



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO

Facultad de Filosofía y Letras

Colegio de Geografía

Estudio de afectaciones por inundación
a través del uso e interpretación de
imágenes de satélite
multiespectral y de RADAR

INFORME DE ACTIVIDAD PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
P R E S E N T A:

GUSTAVO ALBERTO LÓPEZ ESCALANTE

México D.F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2005

Asesor: Dra. Liliana López Levi



0348149



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.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

INDICE

I. INTRODUCCION.....	1
II. PRELIMINARES PARA EL TRABAJO.....	7
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1 DELIMITACION DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	13
3.2. CARTOGRAFIA.....	15
3.2.1 Adquisición	
3.2.2 Digitalización	
3.2.3 Procesamiento de la información Cartográfica	
3.3 IMÁGENES LANDSAT TM.....	18
3.3.1 Pre-proceso	
3.3.2 Procesado de imágenes	
3.4 IMÁGENES DE RADAR.....	37
3.4.1 Generalidades	
3.4.2 Uso de Imágenes de RADARSAT	
3.4.3 Evaluación de la calidad de los datos	
3.4.4 Determinación de Registros	
3.4.5 Mosaicos	
3.4.6 Filtrado	
3.4.7 Textura	
3.4.8 Integración DEM's	
3.4.9 Mosaicos por Cuenca	
3.4.10 Criterios para la clasificación	
3.4.11 Cobertura	
3.4.12 Estadísticas de zonas de inundación	

IV. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.....	64
V. REFLEXIONES DESDE LA GEOGRAFÍA.....	67
5.1 Generalidades	
5.2 Desde la Cartografía	
5.3 Desde la Geografía	
BIBLIOGRAFÍA.....	73
GLOSARIO.....	74

Envío a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo resepcional.

NOMBRE: Gustavo Alberto

Lopez E.

FECHA: 21 - sept/ 2005

FIRMA: [Firma]

I. INTRODUCCION

Las intensas lluvias ocurridas a principios de octubre de 1999, fueron consecuencia de la Depresión Tropical No. 11, que afectó a los estados de Hidalgo, Puebla, Veracruz y Tabasco, y provocó grandes inundaciones, deslizamientos de laderas y graves daños. Consecuencia de ello, fueron las numerosas pérdidas humanas y el deterioro de la infraestructura, que repercutió gravemente en las actividades económicas en poblaciones como: Tulancingo y Meztlán en el Edo. de Hidalgo; Teziutlán en el Edo. de Puebla.; Tecolutla, Nautla, Martínez de la Torre y Poza Rica en el Edo. de Veracruz.; Villahermosa, Huimanguillo y Cárdenas en el Edo. de Tabasco, entre muchas otras.

En virtud de lo anterior y por instrucciones de la Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, de la Comisión Nacional del Agua, se contrató a la empresa NIVELES, S. A. DE C. V., para realizar el **“ESTUDIO DE AFECTACIONES POR INUNDACIONES Y DESLAVES EN LAS CUENCAS TUXPAN, CAZONES, TECOLUTLA, NAUTLA, MISANTLA, CALIPA, ACTOPAN, PAPALOPAPAN, COATZACOALCOS Y GRIJALVA, A TRAVÉS DEL USO E**

INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE MULTIESPECTRALES Y DE RADAR”.

La empresa Niveles, S.A. de C.V. como distribuidor autorizado en México de RadarSat y de Space Imaging, podía proveer a la Comisión Nacional del Agua no sólo de las imágenes de satélite de radar y multiespectrales originales, sino también, de los mapas temáticos producidos a partir de éstas, donde se contiene la información necesaria para realizar el análisis y procesamiento detallado, combinando lo más avanzado en tecnología de percepción remota y sistemas de edición cartográfica, con la amplia experiencia de su personal técnico altamente calificado, tanto en la interpretación y manejo de las imágenes de satélite, como en la edición y producción cartográfica de alta calidad.

Así mismo, en coordinación con el personal especializado de la Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas de la CNA, se plantearon los objetivos y alcances del presente proyecto, que prevé necesidades a corto, mediano y largo plazo de la Comisión Nacional del Agua, y de la población en general.

La utilidad propuesta para las imágenes de satélite y los mapas temáticos puede darse en dos momentos diferentes, aunque de igual importancia.

El primero a corto plazo, permitirá a esta Subdirección trazar los lineamientos de carácter técnico que permitan realizar acciones encaminadas a la protección del medio ambiente, salvaguarda de la población civil, la seguridad a la infraestructura hidráulica y, de comunicaciones y transportes, en coadyuvancia con los gobiernos estatales y las instancias del Gobierno Federal con injerencia en los desastres naturales de este tipo.

Un segundo momento a mediano plazo sería el de proveer al Gobierno Federal por medio de la Comisión Nacional del Agua de un acervo útil y novedoso que sirva como material de apoyo para los estudios del Territorio Nacional en sus procesos dinámicos, tales como los recientes meteoros, permitiendo aprovechar las consecuencias de éstos como un recurso y mitigar, en medida de lo posible, la capacidad destructiva que puedan tener.

Cabe resaltar que los productos cartográficos y de teledetección empleados, toman como unidades de estudio a las **Cuencas Hidrológicas** y permiten su interpretación y manejo como

perímetros, aunque interactuantes, y también como el ámbito donde confluyen las fuerzas modeladoras del terreno, hábitat de la biósfera, y campo de desarrollo de las actividades económicas primarias y secundarias que ocupan a la gran mayoría de la población económicamente activa del país. Con la finalidad de cumplir con su tarea de mantener datos actualizados sobre los procesos que ocurren tanto en la superficie como en el subsuelo de éstas, se hace indispensable contar con productos cartográficos y otros insumos, que permitan llevar a cabo los análisis necesarios de una manera rápida y ordenada, ya que los productos cartográficos en el mercado, aunque fidedignos, contemplan solamente aspectos muy generales de las cuencas y abarcan segmentos parciales de las mismas; debido al formato con que fueron elaboradas, en donde datos como límites de cuencas y subcuencas, se localizan en distintas cartas, de tal manera que dificulta su interpretación.

Resulta de importancia también contar con mapas que abarquen cuencas completas tanto impresos en papel como en formato digital georeferenciado, lo que hace posible un mejor análisis de ésta e incorporar datos generados de manera directa (campo) o indirecta (percepción remota). El formato digital permite de una manera rápida y eficaz incorporar los datos generados en el corto tiempo de elaboración de estos productos; de tal manera que a

cierto plazo podrán generarse modelos espaciales, así como también, relacionarlos con los procesos físicos de su entorno. Otra ventaja de contar con los archivos digitales, es que pueden ser reproducidas tantas veces como sea necesario sin merma en la calidad de las copias, pues cada impresión es un original.

Con todo lo anterior, contamos con elementos suficientes para enunciar que en medio de los estudios geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos y geomorfológicos, el concepto de cuenca es insustituible porque es a través de ellas que el agua determina su comportamiento sobre la superficie de la Tierra; así, los términos de pendiente, ladera y escurrimiento entre otros, encuentran sentido únicamente entendidos en términos de tridimensionalidad, razón por la cual los modelos de elevación aunados a la información geológica, edafológica y de vegetación natural o inducida, es determinante.

Además de que los resultados, son productos fundamentales para generar en el futuro un Sistema de Información Geográfica dirigido al manejo de cuencas.

Entendidos de que el método científico constituye la única vía válida para la predicción de desastres, resulta necesario enmarcar las cifras y los datos de cualquier orden dentro de modelos

matemáticos que soporten a partir de ellos, la representación de la realidad dentro de mecanismos que nos permitan determinar alguna frecuencia de comportamiento de los fenómenos naturales, así como su tendencia en tiempo y espacio, solamente de esa manera es posible, primero entender con claridad las causas del fenómeno, y a partir de ello, se posibilite la prevención de sus consecuencias tanto para la población como para proteger el medio natural.

II. PRELIMINARES PARA EL TRABAJO

Dada la naturaleza del proyecto, el equipo de trabajo que habría de abocarse a la realización del mismo, consistió en primera instancia, por los empleados de la compañía Niveles S.A. en su división Geomática. Cabe aclarar que esta empresa con varios años en el mercado, comenzó siendo la primera fábrica de microscopios en América Latina, y posteriormente, la expansión se dio hacia el área de construcción, armado e importación de equipo topográfico apoyados en el hecho de que contaban ya con el dominio de la tecnología en cuanto a la óptica y la mecánica de precisión se refiere. A lo largo de los años, la división topografía y la división meteorología resultaron ser una cimiento suficientemente sólida como para dar paso a los convenios que la empresa habría de contraer con la empresa estadounidense Space Imaging y la canadiense PCI Geomatics.

Por su parte, Space Imaging, quien es dueña y distribuidora de las imágenes de diversos satélites equipados con sensores remotos entre ellos LandSat, IRS (Indian Remot Sensor) e IKONOS, dieron a Niveles S.A. la oportunidad de distribuir en México imágenes satelitales en formato digital. Y por otro lado, la empresa

PCI Geomatics del Canadá quien es desarrolladora de software de aplicación para imágenes georeferenciadas, así como de programas SIG, apoyados en las necesidades de tecnologías para el manejo, interpretación y edición de las imágenes del RADARSAT, satélite éste, equipado con un sensor activo (emisor – receptor) basado en microondas.

Con lo anterior, el personal que conforma la división Geomática de Niveles S.A. está familiarizado ya para estas fechas tanto con las características de las imágenes, del manejo y aplicaciones de los programas que son herramienta primordial para estas interpretaciones y de las distintas variables de que son sujeto tales manejos.

En su primera fase, que consta de la planeación y la traza de cronogramas y distribución de cargas de trabajo así como de la designación de responsables, fue suficiente el personal que laboraba para la empresa en sus distintas actividades. Ya comenzado el trabajo, dicho proyecto contemplaba la contratación tanto de capturistas como de digitalizadores que se hicieran cargo, de integrar las bases de datos de la información que aparece en la cartografía y síntesis estadísticas del INEGI por una parte, y la digitalización de la información vectorial que aparece en la

cartografía, como son las curvas de nivel, localización de poblaciones, así como los principales rasgos físicos y culturales que resultaran de utilidad para el caso. El perfil necesario para esta figura de digitalizador-capturista fue suficientemente cubierto por aquellos estudiantes de escuelas técnicas de computación ya que contaban con una idea más o menos clara del funcionamiento de una computadora y del valor de la información digital tanto alfanumérica como gráfica en el caso de quienes habrían de hacerse cargo de programas de dibujo digital como el Auto CAD.

El tercer momento de este proceso, trató de integrar la información digitalizada proveniente de tres fuentes principales, a saber:

- ✓ Imágenes georreferenciadas
- ✓ Información vectorial digitalizada
- ✓ Información alfanumérica integrada en bases de datos

Para esta labor que habría de construir el Sistema de Información Geográfica (SIG) propiamente dicho, fue necesario contar con personal con una idea mucho más elaborada de lo que es el conocimiento e interrelación de variables significan, como sustrato rocoso, permeabilidad del suelo, pendiente de las laderas y

vegetación inducida entre otros elementos relevantes de la información geográfica, así como del manejo de dichos programas y su utilización *ex profeso*. El perfil de esta nueva figura ocuparía un tercer nivel del organigrama en donde el conocimiento de los elementos indispensables tanto para la construcción de la cartografía como para su lectura son necesarios.

III. METODOLOGÍA

De acuerdo con el pronóstico de la Comisión Nacional del Agua para la Región Golfo-Centro, se preveían fuertes precipitaciones para el periodo septiembre - octubre, de 1999 estimadas entre 20 y 50% por encima de la media anual. Sin embargo, en los hechos, la previsión fue conservadora, ya que en este lapso llovió un 300% por arriba de lo estimado¹.

Durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 1999, la coincidencia de varios fenómenos meteorológicos provocó precipitaciones intensas sobre una zona amplia de la vertiente del Golfo de México, con ello se generaron escurrimientos extraordinarios, deslaves, inundaciones, y el azolvamiento de presas, canales y arroyos. Los efectos producidos por los eventos meteorológicos extremos fueron agravados por varios factores, a saber: por las condiciones particulares de la zona afectada, la falta de capacidad de regulación de las corrientes, la insuficiencia de obras de protección para las poblaciones, la invasión de las planicies de inundación y en algunos casos el desconocimiento de las

¹ Bitrán Bitrán, Daniel, Evaluación del Impacto Económico de las Lluvias ocurridas en octubre de 1999 en el estado de Veracruz, CENAPRED, Cuadernos de Investigación N. 50, febrero 2000, p.p. 125 y 126

condiciones de riesgo en los poblados, lo que contribuyó a magnificar los daños.

De acuerdo con los reportes meteorológicos de la Comisión Nacional del Agua, los eventos ocurridos durante el periodo comprendido durante los meses de septiembre y octubre de 1999, lluvias torrenciales tuvieron su origen en la onda tropical No. 35 y en el sistema de baja presión atmosférica localizado en la sonda de Campeche, evolucionaron hasta formar la depresión tropical No. 11, misma que al interactuar con el frente frío No. 5 procedente del norte, ocasionaron precipitaciones intensas sobre una amplia zona de la vertiente del Goyo de México, generándose escurrimientos que habrían de rebasar por mucho el borde de los cauces usuales del agua, deslaves, inundaciones, y el azolvamiento de presas, canales y arroyos.

3.1 DELIMITACION DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los estados con mayor afectación fueron Hidalgo, Puebla, Veracruz, Tabasco y Oaxaca, sin embargo, a petición de la Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, de la **COMISION NACIONAL DEL AGUA**, quedan establecidas 8 Cuencas Hidrológicas, consideradas las siguientes como unidades básicas para el estudio:

Tuxpan
Cazones
Tecolutla
Nautla
Actopan
Papalopapan
Coatzacoalcos, y
Grijalva

Y dos subcuencas de la cuenca Nautla correspondientes al estado de Veracruz:

Misantla
Calipa

La base cartográfica utilizada será la del INEGI a escala
1:250,000

3.2. CARTOGRAFÍA

3.2.1 Adquisición

Para generar la Cartografía base para el desarrollo del estudio, se adquirieron las siguientes Cartas del INEGI:

Topográficas, Uso del suelo y vegetación, Geológicas, e Hidrología de Aguas Superficiales a escala 1:250,000.

Relación de cartas 1:250,000

Nombre	Clave	Topográfica	Uso del suelo y Vegetación	Geológica	Hidrología de aguas superficiales
Cd. de México	E14-2	✓	✓	✓	✓
Veracruz	E14-3	✓	✓	✓	✓
Orizaba	E14-6	✓	✓	✓	✓
Oaxaca	E14-9	✓	✓	✓	✓
Salina Cruz	E15-10	✓	✓	✓	✓
Coatzacoalcos	E15-4	✓	✓	✓	✓
Frontera	E15-5	✓	✓	✓	✓
Minatitlán	E15-7	✓	✓	✓	✓

Villahermosa	E15-8	✓	✓	✓	✓
Tuxtla Gutiérrez	E15-11	✓	✓	✓	✓
Cd. Valles	F14-8	✓	✓	✓	✓
Tamiahua	F14-9	✓	✓	✓	✓
Pachuca	F14-11	✓	✓	✓	✓
Poza Rica	F14-12	✓	✓	✓	✓
Tenosique	E15-9	✓	✓	✓	✓

3.2.2 Digitalización

De las Cartas **Topográficas**, se digitalizaron los siguientes rasgos:

- Poblaciones con más de 2500 habitantes.
- Localidades con menos de 2500 habitantes.
- Vías de comunicación (carreteras federales, brechas y veredas).
- Red hidrológica.

De las Cartas de **Hidrología de Aguas Superficiales**, se digitalizaron:

- Límites de Cuencas y Subcuencas hidrológicas

3.2.3 *Procesamiento de la información Cartográfica.*

Cartas con información vectorial por cuencas.

Para delimitar la información vectorial digitalizada de cada carta a Escala 1:250,000 e integrarla al análisis espacial por cuenca, así como el facilitar su sobreposición a cada una de las imágenes de satélites, se hizo el recorte conforme a los límites de cada una de las cuencas hidrológicas. Dicha delimitación fue realizada a partir de los parteaguas resultantes de las curvas de nivel contenidos en las cartas topográficas anteriormente mencionadas.

3.3 IMÁGENES LANDSAT TM

Para la identificación de las condiciones previas al fenómeno hidrometeorológico, se utilizaron imágenes de satélite multiespectrales Landsat TM de 1999, con menos del 30% de nubes, en formato digital en CD-ROM, orientada a mapa, con corrección de sistema, proyección UTM, Resolución espacial de 25 mts; construidas a partir de 13 escenas completas (185 x 170 kms.); una subescena de (100 x 100 kms.) y una miniescena (100 x 50 kms.).

Descripción de las bandas

El tipo de órbita del satélite Landsat es sincrónico al sol; cada 16 días pasa por un mismo punto de la superficie terrestre, por lo cual se pueden hacer actualizaciones periódicamente.

La imagen cubre un área de 185 x 170 Km, por lo cual la República Mexicana se cubre con 122 escenas, en donde se contienen las siguientes bandas del espectro electromagnético y su correspondiente longitud de onda:

Banda 1 Azul visible	0.45-0.52 μm
Banda 2 Verde visible	0.52-0.60 μm
Banda 3 Rojo visible	0.63-0.69 μm
Banda 4 Infrarojo cercano	0.76-0.90 μm
Banda 5 Infrarojo medio	1.55-1.75 μm
Banda 6 Infrarojo medio	2.08-2.35 μm
Banda 7 Infrarojo térmico	10.4-12.5 μm

Y, con una resolución de 25 metros.

Es importante señalar que todas las imágenes tienen únicamente un proceso de corrección de sistema y orientada a mapa, es decir incorporan ajustes matemáticos para orientarla hacia el norte. Mientras que en la corrección por sistema, los datos son corregidos radiométricamente y geoméricamente, las correcciones radiométricas se hacen de modo tal que un valor dado del detector siempre represente el mismo nivel de radiancia para toda la escena; las correcciones geométricas reorientan los datos de la imagen de manera que se compense la rotación terrestre y las variaciones en la posición y altitud del satélite. La proyección UTM son valores arbitrarios aproximados, únicamente como referencia.

Las imágenes de origen no tienen un proceso de georeferenciación. Es a través del proceso de corrección de precisión, que se incorporan puntos de control terrestre, como intersecciones de caminos, ríos, etc., para relacionar la posición pronosticada del satélite con su posición geodésica real, lo cual permite posicionar un punto en la imagen de acuerdo a las coordenadas (geográficas o UTM) exactas en el terreno. La georeferenciación es un proceso necesario para el manejo de las imágenes de satélite, pero no está incluido como característica de la imagen original.

En la tabla siguiente se indican las características de las imágenes adquiridas:

Tabla de Imágenes Landsat TM

ESCENAS

PATH/ROW	FECHA (1999)	NUBES (%)	TAMAÑO (Kms.)
026/045	MAYO-30	20	185x170
026/046	MAYO-30	15	185x170
025/046	ABRIL-5	5	185x170
025/047	ABRIL-5	0	185x170
024/047	MARZO-13	0	185x170
025/048	MAYO-23	0	185x170
024/048	ABRIL-14	0	185x170
023/047	MARZO-6	5	185x170
023/048	ABRIL-23	5	185x170
022/047	MAYO-18	0	185x170
022/048	MAYO-2	5	185x170
021/047	ABRIL-9	0	185x170
021/048	ABRIL-9	0	185x170

SUBESCENA

PATH/ROW	FECHA (1999)	NUBES (%)	TAMAÑO (Kms.)
025/045	MAYO-7	10	100x100

MINIESCENA

PATH/ROW	FECHA (1999)	NUBES (%)	TAMAÑO (Kms.)
024/046	MARZO-13	4	100x50

3.3.1 Pre-proceso

3.3.1.1. Almacenamiento

Como paso inicial del preproceso, una vez que fueron recibidas, las imágenes fueron almacenadas en el equipo especializado destinado al procesamiento digital de imágenes, que dispone de los dispositivos de lectura de CD-ROM y el espacio necesario en disco duro, donde ocupa de 73 a 80 MB por banda, lo que da un total promedio entre 500 y 600 MB para los siete archivos que integran una escena completa, a los que se les aplica un proceso de realce general de valores.

Posteriormente se exhibieron en pantalla para verificar la calidad de la información tanto de contenido como su estado físico, además de ubicar la sección que cubre el área de estudio y obtener una subimagen con 3 de sus 7 bandas. Esto permite la exhibición de los

datos en color natural, el empleo racional del espacio en disco y una mayor eficiencia en el manejo de la información digital.

3.3.1.2. Determinación de combinación óptima de bandas

En esta fase del proyecto se realizaron despliegues en falso color de la imagen, se probaron diferentes realces y combinaciones de bandas con el fin de identificar aquellos que ofrecieran el mejor contraste de colores y la mayor cantidad de información visual.

En el despliegue en falso color se utilizan 3 bandas, donde se asigna una a cada cañón de color de la estación de trabajo (rojo, verde y azul); la asignación se realizó utilizando el criterio del recurso que se deseaba resaltar. Generalmente se asigna una banda infrarroja al cañón rojo, ya que es en esta sección del espectro electromagnético en donde la vegetación vigorosa tiene mayor respuesta espectral y la tonalidad roja permite que áreas con este tipo de vegetación destaquen con facilidad.

Respecto a los realces, existen diferentes algoritmos que permiten realzar los valores contenidos en la imagen, los más comunes son: el ecualizado, el lineal y de raíz cuadrada.

En cuanto a la combinación de bandas, la combinación 2, 3 y 4 (asignadas a azul, verde y rojo respectivamente para su exhibición en el monitor) ofreció el mayor contraste de las zonas cultivadas.

3.3.1.3. Producción de espaciomas

La impresión de los espaciomas producidos se hizo necesaria para el reconocimiento y ubicación de rasgos en la imagen en comparación con otras fuentes de información, tales como los mapas de INEGI.

3.3.1.4. Recorridos de campo

Para este estudio, en sustitución de los recorridos de campo se empleó la cartografía temática de uso de suelo y vegetación, generada por INEGI en escala 1:250,000.

3.3.2 Procesado de imágenes

3.3.2.1 Selección de bandas empleadas

Se emplearon 6 (visibles e infrarojas) de las 7 bandas disponibles en TM para la clasificación de las zonas de interés, con el objeto de disponer del mayor número de elementos de juicio para la identificación adecuada de cada cultivo.

3.3.2.2 Algoritmos

Los algoritmos de clasificación automática se dividen en dos grandes grupos, no supervisados y supervisados. Los primeros suponen el barrido y ubicación en el espacio espectral de todos y cada uno de los píxeles que conforman la imagen y el empleo de reglas de decisión para agrupar o determinar las agrupaciones de píxeles que se forman dentro del espacio espectral. Cada agrupación es posteriormente analizada para determinar el tipo de objeto o uso de suelo de que se trata en la realidad.

La agrupación de los píxeles en el espacio espectral y por lo tanto su asignación a un determinado uso de suelo se basa en la hipótesis:

cuando dos objetos tienen características espectrales similares, ambos objetos son del mismo tipo y su posición en el espacio espectral es la misma.

Las clasificaciones supervisadas suponen la existencia de zonas del espacio espectral asociadas a un determinado objeto y cuyos límites son proporcionados por el usuario. Los criterios de límites más comunes son el proporcionar áreas de formas rectangulares o elipsoidales.

Es común que dos usos de suelo diferentes posean una zona de traslape o intersección dentro del espacio espectral, casos en los cuales debe existir una regla de decisión para la asignación de un píxel que cae en esa zona a uno u otro tipo de uso.

Para llevar a cabo la clasificación de la imagen se realizaron clasificaciones no supervisadas, pero éstas no lograron discriminar adecuadamente los diferentes usos de suelo que existían en las zonas, por lo que se cambió a trabajar con algoritmos supervisados.

Dentro de los algoritmos de clasificación supervisada que existen en la actualidad, el más frecuentemente utilizado es el de máxima verosimilitud, el cual se basa tanto en la posición que guarda un

pixel dentro del espacio espectral con respecto a los centros de las diferentes firmas (usos de suelo) y sus radios de asignación como en la probabilidad de pertenecer a tal o cual clase que tiene un pixel en las zonas de traslape. Por este motivo fue considerado como el algoritmo principal de clasificación de las imágenes.

Otro algoritmo supervisado que se seleccionó fue el de mínimas distancia, en el cual se tienen definidos únicamente las posiciones en el espacio espectral de los usos óptimos y los pixeles de la imagen son asignadas a algún uso previamente determinado en relación de su proximidad a estos centros.

3.3.2.3 Campos de entrenamiento

Como se mencionó en el subinciso anterior los algoritmos de clasificación supervisada toman la posición en el espacio espectral, de los diferentes usos de suelo, y de la información proporcionada por el técnico. Esto es, se presupone que el técnico posee el conocimiento de las características espectrales de las zonas de cultivo.

Para tener este conocimiento y alimentar a los algoritmos supervisados la técnica que se emplea es la de campos de entrenamiento. Esta técnica utiliza información de los recorridos de campo, el registro de la información de los mismos, y el análisis visual de las imágenes que él interprete tiene a partir del conocimiento de la ubicación de zonas de cultivo y otros usos de suelo existentes en las imágenes.

Con este conocimiento delimita las fronteras de las zonas con cultivo y extrae los valores espectrales de los píxeles que se encuentran dentro de ellas, esto le permite sacar el valor medio de reflectancia de cada banda para diferentes áreas de cultivo (posición central del uso de suelo en el espacio espectral) y la desviación estándar (establecimiento del radio de asignación para cada uso de suelo).

A cada pequeña frontera de la que se extraen los valores de reflectancia espectral para obtener su valor medio y desviación estándar se le da el nombre de campo de entrenamiento. Mientras más campos de entrenamiento se tengan para un determinado uso de suelo la posición en el espacio espectral y el radio de asignación serán mejor definidos

Debe tenerse cuidado en seleccionar zonas de entrenamiento homogéneas en las que exista sólo un uso de suelo, pues si se mezclan 2 o más usos de suelo los parámetros que definen la firma espectral (posición central y radio de asignación) serán erróneos y la clasificación dará resultados falsos.

Por otro lado, es de esperarse que un determinado uso de suelo, debido a su estado fisiológico, a la variedad y a las condiciones ambientales sufridas, posea más de una posición en el espacio espectral, por lo que se debe tener cuidado en no mezclar zonas de entrenamiento para estos diferentes casos, pues el resultado será similar a lo mencionado anteriormente.

3.3.2.4 Clasificación digital

Ya que se tienen definidas las zonas de entrenamiento y se han obtenido los parámetros de las firmas espectrales para los diferentes usos de suelo se procede a alimentar los algoritmos con los datos y a realizar la clasificación digital de la imagen.

El plano obtenido es analizado visualmente y comprobado con los registros recopilados en campo. Esto se lleva a cabo con la finalidad

de establecer las zonas en las que el algoritmo presenta confusión entre usos de suelo, los usos que no fueron clasificados, etc.

Generalmente ocurre en una clasificación supervisada que quedan algunas zonas que no pudieron ser asignadas a una clase, esto se debe a que existen diferentes estados y condiciones de un determinado uso de suelo. Como se mencionó anteriormente estos deben de ser manipulados como si fueran un uso de suelo diferente (clase) y proceder a establecer sus zonas de entrenamiento para obtener los parámetros de la firma espectral. El proceso de definir más de una clase para un mismo uso de suelo en diferente estado se prosigue hasta que la imagen quede clasificada en un 90 - 95%.

A veces a pesar de definir más de una clase para un mismo uso de suelo, no se logra definir bien en su totalidad el uso de suelo y este se confunde con algún otro uso. En estos casos se recurre a algún otro algoritmo de clasificación para ver si con este proceso se define mejor el uso de suelo.

El algoritmo de mínimas distancias, por su característica de asignar el pixel al centro de uso más cercano no deja pixeles sin clasificar, motivo por el cual fue empleado para clasificar todos aquellos pixeles que el algoritmo de máxima - verosimilitud no clasificó.

3.3.2.5 Modelado

Del paso de clasificación anterior puede llegar a tenerse más de un plano de uso de suelo, producto de diversos algoritmos de clasificación o corridas con parámetros de clases diferentes, y que en cada plano existan usos de suelo que en los otros no pudieron ser definidos adecuadamente. La integración de todos estos planos en un solo mapa, donde las zonas cultivadas ya se encuentren adecuadamente definidas se lleva a cabo en el proceso de modelado.

Este proceso de modelado no es otra cosa que el establecimiento de reglas de decisión para integrar en una sola imagen todas aquellas clases que se encuentran bien definidas en los diferentes planos, así como para clasificar aquellos pixeles que no pudieron ser asignados por el algoritmo de máxima - verosimilitud.

3.3.2.6 Georeferencia

La georeferencia consiste en el cambio de orientación al norte geográfico y ajuste a una proyección cartográfica adecuada a las dimensiones del proyecto, ya que de origen la imagen tiene una

orientación de acuerdo a la trayectoria del satélite, influida por el movimiento de rotación de la Tierra, esta proyección es conocida por sus siglas en Inglés como SOM (*Space Oblique Mercator*).

El cambio se hace mediante la ubicación y registro de un mínimo de 12 puntos perimetrales localizados en la imagen en proyección SOM y que deben de coincidir con los de una imagen o un mapa en la proyección a la que deseamos cambiar. Para este proyecto se hizo la transformación a la proyección UTM, con el datum NAD27, que es al que INEGI ha referido su cartografía.

3.3.2.7 Suavizado

Tiene por finalidad generar áreas homogéneas de una misma clase, dado que por la resolución de la imagen tanto espacial como espectral, el resultado del proceso de clasificación es una imagen muy moteada, en la que se definen caminos, pequeños huecos en las clases, o manchones de una o más clases dentro de un bloque de uso de suelo de mayores dimensiones, etc.

Para lograr esta homogeneización se procede a aplicar a la imagen un filtro de moda que corre a través de una máscara o plantilla de 3 píxeles por 3 píxeles y que se desplaza a lo largo de toda la imagen.

3.3.2.8 Delimitación del área

La delimitación de la cuenca es uno de los pasos más importantes, pues en ella se basa la localización espacial de la zona, la ubicación de los usos del suelo y su cuantificación. Si los límites no están bien establecidos, la superficie que éste cubre es alterada y por ende las estadísticas que se obtienen son erróneas. Para llevar a cabo la delimitación, el material de apoyo empleado fue la cartografía escala 1: 250,000.

La delimitación se llevó a cabo a través de la poligonal cerrada que los envuelve, en forma directa sobre la imagen.

Una vez que se cuenta con la poligonal envolvente se lleva a cabo un proceso a través de la siguiente regla:

Todo lo que está dentro o sobre la envolvente conserva la información, todo lo que esté fuera de ella es borrado o asignado a cero.

La regla se aplica para cada una de las bandas que conforman la imagen y permite que únicamente se tenga información de las zonas de interés.

3.3.2.9 Depuración de la clasificación

Una técnica que no debe ser descartada en el proceso de clasificación de la imagen es la interpretación asistida por computadora. Las ventajas de esta técnica sobre las clasificaciones estadísticas son que además de las características espectrales de los usos se pueden aplicar criterios como textura, contexto, geometría y distribución de las geoformas, así como el conocimiento del personal técnico.

Dos clases pueden ser ubicadas en la misma región del espacio espectral, o en determinadas condiciones o estados dos usos de suelo pueden tener la misma respuesta espectral, sin embargo

mediante la aplicación de estos criterios los usos pueden ser separados.

El paso final para la generación de cada mapa de uso de suelo, es hacer una depuración de la clasificación preliminar mediante una interpretación visual que aplique los criterios antes mencionados, para evitar confusiones de clases o definición de nuevos usos.

La depuración fue apoyada con información documental y cartográfica recopilada.

El resultado de la depuración produce el mapa final de zonas agrícolas de riego y sus estadísticas.

3.3.2.10 Construcción del Mosaico

Se denomina mosaico a la integración física de cada cuenca en un solo archivo, ya que por su dimensión y distribución territorial, fue necesario unir cada parte de ella localizada en diferentes imágenes, eliminar zonas de traslape para tener una correcta cuantificación y homogeneizar los valores de atributo asignados a cada clase, de manera que coincidieran en forma adecuada.

Por último se construye su tabla de color y se etiqueta cada atributo con el nombre de uso al que corresponde, de manera que a los ojos del usuario, presente una idea clara de la distribución de los usos evaluados.

3.4 IMÁGENES DE RADAR

3.4.1 Generalidades

Característica común de los sistemas activos es su capacidad de emitir un haz energético, que posteriormente recoge tras su reflexión sobre la superficie que se pretende observar. Entre ellos el sistema más conocido es el radar, radiómetro activo de micro-ondas que trabaja en una banda comprendida entre 0.1 cm y 1 m. Gracias a su flexibilidad –puede trabajar en cualquier condición atmosférica-, el radar está ganando la atención de la comunidad científica internacional, especialmente para su aplicación a países en donde resulta casi persistente la cobertura de nubes (Chuvieco 1995).

La intensidad de la respuesta del radar se ve influenciada por varios factores, entre los más importantes se encuentran los siguientes:

- * La **frecuencia** (o número de ciclos por segundo) del sistema,
- * El **ángulo de incidencia** de la señal de radar, y
- * La **polarización** de ésta;

Además influyen aspectos tales como la **rugosidad** de la superficie terrestre (determinada en función de la frecuencia del radar).

Desde el punto de vista geométrico, un objeto en la superficie terrestre se puede comportar como retrodispersor especular (envía prácticamente toda la señal de radar lejos de la antena del sistema), por lo que aparecerá en las imágenes en un tono de gris oscuro a negro. También un objeto puede comportarse como un retrodispersor difuso (envía una cierta cantidad de señal de regreso a la antena de radar), por lo que aparecerá en las imágenes en tono de gris a gris claro. El efecto de retrodispersión especular y/o retrodispersión difusa esta en función de la frecuencia en la que opera un determinado sistema de radar y de las características geométricas del objeto.

La textura es una cualidad que se refiere a la aparente rugosidad o suavidad de una región de la imagen; en definitiva, al contraste espacial entre los elementos que la componen. La textura de la imagen procede de la relación entre el tamaño de los objetos y la resolución del sensor. Cuando un objeto ocupa una superficie inferior a 1mm^2 en la imagen no puede identificarse individualmente, sino solo a través de la variabilidad espacial que provoca. De esta forma, en función del tamaño de los objetos se distingue:

- * Textura rugosa cuando los objetos están comprendidos entre 0.25 y 1mm^2 a la escala de la imagen.

- * Textura media, objetos comprendidos entre 0.04 y 0.25mm² ,y
- * Textura fina, objetos inferiores a 0.04 mm² .

En cualquier caso, el criterio de textura es muy importante para discriminar determinadas cubiertas que puedan ofrecer un comportamiento espectral uniforme (Ibid).

Otro fenómeno geométrico importante que ocurre en las imágenes de radar, es la retrodispersión especular en esquina. Esta ocurre cuando un objeto en la superficie de la tierra se comporta como especular, pero existen objetos en ángulos cercanos a los 90 grados que sobresalen significativamente de la superficie especular. Tal es el caso de las zonas urbanas, en donde el pavimento de las calles y avenidas es un retrodispersor especular, pero existen edificaciones (y en general toda la infraestructura urbana) que también es una superficie especular por lo que una gran cantidad de la señal es enviada de regreso a la antena del radar. Este fenómeno también ocurre en zonas inundables, en donde el espejo de agua es una superficie especular, pero los troncos y tallos de la vegetación emergente crea el fenómeno de retrodispersión en esquina.

Las propiedades de las imágenes de radar determinan el tipo de rasgos de la superficie terrestre que pueden interpretarse. Las

zonas inundadas en áreas abiertas y desprovistas de vegetación se comportan como retrodispersores especulares, por lo que se visualizan en tonos de gris oscuro a negro. Esta misma tonalidad se presenta en áreas abiertas (tales como campos de cultivo) ya que normalmente no presentan irregularidad en su superficie.

La polarización refiere a la forma en la cual son transmitidas y recibidas las señales del radar. Las dos formas más importantes son la polarización semejante, cuando la señal emitida y recibida tienen la misma polarización (Horizontal-Horizontal o Vertical-Vertical), y la cruzada, cuando varía la polarización entre la señal emitida y la recibida (Horizontal-Vertical o Vertical-Horizontal). La dirección con que la señal está polarizada influye en el flujo de retorno, puesto que el eco del radar es selectivo a la dirección de propagación. Dado el tipo de sensor manejado en este estudio (un radar de Banda C, 5.6 cm de longitud de onda, con polarización HH), también podemos encontrar el fenómeno de retrodispersión en esquina en zonas en donde la vegetación presente sobresale del espejo de agua. Debido a que el tipo de sensor empleado, la retrodispersión en las zonas inundadas podrá tener valores muy bajos (zonas abiertas) o relativamente altos en donde ocurra el fenómeno de reflexión en esquina.

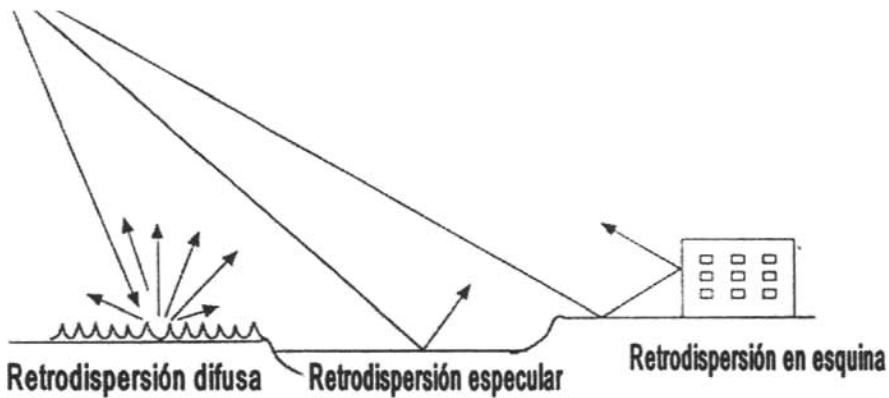
El tipo de observación más importante se basa en la utilización de los llamados sensores activos que emiten su propio flujo de energía, el cual al incidir sobre las cubiertas es retrodifundido y registrado por el mismo sensor. Es necesario destacar que el término retrodifusión tiene un significado muy semejante al de reflectancia, usado para la región visible en el espectro electromagnético.

Cuando el sensor emite un flujo de energía, una parte considerable es retrodispersado por la superficie terrestre. El tipo de retrodispersión depende de la naturaleza de la cubierta en que incide el flujo de energía y estos son:

Retrodispersión difusa. Cuando el flujo después de incidir sobre la superficie, se dispersa en la atmósfera.

Retrodispersión especular. Cuando el flujo es reflejado por la superficie en la que incide.

Retrodispersión en esquina. Cuando el flujo es regresado, con la misma dirección en que fue emitido.



Fuente:., Manual de Geología, Radarsat Canadá 1996

Por lo tanto, cuando el sensor recibe la señal de regreso, ésta será muy distinta.

A pesar de que puede controlar las condiciones de emisión de flujo, las coberturas presentan un comportamiento variable y no hay un rasgo específico que las diferencie unas de otras. En esto influye el ángulo de incidencia, la polarización, la geometría y la rugosidad de la superficie; así como sus características eléctricas.

3.4.2 Uso de Imágenes de RADARSAT

Las 26 Imágenes de Satélite de Radar utilizadas, tienen las siguientes características:

Resolución:	25 metros
Frecuencia:	banda C (5.3 Ghz)
Longitud de onda:	5.6 cm.
Polarización:	HH
Sensor:	activo
Antena:	SAR (Angulos de incidencia seleccionables)
Imagen:	Modo Standard
Cobertura:	100 x100 kms.

En total, se recibieron 26 imágenes de radar correspondientes a diferentes fechas entre octubre y noviembre del año 1993.

Evaluación de la calidad de los datos.

La tabla 1 muestra las características técnicas de dichas imágenes.

<i>ID</i>	<i>Fecha</i>	<i>Angulo de Incidencia</i>	<i>Nombre</i>
M0200357	Octubre 11	46.75	Frontera
M0200363	Octubre 28	46.95	Malpaso
M0200362	Octubre 28	46.95	Cárdenas
M0200358	Octubre 11	46.95	Macuspana
M0200359	Octubre 11	46.95	Chiapa de Corzo
C0024897	Noviembre 21	37.0 aprox	Tenosique
M0200360	Octubre 17	33.97	Tierra Blanca
M0200361	Octubre 19	46.95	Catemaco
M0200034	Noviembre 14	44.12	Las Choapas
M0199680	Noviembre 10	44.12	Naranjos
M0199683	Noviembre 10	44.12	Tlaxcala
M0199682	Noviembre 10	44.12	Tula
M0100681	Noviembre 10	44.12	Xicontepec
C0014646	Octubre 13	23.09	Huejutla
M0199101	Octubre 31	46.95	Nautla
C0014647	Octubre 13	23.09	Pachuca
M0198651	Octubre 24	46.95	Perote
C0014645	Octubre 13	23.09	Tampico

M0198304	Octubre 17	33.97	Veracruz
M0198359	Octubre 19	46.95	Acayucan
M0199537	Noviembre 7	46.95	Alvarado
M0197201	Octubre 11	46.95	Centla
M0198358	Octubre 19	46.95	Chimalapa
M0199102	Octubre 31	46.95	Paso de Ovejas
M0198650	Octubre 24	46.95	Poza Rica
M0198649	Octubre 24	46.95	Tamiahua

3.4.3 Evaluación de la calidad de los datos.

De las 26 imágenes de radar recibidas, solamente una (C0014647, Octubre 13, Pachuca), presentó defectos al bajar los datos a disco. Se recibieron dos copias de esta imagen y ambas presentaron el mismo error de lectura del CD. Los datos para esta imagen se bajaron "saltando" la línea defectuosa en la imagen.

Con respecto al ruido (speckle noise) en las imágenes RadarSat, la imagen de la zona de Tampico (C0014645) presentó niveles excesivos de ruido en la zona costera y mar abierto, lo que limitó su uso en la interpretación de los datos.

3.4.4 Determinación de Registros

Hemos desarrollado un proceso de determinación de registros en las imágenes de radar basándonos en la selección de puntos de control obtenidos a partir de mapas del INEGI, de la serie 1:50,000. Cada imagen registrada incluye varios mapas de esta serie en donde puede obtenerse un aproximado de 100 puntos de control por imagen.

Cabe señalar la dificultad encontrada en esta tarea debido a la desusualmente pobre resolución de las imágenes RadarSat. Una regla empírica en este tipo de procesos, indica que se deben emplear como puntos de referencia rasgos que puedan identificarse en las imágenes y en los mapas y que sean "fijos" (cruces de caminos, ferrocarriles, rasgos urbanos, etc.), es decir rasgos construidos por el ser humano. En el caso de la mayoría de las imágenes recibidas para el estudio, fue muy difícil o prácticamente imposible identificar este tipo de puntos por lo que se recurrió a puntos obtenidos en los rasgos hidrológicos (ríos, lagunas, presas, líneas de costa, etc.) en las imágenes, esto implica que el nivel de incertidumbre en la labor de establecer registros es mayor ya que los cuerpos de agua tienden a cambiar con el tiempo o los niveles de los lagos y ríos cambian de una temporada a otra.

3.4.5 Mosaicos

Por Orbita y Zona

Otra tarea importante indicada en el proyecto de trabajo fue la elaboración de mosaicos de las imágenes de radar. Para esto se decidió elaborar cuatro mosaicos con base en la distribución de las imágenes recibidas. Estos mosaicos son:

MOSAICO	IMÁGENES QUE CONFORMAN
Zona Norte:	C0014645, C0014646, C0014647, M0199680, M0199681, M0199682, M0199683, M0198649, M0198650 y M0198651
Zona Centro:	M0199101, M0199102, M0198304 y M0200360
Zona Istmo:	M0200361, M0198359, M0198358, M0199537 y M0200034
Zona Sur:	M0200362, M0200363, M0200357, M0297201, M0200358 y M0200359

La creación de los mosaicos representó un manejo masivo de información ya que los datos de radar se distribuyen en un formato de 16 bits, por lo que cada imagen representa entre 200 o 250

megabytes de almacenamiento. Al combinar las imágenes, primero por órbitas y posteriormente en los mosaicos finales, se manejaron archivos de datos 1.5 a 1.8 Gigabytes.

Tal y como se observa en las figuras de dichos mosaicos, se presentaron problemas con la tonalidad de algunas imágenes, principalmente debido a los cambios en el ángulo de incidencia de la señal de radar entre las órbitas del satélite. Para minimizar este efecto se procedió (en algunos casos), a realizar una ecualización del histograma de tipo Gaussiano. Este realce desafortunadamente cambia los valores digitales de las imágenes, lo cual afecta el procesamiento posterior de las mismas.

3.4.6 Filtrado

El moteado, que es un proceso "similar al ruido" inherente que degrada la calidad de la imagen en un sistema de formación de imágenes coherentes; y se debe en la variación en el retardo de fase del eco causada por blancos múltiples en una célula de resolución con variaciones de distancia que difieren en menos de una longitud de onda.

Al utilizar conjuntos independientes de datos para obtener promedios de muestras independientes, se puede reducir el efecto de las motas o "ruido". Tal y como se indica, los datos de radar deben filtrarse para eliminar el ruido (speckle noise) de las imágenes. Con base en los trabajos desarrollados en gabinete, se decidió utilizar una combinación de filtros consistentes en la siguiente serie:

<i>Iteración</i>	<i>Filtro</i>	<i>Ventana</i>
1 ^a .	Lee-Sigma	3x3
2 ^a	Lee-Sigma	5x5

El filtro Lee-Sigma utiliza la distribución estadística de los valores digitales en una ventana móvil para estimar el valor resultante del pixel del centro de la ventana.

Las figuras 1 a 4 muestran el resultado final de los mosaicos de las imágenes filtradas para el estudio. En dichas figuras se puede observar la disminución aparente del ruido en las imágenes.

3.4.7 Textura

Los datos de radar reflejan en buena medida la estructura tridimensional de la superficie terrestre, puesto que las imágenes RadarSat se producen en una sola frecuencia y polarización, una estrategia para aumentar la dimensionalidad de los datos es la extracción de la “textura” en las imágenes de radar. Para los fines de este trabajo se procedió a la extracción de textura de los mosaicos de las imágenes.

3.4.8 Integración DEM's

Como parte de la estrategia de manejo de información, se desarrollaron Modelos de Elevación Digital (DEM's) que son bases de datos topográficos a partir de los datos de la cartografía digital del INEGI. Esto con la finalidad de discriminar las zonas inundables de las que no lo son, durante el proceso de clasificación, para llevar a cabo una correcta evaluación de las zonas afectadas por las inundaciones.

3.4.9 Mosaicos por Cuenca

Con el preprocesamiento por órbita/zona terminados, se crearon los mosaicos de los datos de radar por cuenca, en estos archivos se incorporaron los datos de radar filtrados, textura, pendiente y elevación. En total, se elaboraron nueve mosaicos, correspondientes a las cuencas de los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Actopan, Papaloapan (dividido en dos subconjuntos por estar ubicada en dos zonas de la proyección UTM), Coatzacoalcos y Grijalva.

3.4.10 Criterios para la clasificación

Para la identificación de las áreas inundadas por cuenca, se decidió emplear el conjunto de datos generados en la sección “Mosaicos por Cuenca” de la fase de Preprocesamiento. Este conjunto de datos era el único que proporcionaba información consistente a lo largo de todas las cuencas.

Se decidió eliminar el uso de los datos de múltiple ángulo de incidencia por ocurrir solo en pequeñas áreas de algunas de las cuencas, a fin de poder realizar análisis consistente a lo largo de toda la cuenca.

Para la clasificación de los datos se decidió utilizar 4 grandes categorías de condición: Agua, Zonas Inundadas, Tierras Altas y Zonas Urbanas. Para identificar estas categorías se empleó un algoritmo de análisis de agrupamientos (cluster), en donde se le pedía a la maquina que identificara de entre 25 a 45 diferentes “clases espectrales”, posteriormente, estas “clases espectrales” fueron asociadas a cualquiera de las cuatro categorías arriba mencionadas. Posteriormente se procedió a la clasificación de los datos, los cuales al terminar fueron recodificados a las cuatro categorías. Para eliminar el efecto conocido como “salt & pepper” (sal y pimienta) en la clasificación final, se les aplicó un filtro de tamaño de ventana de 7x7 pixeles y algoritmo de selección de mayoría.

3.4.11 Cobertura

Los mosaicos por cuenca de los datos de radar fueron presentados a la CNA en 8 figuras. Estos mosaicos muestran el cubrimiento de datos Radarsat de las ocho cuencas estudiadas. Las cuencas que fueron cubiertas en su totalidad fueron: Tuxpan,

Cazones, Tecolutla y Grijalva. Las otras cuencas fueron cubiertas en los siguientes porcentajes:

Cuenca	% de cobertura	% Afuera
Tuxpan	100	0
Cazones	100	0
Tecolutla	100	0
Grijalva	100	0
Nautla	98.97	1.03
Actopan	98.32	1.68
Papaloapan (14)	51.40	48.60
Papaloapan (15)	67.35	32.65
Coatzacoalcos	77.62	22.38

3.4.12 Estadísticas de zonas de inundación

La clasificación de los datos por cuenca se presentaron a la CNA en las figura, y los resultados numéricos se presentan en las siguientes tablas, en las que se muestran el número de pixeles, porcentaje y equivalente en hectáreas para cada una de las cuatro

categorías analizadas; además se incluye la información de las áreas no cubiertas por las imágenes de radar (Clase 0, Afuera).

Tuxpan

Zone layer name: /data/radarsat/flood/cookies/tuxpan3.img

Class layer name: /data/ers/flood/radar/mosaics/tuxpan_clas_final2.img

Class Name	Count.		Hectáreas
1 Agua	302072	0.80%	4,719.88
2 Inundación	2139551	5.64%	33,430.48
3 Tierras Altas	35093143	92.43%	548,330.36
4 Urbano/construcción	431135	1.14%	6,736.48
Total	37965901	100.0%	593,217.20

Cazones

Zone layer name: /data/radarsat/flood/cookies/cazones3.img

Class layer name: /data/toms/flood/radar/mosaics/cazones_clas_final2.img

Class Name	Count.		Hectáreas
1 Agua	467753	1.91%	7,308.64
2 Inundación	2431956	9.94%	37,999.31
3 Tierras Altas	21543486	88.05%	336,616.97
4 Urbano/construcción	25308	0.10%	395.438
Total	24468503	100.0%	382,320.36

Tecolutla

Zone layer name: /data/radarsat/flood/cookies/tecolutla3.img

Class layer name: /data/mercator/tecolut_clas_final2.img

Class Name	Count.		Hectáreas
1 Agua	461103	0.92%	7,204.73
2 Inundación	506639	1.01%	7,916.23
3 Tierras Altas	48624142	97.35%	759,752.22
4 Urbano/construcción	358319	0.72%	5,598.73
Total	49950203	100.0%	780,471.92

Nautla

Zone layer name: /data/radarsat/flood/cookies/calipa3.img

Class layer name: /data/ikonos/flood/radar/mosaics/calipa_clas_final3.img

Class Name	Count.		Hectáreas
0 Afuera	339233	1.03%	5,300.52
1 Agua	495080	1.51%	7,735.63
2 Inundación	20584	0.06%	321.625
3 Tierras Altas	31692596	96.62%	495,196.81
4 Urbano/construcción	253919	0.77%	3,967.48
Total	32801412	100.0%	512,522.06

Actopan*

Zone layer name: /data/radarsat/flood/cookies/actopan3.img

Class layer name: /data/seasat//imagenes/flood/mosaics/actopan_clas_final.img

<i>Class Name</i>	<i>Count.</i>		<i>Hectáreas</i>
0 Afuera	1090695	1.68%	17,042.11
1 Agua	1227612	1.89%	19,181.44
2 Inundación	10405	0.02%	162.578
3 Tierras Altas	63054230	97.12%	985,222.34
4 Urbano/construcción	626005	0.96%	9,781.33
Total	64922361	100.0%	1'014,411.891

* El área fuera de las imágenes de radar se incluyó dentro de la categoría "Tierras Altas" por fotointerpretación de las imágenes.

Papaloapan (zona 14)

Zone layer name: /data/radarsat/flood/cookies/papaloapan_14.img

Class layer name: /data/cassini/flood/radar/mosaics/papalooa_clas_final2.img

<i>Class Name</i>	<i>Count.</i>		<i>Hectáreas</i>
0 Afuera	46165811	48.60%	721,340.80
1 Agua	2576574	2.71%	40,258.97
2 Inundación	0	0.00%	0
3 Tierras Altas	45573263	47.97%	712,082.23
4 Urbano/construcción	682542	0.72%	10,664.72
Total	94998190	100.0%	1'484,346.719

Papaloapan (zona 15)

Zone layer name: /data/radarsat/flood/cookies/papaloapan_15.img

Class layer name: /data/sirc/flood/radar/papaloapan_clas_fin2.img

<i>Class Name</i>	<i>Count.</i>		<i>Hectáreas</i>
0 Afuera	32630011	32.65%	509,843.92
1 Agua	3793397	3.80%	59,271.83
2 Inundación	341497	0.34%	5,335.89
3 Tierras Altas	62902799	62.95%	982,856.23
4 Urbano/construcción	263403	0.26%	4,115.67
Total	99931107	100.0%	1'561,423.547

Coatzacoalcos

Zone layer name: /data/radarsat/flood/cookies/coatza2.img

Class layer name: /data/miller/flood/radar/mosaics/coatza_clas_final2.img

<i>Class Name</i>	<i>Count.</i>		<i>Hectáreas</i>
0 Afuera	30674913	22.38%	479,295.52
1 Agua	3868369	2.82%	60,443.27
2 Inundación	1437071	1.05%	22,454.23
3 Tierras Altas	100417158	73.25%	1,569,018.09
4 Urbano/construcción	689447	0.50%	10,772.61
Total	137086958	100.0%	2'141,983.719

Grijalva

Zone layer name: /data/radarsat/flood/cookies/grijalva2.img

Class layer name: /data/skylab/flood/radar/mosaics/grijalva_clas_final1.img

<i>Class Name</i>	<i>Count.</i>		<i>Hectáreas</i>
1 Agua	7686648	5.29%	120,103.88
2 Inundación	15519683	10.68%	242,495.05
3 Tierras Altas	120841512	83.16%	1888148.625
4 Urbano/construcción	1248903	0.86%	19,514.11
Total	145313268	100.0%	2'270,519.812

La figura 17 muestra los porcentajes de inundación por cuenca, para poder evaluar mejor estos impactos, en la figura 18 se eliminó la clase "Tierras Altas". Las cuencas más afectadas fueron las de los ríos Grijalva, Cazones y Tuxpan, con proporciones de 10.6%, 9.9% y 5.6% respectivamente.

Como resultado de la suma de los porcentajes de las clases "Agua" e "Inundaciones"; la cuenca del río Grijalva, se encontraba bajo el agua cerca del 16% del territorio; la del río Cazones cerca del 12% y la del río Tuxpan arriba del 6% del área.

Además, resulta interesante plasmar en forma gráfica el somero análisis estadístico que de los resultados de la interpretación de las imágenes de radar surgieron:

Porcentaje de áreas afectadas
(completa)

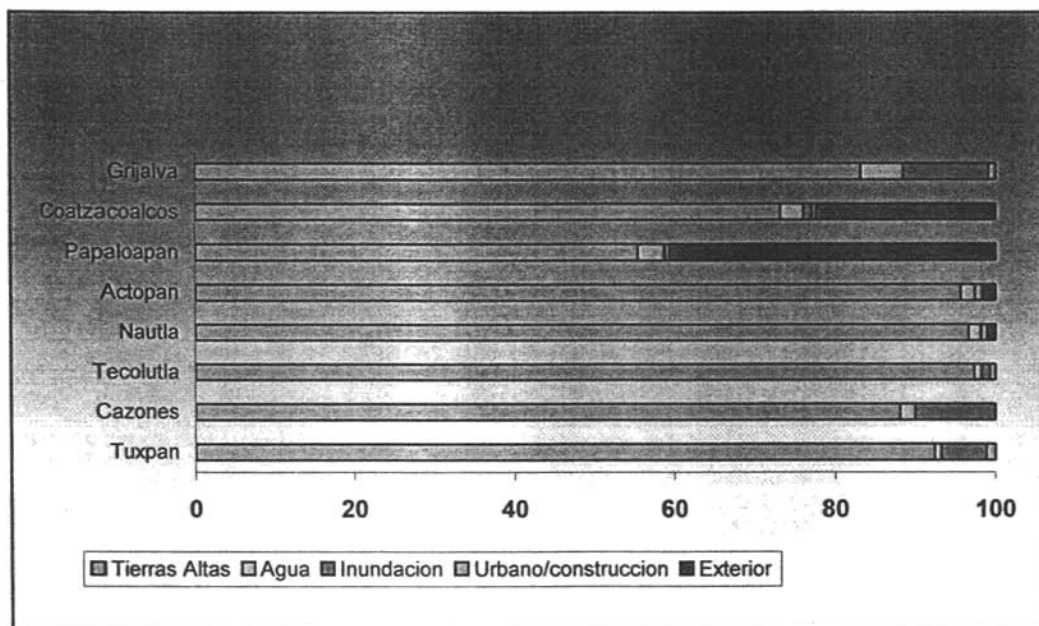


Figura 17. Porcentajes de las cuatro categorías clasificadas con las imágenes de radar. Fueron tomadas en cuenta aquí, a las superficies que en las cuencas Coatzacoalcos, Papaloapan, Actopan y Nautla no fueron incluidas en las imágenes. Cabe resaltar que en este gráfico, Papaloapan fue tomada como unidad completa sin tomar en cuenta la división UTM.

Proporción de áreas afectadas
(sólo agua, inundadas y urbana)

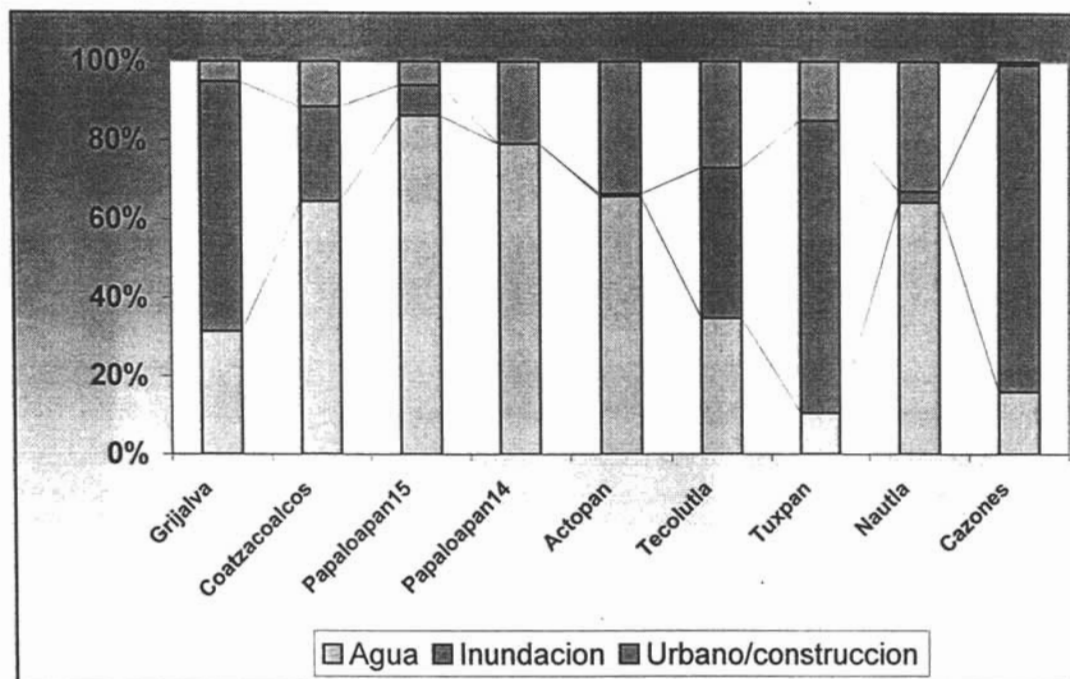


Figura 18. Porcentajes de las cuatro categorías clasificadas con las imágenes de radar, sin tomar en cuenta las clases "Tierras Altas" y "Exterior".

Superficie de cuencas
(en miles de hectáreas)

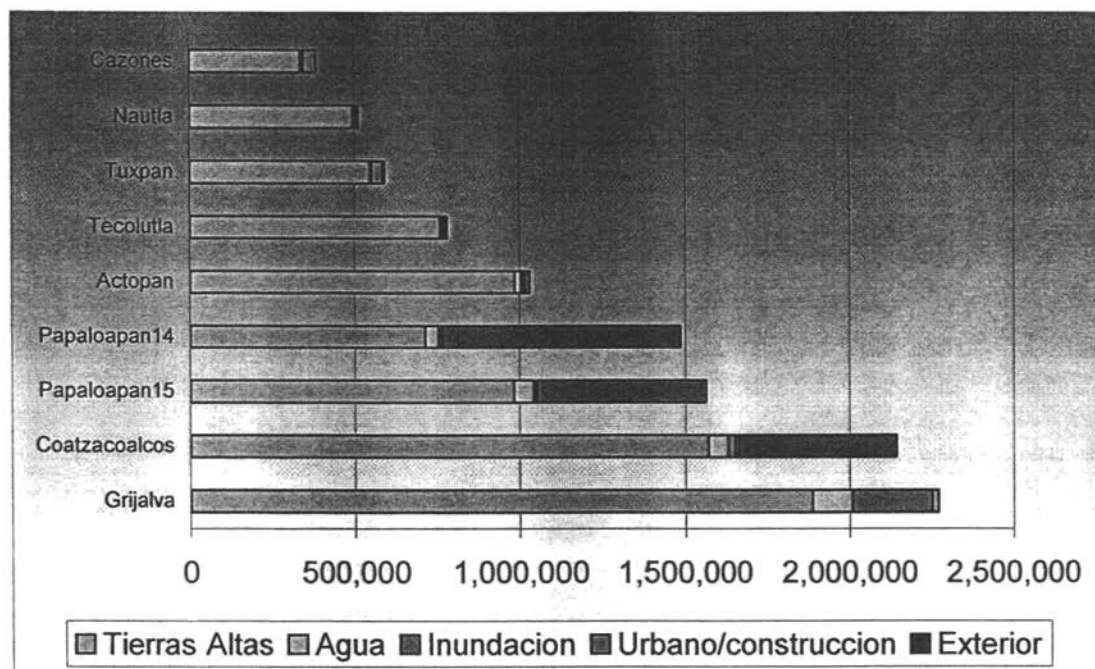


Figura 19 Muestra números absolutos en miles de hectáreas por clasificación del terreno. Aquí la cuenca Papaloapan fue tomada con su división UTM debido a la gran extensión que ocupa la cuenca completa.

Proporción de hectáreas inundadas por cuencas

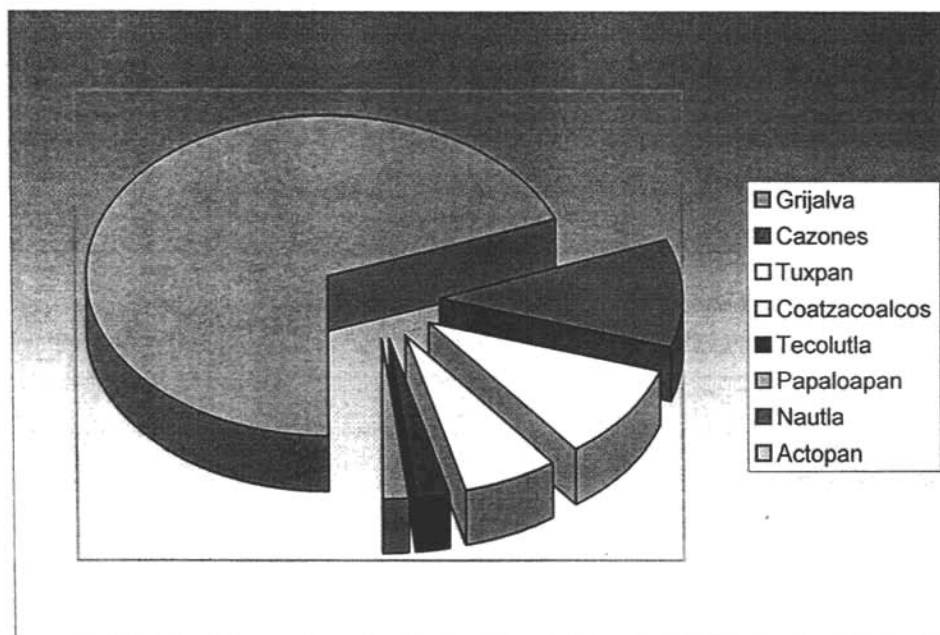


Figura 20 Muestra la proporción según número de hectáreas inundadas en cada cuenca

IV. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Los objetivos centrales del proyecto fueron cubiertos de conformidad a la previa estimación de límites y alcances del mismo.

Existen dos niveles de productos que resulta conveniente ponderar en el presente, en función de la utilidad que dichos resultados puedan tener, a saber:

1. Las estimaciones de desastres derivados de un fenómeno natural a través de la metodología y el uso de los instrumentos de captación de información digital aquí descritos que se restringe estrictamente a estimar las inundaciones. Generar nuevas herramientas de análisis que puedan ser confrontadas con las ya existentes y que son útiles y vastamente experimentadas técnicas de construcción de cartografía temática, esto es, la capacidad para confrontar la cartografía obtenida en formato digital de imagen con la información digital del INEGI o cualquiera otra fuente que describa la Geología, Uso de suelo, Edafología e Hidrología superficial entre otros.
2. La sobreposición del mapa de localidades en la cartografía lograda a partir de las imágenes del radar ofrece, en proporción a la actualidad de la información de población y

vivienda, una estimación en gabinete con la que sería posible cuantificar programas de ayuda emergente a la población civil y en consecuencia, una idea más aproximada y oportuna de los recursos que habrán de ser necesarios en las acciones de prevención y apoyo.

Con lo anterior, podemos concluir que los parámetros normalmente utilizados para valorar los efectos de un fenómeno meteorológico extremo, como el ocurrido durante el verano de 1999, pueden ahora ser vistos con otras ópticas en función de la cantidad y la calidad de los instrumentos de medición de los mismos, es decir, que la ecuación que resulta de la cantidad de lluvia precipitada por unidad de tiempo sobre superficie de terreno y la permeabilidad del suelo, nos ofrece ciertamente un dato valioso para la valoración del impacto físico del meteoro sobre la superficie, habitada o no, de la Tierra; así como la cantidad de población afectada, la cuantificación de las pérdidas y la superficie de tierra cultivada desaparecida, nos da una idea clara de la magnitud de lo que el desastre significa en términos de desarrollo de las localidades; pero la utilización de las imágenes de satélite óptico o de radar para el análisis del desastre *a posteriori* y la conformación de una archivo digital que contenga no únicamente los relatos y/o las estadísticas de los instrumentos meteorológicos de medición, sino también una imagen que muestre

las capacidades destructivas de la presencia de un fenómeno meteorológico de magnitudes determinadas en determinadas unidades de tiempo, así como la atención y la planeación de sitios de apoyo a la población que se encuentren con la proximidad suficiente como para el rápido acceso a ellas, y por otro lado la lejanía bastante como para que dichos centros de atención se encuentre lo más protegidos de los efectos de este u otro tipo de fenómenos destructivos.

V. REFLEXIONES DESDE LA GEOGRAFÍA

5.1 Generalidades

La exploración del planeta Tierra ha sido una de las principales inquietudes del hombre desde la época prehistórica. Su atención se ha visto atraída por una poderosa necesidad de saber qué se encuentra más allá de sus dominios.²

La mayor parte de la información que el ser humano obtiene con respecto del medio que lo circunda, la percibe mediante el sentido de la vista, es decir: que la ve, o por lo menos representa éste uno de sus sentidos primarios y fundamentales en el proceso de obtener información que le permite habitar y desarrollarse en un mundo que no ha terminado de conocer, de ahí, la describe, la analiza, la clasifica, traza parámetros de comparación con respecto de otras muchas informaciones que ha captado ya en el pasado, trata de integrarla como parte de un mecanismo que, por un lado, es producto y antecedente a la vez de un complejo sistema, de cómo el planeta funciona, y de cuál es su papel como habitante, y por otro lado, sienta también un precedente clave para describir, analizar y

² Lira, J., LA PERCEPCIÓN REMOTA: Nuestros ojos desde el espacio. , Col. La ciencia desde México No. 33 SEP-FCE- CONACyT

clasificar muchas otras informaciones que en el futuro habrá de obtener e integrar al sistema.

La suma de todo este conocimiento de los hechos y fenómenos del mundo que habita, ya enmarcado dentro de parámetros teóricos y conceptuales, experimentado y sometido al actuar de diversas variables controladas sobre éste, y enunciado como una verdad sin atisbo de duda, es conocido genéricamente como conocimiento científico. De aquí parte, toda la certidumbre que el ser humano como especie ha adquirido con respecto del mundo que habita y que en buena medida ha construido a partir de su cultura.

Pero este llamado conocimiento científico que comenzó a generarse desde los orígenes de la historia humana sobre la Tierra es, igual que el hombre mismo y todo su entorno natural y cultural sujeto de evolución y perfeccionamiento. No es ahora solo la descripción de los fenómenos que se suceden sobre la superficie de la Tierra, sino es necesario conocer su origen, sus consecuencias, sus capacidades destructivas, su utilidad y sus límites, los elementos que la hacen posible, la manera de provocarlos y evitarlos. Para ello, la tecnología, como una consecuencia de la historia y el actuar del hombre, se encuentra íntimamente vinculada al desarrollo del

conocimiento científico, ofrece mecanismo que le permiten someter a prueba su conocimiento y poder validarlo o rectificarlo de ser necesario. Así, recursos tecnológicos tales como microscopios, telescopios, mecanismos de ingeniería, hasta satélites y computadoras para destacar a los más recientes entre una innumerable lista de mecanismos, hacen posible el desarrollo de un conocimiento que es más preciso en sus alcances y limitaciones, pero al mismo tiempo, precisamente esos recursos tecnológicos son producto de avances de la ciencia que hizo posible su diseño, construcción y utilización para promover nuevos avances.

5.2 Desde la Cartografía

Despejar las interrogantes que son propias del quehacer de la geografía acerca de los fenómenos que suceden en el planeta y afectan de manera directa o tangencial al ser humano y sus actividades, son primordialmente ¿en dónde suceden?, ¿por qué suceden ahí? Y ¿qué los provoca y a quiénes afecta?. Sin lugar a duda, la búsqueda de respuestas a estas interrogantes requieren de modelos escalables que hagan posible el análisis del conjunto de factores que contiene dicho fenómeno, y para ello, una base cartográfica es fundamental.

El devenir histórico de la cartografía que hoy conocemos es un ejemplo claro de esta consecución de aportes tecnológicos y descubrimientos científicos. Desde el acto primigenio de ascender cumbres para lograr ángulos de visibilidad con coberturas más amplias, sobrevuelos y la posibilidad de montar sensores fotográficos en globos, aviones o satélites que permiten obtener imágenes de la superficie de la Tierra, marcan hitos en la historia de esta disciplina que a su vez ha posibilitado el contar con recursos de mayor precisión para los diferentes fines que los distintos productos cartográficos existen. El objeto de la cartografía consiste en reunir, analizar y procesar la información obtenida en las diversas regiones de la Tierra y representar éstas gráficamente a una escala reducida, cuidando que todos los elementos y detalles sean claramente visibles, facilitando la lectura e interpretación de los aspectos graficados³

5.3 Desde la Geografía

En sentido estricto y para atender a las definiciones clásicas y aún las más audaces de lo que la geografía es, una ciencia que prospera dentro del ámbito humano y natural donde el hombre desarrolla toda suerte de actividades que le son apropiadas por la vía de su propia cultura.

Los innegables avances tecnológicos que se manifiestan a finales del siglo XX marcaron un parteaguas en materia de informática y en las telecomunicaciones no solamente no pueden ser soslayados en el quehacer científico sino que revolucionan de manera irreversible las técnicas y los métodos de la Geografía, y obligan a traducir al nuevo lenguaje de la informática toda la información hasta entonces obtenida.

Pero si bien es cierto que la Geografía depende de la capacidad que tiene de generar todo tipo de información y traducirla en datos y elementos gráficos susceptibles de ser representados Por otro lado la necesidad que la Geografía de mantenerse como ciencia integradora de los elementos del paisaje resulta beneficiada en tanto se incrementan las posibilidades de relacionar “el mundo natural con la actividad humana”⁴

La percepción remota es entonces, una herramienta importante propia del siglo XX que ofrece posibilidades de análisis en el campo del estudio de la superficie terrestre, pero las relaciones de ésta con la actividad humana, su calidad de vida, sus procesos

³ Caire, J. CARTOGRAFIA BÁSICA, FFyL, UNAM, 2002

⁴ Gomez, J.; Muñoz, J;y Ortega, N El Pensamiento Geográfico, Estudio Interpretativo y Antología de textos 1982. Alianza, Madrid. P.58

económicos o su herencia o proyección cultural como grupo humano, queda como antes en manos de la Geografía propiamente dicha y no de los Geólogos, los Geofísicos o los edafólogos que son quienes en primera instancia serían los más apoyados por estas herramientas.

En todo caso, los problemas exigen soluciones integradoras. Es preciso establecer cada vez más diálogos interdisciplinarios, situarse en posiciones metadisciplinarias, lo que significa estar atento a los desarrollos de otras disciplinas. Eventualmente, ello significa también combinar la economía y la antropología, la geografía y la economía, la sociología o la ciencia política, la geografía con la ecología o la ciencia medioambiental. Todo ello según las necesidades de los problemas que se estudian⁵

⁵ Capel, Horacio. Una geografía para el siglo XXI. Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona N° 19, 15 de abril de 1998

Bibliografía

BITRAN, D., *Evaluación del Impacto económico de las lluvias ocurridas en octubre de 1999 en el estado de Veracruz*, CENAPRED, Cuadernos de Investigación No. 50, febrero de 2000

CAIRE, J., *Cartografía Básica*, FFyL, UNAM, 2002

CAPEL, H., *Una Geografía para el siglo XXI*. SCRIPTA NOVA, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona No. 19, 15 de abril de 1998

CHUVIECO, E., *Fundamentos de Teledetección Espacial*, RIALP, Madrid, 2000

GOMEZ, J.; J. MUÑOZ y N, ORTEGA., *El Pensamiento Geográfico, Estudio Interpretativo y Antología de Textos*, Alianza, Madrid, 1982

LIRA, J., *LA PERCEPCIÓN REMOTA, NUESTROS OJOS DESDE EL ESPACIO*. Col. La ciencia desde México No. 33, FCE-SEP-CONACyT, México, 1987

RADARSAT, *Manual de Geología*, RadarSat – Space, 1998

Glosario

BANDA ESPECTRAL. Se refiere éste término a una selección de longitudes de onda con comportamientos electro-magnéticos similares.

CLASIFICACIÓN DIGITAL. Proceso por el que se asigna un pixel de una imagen multiespectral a una de las categorías de la leyenda, generalmente sobre la base de similitudes entre los valores numéricos que las definen.

DEM. Técnica de análisis estéreo donde una computadora ingesta información desde un par estereoscópico digitalizado y produce un mapa digital corregido geoméricamente con mediciones de elevación correlacionadas.

DETECCIÓN DE CAMBIO. Se le denomina de ésta manera a cualquier técnica que permita señalar sobre dos o más imágenes multiespectrales de diferente fecha, aquellas zonas que han experimentado transformaciones.

EMISIVIDAD. Proporción entre la energía emitida por un determinado objeto y la que emitiría un cuerpo negro a la misma temperatura.

FRECUENCIA. Número de ciclos por segundo que pasan por un punto fijo.

IMAGEN. Una matriz de datos representada pictóricamente adquirida en cualquier longitud de onda del espectro electromagnético.

LANDSAT. Serie de satélites construidos por la NASA dedicados específicamente a la detección y valoración de recursos naturales.

MOSAICO. Imagen compuesta que resulta de la unión de imágenes individuales que cubren áreas adyacentes.

PUNTOS DE CONTROL. Se trata de elementos geográficos que pueden ser localizados precisamente en una imagen y en un mapa para ser empleados en la corrección cartográfica de dicha imagen.

RADAR. Un acrónimo para Detección de Radio y Alcance. El radar es una forma activa de percepción remota que opera en las regiones de longitud de onda de microondas y radio.

SISTEMA ACTIVO. Se habla de sensores activos, cuando son capaces de emitir sus propias ondas electro-magnéticas, y grabar posteriormente el haz reflejado por el objeto bajo estudio.

SISTEMA PASIVO. Se refiere a un sistema sensor que detecta la radiación emitida desde el objeto o proveniente de cualquier otra fuente y reflejada por él.

VENTANA ATMOSFÉRICA. Porción del espectro en la que la atmósfera ofrece poca atenuación a la radiación electromagnética.

