

INFORME TECNICO  
CIREN Y EL CAMPO DE LOS SENSORES REMOTOS

Agosto, 1990

01674

**CIREN** CORFO

Centro de información  
de recursos naturales

---

Manuel Montt 1164 / Fonos: 749669-2236641 / Cas. 14995 / Télex: 242017 CIREN CL / Santiago de Chile

INFORME TECNICO

CIREN Y EL CAMPO DE LOS SENSORES REMOTOS

Agosto, 1990

## INFORME TECNICO

**CIREN Y EL CAMPO DE LOS SENSORES REMOTOS**

Informe preparado por:  
Sr. Arnaldo Ortíz Riveros

**INTRODUCCION**

Los inventarios y evaluaciones de los recursos naturales utilizan diversos sistemas y grados de metodologías, pero sin embargo, tienen como base común la utilización de materiales e instrumentos de sensores remotos como un medio eficaz en la obtención de la información requerida en forma rápida, económica y confiable.

Desde el punto de vista instrumental, se ha desarrollado una infinidad de equipos, tanto de tipo analógico visual como de procesamiento digital o computacional, los cuales poseen distintos grados de eficiencia según el objetivo que se persigue, como será demostrado más adelante.

Los materiales de sensores remotos los hay de dos tipos:

- sensores pasivos, los cuales consisten en que la fuente de energía que utilizan no es propia, como es el caso de las fotografías y barredores multiespectrales.
- sensores activos, corresponden a sensores que poseen su propia fuente de energía, la cual difunden y reciben en forma independiente del medio en que operan.

A este tipo de sensor pertenece, por ejemplo, el radar, el sonar y un sinnúmero de equipos geofísicos.

La utilización, sistema de análisis y tipo de sensor remoto en un estudio, dependerá indudablemente de los objetivos que se quiera alcanzar en términos de detalle, tiempo y costo que se disponga para su realización.

A continuación se entrega en forma sumaria, la utilización de sensores remotos en el inventario de recursos naturales compatibles con CIREN, tipo de sensores últimamente desarrollados y las conclusiones de su aplicación en estudios.

#### **ANTECEDENTES DE LA PERCEPCION REMOTA**

CIREN posee una buena experiencia en el uso de datos provenientes de sensores pasivos, principalmente de fotos aéreas e imágenes de satélites de investigación.

El uso de estos materiales ha sido a través de una interpretación mecánica analógica visual, apoyada por instrumentos ópticos o electro-ópticos tales como estereoscopios, visor multispectral con adición de colores, procesamiento de transparentes en falso color y otros.

Sin embargo, los sensores remotos no se limitan a fotos aéreas e imágenes de satélites, sino que su gama es sumamente amplia y sus usos dependerán del objetivo que se persigue en la investigación.

Normalmente, los recursos de la tierra que mejor responden a la detección de sensores montados en plataformas aéreas o espaciales son: Geología-Recursos Mineros; Vegetación y Recursos Suelos, Tierra y Recursos Culturales, Hidrología y Recursos Aguas; Océanos y Recursos Marinos. Sin embargo, otros tipos de parámetros detectables por los sensores, pueden permitir inferir otra serie de cualidades de recursos físicos y humanos útiles para determinar potencialidades en el espacio geográfico.

#### **- GEOLOGIA - RECURSOS MINEROS**

Mapas geológicos regionales pueden ser obtenidos usando fotografías infrarrojo color, las cuales han aumentado considerablemente la utilidad de la foto aérea en esta especialidad por su gran habilidad de diferenciación entre los

distintos tipos de rocas y la identificación de rasgos propios de zonas de alteración hidrotermal u otros que ayudan a identificar áreas de interés económico-minero.

Esta habilidad se basa preferentemente en la ampliación del campo visual en rangos del espectro electromagnético entre 0,7 a 0,9  $\mu\text{m}$ , rango del infrarrojo fotográfico, que capta la radiación reflejada de los distintos tipos litológicos en mejor forma que las fotos aéreas pancromáticas cuyo rango espectral se extiende entre 0.4 y 0.6  $\mu\text{m}$  captando sólo en rango visible semejante al que capta el ojo humano.

Las imágenes LANDSAT, por otra parte, introducidas como un nuevo sensor pasivo, son usadas también fuertemente en el análisis y confección de cartas geológicas regionales, pero cuya capacidad de información es menor debido al escaso grado de resolución espacial (sólo 80 m. mínimo en LANDSAT 1-2-3) con una gama espectral de 0.4 a 1.1  $\mu\text{m}$  lo cual permite la obtención de imágenes hasta escala 1:250.000, lográndose llegar hasta escala 1:100.000 o menores a través del procesamiento digital de datos en cintas computacionales.

El Thematic Mapper montado en el LANDSAT 4 en 1982, posee una resolución de 30  $\mu\text{m}$ . con 7 bandas del espectro, cubriendo entre 0.45 y 2.35  $\mu\text{m}$ . el cual permite la mejor definición de rasgos lineales, tales como fracturas, fallas y lineamientos geológicos y características litológicas mejor definidas.

Normalmente las investigaciones geológicas y mineras se realizan combinando imágenes de satélites y fotos aéreas infrarrojo color a gran altura (escalas medias 1:60.000 a 1:80.000) utilizando éstas últimas como interpretación básica con apoyo de sitios de muestras en terreno y las imágenes LANDSAT como sistema de inter o extrapolación de información.

La ventaja de fotos de color (I/R) sobre las fotos B/N para geología, es su habilidad de diferenciar mejor e identificar un mayor número de superficies de materiales por sus colores. En una escala adecuada (1:10.000 a 1:20.000), se logra la mayor saturación de colores y por ende un mejor detalle y contornos en gran monto para mapeo fotogeológico.

Especialmente útiles son las fotos color en el estudio de rocas plutónicas que permiten separar sólo por color distintos tipos, tales como gabros, sienitas o distintos grados de granitos; respecto a rocas metamórficas significa ventaja en la identificación de los diversos materiales y seguimiento de los contactos.

Otra faceta interesante es el estudio de las zonas mineralizadas y alteración. Un ejemplo de esta utilidad es algunos minerales tales como uranio, cobre y otros. Confiere a las zonas mineralizadas un color anómalo en comparación al resto de la misma roca.

Por otra parte, la ventaja de fotos aéreas I/R son también variadas respecto a fotos B/N y entre ellas se puede indicar que en su exposición no son sensibles a la luz difusa o polarizada y por lo tanto no influye la dirección de los rayos solares en el momento de su exposición.

En relación a los aspectos geológicos mineros, la I/R permite grandes ventajas de interpretación de zonas de alteración permitiendo zonificarla, cosa que con fotos blanco y negro es imposible.

Los diversos comportamientos ante agentes externos de rocas estratificadas son nítidamente claras en la foto I/R por la distinta reflectancia que cada estrato muestra al momento de la exposición.

#### - VEGETACION Y RECURSOS SUELOS

En la agricultura, como rol productivo y los recursos suelo y vegetación, los sensores remotos juegan un papel básico en la detección de sus características y cualidades.

Las técnicas de interpretación visual o digital de datos para la delimitación de tipos de suelos, clasificación de vegetación, grados de erosión, uso de la tierra, catastro de producción, prevención de plagas, etc., son usadas

normalmente empleando fotos aéreas pancromáticas, infrarrojo e infrarrojo color a distintas escalas según grado de detalle que se requiere la información.

En el campo de vegetación y recurso suelos, para las imágenes LANDSAT se han logrado desarrollar métodos de interpretación interactiva utilizando sistemas de ampliación digital de los elementos (pixel) repitiéndolos, aumentando el campo visual de ellos, pero sin que represente aumentar el campo resolutivo de 80 m. en el LANDSAT 1-2-3, 30 m. en el Thematic Mapper y 10 a 20 m. del SPOT francés.

En un levantamiento de suelos a escala de reconocimiento, las imágenes LANDSAT permiten identificar los distintos grados de reflectancia de los suelos según su composición, posición y grados de saturación que lleva a mapear diferentes tipos de suelos apoyadas con una información geomorfológica adecuada. Con este método, CIREN logró la primera información cartográfica de suelos en la región norte caracterizada cartográficamente a escala 1:500.000.

Igualmente, las imágenes satelitales aportan información regional de características forestales en términos de caracterización de áreas de bosque natural, explotadas, quemadas o replantadas, zonificando el conocimiento del recurso el cual puede ser detallado, bajando escalas de trabajo con las fotos aéreas infrarrojo, infrarrojo color o color normal, siendo éstas últimas las más adecuadas en esta especialidad.

Las fotos aéreas de escala amplia infrarrojo color y color normal, han tenido gran resultado en la detección de cultivos, variación de ellos y en general, para determinar el uso actual de los suelos rebajando la estratificación de muestras en terreno. Más aún, las fotos infrarrojo color permiten relacionar el desarrollo y vigor de los cultivos con los factores edafológicos, permitiendo inferir calidad y nutrientes minerales del suelo, como así también factores de restricción en el uso de él.

- TIERRA Y RECURSOS CULTURALES

Los sistemas de interpretación interactivos con análisis digital, permiten el uso de imágenes satelitales a escala regional y fotos aéreas a escala de mayor detalle en la identificación, caracterización y priorización del uso del espacio geográfico en términos de espacios urbanos, rurales e infraestructura que sirven a dichos espacios.

- HIDROLOGIA Y RECURSOS DE AGUA.

El uso directo o indirecto de sensores remotos en el campo de la hidrología, se ha basado en la propiedad del agua de su alta reflectancia de radiaciones principalmente en rangos del cercano infrarrojo e infrarrojo total 0.7 a 1.0  $\mu$  m.

Las fotos aéreas convencionales (blanco/negro), son utilizadas en la planificación de estudios geomorfológicos y geológicos que permiten inferir características hidrológicas de un área determinada.

Las fotos aéreas infrarrojo blanco y negro e iguales que las pancromáticas son ideales para la confección de mapas de drenaje de los cuales se derivan conclusiones fotogeológicas que permiten delimitar áreas o sectores con características potenciales de agua subterránea, infiriendo condiciones hídricas de las rocas o unidades geomorfológicas.

Las imágenes satelitales permiten realizar igual labor, pero con un grado de detalle menor, lográndose cartas de drenaje escala 1:100.000 de buena confiabilidad, disminuyendo ésta a medida que se baja de escala en el caso de imágenes LANDSAT.

Procesando datos de sensores del SPOT, las cartas de drenaje pueden tener escalas hasta 1:25.000 con muy buena resolución.

La gran aplicación de los datos satelitales en este campo, es el inventario repetitivo de fuentes de agua como son los campos de nieve y glaciales de alta montaña, pudiéndose calcular sus volúmenes y estimar el recurso agua disponible para los períodos de riego u otro uso.

- OCEANO Y RECURSOS MARINOS.

Sensores activos tales como el sonar, son utilizados para la determinación de cartas batimétricas, ubicación de masas de peces; sensores pasivos tales como sensores térmicos (sobre  $1.1 \mu m$  del espectro electromagnético), permiten determinar zonificación de temperaturas oceánicas para inferir otras cualidades o factores contaminantes.

La fotografía infrarroja color se ha usado con buen éxito en la caracterización y delimitación de flora marina costera, principalmente algas con carácter económicamente explotable.

Las imágenes MSS satelitales con los sensores actualmente en uso, tienen poca aplicación en la investigación de los recursos marinos, limitándose a mostrar grados de sedimentación en suspensión provenientes del continente o aguas contaminantes en forma general, áreas y praderas de algas preferentemente por el uso del sensor infrarrojo.

- SISTEMAS DE ANALISIS DE DATOS PROVENIENTES DE SENSORES REMOTOS PASIVOS

El dato de un sensor remoto tiene una muy pequeña utilidad en su forma primitiva para el usuario en recursos naturales. La extracción de información, frecuentemente llamada interpretación, es un paso esencial en cualquier programa de recursos naturales.

La interpretación de los datos se puede realizar por varios medios: analítico visual, análisis computacional interactivo y programa de análisis estadístico computacional.

En cada sistema de interpretación se ha desarrollado una gama de métodos, procesos e instrumentos para facilitar la extracción y comprensión de los datos contenidos en el producto de los distintos sensores remotos. En el análisis visual, las técnicas de interpretación se han desarrollado desde años y se basan en características de discernimiento de tonos de grises, textura, pattern, etc. para fotos aéreas e imágenes de satélites en blanco y negro y sobre los mismos principios en fotos infrarrojo blanco y negro, exceptuando su ampliación espectral.

En las fotos infrarrojo color o imágenes en falso color, las técnicas interpretativas difieren de las anteriores dado que los datos contenidos en ellas son el resultado de una combinación de distintos rangos del espectro electromagnético y de colores que hacen resaltar atributos fotográficos propios de ellas y por lo tanto el especialista se obliga a analizar nuevos parámetros en gamas de colores degradantes ampliando enormemente su posibilidad de interpretación de datos.

#### - ANALISIS COMPUTACIONAL

El análisis computacional de interpretación de datos de sensores remotos no es en ningún caso excluyente del especialista en interpretación visual. El sistema computacional es normalmente sólo un nuevo elemento de apoyo al analista que se le brinda como alternativa.

La computación satisface gran parte de los requerimientos para el análisis y comprensión de datos, permitiendo disminuir los costos relativos de la labor por la capacidad computacional misma una vez que los análisis han sido transferidos a ella.

El uso computacional de datos desde sensores remotos se ha orientado preferentemente a dos aspectos:

- a) Realce de imágenes
- b) Clasificación

En el primer caso, el realce hace una visión mucho más contrastada y marcada lo que ayuda grandemente a la fotointerpretación. La dilatación de contrastes es una técnica común usada por fotointérpretes, la cual se ha implementado digitalmente en la computadora con variaciones no posibles con técnicas fotográficas.

Ejemplos de esta técnica son variados, pero aquí se reseñan dos de ellos:

- Histograma de ampliación de igualamiento de contrastes (Histogram equalization stretches) en una forma no lineal, lográndose que en cada nivel de brillantés haya igual número de pixels. La ventaja de este tipo de contraste es que el proceso es automático.
- La otra técnica de realce es la ampliación digital repitiendo los elementos pixels, lográndose a su vez no introducir distorsiones radiométricas o geométricas como sería si se usara una ampliación en una película óptica.

En esta técnica se introduce un procedimiento de filtrado que remueve la estructura rectangular, propio del sistema digital, dando así una visión más natural.

#### b) Clasificación

La determinación de tipos de coberturas del terreno desde imágenes multiespectrales, es un proceso digital complejo. El proceso es llamado clasificación, categorización o mapeo temático y las coberturas de terreno son llamadas clases, categorías o términos, siendo todas ellas la misma cosa.

Generalmente se usan dos aproximaciones:

- Clasificación supervisada
- Clasificación insupervisada o de agregamiento

La primera de ellas, en áreas de tipo de cobertura conocida (clase) es localizada dentro de la imagen y sus coordenadas son identificadas por el computador. Desde el pixel del dato multiespectral dentro del área, el computador extrae valores estadísticos para cada clase, repitiéndose la operación de todas las clases. Cada pixel es entonces, comparado a los valores estadísticos para cada clase.

Si el pixel que se compara resulta favorable con una clase, ésta es identificada con la cobertura de terreno asociada con esa clase.

La clasificación insupervisada identifica todos los elementos de la escena multiespectral que son espectralmente similares y conforman una clase para cada set de elementos similares.

Por este procedimiento se encuentran varias clases que son diferentes unas de otras, siendo necesario usar alguna forma de verificación de terreno para relacionar cada clase a la cobertura actual del terreno.

#### EQUIPOS DE ANALISIS DIGITAL

Los ingredientes básicos de un sistema de análisis digital son: computadora con software, almacén, cintas, procesador de alta velocidad, input gráfico, display, TV, grabador alfanumérico y copiado.

La mayoría de los sistemas consisten en una computadora standard con periféricos especiales que facilitan la eficiencia y fácil análisis; ellos son: productora de copias como producto final o terminales de televisión.

El periférico que produce copias existe en una gran gama: símbolos alfanuméricos, símbolos especiales, plotter impresor con matriz de tildes (Dot Matrix Printer/Plotter); plotter con jet de tinta; video de copias (Video Hard copier); video de película (video a film); grabadora de película (film

recorders); Sistema Optronic (película montada en un tambor y una fuente de luz modulada que se mueve paralela al eje del Tambor); el Sistema Dicomed (grabación de una película usándose un tubo de rayos catódicos con deflexión en "x" e "y" que expone a la película a través de un sistema de lentes y filtros de colores).

#### SISTEMA DE MANIPULACION DIGITAL INTERACTIVA DE IMAGENES

Sistema IDIMS : Producido por los laboratorios de "Sistemas Electromagnéticos" (ESL), contiene un gran set de funciones de aplicación implementado en una computadora HP 3000; de II Serie. Como complemento se incluye una consola de TV para análisis con un digitalizador en x/y y como elemento optativo una computadora periférica extra.

El sistema software incluye un extenso set de funciones de aplicación basado en un ejecutivo procesamiento de imágenes. El análisis multiespectral y el realce de imágenes son funciones que están bien desarrolladas en este sistema.

El procesador software está incluido en el sistema básico que el analista usa en programas orientados a aplicaciones de estructuras específicas. Estos programas son usados durante una sesión interactiva para guiar un análisis a través de un set de funciones de aplicación.

Para el desarrollo de grandes programas se puede implementar fácilmente una Memoria Virtual con una línea standard de periféricos tales como plan de salida; impresora de líneas, tapes drives y terminales alfanuméricos.

#### SISTEMA SOFTWARE DE INFORMACION GRAFICA

Si en la investigación de recursos naturales se está utilizando datos de imágenes satelitales o fotos aéreas infrarrojo color, el primer paso consistirá en la clasificación de estos datos. Los siguientes pasos en un procesamiento computacional es la integración de clases de cobertura del

terreno en un sistema automatizado de Información Gráfica (GIS). Un GIS se define como un sistema que tiene, como su primera fuente de entrada, una base compuesta de datos referidos a las siguientes funciones:

- 1 - Captura del dato
- 2 - Entrada de datos
- 3 - Manejo de los datos
- 4 - Análisis y manipulación; y
- 5 - Exposición de datos

Un ejemplo de uso sería el caso de tener mapas con dos tipos de datos diferentes, vegetación y suelos por ejemplo. Estos son almacenados y sobrepuestos para formar el mapa de composición en que las áreas definidas se forman por la intersección de áreas de vegetación y suelos. Este es el ejemplo más simple, lográndose composiciones más complicadas, tales como densas sumatorias de muchos tipos de datos.

En una GIS operacional se pueden almacenar de 20 a 50 planes de datos. Los datos satelitales o infrarrojo color de gran altura ofrecen muchas ventajas cuando son usados en una GIS debido al ahorro de tiempo y costo cuando se establece el dato base.

Según los usuarios de GIS, las operaciones más costosas ocurren cuando la mayoría de los datos gráficos provienen de mapas y deben digitalizarse; la ventaja de datos directos de imágenes está precisamente en su menor costo y además porque permite la actualización con datos frecuentes colectados desde imágenes de satélites de investigación.

Aparte de los sistemas reseñados, existen otros, pero que en su base están constituidos más o menos similares y sus funciones también se asemejan en cuanto a confiabilidad de la información aportada.

Un ejemplo de uso combinado de imágenes de satélites y fotografías aéreas infrarrojo color usando proceso digital

Se cree conveniente explicar con este ejemplo la estratificación de datos satelitales antes o después de su clasificación para aumentar significativamente los resultados finales.

En un inventario de recursos y programas de mapeos, los datos digitales de Landsat son comúnmente analizados usando procedimientos de análisis interactivo y clasificación de algoritmos multiespectrales. El propósito de la clasificación de imágenes multiespectrales es agrupar un gran número de pixels dentro de un número de categorías significativas que puedan ser relacionados a los rangos de los recursos analizados.

Cuando los rangos de diferentes recursos (por ejemplo tierras de agricultura y centro urbano) tienen características espectrales similares se puede estar incurriendo en un error en la clasificación.

Estos errores pueden ser reducidos por estratificación de los datos satelitales dentro de estratos que son relativamente homogéneos con respecto a la cobertura vegetal u otras características espectrales.

Los estratos que se delinien dependerán del tamaño del terreno, proporciones relativas de tipos de cultivos, condiciones del terreno y la proporción de terrenos no agrícolas-culturales.

El dato multiespectral dentro de cada estrato, se clasifica con el máximo de algoritmos de probabilidades para obtener las áreas iniciales estimadas de cada clase de vegetación dentro del estrato, siendo finalmente usadas técnicas de muestreo multifaséticos para derivar las áreas finales estimadas.

## UN METODO DE CLASIFICACION DIGITAL

Un sistema de clasificación digital de imágenes consiste en usar el procedimiento de análisis interactivo y un máximo de algoritmos de probabilidades de clasificación.

Una técnica de agrupación controlada se usa para un set de técnicas de derivación estadística que se usa con algoritmos de clasificación.

El método consiste en elegir áreas de tamaños adecuados que pueden ser localizadas en fotos aéreas infrarrojo color. Estas áreas son seleccionadas de acuerdo a los rangos de representación de las condiciones de recursos investigados y tipos de cobertura del terreno a través del área estudiada. Las áreas de muestreo son localizadas en los datos de las imágenes y los valores de brillantés de todos los pixel dentro del área de muestreo son agrupados dentro de un gran número de agrupaciones espectrales.

Las agrupaciones de las áreas de muestreo son colocadas en códigos de colores, dispuestas en un monitor de color y comparadas con una fotografía infrarrojo color. Las estadísticas para todas las agrupaciones espectrales son luego usadas para calcular una medida estadística de separación entre agrupaciones espectrales en un espacio multidimensional.

Para determinar cuáles agrupaciones espectrales podrán combinarse, se utiliza la separación estadística y una clase interpretada para cada agrupación espectral. Las áreas de muestreo estadístico y los datos de la imagen son colocados en una clasificación de máxima probabilidad.

La evaluación de los resultados iniciales puede indicar por ejemplo, confusión entre áreas residenciales antiguas y tierras agrícolas, las cuales pueden estar parcialmente inundadas; para este caso los datos digitales se pueden dividir en varios estratos o grupos para minimizar la variación de la cobertura del terreno con otros rasgos tales como la tierra agrícola inundada dentro de cada estrato.

## PERSPECTIVAS DE LAS IMAGENES SATELITALES

- Con estas técnicas (realce o clasificación), es particularmente útil en estudios de geología, geomorfología, hidrología, cobertura vegetal y suelos.
- Normalmente, sin embargo, el uso de técnicas de percepción remota para recursos naturales se realiza a través del uso combinado de datos provenientes de satélites y datos desde sensores remotos montados en plataformas aéreas.
- La fotografía infrarrojo color y color normal son los productos fotográficos que han sido desarrollados últimamente, presentando todas las ventajas de la imagen de satélite en cuanto a la gama espectral, sumándose a ella la posibilidad de planificar libremente la escala de detalle que se requiera.
- Un método exitoso en la investigación de los recursos naturales es el uso de fotos aéreas infrarrojo color a una escala promedio combinada con imágenes satelitales, sirviendo éstas últimas como elemento de extrapolación y la posterior reactualización de la información generada.
- Los sistemas computacionales en sus distintos métodos y equipos, sistemas display de imágenes, sistemas interactivos u otros, permite al analista de recursos naturales utilizar integralmente los datos que aportan los sensores remotos, constituyéndose así en una labor normal necesaria en los inventarios de recursos naturales.
- En el TM las nuevas regiones espectrales en relación al MSS son la "banda azul" (0.45 - 0.52  $\mu$  m). La banda 1.55 - 1.75  $\mu$  m y la banda 2.08 - 2.85  $\mu$  m.

La banda 2.08 - 2.85  $\mu$  m ha sido agregada y su primer interés se basa en los estudios geológicos en la distinción de áreas alteradas hidrotérmicamente de zonas no alteradas.

La banda 1.55 - 1.75  $\mu\text{m}$  puede tener numerosos usos para la agricultura, geología y recurso agua. En esta región espectral por ejemplo, la nieve tiene una baja reflectancia en relación a la que presentan las nubes de campos de nieve.

- Se ven muy importantes las ventajas comparativas con una resolución espacial de 30 m. del TM versus 80 m. del MSS de las Landsat 1, 2 y 3; con 7 bandas espectrales de las cuales varias son nuevas o por lo menos son más precisas y cuidadosa posición para la observación de rasgos agrícolas, forestales y geológicos en comparación a 5 bandas del Landsat 3 y sólo 4 de los Landsat 1 y 2.
- Las imágenes del satélite SPOT aportan técnicamente mejores cualidades de resolución (20 m. en terreno), posibilidad de repetición de hasta 2 días debido a su facultad de mira lateral y una calidad espectral con variación de colores fácilmente discernibles.

#### CONCLUSIONES

- Los datos provenientes de sensores fotográficos e imágenes son el medio más rápido, económico y confiable en el conocimiento de los recursos naturales.
- La utilización de datos de sensores montados en módulos espaciales dependerá del grado de detalle en que se requiere la información.
- El uso unitario de datos de imágenes de satélites se reduce a obtener información a nivel de reconocimiento de los recursos naturales.

- Las imágenes satelitales aparecen como un excelente material para definir zonificación del espacio geográfico, unidades de paisajes, ecosistemas o agrupamiento de aptitudes de la tierra a nivel regional. Esta habilidad de las imágenes satelitales para definir las unidades referidas, se debe a su carácter integrador de información, lo que permite una planificación más expedita en la investigación de más detalle de los distintos recursos de acuerdo a su vocación.
  
- Con técnicas computacionales de realce (contraste de colores) o de clasificación por medios digitales, se logra una mayor y mejor extracción de datos desde las imágenes de satélites. Con estas técnicas, el grado de información obtenida desde los sensores espectrales puede ser ampliado hasta una escala de representación 1:25.000 en forma confiable, disminuyendo ésta rápidamente a medida que la escala se amplía.

#### USO COMBINADO DE FOTOGRAFIAS AEREAS INFRARROJO COLOR E IMAGENES DE SATELITES DE INVESTIGACION.

En una labor de investigación de recursos naturales, la labor de terreno aparece normalmente como la más costosa desde el punto de vista económico, la más lenta por las dificultades propias del terreno y finalmente, es la etapa en que se pueden introducir criterios subjetivos reduciendo la confiabilidad de la información.

Por estas razones y otras, la labor de terreno debe reducirse al mínimo, introduciendo técnicas de detección a distancia que permitan una mayor rapidez en la disposición de información y además que ésta tenga un alto grado de confiabilidad.

Un método integrado de uso de datos de terreno, fotos aéreas y satélite, constituye el camino más lógico en inventario y evaluación de recursos naturales y medio ambiente.

## OTROS SENSORES REMOTOS

Aparte de la utilización de sensores pasivos, tales como fotogramas aéreos e imágenes satelitales, se ha desarrollado una amplia gama de sensores remotos en plataformas terrestres, aéreas y espaciales que han venido a incrementar notoriamente las capacidades de interpretación de aspectos de interés en la superficie terrestre.

De otra manera, se puede decir que un sensor, cualquiera que éste sea, es un elemento esencial de los sistemas de investigación o estudio de recursos naturales.

## IMAGENES SATELITICAS

Las imágenes tomadas por satélite, pueden ser grabadas en una película o convertidas en señales eléctricas y grabadas en cintas a bordo del satélite o guardadas electrónicamente, las cuales pueden ser transmitidas directamente a la tierra cuando el satélite esté dentro del rango de la estación terrestre colectora de datos o vía otra plataforma espacial.

Esta forma de adquirir y transmitir datos satelitales hace al sistema muy útil en programas de monitoreo o seguimiento de procesos que ocurren en la superficie terrestre en términos de oportunidad y costo.

Los casos típicos de aplicación, corresponden a fenómenos de la naturaleza que requieren de atención constante y tiempo real, tal como inundaciones, incendios forestales, actividad volcánica, procesos contaminantes en aguas continentales y marinas, etc. En estos casos los datos de imágenes satelitales permiten a los técnicos evaluar el fenómeno y prever medidas que aminoren los eventuales daños.

También, en el seguimiento de cultivos agrícolas como un medio de evaluación de cosechas, los datos satelitales constituyen un importante elemento de decisión.

#### FOTOGRAMA AEREO RANGO VISIBLE

Es el sensor pasivo de mayor uso en los estudios relacionados con los recursos físicos, siendo aplicado en forma masiva en estudios de recursos naturales en Chile a contar del Proyecto Aerofotogramétrico Chile/OEA/BID en 1960.

En términos generales, las fotografías aéreas confeccionadas en blanco/negro y color natural, corresponden al rango visible (0.4 a 0.7  $\mu$  m) del espectro electromagnético, captando con igual capacidad que tiene el ojo humano, variando solamente la escala de toma y película utilizada.

Fuera del rango visible del espectro se han desarrollado películas y cámaras para detectar rangos más amplios del rango visible, como es el caso del cercano infrarrojo (0.7 a 1.1  $\mu$ m) e infrarrojo (sobre 1.4  $\mu$ m), permitiendo con ello ampliar las aplicaciones de este sensor en la investigación como los procesos de aguas continentales y evaluación de cultivos por contrastes.

#### RADAR

Corresponde a un sensor de micro-onda que puede operar a través de cubiertas de nubes y lluvia, siendo el único en su capacidad de proveer información bajo condiciones donde otros sensores restan operabilidad por el clima.

Las respuestas de micro-ondas son funciones de frecuencia o largo de onda, polarización y ángulo de visión.

Un sistema de radar contiene un transmisor el cual provee energía emitida desde una antena. La energía viaja al objetivo y vuelve a la antena receptora. La señal del receptor es relativa en parte a la señal transmitida y el resultado de este procesamiento es desplegado para su uso. A menudo la misma antena es usada como transmisor y receptor.

Dado que la antena transmisora es circular, el rayo genera un ángulo con respecto a la dirección de vuelo, generándose así un tamaño de celda de isolíneas, el cual queda determinado por el ángulo del ancho de rayo de la antena.

El sistema empleado se conoce como SLAR (side-looking radar), el cual es montado en una plataforma aérea para desplegar las características captadas de la superficie de la tierra en forma de bandas de mapas o fotos aéreas seleccionadas.

La energía de micro-onda reflectada desde el terreno es proporcionalmente convertida en energía luminosa y grabada en una película fotográfica como una función de distancia a lo largo de la aerovía y la distancia desde la aerovía. La densidad de grabación de la imagen podrá variar desde punto a punto de acuerdo con la rugosidad de la superficie, contenido de agua y otros parámetros, para formar una imagen que pueda ser interpretada en términos de rasgos topográficos y las generadas o producidas por el hombre en terreno.

Alternativamente, la señal puede ser grabada en cinta magnética, digitalizada y presentada en una imagen digital. De esta forma, puede ser corregida de distorsiones y sujeta a pattern de reconocimiento y algoritmos de realce de imagen para propósitos especiales.

#### LEVANTAMIENTO AEROMAGNETICO

En los estudios básicos de geología dirigidos a la obtención de información derivada (recursos hídricos, mineros y energéticos), el levantamiento aeromagnético es usado para medir anomalías magnéticas que permitan interpretar la profundidad del basamento y estructuras subsuperficiales por medio de su campo magnético inducido.

Normalmente, para este tipo de levantamiento se utilizan plataformas aéreas del tipo avión o helicópteros para áreas reducidas, entregando como resultados perfiles geofísicos y mapas interpretativos aeromagnéticos.

## COSTOS DE OPERACIONES DE LOS DISTINTOS SENSORES

Las empresas, normalmente extranjeras, dedicadas al procesamiento y preparación de productos resultantes de sensores remotos, determinan sus costos evaluando parcialmente los procesos intermedios para la obtención del producto, pero entregando finalmente un costo unitario por hectárea o costo unitario por fotograma, imagen u otro producto.

Para efectos de este análisis, se ha utilizado la proposición técnica, presentada por Aero Service Limited a CORFO en 1988 y evaluada por CIREN.

### Imágenes de radar:

Radar de abertura sintética estereoscópicas lateral (2 visiones de distinto ángulo de depresión del mismo lado).

Resolución de terreno: 10-12 m.

Recubrimiento por imagen: 37 Km. largo por 14 Km. de ancho

Mosaico de imágenes controlado con puntos de control de terreno para limitación de distorsiones geométricas.

Escalas: 1:100.000; 1:50.000; 1:25.000 por imagen.

### Costos fijos:

Movilización y desmovilización de avión  
tripulación/técnicos

### Costos variables:

Adquisición, procesamiento, generación de imágenes a escala que se solicite mosaicos controlados.

(No incluye costos de puntos de control de terreno que los aporta el cliente en términos de un punto de control cada 6.000 Km<sup>2</sup>).

Costo total por Km<sup>2</sup> : US\$ 1.69 aproximado.

Imágenes satelitales:

Imágenes MSS (Multi Spectral System) en falso color realizado.

Resolución de terreno: 80-90 m. Landsat 1/2/3

30 m. Landsat 4 (Thematic Mapper)

20 m. SPOT

Recubrimiento por imagen: 20.164 Km<sup>2</sup> variable

Escalas: 1:1.000.000; 1:250.000; 1:100.000; 1:50.000

Costos fijos:

Captación, transmisión y preparación cinta compatible (CCT)

Costos variables:

Confección de imagen según escala y procesos de corrección y realce

Costo total por hectárea: US\$ 3 aproximado

Levantamiento Aeromagnético:

Medición de anomalías magnéticas para interpretación geofísica

Resolución de terreno: --

Recubrimiento por imagen: lineal

Mapas : intensidad magnética  
base con líneas de vuelo  
: interpretativo de profundidad del basamento  
: intensidad magnética total

Costos fijos:

Movilización/desmovilización de avión

tripulación/técnicos

Adquisición y compilación de datos en terreno y laboratorio

Costos variables:

Interpretación geofísica con perfiles

Mapas interpretativos

Costo total: US\$ 29.80 por Km<sup>2</sup>

Fotogramas aéreos:

Recubrimiento fotos blanco/negro aptas para interpretación estereoscópica

Resolución de terreno: variable según escala

Recubrimiento por foto: según escala

Escala: 1:10.000 a 1:60.000.

Costos fijos:

Movilización y desmovilización de avión

tripulación/técnicos

Película

Proceso de revelado y preparación de positivas

Costos variables:

Productos según tipo de material

Preparación de fotoíndices, mosaicos, etc.

Costo total: US\$ 1.8 aproximado, por Km<sup>2</sup>

## SENSORES REMOTOS EN CIREN

Siendo CIREN un organismo dedicado a concentrar, procesar y adecuar información de recursos naturales para ser puesta a disposición de usuarios, tanto gubernamentales como privados, los sensores remotos ocupan un lugar de atención en la toma de decisión respecto a sus programas de ingreso y actualización de información.

## FOTOGRAMAS AEREOS

Tradicionalmente, en los estudios realizados la fotografía aérea ha tenido un rol preponderante como sensor utilizado para interpretar los distintos recursos naturales debido a sus condiciones de buena resolución terrestre, fácil adquisición y disponibilidad para ser utilizadas repetidamente.

Sin embargo, la cubierta oficial de fotogramas aéreos está referida a escalas 1:30.000 y 1:60.000 (SAF Vuelos CHI), las cuales no son renovadas con una periodicidad adecuada y por lo tanto, en aquellos estudios de sectores muy dinámicos, tales como los sectores frutícola, silvícola y otros, la utilización de fotografías aéreas se ve fuertemente disminuída por su desfase en el tiempo.

Dado que la obtención de fotogramas aéreos a una escala adecuada sigue siendo de un costo adecuado en relación a otros sensores, aparece como atrayente la mantención de un sistema continuo de cubierta a escala detallada y semidetallada.

Para CIREN, la fotografía aérea también cumple el papel de material básico para la confección de su carta base oficial, consistente en ortofotos a escala 1:10.000 para las regiones I a IV y 1:20.000 para el resto de las regiones.

En efecto, CIREN está implementando una nueva cubierta de cartas base contando en la actualidad con ortofotos desde la IV hasta la IX Región y se está efectuando la preparación de dicha cubierta para la X Región.

Para realizar esta labor, CIREN contrata con el Servicio Aerofotogramétrico, SAF, la toma de fotografías aéreas que deben reunir una serie de condiciones para ser procesadas en la confección de ortofotos. Indudablemente, el costo total de obtención de cada fotograma aumenta considerablemente, pero ellos son utilizados también para los estudios de recursos naturales respectivos.

#### IMAGENES SATELITALES

CIREN, desde 1977 ha incursionado en el uso de imágenes satelitales para sus estudios de recursos naturales. En efecto, en la fecha indicada se estableció un proyecto desarrollado en la I y II Región, inventariando los recursos naturales de dichas regiones utilizándose imágenes satelitales del sistema Landsat, cubriendo una superficie cercana a 200.000 Km<sup>2</sup>, con información de geomorfología, geología, suelos, vegetación y recursos hídricos, constituyéndose hasta el día de hoy en el único levantamiento regional de recursos de esas regiones.

Junto con ello, se han desarrollado algunas metodologías de interpretación de imágenes, tales como el establecimiento de patrones de reconocimiento por medio de mediciones densitométricas en bosques artificiales, análisis de cultivos, etc.

En 1981, durante la implementación del proyecto CIREN, se creó un set de imágenes falso color realizado, escala 1:250.000, que cubren desde la V a la VIII Región con el propósito de hacer un seguimiento en los estudios de recursos naturales que habían sido encargados a empresas consultoras. Posteriormente, dichas imágenes han sido utilizadas en la preparación de información regional de geomorfología para estudios de hidrología y clima.

En definitiva, CIREN ha utilizado las imágenes satelitales y empleado técnicas interpretativas de tipo analógica visual, pero su utilización no ha constituido un método permanente en el acopio de información de recursos naturales y ellas, más bien han sido consideradas como un sistema experimental que no ha avanzado por factores de políticas de desarrollo aplicadas a la institución.

Sin embargo, debido a que CIREN cumple un rol de real importancia en la mantención de un centro que recopila y estandariza información, los sensores remotos satelitales deberían ser instrumentos permanentes de interpretación, tanto en lo referente a recursos naturales como en los procesos y efectos del medio ambiente en lo referente a contaminación y degradación de los recursos.

Actualmente, cuando el problema del medio ambiente está tomando una real dimensión de políticas para su control, la información que se puede obtener desde sensores remotos satelitales constituye un instrumento de real significación por las siguientes causas:

- Los procesos degradacionales del medio ambiente son normalmente de carácter regional, tales como desertificación, degradación de los suelos, procesos erosivos, cambios en la conformación vegetacional, etc. Todos estos procesos resultan mejor detectados y evaluados a través de un sensor espacial por su carácter integrador.
- El carácter repetitivo de la imagen (18 días en Landsat, 2 días en Spot), permite un seguimiento o monitoreo en tiempo real de los fenómenos o procesos que se están analizando.

Esta particularidad de los sensores montados en plataformas espaciales permite, en términos de costo/beneficio, un mejor resultado que el uso de fotografías aéreas, por ejemplo.

- Cualidad de almacenar la información analizada en cinta computacional, permite recuperarla en forma fácil cuantas veces se requiera.
- El carácter integrador de los datos presentes en una imagen, permite al técnico inventariar y evaluar características de la superficie terrestre que están dependientes o interrelacionadas con otras características, lo cual crea ventajas sobre sensores montados en plataformas aéreas por su restringida área de recubrimiento.
- La existencia de una nueva generación de sensores montados en el satélite Spot, permite un procesamiento muy adecuado de los recursos con grados de resolución cercanos a lo que se puede obtener usando fotos aéreas escala 1:50.000, con la ventaja de trabajar en un rango más amplio del espectro electromagnético y por lo tanto con una mayor exactitud en los rasgos observables.
- Las ventajas del spot, resolución 20 m. en falso color y 10 m. en pancromático, capacidad pseudo estereo, repetición de paso por el mismo punto cada dos días, permite considerarlo también como un adecuado material para la preparación de carta base donde no exista una adecuada cartografía topográfica a escala 1:50.000 o mapas, como puede ser el caso de áreas remotas en el extremo sur del país donde el clima restringe severamente la toma de fotos aéreas para levantamientos de restitución aerofotogramétrica.

Los argumentos antes señalados, demuestran la real importancia potencial que poseen la generación de sensores remotos montados en plataformas espaciales. Cabe, sin embargo, indicar que la utilización de estos sensores espaciales son parte parcial del proceso de investigación de recursos naturales y del medio ambiente ya que la fotografía aérea constituye el nivel más detallado de estudio de procesos que ocurren en la naturaleza.

## RADAR

CIREN no tiene experiencia en este sensor pasivo. Sin embargo, debido a la necesidad del hombre de conocer en detalle y en el menor tiempo los procesos que ocurren en la superficie terrestre, ha desarrollado este sensor activo que por tener su propia fuente de energía puede ser operado bajo condiciones de clima y tiempo cronométrico que los sensores pasivos no lo hacen.

El sistema de radar lateral que ha sido permanentemente perfeccionado por empresas del rubro, se constituye como un atrayente instrumento de análisis en áreas donde las condiciones de clima son rigurosas.

## COMENTARIOS FINALES

Con lo expresado en los capítulos anteriores, se puede observar que los sensores remotos, sean espaciales, aéreos o terrestres, son instrumentos de análisis de gran apoyo para los objetivos relacionados con los recursos naturales y el medio ambiente.

Hasta la fecha, los esfuerzos generados para sus aplicaciones se han mantenido en forma inconexa, parcial y sin una política de desarrollo de acuerdo a las reales necesidades de información que el país requiere.

CIREN consideraría muy adecuado el establecer sistemas de investigación para sus aplicaciones por parte de los organismos relacionados, evitando la duplicidad de esfuerzos técnicos y económicos. Estos sistemas se deberían realizar por medio de programas de aplicación de los distintos sensores según proyectos estructurados en forma integral, con participación de grupos de profesionales entrenados adecuadamente.