

## FUENTES DE FOTOGRAFIA LFC

Chicago Aerial Survey, Inc.  
LFC Department  
2140 Wolf Road  
Des Plaines, Illinois 60018, U.S.A.

Martel Laboratories  
7100 30th Avenue North  
St. Petersburg, Florida 33710, U.S.A.

U.S. Geological Survey  
EROS Data Center  
Sioux Falls, South Dakota 57198, U.S.A.

### D. Aplicación de tecnologías de percepción remota a evaluaciones de peligros naturales

Para la evaluación de peligros naturales, en el contexto de estudios de planificación para el desarrollo integrado, no es necesario disponer de imágenes de percepción remota en tiempo real o casi real. Lo que se requiere es habilidad para definir áreas potenciales de exposición a peligros naturales, identificando su ocurrencia en el pasado y las condiciones bajo las cuales podrían volver a ocurrir y, también, habilidad para identificar los mecanismos de prevención o mitigación los efectos de estos peligros. Esta sección considera la posibilidad práctica de detectar el potencial de inundaciones, huracanes, terremotos, erupciones volcánicas y peligros asociados, y deslizamientos de tierra, con la tecnología de percepción. Resultará evidente que algunos de estos peligros están interrelacionados, p.e., inundaciones y huracanes; terremotos, volcanes y deslizamientos de tierra.

La posibilidad de poder identificar estos peligros naturales o su potencial de ocurrencia depende de la resolución de la imagen, la escala de adquisición de los datos del sensor, la escala de trabajo, tomas sin nubosidad o neblina densa y del adecuado contraste de textura, tono o color. La disponibilidad de estéreo-modelos de la escena en estudio puede mejorar la interpretación enormemente. La Figura 4-7 muestra los atributos de percepción remota con satélites, a ser considerados en la evaluación de peligros naturales.

Luego de identificar un peligro, la formulación de medidas apropiadas de mitigación y planes de respuesta para el desarrollo, podrán requerir diferentes conjuntos de datos de sensores remotos. Estos datos adicionales de percepción remota, probablemente incluirán mayores detalles de la infraestructura, p.e., caminos e instalaciones. Es posible que esto tenga que ser derivado de fotografías aéreas.

### 1. INUNDACIONES

Las inundaciones son el más común de los peligros naturales que puede afectar a personas, infraestructura y medio ambiente natural. Ocurren de muchas maneras y en diferentes ambientes. Las inundaciones de ríos, que son las más frecuentes, se originan por prolongadas e intensas precipitaciones, rápido derretimiento de nieve en las cabeceras de vertientes, o por el ciclo regular de deshielo durante la primavera. Otras inundaciones son causadas por precipitaciones cortas pero extremadamente fuertes sobre terrenos relativamente planos, por el reflujos de estuarios debido a mareas altas que coincidan con inundaciones marinas fruto de tormentas, por falla de presas, rebalse de presas por efecto de derrumbes en el reservorio y seiches y mareas originados en grandes lagos por acción del viento. Ocasionalmente, una erupción sobre un glaciar, o en un pico volcánico cubierto de nieve, puede originar inundaciones o flujos de lodo a causa de los cuales el terreno es radicalmente modificado y cualquier desarrollo agrario es totalmente destruido, frecuentemente con cuantiosa pérdida de vidas. Ver el Capítulo 8 para una discusión más detallada sobre los peligros de inundación y, también, el Capítulo 11 para una discusión de inundaciones y flujos de lodo asociados a erupciones volcánicas.

Es imposible definir todo el potencial de inundación en un área determinada. Sin embargo, con los mejores datos pertinentes de percepción remota y un intérprete competente, se pueden encontrar o inferir evidencias de inundaciones potenciales. La evidencia más obvia del potencial de una importante inundación, además de los antecedentes históricos, es la identificación de una llanura inundable o de áreas inundables, generalmente reconocibles en imágenes de sensamiento remoto. La más valiosa aplicación de la percepción remota en las evaluaciones de peligros de inundación es, por lo tanto, la cartografía de áreas susceptibles a inundaciones.

La cobertura sinóptica con sensores de satélites, de una área de estudios de planificación es la alternativa

Figura 4-7

IMAGENES DE SATELITE APLICADAS A EVALUACIONES DE PELIGROS NATURALES

	TERREMOTOS	ERUPCIONES VOLCANICAS	DESGLIZAMIENTOS DE TIERRAS	TSUNAMIS	DESERTIFICACION	INUNDACIONES	HURACANES
INFORMACION A SER OBTENIDA	Mapas de uso de tierras mapas geológicos	Mapas de áreas vulnerables a flujos de lava, caída de ceniza, caída de derrubios e incendios	Mapas de pendientes, estabilidad de pendientes, elevación geológica, tipos de suelo, áreas de embalse de agua, mapas para uso de tierras	Mapas barimétricos/topográficos	Mapas para uso de tierras, contenido de humedad en el suelo, condición de la cosecha y de la vegetación natural	Mapas de demarcación de las llanuras de inundación, clasificación de uso de tierras, datos históricos, cobertura del suelo y humedad del suelo	Mapas para uso de tierras
BANDA ESPECTRAL	Visible e IR cercano	Visible, IR cercano e IR térmico	Visible	Visible, incluyendo el azul e IR cercanos	Visible, IR cercano y microondas	IR cercano, IR térmico y microondas	Visible e IR cercano
RESOLUCION ESPACIAL	20-80m	30-80m	10-30m	30m	80m-1km	20m (para rasgos culturales), 30-80m (para uso de tierra); 1 km (para cobertura de nieve y humedad del suelo)	20m (para rasgos culturales); 30-80m (para uso de tierra)
AREA DE COBERTURA	Area grande	Area larga	Area larga	Area costera grande	Area regional grande	Area regional grande	Area grande
CAPACIDAD EN TODO CLIMA	No	No	No	No	No	No	No
VISION SINOPTICA	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
CAPACIDAD ESTEREO	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
FRECUENCIA DE OBSERVACION PARA USO EN EL ESTUDIO DE PLANIFICACION	1 a 5 años	1 a 5 años	1 a 5 años	Mensualmente	Estacional (excepto semanal para cobertura de nieve y humedad del suelo)	Estacional	Annual

Fuente: Adaptado de Richards, P.B. The Utility of Landsat-D and other Satellite Imaging Systems in Disaster Management (Washington, DC: Naval Research Laboratory, 1986).

práctica a la fotografía aérea por consideraciones de costo y tiempo. La aplicación de imágenes Landsat MSS para demarcar llanuras inundables y llanuras de inundación ya ha sido demostrada comparando imágenes anteriores a la inundación, con otras obtenidas en el punto más alto de la misma utilizando la banda 7 del Landsat MSS (IR cercano) con un visor color aditivo (Deutsch et al., 1973). Esta comparación temporal puede ser ahora realizada pixel por pixel por una computadora. El Landsat TM, con mayor resolución espacial que los MSS (30m versus 80m) y cobertura espectral adicional (7 bandas vs. 4 bandas), puede ser utilizado para cartografía más detallada de llanuras de inundación y de áreas inundables, a escalas de 1:50.000 o mayores. Los datos TM han sido usados para discriminar las clasificaciones de cobertura del terreno (Kerber et al., 1985), para proporcionar información útil para el pronóstico de inundaciones y para modelos de daños ocasionados por inundación de zonas urbanas y agrícolas. (Gervin et al., 1985).

Sin embargo, este enfoque para delinear llanuras de inundación tiene limitaciones. El área de inundación potencial así demarcada puede representar un grado no aceptable de inundación considerando el monto de las pérdidas. Por otro lado, pudieron no haber ocurrido inundaciones durante el período operativo del sensor. En este caso, se utilizan indicadores indirectos de susceptibilidad a inundaciones. Una discusión más detallada de la susceptibilidad a inundaciones y del uso de imágenes Landsat se encuentra en el Capítulo 8. La Figura 4-8 presenta un listado de datos Landsat y otros, presumiblemente similares, como indicadores de llanuras de inundación

Existen grandes zonas de ecosistemas tropicales húmedos para las cuales no se dispone de imágenes

Landsat u otras similares, debido a la excesiva nubosidad o fuerte neblina. En algunos casos la densa vegetación tropical esconde muchos rasgos geomórficos que son muy evidentes en climas más secos. En este caso, son deseables las imágenes de radar del espacio o las que anteriormente hubieran sido obtenidas mediante observaciones aéreas. Las imágenes de radar, que tienen una resolución comparable a las del Landsat TM y SPOT pueden penetrar satisfactoriamente las nubes e identificar muchos rasgos de llanuras inundables, tanto desde el espacio como desde altitudes suborbitales. La humedad del suelo afecta notablemente el eco del radar y, conjuntamente con las variaciones de textura resaltadas por el sensor, hacen del radar una herramienta potencialmente atractiva para la cartografía de inundaciones y llanuras de inundación.

## 2. HURACANES

A fin de mitigar el impacto de los huracanes, el planificador debe conocer la frecuencia e intensidad de las tormentas en el área de estudio, el grado en que pueden afectar a la población y las estructuras, y cuáles sub-áreas serían las más afectadas, tales como las áreas costeras bajas, de estuarios y ribereñas amenazadas por inundaciones terrestres y marinas. Ver el capítulo 12 para una discusión más detallada de huracanes y áreas costeras.

La trayectoria de anteriores huracanes en la región, puede ser obtenida de los datos de percepción remota con los sensores a bordo de los satélites de la U.S. National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), diseñados y operados con fines meteorológicos. Estos datos ya han sido graficados por organizaciones meteorológicas en los Estados Unidos y en otros países donde los huracanes también son un

Figura 4-8

### INDICADORES LANDSAT DE LLANURAS DE INUNDACION

- Fisiografía en tierras altas
- Características de la cuenca fluvial, tales como forma, drenaje y densidad
- Grado de abandono de diques naturales
- Ocurrencia de dunas de arenas estabilizadas, sobre terrazas de río
- Configuración del canal y características geomórficas fluviales
- Áreas detrás de pantanos
- Humedad en el suelo (también es indicador a corto plazo de la susceptibilidad a inundaciones)
- Variación de características del suelo
- Variación de características de vegetación
- Fronteras para uso de tierras
- Medidas de atenuación de inundaciones para el desarrollo agrícola en llanuras de inundación

Fuente: Adaptado de Rango, A. y Anderson, A.T. "Flood Hazard Studies in the Mississippi River Basin Using Remote Sensing" en Water Resources Bulletin, vol 10, 1974.

peligro. Para graficar nuevos datos, el mejor sensor es el AVHRR por la cobertura de una franja de terreno de 2.700km de ancho, dos veces al día y resolución apropiada. La banda roja es utilizable para definir nubes y vegetación en horas del día, mientras que la banda IR térmica (10,5 $\mu$ m a 11,5 $\mu$ m) es útil tanto de día como de noche para la observación de nubes.

El AVHRR no es útil para planificar contingencias de huracanes en otros aspectos, porque tiene una resolución espacial limitada. Las necesidades de la planificación requieren mayor resolución que la que se puede obtener con otros sensores de satélites. Deben ser utilizadas, no importando su resolución, todas las imágenes de las áreas inundadas por ríos, tormentas de huracanes u otras, obtenidas inmediatamente después del evento. Cualquier información que se obtenga oportunamente debe ser utilizada para demarcar las áreas problemáticas, dado que su definición es más exacta que la que se puede interpretar de datos de mayor resolución obtenidos durante períodos normales.

Se pueden predecir las áreas con potencial de inundación a lo largo de la costa y en el interior utilizando mapas topográficos a escalas tan grandes como 1:12.500. Cuando estos mapas no están a disposición, puede usarse técnicas de percepción remota. En regiones con estaciones húmedas y secas marcadas, es deseable obtener imágenes Landsat o comparables, durante la estación húmeda, bien en las bandas del IR cercano, bien usando un compuesto a color IR de imágenes Landsat MSS o TM, o las del SPOT HRV. Estas imágenes pueden ser usadas para identificar las áreas saturadas de humedad susceptibles a inundaciones, así como los terrenos más elevados y secos que son áreas potenciales de evacuación. Así mismo, la consideración de planes de desarrollo a la luz de este peligro natural potencial, puede proceder de igual manera que para las áreas expuestas a peligros de inundación. Para las evaluaciones de peligros de inundación, se podrían usar imágenes de radar del espacio o de aeronaves (si estuvieran disponibles) en vez de las imágenes Landsat MSS. Dado que en general las áreas costeras bajas y las zonas de estuarios no tienen mucho relieve, la estereoscopia normalmente no tendría un rol importante en esta situación. Sin embargo, la visión estereoscópica, aún sin un realce significativo de relieve, puede reforzar detalles de la escena, aunque a un costo considerablemente mayor.

El planificador del desarrollo también debe considerar una característica adicional de los huracanes: los fuertes vientos. Al identificar medidas para mitigar los efectos del viento, el planificador puede considerar tipo de cultivos, si existen planes para desarrollo agrícola, y/o el diseño y los materiales de construcción a ser empleados en los edificios.

### 3. TERREMOTOS

La planificación del desarrollo en áreas propensas a movimientos sísmicos está llena de problemas. Existen

muchísimos asentamientos humanos en áreas de alta sismicidad. Como en el caso de otros peligros geológicos, la frecuencia de ocurrencia puede tener ciclos de décadas o siglos. Los terremotos son especialmente difíciles de predecir. Por lo tanto, el énfasis de la mitigación se pone en la planificación sobre uso de tierras (uso no intensivo en áreas peligrosas), en la resistencia e integridad de edificaciones, en los planes de respuesta a la emergencia, y en la incorporación de medidas de mitigación dentro de los esfuerzos de reconstrucción. El principal problema es la identificación de zonas propensas a daños por terremotos (ver capítulo 11 para una discusión detallada de los terremotos y su evaluación). Si bien en la mayoría de las zonas de alta sismicidad se dispone de alguna información sísmica, puede no ser suficiente para fines de planificación. Las técnicas de percepción remota y la interpretación de datos resultantes podrían proporcionar información adicional.

La actividad tectónica es la principal causa de los terremotos destructivos, seguida por los terremotos asociados a la actividad volcánica. En áreas que presenten un historial de terremotos debidos a la actividad sísmica, las fallas asociadas con dicha actividad pueden ser frecuentemente identificadas sobre imágenes de satélite. Por lo general, la fuente no es tan obvia en lugares donde ocurren terremotos vinculados con la actividad volcánica: puede deberse al movimiento de una falla cerca de la superficie o a profundidad dentro de la tierra, al colapso de una caldera o al movimiento de magma dentro del conducto volcánico.

Para identificar los peligros de terremotos es necesario tener el conocimiento que permite reconocerlos y luego escoger los sistemas de percepción remota que ayuden a demarcarlos de la mejor manera. Las imágenes del Landsat han sido usadas extensa y efectivamente para este propósito, dado que sus datos son menos costosos y más fácilmente accesibles que otros de percepción remota. Los mosaicos del radar aéreo han sido usados con éxito para la demarcación de zonas de fallamiento. En general, se pueden producir dos mosaicos por cada área: uno, con la porción de rango lejano del SLAR y el otro con la porción de rango cercano. El primero es de mayor utilidad para áreas de bajo relieve en las que se necesita resaltar rasgos en tanto que, el segundo, para áreas de alto relieve donde no se requiere el efecto de las sombras o donde este efecto puede ser más bien negativo para la imagen.

El radar es aplicable para demarcar la ubicación de depósitos no consolidados en zonas de fallas donde ocurre la mayor destrucción, y así identificar áreas donde un terremoto puede iniciar deslizamientos de tierra. Esto se logra mejor en modelos estereoscópicos, usando líneas de vuelo de radar contiguas y superpuestas. La fotografía aérea convencional, en blanco y negro o a color, también serviría para este propósito.

Una alternativa, adecuada pero de menor bondad que el uso del radar o de la fotografía aérea, es el uso de

imágenes multispectrales obtenidas con los sensores Landsat TM y/o SPOT HRV. Los compuestos a color IR o las imágenes sólo en IR cercano de estos sensores, a escalas de hasta 1:100.000, pueden ser utilizados para definir superficies de zonas de fallas activas, pero sus imágenes no son tan eficientes como las del radar. Se puede determinar la diferencia entre roca firme y material no consolidado y las áreas potenciales de deslizamientos de tierra pero, nuevamente, sólo si se dispone de cobertura estereoscópica. Los sensores SPOT pueden proporcionar esa capacidad.

Si bien las imágenes de radar son una fuente ideal de datos, la cobertura es extremadamente limitada y la contratación de radares aéreos es, por lo general, excesivamente cara. Los Landsat TM y MSS son la fuente de datos más práctica, simplemente debido a su disponibilidad, y ambos tienen resolución suficiente para los estudios de planificación regional.

#### 4. ERUPCIONES VOLCANICAS Y PELIGROS ASOCIADOS

Muchos peligros están asociados con las condiciones derivadas de la actividad volcánica. Los volcanes activos presentan peligros como la liberación inmediata de cenizas expulsadas, lava, flujos piroclásticos o gases calientes venenosos; terremotos volcánicos; y, el peligro de flujos de lodo e inundaciones que provienen del rápido deshielo producido alrededor de la chimenea del volcán durante la erupción. Algunos peligros secundarios pueden amenazar tanto durante la actividad volcánica como en época de inactividad. Estos incluyen deslizamientos de tierra debido a acumulaciones inestables de tefra, que pueden precipitarse por causa de lluvias prolongadas o por movimientos sísmicos. En el Capítulo 11 se ofrece una discusión más detallada de los peligros volcánicos y su evaluación.

Cada volcán tiene su propio comportamiento peculiar en el marco de sus características magmáticas y tectónicas. La predicción del comportamiento de un volcán es sumamente difícil, y la mejor evidencia respecto a la frecuencia y severidad de su actividad es el archivo histórico de sus erupciones. Actualmente, las erupciones inminentes son mejor detectadas mediante el monitoreo sísmico in situ. Algunas clasificaciones distinguen entre volcanes activos, inactivos, dormidos o extintos. Pero, considerando que algunas de las erupciones más catastróficas se deben a volcanes "extintos", muchos volcanólogos han abandonado tal clasificación, y aceptan la diferencia simple que existe entre actividad periódica a corto y a largo plazo.

Gawarecki et al., (1965, p.22) fueron los primeros en detectar el calor volcánico mediante la percepción remota de satélite, utilizando imágenes de IR térmico de un radiómetro IR de alta resolución (HRIR). La interpretación de los datos de percepción remota puede conducir al reconocimiento de eventos catastróficos pasados asociados con volcanes activos recientemente, en términos geológicos, como es el caso de los Andes y

las Antillas Menores. Esa información, aunada a datos históricos disponibles, puede ser utilizada como base para evaluar los riesgos de un área con peligro potencial relacionado a los volcanes.

La variada naturaleza y tamaño de los peligros volcánicos requiere del uso de diferentes tipos de sensores, tanto de satélites como de aeronaves. Debe alentarse el uso de la fotografía para el análisis del área relativamente pequeña, circundante a los volcanes. La cobertura aérea estereoscópica, en blanco y negro pancromático, a escalas entre 1:25.000 y 1:60.000, es generalmente adecuada para reconocer y cartografiar evidencias geomórficas de actividad reciente y sus peligros asociados. La fotografía a color, y también a color IR, puede ser útil para determinar los posibles efectos de la actividad volcánica en la vegetación circundante, pero la menor velocidad de la película, menor resolución y su alto costo reducen en gran parte cualquier ventaja.

El barredor térmico aéreo IR es, probablemente, la herramienta más valiosa para examinar el estado geotérmico de un volcán. Es posible detectar tanto el calor interior y subyacente como su desplazamiento. Debido a que la resolución disminuye rápidamente conforme aumenta la altitud (unos 2m por cada 1.000m), las observaciones deben hacerse a altitudes bajas, por debajo de los 2.000 metros.

Un patrón en IR del calor geotérmico en la vecindad de un volcán, es una indicación de la actividad térmica que caracteriza a muchos volcanes inactivos. Una gran cantidad de volcanes considerados extintos tendrían que ser reclasificados si las observaciones aéreas con IR descubrieran emisiones anormalmente altas, en IR, sea de los cráteres en la cima o de los costados. Los cambios en los patrones térmicos para un volcán, sólo pueden ser obtenidos en base a observaciones aéreas de IR, realizadas en forma periódica y bajo condiciones similares durante la toma de datos. Los cambios de temperatura y emisión de gases, sin embargo, pueden ser monitoreados desde lugares adecuados en tierra, elegidos en base a las imágenes térmicas, lo cual hace innecesarios los sobrevuelos periódicos. El monitoreo electrónico continuo de estas estaciones es posible por medio de la retransmisión de datos usando un satélite geoestacionario, otra fase de la percepción remota.

Las bandas térmicas IR actualmente disponibles en los sensores de satélite, no tienen resolución espacial y térmica adecuada como para que se les asigne valor significativo en la detección de los cambios dinámicos de la actividad geotérmica volcánica. Sin embargo, además de la percepción remota del calor geotérmico, otras técnicas son útiles en la preparación de mapas de zonificación de peligros volcánicos y en la mitigación de los mismos. Las técnicas de mitigación que requieren foto-interpretación y mapas topográficos, incluyen la predicción del recorrido de flujos potenciales de lodo o lava y la restricción del desarrollo en esas áreas.

## 5. DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

Los deslizamientos de tierra, o movimientos masivos de rocas y material no consolidado, tal como suelos, lodo y derrubio volcánico, son mucho más comunes de lo que generalmente es percibido por la población. Muchas personas son concientes de los deslizamientos catastróficos, pero pocas saben que los pequeños deslizamientos son un problema constante para aquellos involucrados en actividades de diseño y construcción. Estos profesionales, frecuentemente, pueden agravar el problema de los deslizamientos de tierra por deficiente planificación, diseño o prácticas de construcción. A menudo, el ingeniero y el constructor también se ven forzados a situaciones difíciles de construcción o desarrollo como resultado de haber ignorado el peligro potencial de los deslizamientos de tierra. Esto se puede evitar si se reconoce el peligro desde un comienzo y se da la consulta efectiva entre planificadores y el equipo de construcción antes de la planificación detallada del desarrollo. Ver el Capítulo 10 para una discusión más detallada de los peligros de deslizamientos de tierra.

El movimiento masivo de roca firme y materiales no consolidados tiene como resultado diferentes tipos, magnitudes y velocidades de desplazamientos. El área con peligro potencial de deslizamientos normalmente presenta evidencias de ocurrencias previas, o existen datos históricos. Desafortunadamente, algunos tipos de deslizamiento, especialmente los más pequeños, no pueden ser definidos con imágenes de sensores remotos o con fotografías aéreas. Suele ocurrir que las huellas dejadas por los grandes deslizamientos son evidentes, y aunque los rasgos de los deslizamientos más pequeños puedan no ser individualmente distinguibles, la apariencia áspera general de una pendiente específica puede sugerir que ocurrieron movimientos masivos. Si se dispone de un buen mapa geológico a una escala razonable (1:50.000 o mayor), se podrían examinar los tipos de rocas y/o formaciones susceptibles a deslizamientos para encontrar evidencia de movimientos. Un ejemplo de esto sería encontrar pizarras en una zona de pendientes más pronunciadas que lo normal, lo cual implicaría una fuerte posibilidad de antecedentes de deslizamientos de tierra. El examen de vestigios de ríos frecuentemente muestra desplazamiento en sus cursos debido a deslizamientos. Si uno pudiera separar aquellos segmentos del río tectónicamente controlados, en muchos casos se tornarían evidentes los desplazamientos debidos a deslizamientos o derrumbes.

Los típicos rasgos que conllevan la ocurrencia de deslizamientos incluyen bloques caóticos de roca firme cuya única fuente parece estar pendiente arriba; los farallones o huellas cuyos extremos apuntan hacia abajo en pendientes que parecen normales; protuberancias anormales con vegetación perturbada en la base de la pendiente; grandes depósitos de rocas sedimentarias competentes, u otro tipo de roca estratificada, desplazadas hacia abajo sin evidencia alguna de asociación tectónica; y lenguas de flujos de lodo que se extienden a partir de la base de una huella obviamente

erosionada, compuesta de material relativamente no consolidado. Un buen conocimiento de la geología estructural del área de estudio permite poner en perspectiva estas anomalías superficiales. Tal como se señala en el Capítulo 10, la susceptibilidad a deslizamientos de tierra es propia del área. Los deslizamientos pueden ocurrir en pendientes suaves así como fuertes, según las características del terreno.

La mayoría de los debates sobre deslizamientos no consideran el problema de dolinas u hoyadas (sinkholes), que son una forma de deslizamiento de colapso circular. Las áreas carsticas en las que esto ocurre son fáciles de identificar, aún en algunas imágenes de satélite (MSS, TM, SPOT, etc.), debido a su apariencia picada y a la evidencia de drenaje principalmente interno. A pesar de la obvia existencia de muchas dolinas, varias de éstas, de tamaño pequeño, son individualmente muy sutiles y no fácilmente reconocibles. Frecuentemente, estos son lugares de colapso y de posteriores daños a cualquier estructura que sobreyace cuando las aguas subterráneas son utilizadas para satisfacer necesidades de desarrollo, lo cual conduce a la profundización de la napa freática y propicia la inestabilidad del terreno.

La resolución espacial requerida para el reconocimiento de los principales rasgos de deslizamientos de tierra es de unos 10 metros (Richards, 1982). Sin embargo, tal reconocimiento depende en gran medida de la habilidad y experiencia del intérprete y es facilitada si se dispone de cobertura estereoscópica, cuya adquisición puede resultar costosa. El requerimiento de cobertura estereoscópica y de determinada resolución excluye el uso de la mayoría de las imágenes de sensores en satélites, si bien los grandes deslizamientos en bloque pueden ser detectados en imágenes de Landsat MSS y TM.

Dado el requerimiento de resolución espacial, las imágenes del SPOT HRV-P (modo pancromático), pueden ser útiles dada su resolución de 10 mts. Sin embargo, su amplia cobertura en banda ancha no conduce al contraste adecuado en escenas que incluyan a los trópicos con densa vegetación, que son lugares donde ocurren la mayor parte de los peligros potenciales. Este hecho está compensado ligeramente si se dispone de cobertura estereoscópica. Es importante comprender que esta capacidad se logra con una programación específica del satélite SPOT y que la cobertura estereoscópica no es normalmente obtenida durante la operación del sensor.

La detección de rasgos de deslizamientos se logra más fácilmente utilizando sensores en aeronaves. La fotografía aérea con su cobertura estereoscópica normal es el mejor sistema de sensores para definir grandes y pequeños deslizamientos. Pueden utilizarse escalas aerofotográficas tan pequeñas como 1:60.000. Las películas pancromáticas en blanco y negro o IR son adecuadas en la mayoría de los casos, pero las de color IR podrían ser mejor en ciertas situaciones. Las emulsiones IR - sensibles, como ya se ha mencionado,

eliminan gran parte de la neblina que se encuentra en los trópicos húmedos. En los modelos estereoscópicos IR aéreos, las aguas al descubierto u otra humedad detrás de derrumbes recientes, son resaltadas como una anomalía, en blanco y negro o a color. La fotografía a color IR podría, en raras ocasiones, demostrar la presión sobre la vegetación a causa de recientes movimientos. Si las escalas son lo suficientemente grandes, también se podría detectar la deformación de los árboles por la progresiva inclinación de la pendiente del suelo.

Un detector más sensible de la humedad, asociada con deslizamientos es el barredor electrónico de IR térmico. Este sensor es especialmente útil para localizar áreas de infiltración que lubrican los deslizamientos. Esto es particularmente efectivo durante la noche, cuando existe la máxima diferencia de temperatura entre el terreno y el agua subterránea que emerge a la superficie. A pesar de su utilidad, muchos factores descartan el uso generalizado del barredor térmico IR. Estos factores incluyen la baja altitud requerida para obtener una resolución espacial razonable, el gran número de líneas de vuelo requerido para la extensa área involucrada, y las distorsiones geométricas inherentes al sistema. Si el terreno por interpretar presenta cierto relieve y carece de características especiales, estas distorsiones se convierten en un problema aún más serio para la interpretación de los datos, al hacer muy difícil la localización de las rasgos.

El SLAR, especialmente el radar de banda-X de apertura sintética, con su resolución nominal de 10m, puede ser marginalmente útil en modo estereoscópico debido a su habilidad para definir algunas texturas mayores relacionadas con los deslizamientos. En algunos ambientes propensos a nubosidad, los radares pueden ser el único sensor que proporcione información interpretable.

## 6. DESERTIFICACION

La desertificación ocurre cuando un ecosistema experimenta disminución o pérdida de productividad. Este proceso puede tener un componente natural y otro antrópico, que se pueden reforzar uno al otro, creando un efecto sinérgico (ver Capítulo 9). El grado de riesgo de desertificación está directamente relacionado a ciertas condiciones naturales tales como clima, topografía, vegetación natural, suelos, e hidrología, así como a la intensidad y tipo de actividad antrópica en el área. La desertificación está entre los problemas más serios de la región. Esta tendencia exige tomar en creciente consideración los procesos de desertificación en los estudios de planificación para el desarrollo integrado. La percepción remota, espacial y aéreo, proporciona herramientas valiosas para evaluar áreas propensas a la desertificación. Las transparencias en película, fotografías, y datos digitales pueden ser usadas para el propósito de ubicar, evaluar y monitorear el deterioro de las condiciones naturales en una área determinada. La información sobre estas condiciones puede ser obtenida a partir de mediciones directas o

inferida de indicadores (claves para el reconocimiento de un proceso de desertificación).

Para describir, evaluar y decidir sobre el tipo de acción a tomarse, los siguientes puntos deben ser considerados:

- **Ubicación:** incluye la identificación de áreas que están actualmente bajo proceso de desertificación y áreas que se supone están expuestas a las fuerzas que conducen al deterioro.
- **Evaluación:** Involucra la identificación y cuantificación de tipos de cobertura de vegetación, suelos, formas de terreno y patrones de cambio en el uso de tierras. La vulnerabilidad al cambio, velocidad de cambio, y dirección del cambio en patrones de desertificación, pueden ser estudiados en base a ésta evaluación.
- **Monitoreo:** Se logra con la detección y medición de cambios en las características del entorno durante un período de tiempo. Se hacen comparaciones entre condiciones presentes y condiciones previamente observadas, con el propósito de conocer la reducción en la productividad biológica.

El capítulo 9 presenta una técnica de evaluación inicial usando información comúnmente disponible en las etapas tempranas de la planificación para el desarrollo integrado. Un método más detallado, debe tomar en consideración cuatro conjuntos de datos para el estudio de desertificación de una área dada: datos que se obtienen al final de la estación húmeda, datos que se obtienen al final de la estación seca, y los datos para ambas estaciones que se hubieran obtenido cinco o diez años antes (López Ocaña, 1989). La selección de datos para un área dada estará directamente relacionada con el nivel de detalle deseado, el tamaño del área, el grado de precisión y exactitud requerido y tiempo disponible.

La fotografía aérea a gran escala, provee una buena cantidad de detalles para este tipo de estudio. Los vuelos de reconocimiento sistemáticos pueden ser usados para el monitoreo ambiental y la evaluación de recursos. Los sensores de radar y barredores infrarrojos pueden ser usados para monitorear la humedad del suelo y otros indicadores de la desertificación. Sin embargo, adquirir este tipo de datos es costosa y consume mucho tiempo.

El uso de imágenes de satélite es recomendado para las primeras etapas de un estudio detallado de desertificación, ya que ofrece una visión general de toda la región. El refuerzo con computadora, compuestos a falso color y las clasificaciones, pueden proporcionar información útil. Se pueden lograr refuerzos ópticos, pero éstos carecen de un control cuantitativo que sí se logra con modelos automatizados. Los datos estadísticos obtenidos de un análisis cuantitativo mediante el uso del sistema de información geográfica SIG, (ver Capítulo 5) pueden ser expresados como un histograma, un gráfico, una tabulación, o una nueva imagen.

Las imágenes AVHRR están comercialmente disponibles y han sido usadas para estudios de cambios de vegetación. Una resolución en superficie de 1 a 4 km representa limitación para hacer estudios de áreas continentales grandes. Otros estudios han hecho uso de los datos del Nimbus para demarcar patrones de humedad y linderos de la vegetación. Los datos del satélite GOES (Satélite Ambiental Operacional Geostacionario) han sido usados eficientemente para localizar y medir plumas de polvo; también las imágenes del Seasat SAR han sido aplicadas en la demarcación de la morfología de grandes dunas.

Los datos de Landsat MSS y TM, y de SPOT han demostrado ser útiles y costo-efectivos para evaluaciones regionales. Las transparencias de Landsat, bandas 5 y 7, han sido utilizadas para monitorear cambios superficiales en áreas que están en proceso de desertificación, y para graficar los actuales cuerpos de agua y antiguos sistemas de drenaje. Las variaciones temporales tonales del Landsat MSS han sido correlacionadas con variaciones en el campo. El desplazamiento de líneas de dunas de arena se detectó usando el Landsat con un método multitemporal. Los cambios de albedo en terrenos áridos han sido calculados usando datos digitales Landsat: los fenómenos que tienden a disminuir la productividad (mayor erosión, pérdida de la densidad de vegetación, deposición de sedimentación eólica) también tienden a parecer más brillantes sobre la imagen. Por el contrario, los fenómenos que propician el aumento de productividad (mayor vegetación, humedad de suelo), tienden a oscurecer el color de la tierra. De esta manera las variaciones en brillo pueden ser detectadas en un área durante un período de tiempo. Estos datos también pueden ser calibrados con datos de superficie obtenidos de las áreas donde ha ocurrido el cambio.

La percepción remota aérea y espacial proporcionan elementos valiosos para estudios de desertificación aunque, como para cualquier otro estudio relacionado con peligros naturales, deben ser combinados con datos recogidos en superficie. El uso de métodos de percepción remota debe minimizar la necesidad de datos en superficie, ahorrando tiempo y resultando, así, relativamente poco costoso por unidad de dato. La combinación de datos de percepción remota obtenidos en superficie puede, por lo tanto, ser la base para la evaluación.

## Referencias

American Society of Photogrammetry (ASP). Manual of Remote Sensing, 2nd ed. (Falls Church, Virginia: ASP, 1983).

Bertaud, M.A. The Use of Satellite Images for Urban Planning. A Case Study from Karachi, Pakistan. The World Bank Technical Note (Washington, D.C.: The World Bank, 1989).

Budge, T. A Directory of Major Sensors and Their Parameters (Albuquerque, New Mexico: Technology Application Center, University of New Mexico, 1988).

Carter, D., *et al.* "Space Applications for Disaster Mitigation and Management" *in* Acta Astronautica, Vol. 19, No. 3 (Great Britain: Pergamon Press, 1989), pp. 229-249.

Deutsch, M., *et al.* "Mapping of the 1973 Mississippi River Floods from the Earth Resources Satellite (ERTS)" *in* Proceedings No. 17 - Remote Sensing and Water Resources Management (Bethesda, Maryland: American Water Resources Association, 1973), pp. 39-54.

Deutsch, M., *et al.* "Quick Response Monitoring of Flood Disasters from Satellite Imagery" *in* Proceedings of the Twentieth International Symposium on Remote Sensing of the Environment (Ann Arbor, Michigan, 1986).

Gawarecki, S.J., *et al.* "Infrared Spectral Returns and Imagery of the Earth from Space and Their Applications to Geologic Problems" *in* Scientific Experiments for Manned Orbital Flight. Science and Technology Series, American Astronautical Society. Vol. 4 (1965), pp. 13-33.

Gawarecki, S.J., Moxham, R.M., Morgan, J.O., and Parker, D.C. "An Infrared Survey of Irazu Volcano and Vicinity, Costa Rica" *in* Proceedings of the 14th International Symposium on Remote Sensing of the Environment (San Jose, Costa Rica, April 1980), pp. 1901-1912

Gervin, J.C., *et al.* "The Effect of Thematic Mapper Spectral Properties on Land Cover Mapping for Hydrologic Modeling" *in* Proceedings of the U.S. Army Corps of Engineers Fifth Remote Sensing Symposium (Ft. Belvoir, Virginia: Water Resources Support Center, 1985), pp. 249-260.

Hassan, H., and Luscombe, W. "Disaster Information and Technology Transfer in Developing Countries" *in* Proceedings of the Colloquium on the Environment and Natural Disaster Management (Washington, D.C.: The World Bank, 1990).

Karber, A.G., *et al.* "Floodplain Land Cover Mapping Using Thematic Mapper Data" *in* Proceedings of the U.S. Army Corps of Engineers Fifth Remote Sensing Symposium (Ft. Belvoir, Virginia: Water Resources Support Center, 1985), pp. 262-271.

Kruus, J.M., *et al.* "Flood Applications of Satellite Imagery" *in* Deutsch, M., Wiesnet, D.R., and Rango, A.R. (eds.), Satellite Hydrology (Bethesda, Maryland: American Water Resources Association, 1981), pp. 292-301.



- Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W. *Remote Sensing and Image Interpretation* (Somerset, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 1987)
- López Ocaña, C. *Desertification Risks Assessment in Development Planning*. Unpublished manuscript (Washington, D.C.: World Resources Institute, 1989).
- Morgan, G. *Satellite Remote Sensing Technology for Natural Hazards Preparedness and Emergency Response Planning*. World Bank, Environment Operation and Strategy Division (Washington, D.C.: World Bank, May 1989).
- Nossin, J. "Aerospace Survey of Natural Hazards: the New Possibilities" *in* *The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) Journal*, 1989-3/4 (Enschede, The Netherlands: ITC, 1989).
- Rango, A., and Anderson, A.T. "Flood Hazard Studies in the Mississippi River Basin Using Remote Sensing" *in* *Water Resources Bulletin*, Vol. 10, No. 5 (1974), pp. 1060-1081.
- Organization of American States. *Physical Resource Investigations for Economic Development* (Washington, D.C.: Organization of American States, 1969).
- Richards, P. B. *The Utility of Landsat-D and Other Satellite Imaging Systems in Disaster Management, Final Report*. NASA Goddard Space Flight Center Disaster Management Workshop, NASA DPR S-70677 (Washington, D.C.: Naval Research Laboratory, March 29-30, 1982).
- Sabins, F. F., Jr. *Remote Sensing: Principles and Interpretation* (New York: W.H. Freeman, 1986).
- Schaber, G.G., *et al.* "Shuttle Imaging Radar: Physical Controls on Signal Penetration and Subsurface Scattering in the Eastern Sahara" *in* *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing*, Vol. GE-24 (1986), pp. 603-623.
- Schroeder, M. "Spacelab Metric Camera Experiments" *in* *Satellite Remote Sensing for Resources Development*. (Gaithersburg, Maryland: Graham and Trotman Ltd., 1986), pp. 81-92.
- Schuster, R.L., and Krizek, R.J. (eds.). *Landslides: Analysis and Control*. Transportation Research Board Special Report 176 (Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1978).
- Sollers, S.C., Rango, A., and Henninger, D L. "Selecting Reconnaissance Strategies for Floodplain Surveys" *in* *Water Resources Bulletin*, Vol. 14, No. 2 (1978), pp. 359-373.
- Water, L. "Uses of Satellite Technology in Disaster Management" *in* *Communication When It's Needed the Most: How New Technology Could Help in Sudden Disasters*. Report of the International Disaster Communications Project (Washington, D.C.: The Annenberg Washington Program, 1990).
- Weber, C. "Remote Sensing and Natural Hazards. Contribution of Spatial Imagery to the Evaluation and Mitigation of Geological Hazards" *in* *Proceedings of the 27th International Geological Congress*, Vol. 18 (Moscow: VNU Science Press, 1984), pp. 211-228.
- Wiesnet, D.R., and Deutsch, M. "Flood Monitoring in South America from the Landsat, NOAA and Nimbus Satellites" *in* *XXVI COSPAR 86* (Toulouse, France, 1986).
- Wiesnet, D.R., Scott, R.B., and Matson, M. "The NOAA Satellites: A Largely Neglected Tool in the Land Sciences" *in* *XXIV COSPAR 82* (Ottawa, 1982).
- Zimmerman, P. "The Role of Remote Sensing in Disaster Relief" *in* *Communication When It's Needed Most: How New Technology Could Help in Sudden Disasters*. Report of the International Disaster Communications Project (Washington, D.C.: The Annenberg Washington Program, 1990).