

**CAPITULO 4**

**PERCEPCION REMOTA EN LA EVALUACION DE PELIGROS NATURALES**

## CAPITULO 4

### PERCEPCION REMOTA EN LA EVALUACION DE PELIGROS NATURALES

#### Contenido

A. UNA VISION GENERAL DE ATRIBUTOS IMPORTANTES DE LA PERCEPCION REMOTA	4-4
1. Escala	4-5
2. Resolución	4-5
3. Contraste de imágenes	4-5
4. Marco del tiempo	4-6
5. Imágenes y mapas de percepción remota	4-6
6. Formatos de productos	4-7
B. PERCEPCION REMOTA AEREA	4-7
1. Fotografía aérea	4-7
a. Escalas y longitudes de onda	4-8
b. Tipos de película	4-8
2. Radar	4-8
3. Barredores electrónicos térmicos en infrarrojo	4-9
4. Ventajas y limitaciones de fotografías, radar y barredores electrónicos termicos IR	4-10
a. Fotografías y radar	4-10
b. Barredores electrónicos térmicos IR	4-10
C. PERCEPCION REMOTA CON SATELITES	4-10
1. Landsat	4-11
2. Système Probatoire pour l'Observation de la Terre (SPOT)	4-14
3. Sistemas de radar con satélite	4-15
4. AVHRR	4-17
5. Cámara métrica	4-17
6. Cámara de formato grande	4-18
7. Sojuzkarta	4-18

D. APLICACION DE TECNOLOGIAS DE PERCEPCION REMOTA A EVALUACIONES DE PELIGROS NATURALES . . . . .	4-19
1. Inundaciones . . . . .	4-19
2. Huracanes . . . . .	4-21
3. Terremotos . . . . .	4-22
4. Erupciones volcánicas y peligros asociados . . . . .	4-23
5. Deslizamientos de tierra . . . . .	4-24
6. Desertificación . . . . .	4-25
REFERENCIAS . . . . .	4-26

### Lista de Figuras

Figura 4-1	Regiones electromagnéticas más comúnmente utilizadas en la percepción remota . . . . .	4-6
Figura 4-2	Longitud de ondas de radar y frecuencias usadas en percepción remota para sistemas de radar en aeronaves . . . . .	4-9
Figura 4-3	Características de sensores Landsat . . . . .	4-12
Figura 4-4	Características de sensores SPOT . . . . .	4-14
Figura 4-5	Características de sistemas Seasat, y de los sistemas SIR-A y SIR-B . . . . .	4-16
Figura 4-6	Características del AVHRR . . . . .	4-17
Figura 4-7	Imágenes de satélites aplicadas a evaluaciones de peligros naturales . . . . .	4-20
Figura 4-8	Indicadores Landsat de llanuras de inundación . . . . .	4-21

## PERCEPCION REMOTA EN LA EVALUACION DE PELIGROS NATURALES

### RESUMEN

Este capítulo proporciona al planificador una visión panorámica de las tecnologías de percepción remota y de sus aplicaciones generales en la evaluación de peligros naturales. Se resaltan las características de las técnicas de percepción remota tanto aéreas como de satélite, y el rol que la percepción remota puede tener en detectar y mitigar varios peligros naturales.

Una de las más importantes herramientas disponibles para el planificador regional es la percepción remota del medio ambiente. No solamente es de gran utilidad en el proceso de planificación en general, sino que es especialmente valiosa para detectar los fenómenos y producir mapas de diversos tipos de peligros naturales cuando, como es frecuente, no existen descripciones detalladas de sus efectos. Si se pudiera identificar la susceptibilidad a los peligros naturales en las fases iniciales de un estudio de planificación para el desarrollo integrado, se pueden introducir medidas para reducir los impactos sociales y económicos de desastres potenciales.

Todos los peligros naturales, hasta cierto punto, pueden ser estudiados utilizando sensores remotos ya que casi la totalidad de los fenómenos geológicos, hidrológicos y atmosféricos son eventos o procesos recurrentes que dejan evidencia de su anterior ocurrencia. Tal evidencia puede ser observada, analizada e integrada en el proceso de planificación.

La mayoría de los estudios de percepción remota sobre peligros naturales se han referido a la vulnerabilidad del área frente a un desastre, al monitoreo de eventos que puedan precipitar un desastre, y a la magnitud, extensión y duración de un desastre. Este capítulo da a conocer a los planificadores los tipos de percepción remota adecuados para identificar y evaluar determinados peligros naturales y referencias sobre dónde encontrar información pertinente.

Dado que la información existente sobre percepción remota puede ser inadecuada para una tarea o fase de planificación, este capítulo también proporciona lineamientos para la selección y adquisición de datos apropiados. Sólo son tratados aquellos sistemas de sensores considerados capaces de contribuir significativamente al proceso de planificación para el desarrollo, así como las aplicaciones específicas a la evaluación de cada uno de los diferentes peligros naturales. Se supone que los planificadores y otros lectores ya están familiarizados con la tecnología y el vocabulario básico de la percepción remota. Si se necesitaran mayores detalles de técnicas y/o de aplicaciones, una información prácticamente actualizada

se encuentra en Sabins (1986), Lillesand y Kiefer (1987), y ASP (1983). En Richards (1982), se encuentra una excelente visión general de los sistemas de imágenes de satélite y de manejo de desastres.

Si bien se presentan tanto las técnicas de percepción remota aérea como por satélite, se ha dado énfasis a estas últimas debido a que producen la visión sinóptica requerida por la amplia escala de estudios de planificación para el desarrollo integrado. Los datos provenientes de percepción remota aérea son útiles en el manejo de peligros naturales para enfocar áreas prioritarias, verificando interpretaciones de datos a pequeña escala, y para proporcionar información sobre aquellas características demasiado pequeñas como para ser detectadas en las imágenes de satélite. Sin embargo, los estudios aéreos extensos frecuentemente exceden las restricciones presupuestales de un estudio de planificación y bien puede ser que proporcionen más información de la que realmente se necesita, especialmente durante las primeras etapas del estudio.

### A. Una visión general de atributos importantes de la percepción remota

La utilización efectiva de los datos provenientes de percepción remota depende de la habilidad del usuario para interpretar, correcta y consistentemente, las fotografías, imágenes, gráficos o estadísticas que se derivan de las fuentes de percepción remota. Si bien la mayoría de los planificadores ha tenido alguna introducción a la interpretación de fotos e imágenes como parte de su entrenamiento formal, el mejor uso de los datos requiere normalmente personal con experiencia en análisis morfológico (geólogos, geógrafos, físicos, ingenieros forestales, etc.) Una inversión relativamente modesta en los servicios de un intérprete experimentado puede evitar demoras innecesarias y usos inapropiados de los datos de percepción remota. Sea o no que el planificador lleve a cabo su propia interpretación, deberá tener conocimientos básicos de las técnicas de percepción remota y capacidad tanto para evaluar la validez de una interpretación como para utilizar la información derivada.

## DEFINICIONES

Los instrumentos que registran la radiación electromagnética emitida o reflejada por la tierra pueden ser instalados en aeronaves o satélites. Los primeros son llamados sensores remotos aéreos o aero-transportados y, los segundos, sensores remotos de satélite o del espacio. Estos instrumentos registran los datos usando dispositivos ópticos, electro-ópticos, óptico-mecánicos o electrónicos. En este capítulo, los despliegues análogos a fotografías, resultantes de procesos tales como el radar y el barrido electrónico térmico en infrarrojo y producidos en un medio que no es la película, son referidos, en términos generales, como "imágenes".

Los factores que determinan la utilidad de los datos de percepción remota en las evaluaciones de peligros naturales son escala, resolución y contraste tonal o de color. Otros factores incluyen área de cobertura, frecuencia, costo y disponibilidad de datos.

### 1. ESCALA

La escala a la que se puede ampliar una fotografía o una imagen, con o sin mejoramiento óptico o computarizado, determina en qué fase del estudio de planificación para el desarrollo debe de ser utilizada esta información. Las presentaciones a escala de 1:500.000 o menores, son útiles durante la Misión Preliminar y ciertamente durante la Fase I, Diagnóstico del Desarrollo, cuando no se necesita mayor detalle. Las imágenes a escalas de 1:250.000 o mayores se requieren durante la etapa de formulación del proyecto y en las actividades de estudios de factibilidad de la Fase II, donde si es importante el detalle y donde deben ser definidos ciertos aspectos menos obvios de los peligros naturales. Frecuentemente es posible detectar fenómenos de peligros naturales en una fotografía o imagen a pequeña escala, pero es imposible anotar la información sin su ampliación a escalas mayores. En consecuencia, es necesario utilizar imágenes a escalas compatibles con el nivel de detalle requerido para cada etapa particular del estudio, así como con la extensión del área del estudio mismo. Además, cuanto mayor sea el área de los cambios asociados a un evento natural, tanto más útiles serán las imágenes de satélite.

### 2. RESOLUCION

La escala misma no tiene sentido si no se dispone de una adecuada resolución espacial, es decir, de la capacidad de distinguir objetos que están muy cerca unos a otros en una imagen o fotografía. La resolución de la imagen es determinada por el tamaño y número de elementos básicos de la figura o de la imagen, o sea, los pixels que conforman la imagen. Cuanto más pequeño es el tamaño del pixel, mayor será la resolución. En la fotografía, la resolución está limitada principalmente por el tamaño del grano de la película, pero los lentes y otras consideraciones técnicas también tienen un rol importante.

En ambos casos, imágenes y fotografías, la posibilidad de poder distinguir entre rasgos adyacentes, juega un rol muy importante en el proceso de identificación. La ampliación de fotografías o imágenes no puede mejorar la resolución sino sólo el espacio de trabajo para la interpretación.

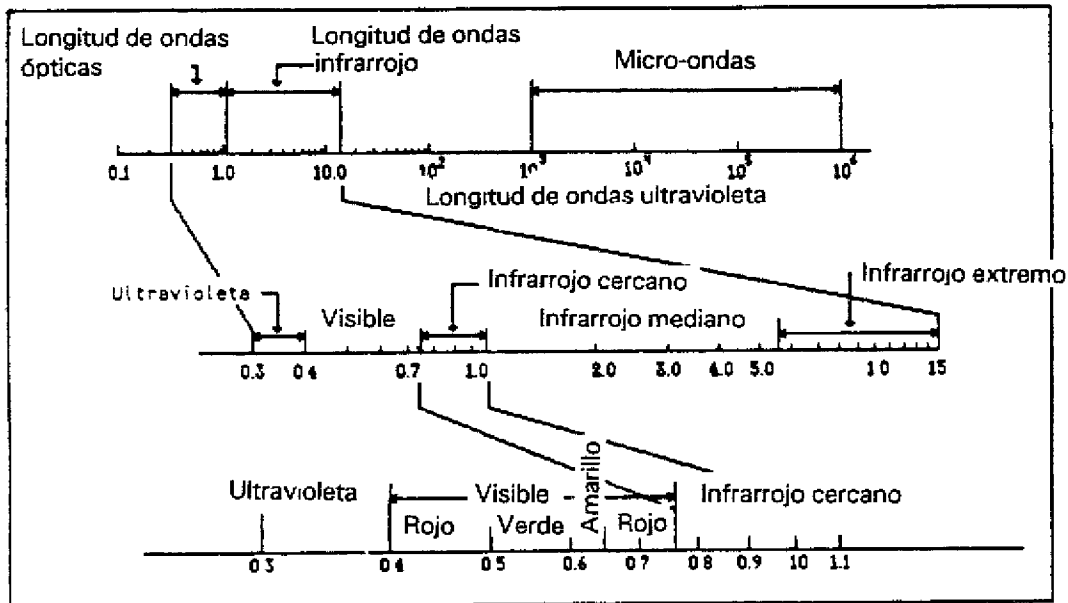
La resolución espectral también necesita ser tomada en consideración al seleccionar el tipo de datos, ya que los diferentes sensores están diseñados para cubrir diferentes regiones espectrales. La resolución espectral se refiere al ancho de banda o a un rango de bandas que ofrece el sensor. La Figura 4-1 presenta las regiones espectrales más comúnmente usadas en percepción remota. Casi todos los desastres naturales conllevan cambios espectrales. Las inundaciones dan lugar a cambios espectrales significativos mientras que los terremotos producen una variación espectral pequeña debido al menor contraste espectral en relación con las áreas no afectadas.

### 3. CONTRASTE DE IMAGENES

El contraste entre rasgos, en una imagen o fotografía, es una función de la habilidad del sensor para captar el contenido tonal o espectral de la escena. Las diferentes bandas espectrales de los sistemas de percepción remota pueden exhibir contrastes fuertes o débiles según la región del espectro electromagnético cubierta y la superficie observada. Por ejemplo, una determinada banda puede mostrar poco contraste entre tipos de vegetación en un ambiente forestal y fuertes contrastes entre tipos de roca en una zona árida. Las áreas peligrosas tales como zonas de fallas sísmicas o las susceptibles a deslizamientos de tierra, pueden ser demasiado reducidas para algunos sensores, p.e., el Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), pero pueden ser fácilmente visibles en imágenes producidas por otros sistemas de sensores, p.e. el Landsat Thematic Mapper (TM). Además, los terrenos con abundante vegetación y mucha nubosidad en los trópicos de América Latina y el Caribe son los más difíciles de interpretar geológicamente. Sin embargo, un intérprete experto puede detectar muchos peligros naturales en base al análisis fisiográfico de datos obtenidos por radares que pueden penetrar las nubes.

Figura 4-1

REGIONES ELECTROMAGNETICAS MAS COMUNMENTE UTILIZADAS EN LA PERCEPCIÓN REMOTA



Cuando una imagen no proporciona el detalle, la resolución o contraste requerido, se dispone de varias opciones. Dado que no siempre es posible identificar todas las características deseadas en base a la interpretación de un sólo sensor, es posible que se requiera un segundo sensor de tipo completamente diferente al primero, o de una combinación de sensores. Los datos digitales pueden ser mejorados y/o manipulados usando técnicas tales como ampliación del contraste, compuestos a falso color, análisis del componente principal, filtraje y clasificaciones supervisadas y no supervisadas.

4. MARCO DEL TIEMPO

Las ocurrencias temporales de eventos naturales también afectarán la utilidad de los datos de percepción remota. Ciertos sensores, como por ejemplo el Landsat, pueden detectar un fenómeno muy fácilmente, aunque la cobertura repetitiva sea hecha cada 16 días. Durante ese lapso podrán ocurrir una inundación y la normalización posterior de la situación. Por otro lado, la desertificación de una área puede ser un proceso largo y la utilidad de datos de percepción remota puede ser muy grande para monitorear los cambios. Los eventos que son estacionales, predecibles o altamente correlacionados con otros eventos, probablemente se beneficiarán más de las imágenes que aquellos otros que ocurren aleatoriamente, tales como los terremotos o tsunamis (ver Capítulo 8-12).

5. IMAGENES Y MAPAS DE PERCEPCION REMOTA

Para obtener el mayor provecho del uso de datos disponibles de percepción remota, los planificadores deben hacer uso de toda la información relevante existente del área de estudio (ver el Apéndice A). Los mapas son especialmente útiles para interpretar los datos de percepción remota. Entre los mapas, los topográficos son la principal ayuda para esclarecer muchas de las ambigüedades que se presentan en las imágenes de percepción remota para el reconocimiento del terreno. Los mapas geológicos concitan la atención hacia formaciones que conducen a ciertos tipos de peligros. Este conocimiento puede ayudar a la localización y búsqueda sistemática de estos peligros. Los mapas de suelos pueden servir para un propósito similar aunque en menor grado. Finalmente, los mapas de vegetación y de uso de tierras pueden proporcionar información sobre el contenido de humedad, formaciones geológicas subyacentes y tipo de suelos presentes.

En resumen, las imágenes de percepción remota deben ser consideradas como datos disponibles para asistir al planificador en la evaluación de información de recursos naturales y de peligros naturales, a todo lo largo del desarrollo de un estudio de planificación. El significado y el valor de los datos de percepción remota es realizado mediante interpretación experta, junto con la cartografía convencional y los datos obtenidos en superficie.

## 6. FORMATOS DE PRODUCTOS

Los formatos de los productos consisten en diferentes maneras de presentar los datos de sensores remotos. Los datos fotográficos generalmente son usados en formato de película positiva o como impresión fotográfica. Los datos en película e impresiones fotográficas pueden ser analizados y convertidos a datos digitales para su registro en cinta compatible con la computadora (CCT). La principal ventaja de los datos digitales es que pueden ser cuantificados y manipulados usando técnicas de procesamiento de imágenes. Las imágenes de satélite u otras grabadas en CCT pueden ser presentadas en un formato de película positiva o fotografiada directamente de la pantalla del monitor.

### B. Percepción Remota Aérea

La percepción remota aérea, es el proceso de obtener información tal como fotografías e imágenes, con sensores a bordo de aeronaves. Los sistemas aéreos disponibles incluyen cámaras aéreas, barredores electrónicos multispectrales, barredores electrónicos térmicos infrarrojos (TIR), radiómetros pasivos para producir imágenes con microondas y radares aéreos de vista lateral (SLAR). Los sistemas que ofrecen los datos más prácticos y útiles en el contexto de la planificación para el desarrollo integrado y evaluación de peligros naturales son las cámaras aéreas, los barredores electrónicos multispectrales, los barredores electrónicos térmicos (TIR) y el SLAR. Esta sección describe las características de la fotografía e imágenes obtenidas con estos tres sistemas.

La disponibilidad de imágenes de percepción remota aérea varía según el tipo de datos requeridos. La fotografía aérea está disponible para muchas áreas de estudio en la mayor parte del mundo, aunque en algunas ocasiones deberá ser autorizada para uso no militar por el gobierno del país objeto del estudio. Las imágenes de radar suelen tener también carácter reservado.

La adquisición de datos infrarrojos (IR) y de radar es más complicada que la adquisición de fotografías aéreas, aunque para una área extensa, el radar puede resultar menos costoso. Debido a los sistemas especializados y al personal calificado que se necesita para producir imágenes IR y SLAR, tales datos suelen estar a disposición de un número limitado de organizaciones que son dueñas de los sistemas o los alquilan. El costo de movilizar aeronaves, equipos y tripulación es elevado, pero el costo de la cobertura de datos por kilómetro en línea o por unidad de área, puede resultar razonable si el área de sobrevuelo es grande.

Además del tipo, disponibilidad y costo de los datos, el planificador debe considerar las condiciones bajo las cuales se está produciendo la adquisición de datos apropiados. Cada tipo de sensor tiene una hora óptima del día, de la estación del año o una tabla de condiciones apropiadas para obtener los mejores resultados. De igual

manera, para establecer la situación actual de un peligro tal como la actividad de un volcán, la interpretación de imágenes térmicas IR debe ser hecha muy poco tiempo después de su toma y las anomalías deben ser verificadas de inmediato para determinar la magnitud de las temperaturas que se correlacionan con ellas. Los datos obtenidos corrientemente, en vuelos con igual instrumental y en las mismas condiciones de clima y terreno, pueden ser usados para comparar variaciones temporales del peligro. De esta manera, se pueden determinar los cambios en los patrones térmicos.

La información de imágenes térmicas IR es la más transitoria de todos los datos de sensores. Hay una procesión de cambios en los contrastes térmicos entre los diferentes materiales de superficie, tanto del terreno como de vegetación. Estos ocurren en ciclos diarios y estacionales y son modificados considerablemente por el clima, los suelos, las condiciones del tiempo, el relieve, la dirección de pendientes y las prácticas de uso de tierras. No obstante estas variaciones encubridoras, los contrastes térmicos resultantes de la actividad volcánica y geotérmica pueden ser analizados por un intérprete experimentado en imágenes térmicas IR.

La principal utilidad de las imágenes SLAR está en la interpretación de los elementos relativamente estables de la estructura geológica básica y geomorfológica. En consecuencia, es útil para el estudio de muchos rasgos asociados con los desastres naturales. La obtención de datos de imágenes espaciales SLAR no es normalmente posible dentro del presupuesto para el estudio de planificación, pero una cobertura previa del área de estudio puede encontrarse disponible, si es que existe, y en lo posible debería ser buscada y utilizada.

Tanto las imágenes IR como las de SLAR pueden ser utilizadas en modo estereoscópico, pero solamente cuando las líneas de vuelos adyacentes se superponen. Dado que ocurren distorsiones debido a la turbulencia del aire o altitudes diferenciales durante el desarrollo con técnicas de barrido vertical de cada imagen a medida que la aeronave se adelanta, el modelo estereoscópico no es perfecto. No obstante las distorsiones, la dimensión estereoscópica es definitivamente una ventaja para identificar y definir los peligros naturales.

### 1. FOTOGRAFIA AEREA

De todos los sensores, la fotografía aérea ofrece la interpretación más exacta de lo que ve el ojo humano, en términos de respuesta a la longitud de onda, resolución, perspectiva, visión estereoscópica y valores tonales y de color. El intérprete familiarizado con las fotografías puede interpretar fácilmente estas escenas, mientras que otros sensores, como los barredores térmicos IR y sistemas SLAR, producen imágenes cuya apariencia y base física es completamente extraña al ojo inexperto. Las fotografías aéreas son probablemente los datos de percepción remota con los cuales el planificador está más familiarizado. (Ver OEA, 1969.)

### a. Escalas y longitudes de onda

Las escalas más útiles para fotografías aéreas van desde 1:5.000 hasta 1:120.000. La necesidad de información de tipo reconocimiento, sobre extensas áreas, limita el uso de las fotografías a escalas de 1:40.000 o menos.

La fotografía está limitada a longitudes de ondas ópticas compuestas de las porciones ultravioleta (UV), visible e infrarrojo cercano del espectro electromagnético (Figura 4-1). La primera y última de estas porciones son recuperables bajo condiciones especiales de películas y filtros. Las longitudes de onda cercanas a IR corresponden al segmento reflectivo de la mayor parte del infrarrojo, que también incluye longitudes de ondas emitidas o térmicas.

### b. Tipos de película

Las fotografías aéreas pueden ser obtenidas con películas blanco y negro, las menos costosas, o a color convencional o color IR. El tipo de película que deberá usarse depende de su aplicabilidad al terreno particular que se está estudiando, y del costo de la película. La velocidad de la película también es factor importante, pues películas a color de baja velocidad no pueden ser utilizadas en terrenos demasiados oscuros tales como áreas con densa vegetación ubícua o rocas predominantemente oscuras.

Los dos tipos generales de películas en blanco y negro utilizados con mayor frecuencia, son las películas pancromáticas y las IR sensibles. Las películas pancromáticas, que son materiales negativos que presentan aproximadamente el mismo rango de sensibilidad a la luz que el ojo humano, son consideradas como la norma para la fotografía aérea. Es el medio más económico para la cartografía aérea y la foto-interpretación, pero puede no ser la alternativa lógica para una determinada área de estudio.

La película en blanco y negro IR sensible, a pesar de no ser de uso común, es una mejor opción para penetrar la neblina y/o una exuberante vegetación, en áreas tropicales húmedas. Proporciona mucho mejor contraste para aguas superficiales, humedad y vegetación, que la película normal y, como resultado, puede ser una herramienta efectiva en la planificación regional y en las evaluaciones de peligros naturales en áreas trópicas húmedas. Existe, sin embargo, una disminución de detalle en áreas en sombra debido al filtrado de la luz dispersa más fría (extremo azul).

En áreas de alto relieve, es mejor fotografiar cerca del mediodía con película IR. En áreas de bajo relieve, se deben tomar las fotografías cuando el sol se encuentra cerca del horizonte (10°-30°), produciendo sombras sobre superficies de textura fina. La fotografía con ángulo solar bajo (LSAP) resaltan las características texturales de determinados tipos de roca, las discontinuidades y rasgos topográficos lineales

asociados con fallas y fracturas. También se pueden definir tipos de vegetación natural y cultivada, en gran parte por la textura, lo cual proporciona información adicional respecto al terreno. Casi cualquier cámara aérea moderna puede obtener LSAP usando película pancromática o infrarrojo con filtro rojo.

La película a color se usa de varias formas para la evaluación de los peligros naturales: película negativa de la cual se producen fotos a color y transparencias positivas, incluyendo diapositivas a color. Hasta cierto punto, las películas negativas pueden ser copiadas en papel para resaltar ciertos colores y facilitar su manejo. Sin embargo, éstas no poseen la nitidez y el rango dinámico de color de las transparencias positivas, las cuales son significativamente mejores para propósitos de interpretación.

Existen dos tipos espectrales principales de película a color: la película a color natural o convencional, que cubre el espectro visible, y la película a color IR (desde el verde hasta el IR cercano). La primera se encuentra disponible como película en negativo (copias en papel) y transparencias positivas, y la segunda está disponible sólo como una transparencia positiva.

La respuesta de las películas a color IR es superior a la de las películas a color natural por varias razones. Primero, el filtro amarillo requerido para su uso apropiado elimina la luz azul que se dispersa preferencialmente por la atmósfera. Al eliminar gran parte de tal dispersión, mejora enormemente el contraste. Segundo, las diferencias de reflectancia entre los tipos de vegetación, suelos y rocas son comúnmente mayores en el componente fotográfico IR de esta película. Tercero, la absorción del infrarrojo por el agua y gran parte de las longitudes de onda roja, permiten una definición más clara de depósitos de agua y de áreas con contenido de humedad. Y cuarto, la disminución de luz dispersa en áreas en sombra realza detalles de relieve, mejorando así la interpretación de la geomorfología. En vista de estos atributos, se prefiere la película a color IR si es que se desea fotografía aérea a color en climas tropicales húmedos.

## 2. RADAR

El radar difiere de la aerofotografía como sensor remoto aéreo. La fotografía es un sistema de percepción remota que utiliza la reflexión natural del sol, en tanto que el radar es un sensor activo que produce su propia iluminación. El radar ilumina el terreno y luego recibe y ordena las señales reflejadas sobre una imagen que puede ser evaluada. Estas imágenes se parecen a las fotografías en blanco y negro. El mejor uso de las imágenes obtenidas con radares aéreos, en el proceso de planificación para el desarrollo y evaluaciones de peligros naturales es la identificación de características geológicas y geomorfológicas. Las imágenes de radar, así como la fotografía, presentan variaciones de tono, textura, forma y patrones que corresponden a diferencias en rasgos y estructuras en la superficie. De



estos elementos, las variaciones de tono que se observan en las fotografías aéreas convencionales son las mismas que se ven con los ojos. Las variaciones de tono que presentan las imágenes de radar y que aparecen como propiedades no familiares, son el resultado de la interacción de la señal del radar con el terreno y la vegetación. Así como para poder hacer uso de fotografías aéreas no es esencial comprender del todo la teoría óptica y sus procesos propios, también es posible utilizar las imágenes de radar sin entender cabalmente lo concerniente a la radiación electromagnética.

Sin embargo, el intérprete experimentado debe saber algo sobre cómo se forma la imagen, para poder interpretarla correctamente y apreciar plenamente el potencial y las limitaciones del radar. Un intérprete capacitado sólo necesita familiarizarse con los parámetros que controlan el eco del radar, entender sus efectos sobre la señal de retorno, y reconocer los efectos de la configuración lateral del sensor sobre la geometría de la señal de retorno.

Muchas imágenes útiles de radar han sido obtenidas en longitudes de onda de las bandas X, K y Ka (ver Figura 4-2). Sin embargo, los contratistas comerciales ofrecen generalmente los sistemas de radar aéreo en la banda X. En este ancho de banda existen dos tipos básicos de sistemas: el radar de apertura real (RAR) y el radar de apertura sintética (SAR). Los radares de apertura real, o "fuerza bruta", utilizan una antena de la mayor longitud práctica posible para producir un haz de iluminación de ángulo muy delgado en la dirección azimutal (línea de

vuelo). A mayor longitud de antena, más delgado será el haz azimutal. Una longitud típica es 4,5 mts., la cual se aproxima al tamaño máximo práctico para las aeronaves. Por esta razón, se desarrolló el SAR. El SAR es capaz de lograr una mayor resolución sin la necesidad de una antena físicamente grande, mediante un complicado procesamiento electrónico de la señal de radar.

La resolución resultante, unida a las pequeñas escalas a las que se pueden obtener imágenes, hace que el radar sea más útil que la observación fotográfica cuando se trata de cubrir grandes extensiones. Si bien el RAR es de diseño simple y no requiere grabación ni procesamiento sofisticado de datos, la resolución en la dirección de su alcance (range direction) es relativamente limitada si la comparamos con la del SAR de igual longitud de onda. El SAR mantiene su alta resolución a grandes distancias en la dirección de su alcance y también mantiene su resolución azimutal. La resolución con el SAR es cercana a los 10 mts en azimut y alcance.

### 3. BARREDORES ELECTRONICOS TERMICOS EN INFRARROJO

Un barredor aéreo electro-óptico que utilice un detector semi-conductor sensible a la porción térmica IR del espectro, es la mejor manera de producir imágenes que definan el patrón térmico del terreno. Los métodos alternos usan una presentación tipo televisión, tienen resolución espacial inadecuada y, por lo tanto, no pueden ser usados de manera efectiva a las altitudes de vuelo de la aeronave. También carecen de adecuada resolución térmica.

Figura 4-2

#### LONGITUD DE ONDAS DE RADAR Y FRECUENCIAS USADAS EN PERCEPCION REMOTA PARA SISTEMAS DE RADAR EN AERONAVES

Designación de Banda <sup>a/</sup>	Longitud de Onda (cm)	Frecuencia (ciclos/segundo <sup>-1</sup> )
Ka (0,86cm)	0,8 a 1,1	40,0 a 26,5
K	1,1 a 1,7	26,5 a 18,0
Ku	1,7 a 2,4	18,0 a 12,5
X (3,0cm, 3,2cm)	2,4 a 3,8	12,5 a 8,0
C	3,8 a 7,5	8,0 a 4,0
S	7,5 a 15,0	4,0 a 2,0
L (23,5cm, 25,0cm)	15,0 a 30,0	2,0 a 1,0
P	30,0 a 100,0	1,0 a 0,3

<sup>a/</sup> Longitudes de onda comúnmente usadas en radares de imágenes se encuentran en paréntesis.

Fuente: Sabins, Floyd F., Jr. Remote Sensing: Principles and Interpretation (New York: W.J. Freeman, 1986).