontrados durante el operativo que se llevó a cabo en noviembre del 2007 en el estado de Tabasco, donde el Frente Frio #4 provocó un fuerte daño a esta entidad, tanto en el sector agrícola como en lo urbano por las intensas lluvias que se presentaron.

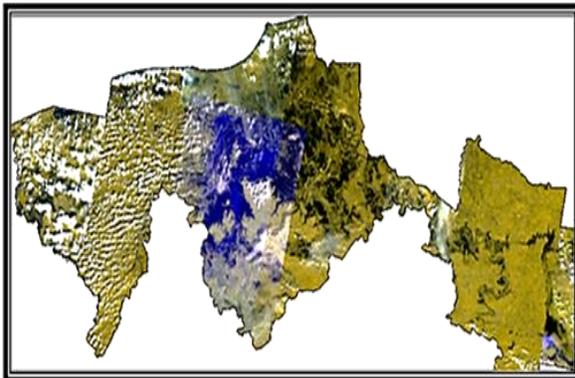
Fuente: SIAP

Imágenes de satélite

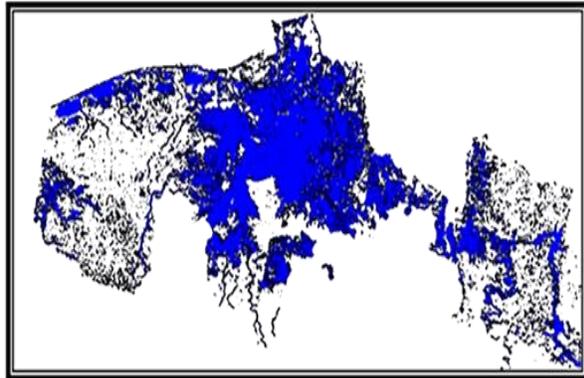
Se solicitan y se contempla la adquisición de imágenes de satélite SPOT previas al fenómeno meteorológico con la finalidad de conocer las condiciones de los cultivos, generando marcos municipales, estatales y/o regionales de dichas imágenes a las cuales se les realiza los siguientes procesos:

- Ortorectificación
- Realces espectrales
- Fusiones
- Mosaico
- Delimitación regional (recortes por área de interés)
- Análisis visual y/o digital

Una vez identificadas y enmarcadas las zonas de afectación mediante el SIG, así como el levantamiento de información en campo mediante técnicas de GPS, se solicitan las imágenes SPOT posteriores de dichas zonas con la finalidad de evaluar y extraer las zonas agrícolas con afectación, donde a dichas imágenes se les realizan los mismos procedimientos que a las imágenes previas al fenómeno.



Mosaico de imágenes SPOT inmediato posterior al fenómeno.



Extracción de Mascara de inundación.

Fuente: SIAP

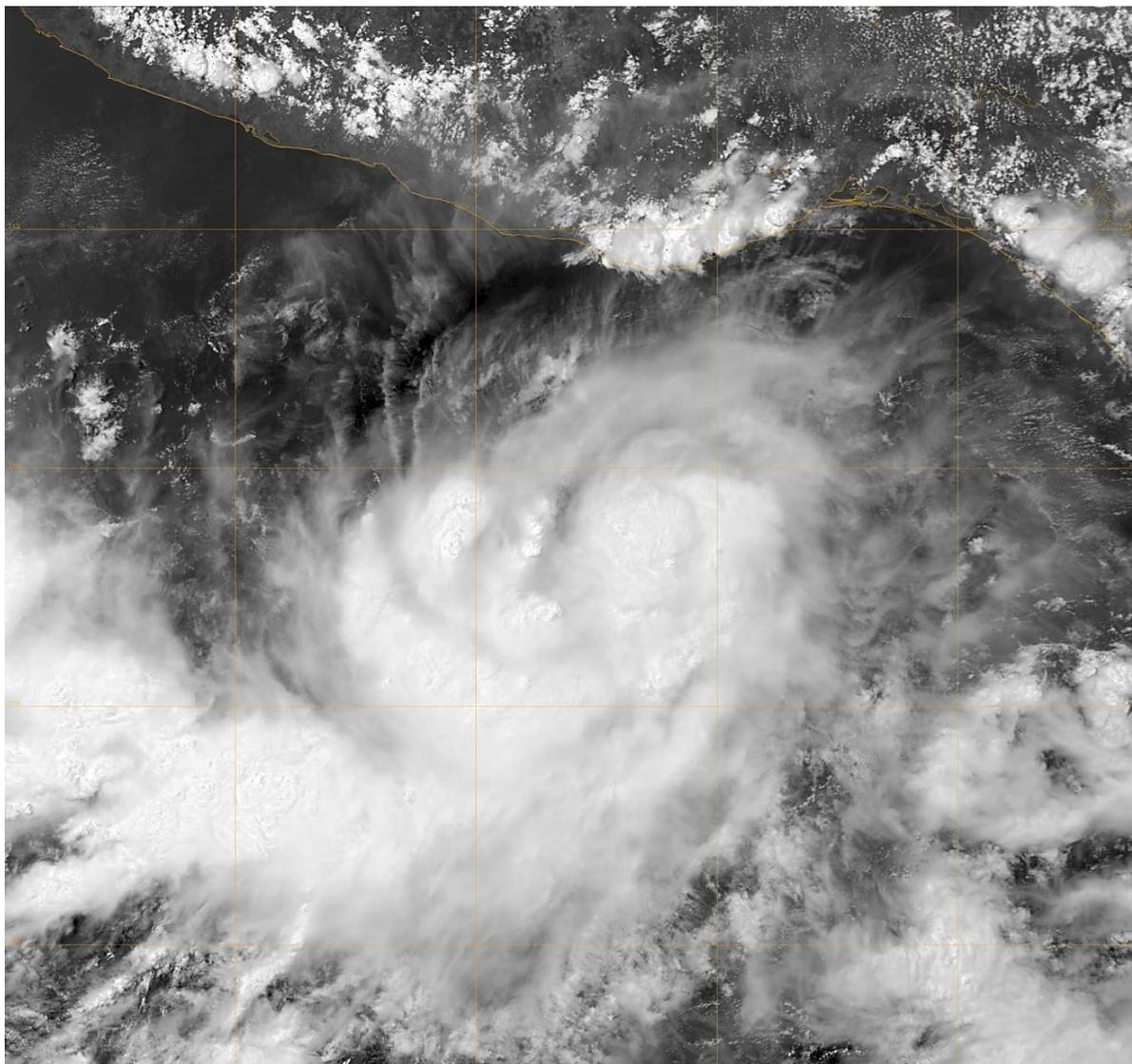
Posteriormente, se integra la información de la clasificación por reconocimiento de cultivos con imágenes previas al evento o mediante padrones de cultivos perennes y PROCEDE¹⁹, con la máscara de afectación extraída mediante imágenes posteriores al fenómeno para la cuantificación de cultivos dañados.

¹⁹ PROCEDE fue un programa que el Gobierno de la República puso al servicio de los núcleos agrarios para llevar a cabo la regularización de la propiedad social. El objetivo de dicho Programa fue dar certidumbre jurídica a la tenencia de la tierra a través de la entrega de certificados parcelarios y/o certificados de derechos de uso común, o ambos según sea el caso, así como de títulos de solares a favor de los individuos con derechos que integran los núcleos agrarios que así lo aprobaron y solicitaron.

Fuente: Registro Agrario Nacional.

A continuación se mostrará el análisis hecho de las inundaciones ocurridas en el estado de Chiapas a consecuencia de las lluvias provocadas por la tormenta tropical Bárbara en Junio del 2007 (ver Anexo 2).

Imagen MODIS Aqua del 30 de mayo del 2007 con resolución de 1km



Fuente: NASA

En la imagen se observa el arribo de la tormenta tropical Bárbara a las costas de estado de Chiapas y Guatemala. Se realizó un mapeo de la trayectoria de dicha tormenta, así como de su área de influencia (*buffer*), para localizar los municipios afectados por las lluvias sucedidas tras el paso de este fenómeno meteorológico, como se muestra en los siguientes mapas.



Fuente: SIAP

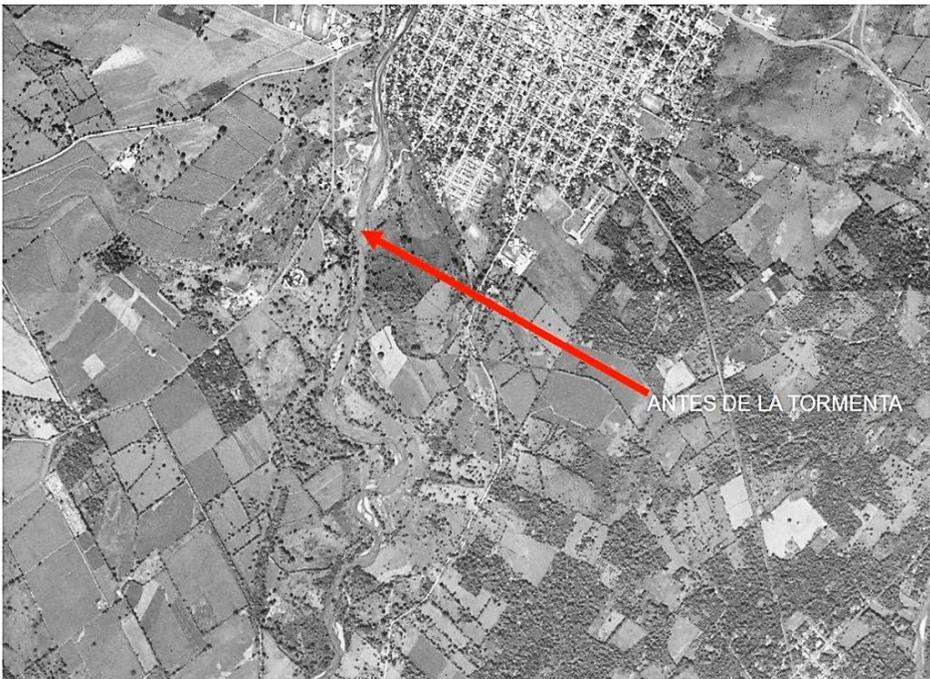


Fuente: SIAP

El primer mapa muestra los municipios del estado de Chiapas con presencia de lluvias provocadas por la tormenta, mientras que en el segundo se distinguen los límites de los municipios que tuvieron afectaciones en la agricultura por dichas lluvias.

Mediante las imágenes de satélite SPOT pancromáticas se pudieron observar las siguientes afectaciones:

- Afectaciones por escurrimiento en el municipio de Huixtla



Ortofoto digital escala: 1: 20 000

Fuente: INEGI

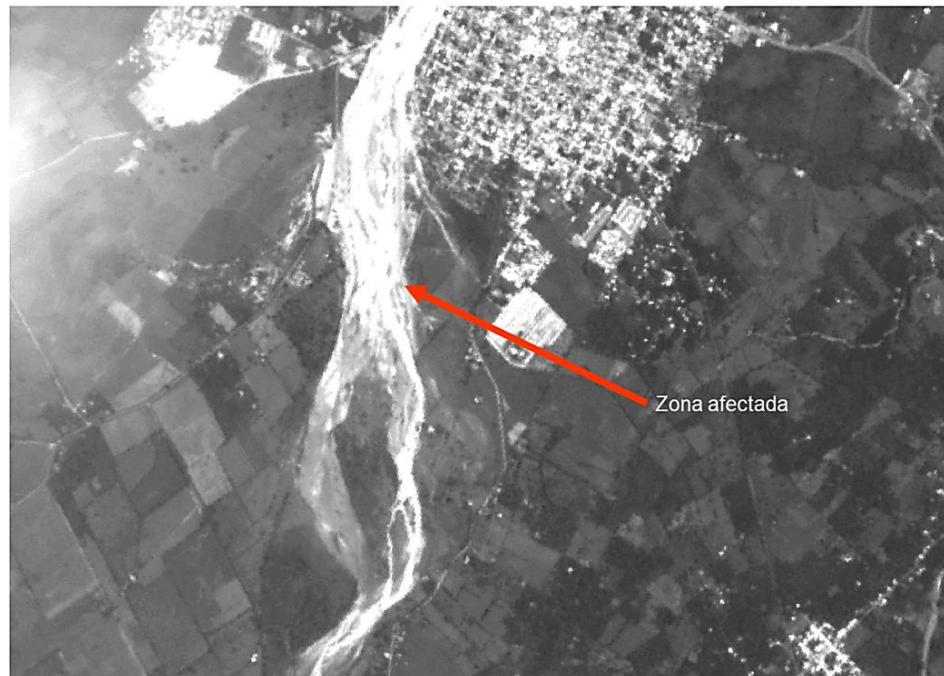


Imagen SPOT con fecha de 06 de junio del 2007

Fuente: SIAP

➤ Afectaciones por escurrimiento en el municipio de Mapastepec



Ortofoto digital escala: 1: 20 000

Fuente: INEGI

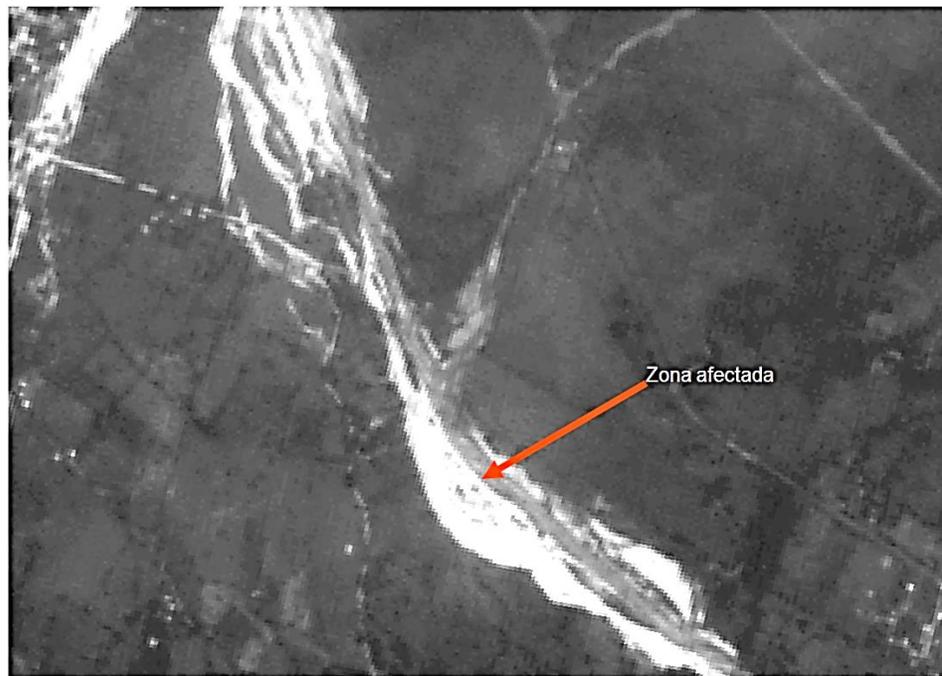


Imagen SPOT con fecha de 06 de junio del 2007

Fuente: SIAP

Durante el recorrido de campo se obtuvieron las siguientes fotos:

➤ Afectaciones en cultivos de plátano y papaya



Fuente: SIAP

Los resultados que se obtuvieron con el cruce de información de la máscara de clasificación de inundación, con la información administrativa del SIAP y de los padrones georreferenciados se resumen en los siguientes cuadros:

Superficie siniestrada de los cultivos en el estado de Chiapas			
Cultivo	Productores	Superficie Total (Has)	Superficie afectada (Has)
Plátano	2,572	10,250	9,000
Papaya	1,417	1,518	700
Café	1,021	2,639	800
Otros cultivos	360	1,285	1,000
Total	5,370	15,692	11,500

Fuente: Elaboración propia

Superficie siniestrada del cultivo de plátano en el estado de Chiapas		
Municipio	Superficie sembrada Mayo 2007 SIAP/SIACON	Superficie promedio afectada (Has)
Huehuetan	961	769
Suchiate	5,833	5,250
Tapachula	1,610	1,270
Mazatan	1,221	1,200
Tuzantan	300	290
Villa Comaltitlan	125	90
Frontera Hidalgo	80	70
Huixtla	120	61
Total	10,250	9,000

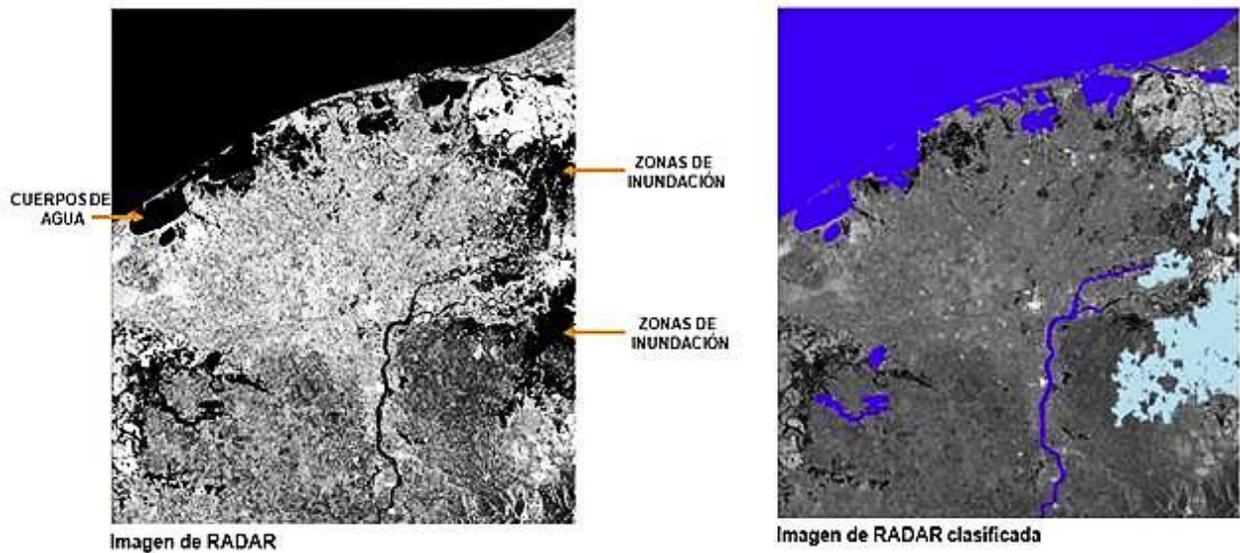
Fuente: Elaboración propia

Superficie siniestrada del cultivo de papaya en el estado de Chiapas		
Municipio	Superficie sembrada Mayo 2007 SIAP/SIACON	Superficie promedio afectada (Has)
Huehuetan	12	5
Suchiate	105	90
Tapachula	300	240
Mazatan	431	220
Frontera Hidalgo	120	60
Acapetahua	550	85
Total	1,518	700

Fuente: Elaboración propia

La tormenta tropical Bárbara provocó lluvias de moderadas a intensas y vientos de 55 a 85 km/h, no alcanzó la categoría de huracán, la lluvia se localizó principalmente en la sierra donde hay presencia de cultivo de café y en la costa donde predominan los cultivos perennes; la afectación de la zona agrícola fue causada en parte por las inundaciones, pero principalmente por las rachas de viento que rebasaron los 85 Km/h y el aumento del caudal de los ríos que bajan de las partes altas. Algunas parcelas que se encontraban en los márgenes de los ríos fueron arrasados por las corrientes de agua (ver Anexo 3).

Debido a que el adquirir imágenes de satélite SPOT de calidad, depende en gran medida de las condiciones atmosféricas (presencia o ausencia de nubes) y, tomando en cuenta la época en que se desarrollan dichos eventos en nuestro país, es necesario contar con otra alternativa que permita evaluar de manera confiable y oportuna dicho fenómeno, por lo que se recomienda la obtención de imágenes de RADAR, para que en caso de no poder realizar un clasificación con imágenes SPOT se pueda obtener información mediante este tipo de sensores.



A la izquierda se encuentra la imagen de RADAR, donde se puede observar la presencia de agua en tonalidades negras debido a que el reflejo especular del agua retorna una señal débil al satélite. En la imagen de la derecha se observa la clasificación de los cuerpos de agua sobre la imagen de RADAR, donde el color azul fuerte es la clasificación de los cuerpos de agua perennes, los cuales obviamente no son contabilizados ni tomados en cuenta para la cuantificación de los daños. El color azul claro es la clasificación de las zonas de inundación.

3.3 Levantamiento de polígonos por teledetección (invernaderos)

El sector agrícola en México es uno de los sectores donde mayor atraso existe, por ello muchos especialistas han resaltado lo conveniente que resultaría incursionar en el campo de la agricultura protegida lo que se traduciría en mejores ingresos para el productor.

En los últimos años se ha visto una creciente necesidad de contar con productos agrícolas de manera anticipada a su ciclo natural en campo abierto, esto ha derivado en el uso de nuevas tecnologías para la implementación de esta actividad.

La agricultura protegida es aquella que se realiza bajo estructuras construidas, con la finalidad de disminuir las restricciones que impone el medio ambiente.

Uno de los factores que condicionan el potencial productivo de los cultivos es, el ambiente en el que se desarrollan el cual es uno los principales elementos que se controla bajo este régimen de producción.

Entre los principales factores ambientales se encuentran la fertilidad de los suelos, las enfermedades, plagas, competencias con otras plantas, así como las condiciones climáticas particularmente de agua y temperatura.

Esta inversión en infraestructura provee protección a los cultivos, con la intención de incrementar su productividad a través del control o reducción de los factores que intervienen en su desarrollo.

Actualmente existen diversos tipos de diseños y materiales dependiendo del uso al que esté destinado el terreno, esto nos habla del rápido y creciente desarrollo que esta actividad ha tenido.

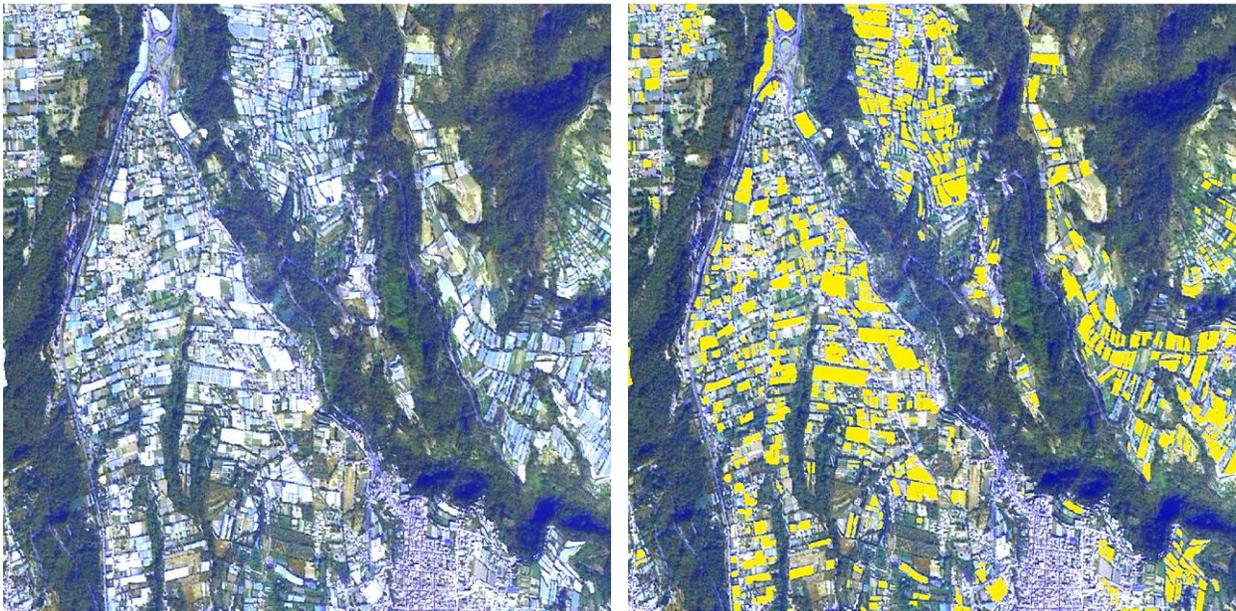
Por ello, la Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, por medio del SIAP se planteo la necesidad de contar con un sistema de información que permita conocer tanto información geográfica, mediante la aplicación de sensores remotos, GPS y SIG, como la ubicación, distribución y superficie cubierta por los invernaderos, así como información estadística que a través de cuestionarios aplicados a los productores, permita conocer las características de los invernaderos y obtener mediante métodos probabilísticos información sobre precios, rendimientos, producción y costos de producción.

Este proyecto está a cargo de la DSIG del SIAP y tiene como objetivo cuantificar y ubicar la superficie de invernaderos mediante el uso de imágenes de satélite SPOT de alta resolución (fusiones) aplicando métodos de teledetección espacial.

Para llevar a cabo este proyecto se requiere de la petición de imágenes SPOT a las cuales se les aplican procesos para la obtención de resultados, los cuales son:

- Selección y recepción de imágenes
- Ortorrectificación
- Realces espectrales
- Fusiones
- Mosaico
- Delimitación regional (recortes por área de interés)
- Clasificación de Invernaderos
- Mapeo y representación cartográfica

Clasificación de invernaderos en el municipio de Villa Guerrero, Estado de México



 Invernaderos

En el SIAP se trabajaron cinco entidades federativas (D.F., Estado de México, Morelos, Sinaloa y Tlaxcala) para la clasificación de invernaderos que concluyo en junio del 2009, se realizaron fusiones para cada estado y con estas imágenes se trabajó, por las condiciones favorables que presentan (mejor resolución espacial, por ejemplo); las cuales han sido mencionadas en el segundo capítulo de este trabajo. Los resultados que se obtuvieron en cada entidad se pueden apreciar en la siguiente tabla:

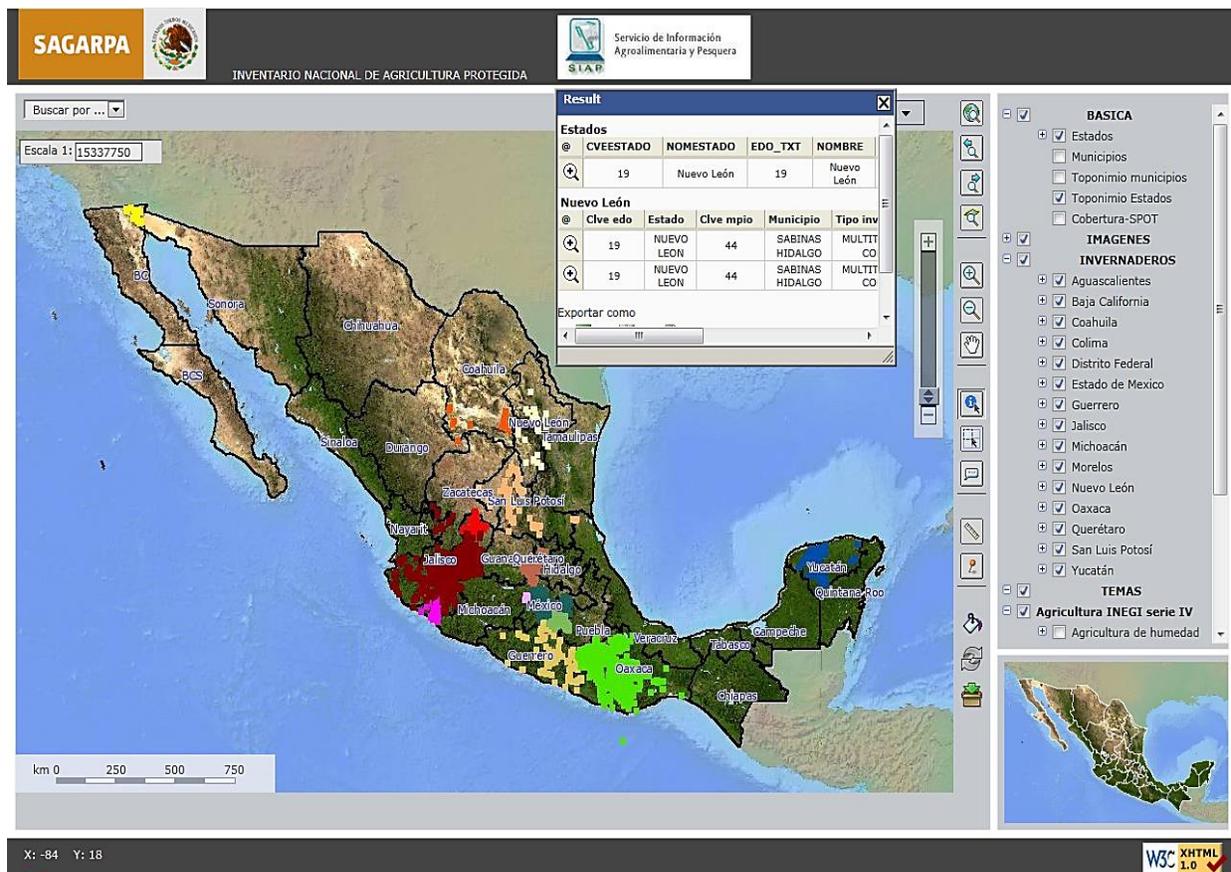
Resultados de la clasificación de invernaderos mediante imágenes SPOT de los 5 estados trabajados por el área de Geografía del SIAP

Estado	Imágenes (pancromáticas y multiespectrales)	Fusiones	% Avance	Superficie (Has)
Distrito Federal	8	4	100	120
Morelos	16	8	100	409
Sinaloa	92	46	100	2,696
Estado de México	22	11	100	1,784
Tlaxcala	16	8	100	12

Fuente: Elaboración propia

En la página de internet del SIAP en el apartado de Geografía, está la opción para poder ingresar al inventario nacional de agricultura protegida, es un SIG que se puede manejar vía web y que contiene la información y ubicación geográfica de la agricultura protegida realizada en invernaderos, sembradíos bajo malla-sombra o en suelos acolchados.

Este sistema tiene además información sobre especie sembrada, nivel de tecnificación y superficie cubierta, entre otras, esta información fue obtenida por medio de encuestas y por percepción remota con verificación en campo, teniendo la información de 15 estados que son: Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, San Luis Potosí y Yucatán.



Fuente: SIAP

En el SIG se pueden manejar las capas de información de límites estatales, municipales, topónimos de municipios y estados; un mosaico de imágenes SPOT a nivel nacional, información de los invernaderos de cada una de las entidades, la cual puede descargarse como un archivo de Excel, CVS o PDF, así como los mapas que aparecen en la vista, también pueden descargarse como un archivo JPG o un GeoTIFF (imagen georreferenciada). Cuenta también con información de la capa agrícola del INEGI serie IV, además de áreas urbanas, caminos, cauces y cuerpos de agua.

CONCLUSIONES

Como se mencionó a lo largo de los capítulos desarrollados en este trabajo, el uso de los SIG, GPS y la aplicación de la percepción remota por medio de imágenes de satélite, son herramientas esenciales para cumplir con el objetivo de la institución de generar y brindar información estadística y geográfica del sector a nivel nacional, estatal, DDR y municipal, a través de los proyectos a cargo de la Dirección de Sistemas de Información Geoespacial.

Se puede concluir que los datos generados en esta dirección son confiables y de calidad gracias al empleo de las herramientas adecuadas, así como de las metodologías aplicadas para cada uno de estos. La serie de pasos a seguir, desde los técnicos, en cuanto al tratamiento de información tanto raster como vectorial, así como los análisis realizados mediante estas herramientas y programas, proporcionan confiabilidad en las cifras obtenidas que permiten a las autoridades competentes tomar decisiones de manera oportuna.

Sin embargo, el factor tiempo debe tomarse en cuenta, más aún cuando se trata del empleo de tecnología, en donde es necesaria una constante actualización del personal que hace uso de ella; por ello, cabe señalar que es esencial la búsqueda de nuevas herramientas que nos permitan mejorar el trabajo realizado.

Con el empleo de nuevas y mejores herramientas es necesaria la búsqueda de metodologías que contribuyan a mejorar la calidad de la información. Es importante realizar una evaluación tanto de las herramientas, procesos y metodologías empleadas en esta institución para encontrar mejoras o hacer los cambios necesarios.

Referente a las cuestiones técnicas, cabe señalar que este elemento está sujeto al presupuesto económico con el que cuenta la institución, si este recurso es limitado la obtención de mejores herramientas lo será también, generando un rezago en este campo. Para trabajar con programas y herramientas más actualizadas, es importante que los equipos que se manejan cumplan con los requerimientos necesarios para soportar los programas y procesos realizados a la información que se maneja.

En la DSIG, para el departamento de Sensores Remotos, al que estoy asignado, se cuenta con 2 Workstation que tienen 2 procesadores de 3.20Ghz, una memoria RAM de 16GB, sistema operativo de 64bits y un disco de almacenamiento de 1.36TB que permiten que los procesos aplicados a las imágenes de satélite sean soportados y realizados en corto tiempo. Estos equipos son los adecuados para realizar el trabajo, sugiero la adquisición de más equipo con estas características para el resto del personal.

En cuanto a los SIG empleados para el tratamiento de información vectorial, el software de ArcGIS, podemos señalar que es el adecuado para realizar tanto procesos técnicos como de análisis. La sugerencia sería la adquisición de la versión más actualizada y más completa de este programa.

Los programas especializados en el tratamiento de imágenes de satélite, Erdas Imagine y PCI Geomatics, cumplen con las herramientas necesarias para la manipulación de las imágenes, aunque es recomendable la adquisición de las versiones más actualizadas puesto que los tratamientos digitales aplicados a las imágenes en la DSIG, son necesarios para cumplir con los objetivos de los proyectos. Para el caso de los tratamientos que tienen como objetivo el mejoramiento visual de las imágenes, no existe un algoritmo o valores definidos que permitan para cualquier imagen (no importando sensor o fecha de adquisición) desplegar óptimamente el intervalo de brillantez y contrastar todos los rasgos, por lo tanto los mejoramientos visuales que se apliquen a una imagen son válidos solo para esa toma ya que el comportamiento espectral es diferente en cada imagen debido a las grandes variaciones en la respuesta espectral de los elementos de la superficie terrestre capturados en ese instante, por ello los procesos aplicados para mejorar el aspecto visual de las imágenes tendrá que seguir siendo personalizado.

Para el caso de la generación de imágenes a color natural y fusiones, los procesos y herramientas empleados siguen estando vigentes y siguen siendo los adecuados. La manera de ahorrar estos pasos es si el proveedor de las imágenes realiza estos procesos, es decir, que entregue escenas a color natural y fusionadas para que sólo se realice una corrección geométrica u ortorrectificación de estas imágenes, para emplearse en los proyectos que requieren imágenes con tales características.

Uno de los procesos que sigue siendo más tedioso y que conlleva mucho tiempo es la ortorrectificación, por tal motivo es necesaria la evaluación de módulos como el AutoSync de ERDAS o el módulo automático de PCI Geomatics, que ofrecen mejoras en tiempo en cuanto a la aplicación de correcciones geométricas en las imágenes al ser realizadas de manera automatizada. De cumplir estos módulos con la generación automática de ortomágenes con un rango de error dentro de la tolerancia aceptada, serían de gran utilidad para el departamento, debido a la cantidad de imágenes que necesitan ser procesadas en un determinado periodo de tiempo. Sugiero la evaluación de estos módulos, para su posible aplicación en el área o bien la búsqueda de nuevos programas que reduzcan el tiempo empleado en este proceso primario.

Para el proceso de mosaico, se requiere de la búsqueda de nuevos algoritmos de los programas utilizados o de otros programas, que permitan obtener mosaicos con comportamientos tonales homogéneos, ya que cuando estos son generados con imágenes de distintas fechas de toma es necesario trabajar imagen por imagen para conseguir una igualación en los tonos de cada una de ellas para obtener un mosaico con una tonalidad uniforme donde no siempre se obtienen buenos resultados.

Sugiero la búsqueda de software libre para el manejo de información geográfica, de esta manera se ahorrarían los recursos empleados en la compra de programas comerciales. Esto sería de gran ayuda sobre todo para las delegaciones de SAGARPA que cuentan con un presupuesto limitado.

Las imágenes de satélite utilizadas para cada proyecto cumplen con lo necesario para la obtención de la información; sin embargo, como sucede con los equipos de cómputo y con los SIG, existen una variedad de sensores que ofrecen las mismas o nuevas cosas por lo que es recomendable evaluar los costos, tiempos y resultados obtenidos en imágenes procedentes de distintos sensores. Para la visualización únicamente de la situación de los cultivos a nivel estatal o nacional las imágenes MODIS son adecuadas; en lo que respecta a las imágenes de RADAR, su empleo es necesario cuando se requieren escenas limpias de nubosidad. Para las imágenes SPOT, la continuidad de su uso en la institución puede permanecer, sin embargo si se tiene la posibilidad de adquirir imágenes de sensores como RapidEye, Quickbird, Ikonos, entre otros, sería de utilidad para hacer una evaluación que

nos permita encontrar imágenes que resulten más favorables para la generación de datos de mayor calidad.

La búsqueda sería enfocada a sensores que ofrezcan imágenes multiespectrales con mejor resolución espacial respecto a las imágenes SPOT y la presencia o mejora de bandas espectrales que permitan una mejor diferenciación de los cultivos al momento de realizar una clasificación u otros análisis rescatando la disponibilidad que se tiene con las imágenes SPOT de poder ser distribuidas al resto de las instituciones gubernamentales y a instituciones educativas y de investigación.

Lograr una reducción de tiempo y generación de datos de mayor calidad por medio de las metodologías aplicadas en los proyectos, depende de contar con personal altamente capacitado para llevar a cabo los procesos técnicos y de análisis señalados en estas metodologías. En la DSIG del SIAP la mayoría del personal está compuesto por geógrafos que cumplen con el perfil para realizar correctamente el trabajo de campo y el análisis de la información en gabinete.

En cuanto a los conocimientos técnicos necesarios que debe tener el personal para el manejo de la información (conocimiento de los programas), se requiere capacitarlo para realizar correctamente estas tareas, se debe contar con personal con un perfil estadístico para dar el sustento metodológico en la aplicación de fórmulas estadísticas que ofrezcan calidad a los resultados obtenidos, así como contar con programadores que desarrollen herramientas para que la información esté accesible en cualquier momento y lugar de manera eficaz mediante el uso del internet.

También se debe contar con personal calificado para la evaluación de las metodologías aplicadas, en este trabajo son dos los métodos mencionados: *estimación de superficies agrícolas sembrada y siniestrada de los cultivos de interés por segmentación y por clasificación de imágenes de satélite.*

En la metodología de *estimación de superficie agrícola por segmentación* los resultados obtenidos son de buena calidad, sobre todo cuando es aplicada a los estados localizados en el norte del país, que presentan una zona agrícola en condiciones casi planas del terreno, con fechas similares en los periodos de siembra y cosecha para el mismo cultivo,

además de presentar tamaños de parcelas medianos respecto a los estados del centro y sur del país que presentan un alto grado de minifundio; sumando a esto, la presencia de una geografía más accidentada en estas entidades donde se pueden presenciar cultivos en pequeñas parcelas ubicadas en cerros, también presentan periodos de siembra y de cosecha variados para un mismo cultivo dentro de la misma entidad. Aunado a esto, suele presentarse una condición de siembra de forma intercalada, es decir, en una misma parcela se siembran dos o más cultivos diferentes; por ello, es necesario adaptar en el caso que sea necesario la metodología a las condiciones geográficas y a las formas de sembrar de estas entidades para que la generación de la información obtenida para estos estados sea más confiable.

Para los casos de estimación de superficie agrícola por teledetección, la calidad de los resultados depende de las características de las imágenes a clasificar (resolución espectral y espacial) así como la ausencia de nubes para evitar la pérdida de información. Este método, va a depender de la calidad de la información obtenida en campo, mediante ella se generan las firmas espectrales; por ello, si la información de campo es errónea por la confusión de cultivos provocada por una mala ubicación de los segmentos en el terreno, se obtienen firmas espectrales erróneas que causarían confusión en la discriminación de los píxeles de cada una de las clases provocando un error en la estimación.

Para el caso de los cultivos como el café y frutales, que tienen un bajo porcentaje de cobertura de suelo, están rodeados de varios tipos de vegetación, no tienen una firma espectral bien definida. La clasificación de estos cultivos mediante imágenes de satélite no resulta conveniente por las situaciones mencionadas y por la resolución espacial y espectral necesaria para la correcta diferenciación de estos, provocando errores en la clasificación por la confusión entre los píxeles de la imagen. Por ello, el mejor método para conocer tanto su ubicación como la superficie que tienen estos cultivos es mediante el levantamiento de polígonos en campo con GPS para tener los padrones georreferenciados. La calidad de la información dependerá de la capacitación del personal técnico, precisión de los equipos utilizados así como de las situaciones climáticas y geográficas que influyan en la calidad de la señal recibida de los satélites en el momento de la toma de los puntos.

Para la clasificación de los invernaderos mediante teledetección, la calidad de la información va estar sujeta a la resolución espacial de las imágenes satelitales empleadas, es decir, se requiere de imágenes en donde se puedan observar claramente estas estructuras. También es necesaria la información de campo (puntos GPS con la ubicación geográfica de algunos invernaderos) que permita, a quien realiza el análisis, ubicar los invernaderos en la imagen satelital para observar el comportamiento espectral de los mismos, además de aplicar los tratamientos digitales correctos a la imagen como combinación de bandas espectrales, realces, asignación de contraste y brillo para resaltar los invernaderos de los demás elementos presentes en la imagen y facilitar así la clasificación. De igual manera, se necesita hacer una verificación mediante un operativo en campo. La verificación puede ser aleatoria y no necesariamente se requiere verificar todos los invernaderos detectados en la imagen, sino para las estructuras donde el intérprete tenga duda.

Para cumplir con los propósitos de federalización, es necesaria la difusión y enseñanza de estas técnicas y metodologías al personal encargado de la generación de información geográfica en las oficinas estatales de la SAGARPA, con el fin de unificar los procesos y métodos para generar información con el mismo grado de confiabilidad.

Si cada delegación contara con el presupuesto, herramientas y gente capacitada para generar este tipo de información y se realizara de manera periódica, todos los estados del país tendrían información actualizada y confiable sobre superficie sembrada de los principales cultivos de cada entidad, información de agricultura protegida (invernaderos), padrones georreferenciados, entre otra información, que en caso de que ocurra un fenómeno natural que afecte a la agricultura, se contaría con información oportuna y detallada de la pérdida de cultivos en la entidad afectada. Esto debido a que el SIAP por sí solo no puede generar información de este tipo para todo el país, por lo tanto en cada ciclo agrícola, solo se tienen datos obtenidos a través de estas metodologías para algunos cultivos y sólo de ciertos estados, de no contar con información generada mediante estos métodos se recurre a datos históricos o a la información del SIACAP obtenida por medio de entrevistas hechas a los productores.

Es importante señalar el esfuerzo de las personas que integran la DSIG, que participan en el establecimiento de metodologías adecuadas para cumplir con los objetivos de cada proyecto así como los procesos y análisis de la información para cumplir con dichos objetivos. Tienen la tarea de mejorar y buscar nuevas herramientas y metodologías que permitan generar datos cada vez de mayor calidad.

Es bueno saber que instituciones como el SIAP hacen uso de tecnologías como los SIG, GPS e imágenes de satélite, y que además cuenta con personal calificado que realiza los análisis adecuados para generar información confiable que beneficia al sector agropecuario; sin embargo esto no es suficiente, se puede tener la mejor tecnología, el personal más calificado, metodologías bien estructuradas, inclusive la misma información confiable que permita observar lo que está ocurriendo en el campo mexicano y nos permita responder el qué, cuánto y dónde se está produciendo; en caso de afectaciones por fenómenos naturales, contar con información que ayude a determinar qué, cuánto y dónde se está perdiendo; si habrá desabasto, si es necesario importar algún producto, las repercusiones en la economía, no solo del productor, sino de la población con escasos recursos por el aumento de precios, entre otros factores. De nada sirve, si las personas encargadas de la toma de decisiones se basan en intereses personales y no en los aspectos que en realidad beneficien al país, en este caso, el sector agropecuario.

Parece ser que las políticas diseñadas para mejorar el país están únicamente enfocadas en la privatización o venta de empresas públicas y no en la reorganización de las instituciones estatales para resolver verdaderamente las problemáticas (agrícolas, económicas, sociales, ambientales, entre otras) del país.

Por desgracia el SIAP no ha escapado a este tipo de políticas sexenales y como consecuencia de ello, la DSIG tras realizar el análisis de siniestralidad ocurrido en Sinaloa en febrero del 2011, para evaluar la pérdida del maíz por las heladas ocurridas en dicha entidad y darle seguimiento hasta el mes mayo de ese mismo año al periodo de la resiembra, no ha generado ninguna información de utilidad para el sector, que es uno de los principales objetivos de esta institución.

Desde el 2010, por decisión del actual Director General de esta institución, no se genera información de estimación de superficie sembrada de los principales cultivos del país; desde el 2009 no se ha actualizado la cobertura de invernaderos mediante teledetección.

La atención a siniestros sigue efectuándose, aunque sólo se emite un dictamen basado en un recorrido de campo para observar los daños a los cultivos de manera general, de esta manera se genera un dictamen técnico de la evaluación del daño, ya no se realiza un seguimiento mediante imágenes SPOT del antes y el después, ni se realiza la clasificación de cuerpos agua para conocer la superficie inundada, en los casos de afectación por inundación.

Se ha incrementado el número de licitaciones a empresas particulares para realizar proyectos de la DSIG, donde los resultados obtenidos son de pésima calidad y que al final se terminan corrigiendo los errores por personal de la dirección.

El interés de la institución dejó de ser la generación de información confiable que ayude al Desarrollo Rural Sustentable y se ha centrado en la publicación de monografías de cultivos y boletines publicados en su página de internet, con datos que en su mayoría fueron generados por otras instituciones.

Mientras se destina presupuesto a cosas innecesarias, se deja a un lado cosas de mayor importancia como los operativos de campo, argumentando la falta de presupuesto para que el personal pueda realizar esta actividad.

Aunado a ello, está la problemática de que el Programa SNIDRUS tiene la debilidad de estar financiado, principalmente, con fondos de un programa dentro de Alianza para el Campo, cuyos recursos se establecen de manera anual y con un elevado grado de incertidumbre, este depende de los intereses de las personas a cargo de estas tareas, por lo tanto se vuelve aún más difícil preservar y dar continuidad a los esfuerzos logrados hasta el momento.

De la misma forma, la mayoría de los estados se ven rezagados al no contar con personal y, cuando se tiene, sólo es por cierto periodo de tiempo además de que el personal contratado no cumple con el perfil necesario para realizar estas actividades. Este personal

en ocasiones no dura ni un año, por lo que las capacitaciones que se dan por parte del personal del SIAP a las oficinas estatales del sector, solo sirven para el lapso de tiempo que el personal capacitado permanece.

El aumento exponencial de catástrofes climáticas como inundaciones, huracanes y sequías, no sólo en México sino en todo el mundo, atribuido a transformaciones como el crecimiento de la población mundial, del nivel económico, la urbanización, el cambio climático global, como lo señaló la Dra. Heriberta Castaños Lomnitz en el “XV Seminario Internacional de economía, Ciencia y Tecnología. *Desastres, accidentes y catástrofes. Riesgos naturales y sociales*” requieren de especial atención para comprender su dinámica y generar estrategias que ayuden a mitigar el daño causado por estos fenómenos.

La agricultura es una de las principales actividades afectadas por estos fenómenos, por tal razón es necesario el diseño de estrategias que vayan más allá de la preparación y atención a la emergencia. La prevención y la mitigación, es algo que necesita ser fortalecido en las instituciones como en la SAGARPA para lograr la reducción de amenazas y vulnerabilidades que generan tales fenómenos.

Es necesario que las instituciones del país se enfoquen a sus verdaderos objetivos por los cuales fueron creadas, para resolver los problemas que enfrenta el país; por tal razón, el SIAP debe de enfocarse a generar información estadística y geográfica confiable que sea de utilidad para el sector agropecuario.

Debe de presentar mayor atención a las estrategias de protección contra desastres, un tema que parece ser prioritario en la institución pero que en la práctica recibe muy poca atención.

Si bien, pese al desarrollo de la ciencia y la tecnología, no es posible predecir que trayectoria tomará un huracán o en qué momento ocurrirá una sequía, existen otros factores que pueden prevenirse y mitigarse por ser originados por la actividad humana, como la actividad agropecuaria, donde se podrían definir escenarios de riesgo para esta actividad provocados por los fenómenos naturales, que pueden emplearse como insumo para diseñar una estrategia de gestión de riesgo que tome en cuenta la planificación del uso de tierras agrícolas, reconversión de cultivos, diversificación agropecuaria,

tecnificación de riego, agricultura protegida, entre otras, que reduzca las causas de los desastres.

Sin duda lo más importante y lo más difícil es contar con la gente adecuada en puestos que tienen como ejercicio la toma de decisiones. Autoridades que se interesen por el impulso al desarrollo de información confiable, en la que se basen para tomar decisiones que verdaderamente contribuyan a un desarrollo rural sustentable.

BIBLIOGRAFÍA

AGROANALISIS AC, 2009, La FAO en México. Más de 60 años de colaboración. México, 2009.

Ambrosio, L. et. al. 1993. Estimación de superficies cultivadas por muestreo de áreas y teledetección. Estadística Española, vol. 35; pag. 91-103.

BOSQUE SENDRA, J. (1992). Sistemas de Información Geográfica. Madrid, Ed. Rialp.

Buzai, Gustavo D., *Sistemas de Información Geográfica: Aspectos Conceptuales desde la Teoría de la Geografía*, Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Luján (UNLU) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Buzai, G.D. 2005. *Los Sistemas de Información Geográfica y sus métodos de análisis en el continuo* RESOLUCIÓN-INTEGRACIÓN. X Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (X CONFIBSIG). San Juan de Puerto Rico.

Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. 2006. *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

Buzai, G.D.; Toudert, D. 2004. *Cibergeografía*. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali.

Buzai, G.D.; *Sistemas de Información Geográfica en América Latina (1987-2010)*. Un análisis de su evolución académica basado en la CONFIBSIG, Universidad Nacional de Luján.

Chuvieco Salinero, Emilio. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. 1a ed., RIALP, Madrid España, 1990.

Cochran, W.G. 1977. *Sampling Techniques*. 3d. ed., Wiley & Sons, New York.

COMAS, D. y RUIZ, E. (1993). *Fundamentos de los sistemas de información geográfica*. Barcelona, Ariel Geografía.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2005). "Percepción remota. Fundamentos de teledetección espacial". Subdirección general de programación, Subgerencia de informática y sistema geográfico del agua, jefatura de control cartográfico. México, D.F.

Docampo, Gil; González J., Armesto; Sanmartín, Rego; *El realce radiométrico de la fusión de Imágenes Landsat –TM y SPOT- P para la creación de mapas en color real* X Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander-España Junio de 2002.

Estudio de las variables que influyen en la transformación HSI para la fusión de imágenes multiespectrales y pancromáticas. Correlación entre el canal pancromático y la intensidad. X Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander-España Junio de 2002.

FAO.- "Encuestas agrícolas con múltiples marcos de muestreo. Programas de encuestas agropecuarias basadas en diseños de muestreo con marco de áreas o doble marco de selección (de áreas y de lista)". Volumen 2. Colección FAO. Desarrollo Estadístico 10. Roma 1998.

Flores Francisco, Scott Christopher. (2000). "Superficie agrícola estimada mediante análisis de imágenes de satélite en Guanajuato, México." IWMI, Serie Latinoamericana: No15. México, D.F: Instituto Internacional del Manejo del Agua.

Gandía, S. y Melía, J., eds. 1991. *La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura*. Univ. València. Pp. 241-272.

Kalbermatter Diego, Mourazos Javier, Vacca Pablo. (2010). *Métodos de estimación para el área agrícola*. Una aplicación del departamento O'Higgins en la provincia del Chaco. Departamento de información económica y social (DIES), Laboratorio de GIS y teledetección. Argentina.

Ley de Desarrollo Rural Sustentable, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 2001.

Manual de Organización General de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 23 de Septiembre de 2002.

Navone, Stella Maris, 2003. Sensores remotos aplicados al estudio de los recursos naturales. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

Paruelo José, Guerschman Juan, Baldi Germán. (2004). “La estimación de la superficie agrícola. Antecedentes y una propuesta metodológica”. Interciencia, agosto, año/vol.29, número 008. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela. Pp.421 – 427.

Reglamento Interior de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Tomado del Diario Oficial de la Federación del 10 de Julio del 2001.

SIAP-INEGI, *Coordinación Federación-Estados en el Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SNIDRUS)*, Julio 2004.

SIAP-INEGI, *Coordinación Federación-Estados en el Sistema Nacional de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SNIDRUS)*, Septiembre 2002.

Swain, P. and S. Davis. Remote sensing: the quantitative approach. N.Y.; Mac Graw-Hill Book Co.s.

Towers, Pedro C., 2002 *Conceptos Iniciales sobre Teledetección y su aplicación al Agro*, 1a Edición AgriSat.

Valladares Arjona, Ruben., 1990 *Agricultura en México: diversidad o crisis*, Iniversidad Autónoma Chapingo, Coordinación de extensión universitaria, México.

FUENTES CONSULTADAS EN INTERNET

1. Secretaría de Marina

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

Marzo 2011

2. Servicio de Información Agroalimentario y Pesquera.

<http://www.siap.gob.mx/>

Febrero 2011

3. NASA

<http://www.nasa.gov/>

Junio 2011

4. SPOT IMAGE

<http://www.astrium-geo.com>

Junio 2011

5. ArcGis Resource Center

<http://resources.arcgis.com/es>

Noviembre 2011

6. Registro Agrario Nacional

<http://www.ran.gob.mx/>

Agosto 2011

ANEXO

Anexo 1

Inundaciones arrasan 2 comunidades en Tabasco; 10 permanecen aisladas



Las lluvias en Tabasco menguaron ayer, lo que permitió que se reabriera el paso hacia el sur de Veracruz por la carretera Villahermosa-Coatzacoalcos. Foto Notimex

**RENÉ ALBERTO LÓPEZ Y JESÚS
LASTRA RÍOS**

Corresponsales

Periódico La Jornada
Miércoles 11 de noviembre de 2009, p. 34

En los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco, las inundaciones hasta de 15 metros causadas por el desbordamiento de ríos y lagunas, aunadas a las tormentas y oleajes que siguieron al huracán *Ida* y el frente frío número 9, hicieron desaparecer dos poblados y mantienen incomunicados al menos 10 poblados.

Damnificados afirmaron que luego de tres días de aguaceros en la zona costera de Cárdenas desapareció la comunidad El Alacrán, que se hallaba a orillas de la laguna El Carmen. Mientras, el portavoz del ayuntamiento de Huimanguillo, Edy Díaz Morales, dijo que tras el desbordamiento del río Zanapa y de la laguna El Rosario sólo se ve la punta de los postes del poblado Río Pedregal.

"No está permitido acercarse y sólo el Ejército tiene acceso, por los cables de alta tensión. Además, las comunidades de Paso del Rosario, las primeras secciones de Ceiba y Huapacal, varias de Pejelagartera y la tercera de Barrial, así como Los Pinos, Paso de la Mina, Ignacio Allende, Ogarrio y Tierra Colorada están incomunicadas", añadió.

En Veracruz dejó de llover 48 horas, pero las inundaciones mermaron casi 50 por ciento de la producción diaria de 66 mil barriles de petróleo y 75 millones de pies cúbicos de gas en 389 pozos del Activo Integral Cinco Presidentes del municipio de Agua Dulce. Gran parte de las instalaciones están bajo el agua, dijo la dirigencia sindical de Pemex.

Las lluvias y desbordamientos también causaron estragos en grandes áreas del municipio de Las Choapas, en la región colindante a Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco.

En Veracruz, la Policía Federal Preventiva reportó enormes filas de automóviles varados y tramos carreteros cubiertos por el agua. Unos 20 kilómetros de vías férreas también se hallan inundados y según el sindicato ferrocarrilero, hay más de 18 mil toneladas de carga detenidas en la estación de Coatzacoalcos.

Anexo 2



‘ Bárbara ’ amenaza costas

La tormenta cobrará fuerza, prevén; Oaxaca y Acapulco "deben estar atentos"

Juan Cervantes Gómez
El Universal
Jueves 31 de mayo de 2007



CHILPANCINGO, Gro.- La depresión tropical número dos que se formó el martes frente a las costas de Oaxaca y Guerrero adquirió el rango de tormenta tropical denominada *Bárbara* y se ubica a 270 kilómetros al sureste de Punta Maldonado, del municipio de Cuajinicuilapa, en la Costa Chica, y a 400 kilómetros al sureste de Acapulco.

De acuerdo con información de Roel Ayala Mata, del Sistema Estatal de Protección Civil (SEPC), la tormenta tropical *Bárbara*, con vientos de 65 kilómetros por hora en su centro y rachas de hasta 85 kilómetros por hora, se encuentra en una situación estacionaria.

Sin embargo, dijo que se pide a la población permanecer atenta a los reportes meteorológicos, porque se prevé que *Bárbara* se fortalezca en el transcurso de las próximas horas.

Mientras, ocasionará cielo nublado en las regiones de la Montaña y Costa Chica de Guerrero, así como en municipios costeros de Oaxaca, con probabilidad de precipitaciones pluviales, marejadas y fuertes oleajes en estas áreas y en el puerto de Acapulco, por lo que las autoridades recomiendan a sus habitantes emprender medidas preventivas.

Anexo 3



Bárbara toca costas de Chiapas

Con vientos de hasta 110 kilómetros por hora, la tormenta tropical *Bárbara* golpeó a las seis de la mañana de este sábado los municipios de Tapachula, Mazatán, Huehuetán, Suchiate y Acapetahua

María de Jesús Peters, Óscar Gutiérrez y Fredy Martín
 El Universal
 Domingo 03 de junio de 2007

Versión para imprimir |
 Envía esta nota por e-mail
 - A A A +

NOTAS RELACIONADAS

- "Me hinqué y recé para que nada pasara" 2007-06-03
- Ediles desprecian cultura de protección civil, acusan 2007-06-03

TAPACHULA, Chis.- Con vientos de hasta 110 kilómetros por hora, la tormenta tropical *Bárbara* golpeó a las seis de la mañana de este sábado los municipios de Tapachula, Mazatán, Huehuetán, Suchiate y Acapetahua, y en apenas cuatro horas las fuertes ráfagas arrasaron centenares de casas de la gente más humilde, por lo que al menos unas mil 500 personas tuvieron que ser trasladadas a más de 100 albergues; hasta el momento no hay reportes de víctimas.

Al tocar tierra, el meteoro afectó 90% de los plántos de plátano, derribó una gran cantidad de árboles y postes de telefonía y del tendido eléctrico, dejando sin luz a gran parte de la zonas del Soconusco, Costa y sierra de Chiapas.

Aunque empezó a degradarse, el ciclón siguió viajando tierra adentro y, según las autoridades estatales y del Sistema Nacional de Protección Civil, provocará fuertes lluvias, por lo que más de mil 500 personas fueron evacuadas de la zona de riesgo.

Al abrir el comercio, iniciaron las compras de pánico; las amas de casa se llevaron latería, agua, harina para tortillas, pilas, pan de caja.

En las gasolineras se formaron largas filas de automovilistas para adquirir el combustible.

Al mediodía, los remanentes de la tormenta empezaron a tocar el municipio de Motozintla, ubicado en el "corazón" de la Sierra Madre de Chiapas, que fue la zona más afectada por el paso del huracán *Stan* en octubre de 2005.

El subsecretario de Protección Civil, Luis Manuel García Moreno, informó que el gobierno del estado activó la alerta "naranja" en 17 municipios, con lo que inició el traslado de la población a zonas seguras, principalmente quienes viven cerca del mar, ríos y partes bajas.

Asimismo, dijo que el Ejército mexicano aplicó el plan DNE-III con lo que se dio inicio a las labores de auxilio a la población, en tanto que brigadas de Salud desplegaron un operativo epidemiológico en las zonas de mayor impacto.

En Tapachula, Protección Civil municipal reportó a 233 personas en el albergue del Centro de Convivencia, principalmente de las comunidades de La Cigüeña, Conquista Campesina y Barra Cahoacán, que se localizan a la orilla del mar.

En Ciudad Hidalgo, localidad fronteriza con Guatemala, el alcalde, Óscar Salinas Morga, reportó daños en cientos de hectáreas de cultivo principalmente de plátano, donde las plantaciones fueron derribadas por la fuerza del viento.

Mientras tanto, decenas de pobladores de la cabecera municipal y de las rancherías Brisas del Mar y Benito Juárez, fueron evacuadas y trasladadas a refugios instalados en el municipio de Frontera Hidalgo.

Retumban las casas

Todo inició poco antes del amanecer, cuando empezaron a sentirse los efectos del ciclón, y la fuerza de los vientos fue intensificándose hasta sentirse como un fuerte zumbido que entre las ocho y las 10 de la mañana hizo retumbar las casas.

Las paredes y los techos se cimbraron en las casas de ladrillo, y pronto en las vacías calles empezaron a volar láminas, ramas y árboles que fueron arrancados de raíz.

En las zonas más húmedas del sector sur y nororiente de la ciudad, las casas perdieron los techos de lámina y palma y todos los enseres domésticos, ropa y muebles se vieron afectados por la lluvia. De los animales, como cerdos, chivos, gallinas, perros y gatos, ni siquiera se acordaron.

Algunas mujeres aferradas a la cubierta de la casa trataban de evitar que las láminas fueran arrancadas; sin embargo, éstas volaban como papel. No hubo tiempo de sacar nada, la lluvia mojaba todo lo que estaba al descubierto; ropa, trastes, camas, lavadoras, refrigeradores, estufas, cuadros, imágenes, entre otros enseres.

En la periferia de Tapachula se observaban muchas casas con daños parciales, la mayoría sin techo. Decenas de árboles que caían detenían de manera abrupta la huida de algunos automovilistas. Las señales de teléfonos móviles y fijos se bloquearon, todos querían saber cómo estaban sus familiares y amigos.