

TOMO XXXI

Nº 8

ACADEMIA NACIONAL
DE
AGRONOMIA Y VETERINARIA

Buenos Aires

República Argentina

ACTO DE INCORPORACION
DEL
ACADEMICO CORRESPONDIENTE
Ing. Agr. Jorge Alfredo Luque

Discurso de recepción por el Académico de Número
Ing. Agr. Manfredo Al. Reichart

Conferencia por el Académico Correspondiente
Ing. Agr. Jorge Alfredo Luque
sobre empleo de las imágenes satelitarias en el estudio de los
recursos naturales, agua, suelo y el medio ambiente



Sesión Pública
del
26 de Setiembre de 1977

ACADEMIA NACIONAL DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

Fundada el 16 de octubre de 1909

Arenales 1678

Buenos Aires

MESA DIRECTIVA

<i>Presidente</i>	Dr. Antonio Pires
<i>Vicepresidente</i>	Ing. Agr. Gastón Bordelois
<i>Secretario General</i>	Dr. Enrique García Mata
<i>Secretario de Actas</i>	Dr. Alfredo Manzullo
<i>Tesorero</i>	Ing. Agr. Eduardo Pous Peña
<i>Protesorero</i>	Dr. Oscar M. Newton

ACADEMICOS DE NUMERO

Dr. Héctor G. Aramburu
Dr. Alejandro C. Baudou
Ing. Agr. Gastón Bordelois
Ing. Agr. Juan J. Burgos
Dr. Miguel Angel Cárcano
Ing. Agr. Ewald Favret
Dr. Enrique García Mata
Dr. Mauricio B. Helman
Ing. Agr. Diego J. Ibarbia
Ing. Agr. Walter F. Kugler
Dr. Alfredo Manzullo
Dr. José Julio Monteverde
Dr. Oscar M. Newton
Dr. Antonio Pires
Ing. Agr. Eduardo Pous Peña
Dr. José María Rafael Quevedo
Ing. Agr. Eduardo E. Ragonese
Dr. Norberto Ras
Ing. Agr. Manfredo A. L. Reichart
Dr. José R. Serres
Ing. Agr. Enrique M. Sivori
Ing. Agr. Alberto Soriano
Ing. Agr. Santos Soriano
Dr. Ezequiel C. Tagle

ACADEMICO EMERITO

Dr. Emilio Solanet

ACADEMICO HONORARIO

Ing. Agr. Dr. Norman E. Borlaug

ACADEMICOS ELECTOS

Ing. Agr. Ichiro Mizuno
Ing. Agr. Juan H. Hunziker

ACADEMICOS CORRESPONDIENTES

Dr. Telésforo Bonadonna, Italia
Dr. Felice Cinotti, Italia
Ing. Agr. Guillermo Covas, Argentina
Ing. Agr. Salomón Horowitz Yarcho, Venezuela
Dr. Carlos Luis de Cuenca (España)
Ing. Agr. Jorge A. Luque (Argentina)
Ing. Agr. León Nijensohn (Argentina)
Ing. Agr. Antonio Krapovickas (Argentina)
Ing. Agr. Armando T. Hunziker (Argentina)

CONFERENCIA DE INCORPORACION DEL ACADEMICO
CORRESPONDIENTE
ING. AGR. JORGE ALFREDO LUQUE

EMPLEO DE LAS IMAGENES SATELITARIAS EN EL ESTUDIO
DE LOS RECURSOS NATURALES AGUA, SUELO
Y EL MEDIO AMBIENTE

1. *Introducción*

El avance y consecuente desarrollo ininterrumpido de la tecnología ha permitido la adopción de nuevas técnicas casi espectaculares en el estudio y el conocimiento de un área o región, mediante el uso de fotografías aéreas e imágenes obtenidas con técnicas de teledetección. Como ya es ampliamente conocido, la fotografía aérea se ha venido aplicando en forma corriente en las prospecciones agrícolas, estudio de los recursos, relevamiento fotográfico de todo orden y análisis con distintos fines de la superficie terrestre.

Desde el año 1972 y particularmente en razón del lanzamiento del satélite utilitario LANDSAT, se ha enfatizado sobre el concepto de "teledetección remota", aludiendo al empleo de las imágenes satelitarias, es decir, fotografías en diferentes bandas e imágenes sujetas a código tomadas por los referidos satélites NOAA, NIMBUS, ERTS, SKY-LAB, etcétera.

Mecanismos de teledetección se han incorporado como técnicas usuales para el análisis de los recursos naturales. Se han utilizado para tal propósito vehículos portadores tales como aviones, globos, cohetes y finalmente satélites que circunscriben el planeta según una órbita determinada en un tiempo prefijado, entregando imágenes sucesivas de áreas terrestres.

Los instrumentos y aparatos usados para el logro de la foto, imagen o respuesta codificada han sido, entre otros, las cámaras o sistemas fotográficos en blanco y negro y en color; barredores multiespectrales tubos para imágenes, radares de distinto tipo, etcétera. Ellos "detectan" o miden sin modificar ni el medio ni el objeto.

Ya desde los años 1964 y 1965, las primeras fotografías obtenidas con los vuelos de las cápsulas tripuladas GEMINIS y de los prototipos de satélites ESSA y TIROS (1960 a 1965 y 1966 a 1969), per-

mitieron al ser evaluadas constatar la probable utilidad de los cohetes y satélites para esta teledetección, apelando a los denominados sensores remotos.

De tal forma, se hace efectivo en la NASA el programa denominado ERS (programa de observación de los recursos naturales), cuya realidad más tangible lo constituye el ERTS-1 o Satélite LANDSAT lanzado por los Estados Unidos el 23 de julio de 1972 para analizar más en detalle las posibilidades de las imágenes satelitarias.

Este satélite utilitario trabaja en órbita circular a unos 912 km de la superficie terrestre, efectuando 14 revoluciones por día, con un período de giro completo de alrededor de 103 minutos y volviendo a cumplir la misma órbita o recorrido, prácticamente sobre el mismo lugar, cada 18 días, luego de dar 252 veces la vuelta a la tierra. Ello indica que pasa por cada lugar unas veinte veces al año, circunstancia muy importante para observaciones periódicas.

Posee tres cámaras Vidicon con haz de retorno, un sistema de barrido multispectral, trabajando en cuatro bandas de longitudes de onda desde el visible hasta el infrarrojo cercano.

Poco tiempo después, el 25 de mayo de 1973 y en dos etapas, con tres tripulaciones sucesivas, se coloca en órbita el SKYLAB o Laboratorio estelar que completa un giro cada 93 minutos y repite sus pasadas sobre un mismo punto de la Tierra cada 5 días.

La altura de toma de las imágenes en este caso es de 435 kilómetros.

El SKYLAB posee una cámara fotográfica multispectral de 6 bandas, una cámara tipo terrestre simple, un espectómetro infrarrojo, un detector multi-espectral y un sensor radiométrico de banda.

El empleo de los satélites utilitarios se sigue perfeccionando hasta contar en la fecha con el ERST-2 que reemplaza al primer LANDSAT y fuera lanzado en enero de 1975 en órbita polar sincrónica con el sol, los satélites meteorológicos NOAA-1 a NOAA-5 y, en un avance tecnológico sin precedente, con el sistema SMS/GOES americano de satélites meteorológicos y de observación, que llegará a tener cuatro satélites fijos anclados en el espacio a una altura determinada, los cuales permiten una recurrencia de datos sobre un mismo punto del continente cada 30 minutos aproximadamente, con posibilidades de observación y detección continua sobre fenómenos meteorológicos definidos. Asimismo futuros programas han previsto el lanzamiento del LANDSAT-3 (hoy LANDSAT-C), LAGEOS, SEASAT, etcétera.

Dadas las características muy particulares del sistema SMS/GOES, se considera oportuno ampliar la presente referencia.

Su denominación puede traducirse como "Satélites meteorológicos sincrónicos/Satélites geoestacionarios de estudio del medio ambiente" (SMS/GOES).

Su origen proviene de dos satélites tecnológicos de aplicaciones de la NASA, los cuales mostraron la ventaja de presentarse sincrónicos con la tierra, es decir, estacionarios con respecto a un punto de la superficie, pues van girando al mismo tiempo cumpliendo una velocidad angular que les permite mantener dicha condición.

Están "anelados" en una posición mucho más alta que los satélites "utilitarios" del tipo LANDSAT, pues se encuentran a más de treinta mil kilómetros de altura.

De tal forma, los sensores tienen siempre en vista la misma región o área, pero van "oscilando" desde arriba hacia abajo y girando continuamente para "barrer" en líneas sucesivas un cuarto de la superficie terrestre cada satélite.

Los primeros se ubicaron sincrónicamente sobre el continente americano; lanzados en el año 1974, dos de ellos están a 70° y 120° de longitud oeste.

Sumariamente, su metodología operativa es la siguiente:

Posee un sistema de "barrido" en líneas paralelas, mediante pasadas sucesivas, de norte a sur y girando a razón de 100 revoluciones por minuto. El dato es entregado en el momento en que el espejo de barrido está mirando en forma opuesta a la tierra. En algo más de 18 minutos se efectúa así alrededor de 1.820 pasos o líneas de barrido, completando una imagen.

Las vistas diurnas se obtienen fundamentalmente escudriñando con 8 bandas del visible y las nocturnas en 2 del infrarrojo. Primariamente, los datos son enviados a la estación de Comando y Adquisición de Datos de la NOAA en los Estados Unidos. Posteriormente intervienen el Servicio Nacional de Satélites del Medio Ambiente (Suitland, USA), cuatro estaciones centralizadoras y otras estaciones denominadas de Campaña.

El sistema barredor denominado "VISSR" enfrenta a la superficie terrestre en cada revolución durante $1/20$ avo de cada rotación, lo que significa angularmente un ancho de 18° .

Junto con las imágenes compuestas es dable obtener fotografías de alrededor de 16 cm de lado, que pueden abarcar hasta $1/4$ de la superficie terrestre.

El Centro Meteorológico Nacional de Servicio del Tiempo americano usa datos relativos a temperatura en alturas, velocidad y direc-

ción del viento, humedad relativa, etc., proveniente de estos satélites para la predicción del tiempo.

Las imágenes de nubes obtenidas son muy completas y dicha información puede coordinarse con otras variables meteorológicas y físicas. La observación solar es también de singular importancia. Uno de los detalles más significativos del sistema GOES lo constituye el sistema en estructuración de recolección de datos de las "plataformas observadoras". Cuando el mismo se complete, cada 6 horas se podrán recoger datos de más de 10.000 puntos situados sobre mar y tierra (estaciones espaciales, buques, etc.), los cuales se independizarán del factor humano y actuarán automáticamente, bajo tres circunstancias que se les requerirá: 1) a intervalos de tiempo prefijado; 2) cuando se la interroga mediante señal, y 3) en el momento en que se sobrepasen ciertos umbrales de medición establecidos.

El Centro de Predicciones Hidrológicas del Servicio Nacional en USA contará así con un valioso sistema de apoyo y recolección automática de datos, siguiendo el nivel de centenares de ríos a la vez.

Muchas otras aplicaciones se están concretando dentro del campo del medio ambiente y los recursos naturales.

2. *Fundamentos de las imágenes obtenidas mediante sensores remotos*

Aunque dentro del término de Sensores remotos se encuadran a todos aquellos instrumentos con capacidad de captar o detectar una cierta clase o flujo de energía para fines específicos de análisis, la espectacularidad de los aparatos o sensores colocados en satélites "ad-hoc" ha hecho que, de preferencia, se tienda a explicar esta tecnología apelando en primer lugar a las imágenes satelitarias.

No obstante, una gran parte de la tecnología en el uso de los sensores remotos se desarrolla en función de las cámaras, barredores y radares aerotransportados mediante aviones, que pueden seleccionar para cada caso su altura, dirección y naturaleza de vuelo. Las imágenes satelitarias son un valioso complemento.

Los satélites productores de imágenes, a medida que avanzan en su giro alrededor del planeta, van tomando fotografías o imágenes con su cámara multispectral integrada por varias unidades (6 en el caso del SKYLAB) o con cámaras tipo terrestre de gran poder de resolución, etcétera.

En el primer caso pueden establecerse series automáticas sobre determinadas regiones con frecuencias 1 a 10 (entre 2 a 20 segundos), lográndose así por ejemplo una superposición longitudinal del 60 % con el intervalo de 10 segundos en las imágenes. Para 435 km de altura,

que es el caso del SKYLAB, cubren un campo de 163×163 km, lo que hace un total cubierto de 26.500 km² aproximadamente. Ello les da mayor capacidad de área que en el caso de la cámara aerotransportada por avión, pudiendo alcanzar ésta la relación de 300 a 1.

En el segundo caso, es decir, mediante el uso de la cámara terrestre simple, que posee una distancia focal de 457 mm a la altura de traslación del satélite, puede cubrirse un campo de 109×109 km, lo que hace un total de alrededor de 11.900 km². Tomando así 10,5 vistas por minuto, se logra una superposición de imágenes del 60 %, obteniéndose copias directas de un tamaño de hasta $11,4 \times 11,4$ cm.

La claridad de dichas tomas que se convierten en películas archivadas en el EROS Data Center, depende en grado principal de la presencia de nubes sobre el objetivo en el momento de la toma.

Como ello queda determinado en cada "pasada" que efectúa el satélite tanto en su avance de traslación en latitud como de nueva posición lateral en longitud, en el momento de confeccionar los índices o guías de imágenes se consigna para el momento y el punto de toma (latitud/longitud) de la imagen el porcentaje de cubrimiento por nubosidad (centro de toma).

Cada imagen satelitaria lleva así consignado en el margen, por ejemplo, por qué cámara fue tomada, en qué banda, fecha y hora, ángulo de declinación solar, latitud, longitud, número de serie y código, y otras indicaciones técnicas que facilitan su interpretación.

De acuerdo al uso a que se destina la imagen satelitaria, o el planteo por el cual se desea apelar a la misma, entran en funciones los otros instrumentos aerotransportados, tales como el espectrómetro infrarrojo, que posee un visor de rastreo que alcanza un campo visual máximo de 20° a cada lado de la línea de recorrido, con mayor inclinación hacia adelante, y hasta 24° detrás del nadir con otros sistemas de análisis y rastreo.

2.1. *Breve análisis del espectro electromagnético a los fines de la teledetección*

Un sucinto análisis del espectro electromagnético permitirá un mejor enfoque en el conocimiento de la forma en que se producen las imágenes satelitarias.

Como es conocido, el espectro visible, es decir, los límites de borde que establece la visión humana, ocupa sólo una pequeña parte del espectro electromagnético total y puede caracterizarse en virtud de la denominada "longitud de onda", entre otros parámetros (longitud de onda = λ).

Esta última puede definirse como "la distancia de una cresta o pico de la onda del espectro o radiación electromagnética, hasta la cresta o pico próximo".

La unidad en que se mide esta distancia unitaria puede ser, entre otras, el "micrón" (la milésima parte del milímetro: μ).

Asumiendo un criterio no estricto puede aceptarse que las bandas del espectro visible se sitúan en el límite entre la primera y la segunda porción del espectro general electromagnético, entre 0,4 a 0,7-0,8 micrones de longitud de onda, aproximadamente.

Hacia la izquierda sólo puede considerarse apta para imágenes satelitarias, una pequeña porción del ultra violeta, ya que enseguida la atmósfera terrestre actúa como "cortina" o medio opaco que impide la obtención de imágenes.

Hacia la derecha en cambio, aunque también hay algo de opacidad y de dispersión atmosférica; no obstante, ello es mucho menor y, además, existen "huecos" o "ventanas" que dejan pasar libremente las imágenes diversas, ya sean ellas de cámaras, radar, barredores, etc.

Avanzando entonces en el espectro, desde la menor longitud de onda hacia la mayor longitud, con relación a los instrumentos antes mencionados, se ubicarían:

Los contadores y scintillómetros hasta el ultravioleta cercano; luego las cámaras fotográficas y sistemas de barrido, abarcando todo el espectro visible y el infrarrojo fotográfico. Luego la termofotografía considerando el infrarrojo lejano o de mayor longitud de onda y, en las mayores longitudes de onda, la televisión, el radar y circuitos de antena.

Recuérdese que la atmósfera tiende a ser opaca por debajo de la longitud de onda de 0,3 micrones, presentando seguidamente una serie de ventanas o claros, entre los 0,4 a 24 micrones de longitud de onda.

Es algo opaca nuevamente entre los 24 y los 1.000 micrones y finalmente, tiende a hacerse totalmente transparente a partir de los 2.500 micrones de longitud de onda, aunque la teledetección no opera corrientemente más allá del radar y del tubo tipo rídición.

La obtención de imágenes por radiaciones térmicas es lo que se conoce corrientemente como "termografía" y se produce dentro del infrarrojo térmico, prácticamente el IR de mayor longitud, obteniéndose buenas imágenes en la ventana de la banda térmica (8 a 12 micrones de longitud de onda), con los espejos barredores tipo MSS, etcétera.

Al efecto, cabe recordar que la porción de infrarrojo del espectro puede ser dividida en:

- i) El IR cercano con mayor sensibilidad a la energía reflejada directamente, que actúa entre 0,7 a 1,5 μ de longitud de onda.
- ii) El IR medio, donde los instrumentos detectan o miden tanto la energía reflejada como emitida, dentro de las bandas de 1,5 a 5,5 μ de longitud de onda.
- iii) El IR lejano o de mayor longitud de onda, que actúa entre 5,5 μ a más (hasta 500 μ y más) y se trabaja con la energía emitida. En esta última porción se desarrolla la técnica del IR térmico. Figuradamente, puede decirse que las fuentes de energía y en consecuencia de emisión en este caso, son los propios objetos; constituye como es fácil deducirlo, una seria fuente de distorsión la atmósfera cargada de humedad, ya que cuanto más seco está el aire, más exitosa es la exploración termográfica. Se estima que la termografía o termofotografía cuenta con un gran futuro como elemento de detección.

3. *Estudios generales en función de la banda empleada*

El hecho de que los vehículos aerotransportadores lleven cámaras diferentes y de aplicación multispectral, indica que existe la posibilidad de orientar la toma de la imagen dentro de una cierta posición o "banda" del espectro electromagnético.

Ello es así en razón de que se ha constatado que ciertas longitudes de onda se prestan más para la detección de determinados cuerpos de la superficie terrestre, es decir, con selectividad para el suelo, el agua, los cultivos, las rocas, los yacimientos, los forestales, etcétera.

El uso de bandas con detección multispectral en el estudio de los recursos naturales, guía esta selección entonces hacia distintos aspectos del análisis.

De un modo general, puede establecerse de acuerdo a las bandas de trabajo del satélite SKYLAB, una cierta orientación en cuanto a la aplicación de las diferentes bandas para el estudio y análisis de los recursos naturales y el suelo:

Tanto la banda I - longitud de onda 0,41 a 0,44, como así la banda II - 0,44 a 0,52, poseen una alta penetración en capas atmosféricas y en agua y se aplican a estudios del medio ambiente, mares y océanos, es decir, agua en general.

La banda III - 0,50 a 0,56, también se aplica a investigaciones en mares y océanos y conjuntamente con la banda IV - 0,54 a 0,62 -, son útiles para la identificación de cultivos en los estudios sobre usos de la tierra, como así también en el análisis del estado sanitario de las explotaciones.

Tanto la banda IV como las que le siguen en orden, se aplican asimismo en los estudios y mapeo de suelos e identificación y cómputo de ganado en campo abierto. La nieve tiene aquí alta reflectancia.

La banda V - 0,59 a 0,68, ha demostrado ser útil para el análisis de rasgos culturales, geomorfología, diseños de drenaje, estructuras geológicas y usos agrícolas de la tierra. Puede obtenerse buen contraste de la vegetación apelando al falso color compuesto (FCC).

La banda VI - 0,64 a 0,76, se aplica también en el estudio del uso de la tierra, cosechas y mapeo de suelos, pudiendo ser útil en el estudio de costas y análisis "agua/tierra" aunque mejores resultados en el contraste se logran con el radar aerotransportado de visión lateral.

La banda VII - 0,76 a 0,90, desde aquí hacia el infrarrojo se aplica al estudio del relieve, geomorfología, geología, recursos mineros, geohidrología, caracterización de áreas inundables, contaminación de aguas y delimitación de áreas urbanas y forestales. La banda VIII - 0,90 μ a 1,08 μ , complementa a la anterior y posee una buena penetración en atmósfera húmeda, aplicándose asimismo para el estudio de la humedad del suelo y presencia de áreas inundadas.

La banda IX - 1,00 μ a 1,10 μ es comúnmente aplicada a la determinación de la humedad del suelo y complementa a la anterior en el análisis de los recursos pesqueros, acuíferos, etcétera.

Otras bandas posteriores:

La banda X - 1,10 a 1,35 μ , la banda XI - 1,40 a 1,85 μ y la banda XII - 1,90 a 2,50 μ , tienen aplicación asimismo, aunque en menor grado, en el estudio de los suelos, contenido de humedad en capas, uso de la tierra y censo de forestales.

En geología se emplean en la determinación de actividades volcánicas y recursos mineros y prospección de toda índole.

4. *Escala de las imágenes satelitarias y sus aplicaciones en Mapas*

Corrientemente las imágenes se reciben a escala de 1:3.360.000 según tamaño de la película y se amplía corrientemente a 1:1.000.000 (950.000) tanto las tomadas en blanco y negro como las de color, pero puede trabajarse con ampliaciones mayores en escala 1:250.000.

Entre estos límites de borde y escalas aún menores, se efectúa el procesamiento de las imágenes satelitarias.

Las imágenes obtenidas mediante aviones u otros instrumentos

adaptados en cambio, pueden tener escalas mayores que oscilan entre 1:20.000 a 1:200.000, siendo corriente las de 1:50.000 a 1:70.000.

Desde luego, ello está supeditado al poder de resolución de la imagen en la combinación de sus factores y al objetivo de su aplicación.

Para propósitos referidos a estudios de urbanismo, censos, área de cultivos y parcelas, uso de la tierra y aplicaciones similares, es dable lograr en laboratorio ampliaciones diez veces mayor que las usuales de trabajo, es decir, llevar parte de las imágenes satelitarias obtenidas con la Cámara multispectral (NASA ERTS X - MSS Y,Z) desde una escala de 1:250.000 a escala de 1:100.000, por ejemplo.

Las imágenes en Infrarrojo y Térmicas también se procesan dentro de estas escalas de acuerdo al uso o aplicación a que son destinadas.

El empleo de las imágenes satelitarias ha probado ser sumamente útil para la concreción de los siguientes documentos o mapas:

1. Mapa de Uso de la tierra para cada estación a nivel de país.
2. Mapa de clasificación de los suelos en primera aproximación para todo el país.
3. Mapa de los Grupos texturales de suelos (tres grandes grupos) para su aplicación con fines de riego.
4. Mapa de la Clasificación hidrológica de los suelos e incidencia del tipo de cubierta vegetal.
5. Mapa de Salinidad y/o alcalinidad en áreas afectadas.
6. Mapa de Grado de erosión en grandes áreas.
7. Mapa de Bosques forestales y censo de especies de hoja permanente y de hoja caduca, por región o país.
8. Mapa de Cultivos o explotaciones y bases para el censo de producción o cosecha anual, regional o por país. Censos agrícolas.
9. Mapa de Estado general de los cultivos: áreas enfermas, con deficiencia de humedad, etcétera y desarrollo.
10. Mapa de Formaciones y estructuras geológicas; rocas madres expuestas, etcétera, en grandes áreas.
11. Mapa Geomorfológico, con características lineales o de forma.
12. Mapa de Líneas de rumbo y alineamientos de las estructuras geológicas con sus tendencias. Fallas, plegamientos y otras características.
13. Mapa de Líneas o corrientes principales de Drenaje y su textura.
14. Mapa de Geohidrología de un área. Aguas subterráneas. Areas de recarga.
15. Mapa de Cuencas, almacenamiento de aguas superficiales, canales y redes hídricas.
16. Mapa de los Recursos minerales, yacimientos y rocas de un país.

17. Mapa de Recursos minerales radioactivos del país.
18. Mapa de los Recursos potenciales de petróleo de un país o continente.
19. Mapa Oceanográfico y de profundidades y rutas de navegación.
20. Mapa de Recursos marinos y pesquería a nivel de litoral o de país.
21. Mapa de Rutas o Sistemas de transporte para polos de desarrollo.
22. Mapa de investigación del Crecimiento urbano, en determinadas áreas.
23. Apoyo para la confección de mapas Geográficos, catastrales y cartográficos de todo tipo.
24. Riesgo sísmico.

Una aplicación interesante dentro del campo de la Geología a los efectos de la detección de recursos mineros, es aquélla que se aplica con relación a la posibilidad de que la distribución de las minas o yacimientos de ciertos minerales y aun centros volcánicos, no es debida al azar sino que responde a alineamientos tectónicos, rumbos lineales y fallas puestas de manifiesto a través de las imágenes de áreas mayores. Incluso la intersección de las líneas de rumbo parecen indicar correlaciones con la presencia de minerales.

Es muy conocido también el uso de las imágenes satelitarias en la prospección petrolífera en base al análisis del terreno, de los tipos de rocas presentes y sus estructuras. Plegamientos, fallas y fracturas son considerados para la prospección de depósitos.

Otra aplicación notable de las imágenes satelitarias es aquélla relacionada con el estudio de Cuencas hidrográficas, espesor de depósitos de nieve, y, de la erosión tanto en lo que hace a la acción hídrica como así también la erosión eólica, puntos estos sobre los cuales se han efectuado estudios muy completos.

Las desembocaduras de los ríos y deltas pueden así ser analizados en forma mucho más completa, caracterizándose todo lo relativo al material o terreno aluvial, sedimentos y su tamaño, flujo, erosión, depósitos, fertilidad, etcétera.

En lo que atañe al estudio del recurso agua, cabe consignar las grandes posibilidades que aún restan a ese respecto y la necesidad que existe de inventariar dicho recurso a nivel de planeta primero y de país después, dado el gran problema que se ha generado en razón de la contaminación hídrica de gran cantidad de cauces de agua dulce y aun de los mismos océanos. Las imágenes satelitarias se han constituido en un valioso instrumento para la detección de los factores contaminantes, su localización y análisis, aunque el agua posee un gran poder de absorción del flujo electromagnético, sobre todo en el IR.

Las fotografías e imágenes generadas por los sensores remotos, han venido en ayuda asimismo para caracterizar los dos extremos del equilibrio en la relación "agua-suelo-medio ambiente", es decir, por una parte las inundaciones y, por otra parte, las sequías. El color o tono oscuro caracteriza corrientemente la presencia de agua.

Así es dable llevar a cabo censos de hielos glaciares, mantos de nieve acumulada y sus tasas o coeficientes de derretimiento en función de tiempo; dentro del ciclo hidrológico entonces, puede resolverse así una parte del coeficiente de escorrentía presente que genera las aguas superficiales y las corrientes sub-alveas. Igualmente la determinación de la tasa de recarga adelanta datos relativos al agua subterránea. Por otra parte el uso de plataformas colectoras de datos en cordilleras y ríos permitirá su obtención continuada y segura.

El censo de agua dulce, grado de conductividad o sales solubles totales de lagos y lagunas, el contenido salino del agua de mar, concentración de sedimentos en profundidad, cambios de color, etc., pueden ser analizados en detalle.

El transporte, calidad y cantidad de los sedimentos ha dado origen a estudios muy acabados sobre este tema, apelando a las imágenes, combinados con técnicas computacionales y patrones de testado.

Dentro de otro aspecto, la detección de áreas de cultivos enfermos mediante sensores remotos, constituye un caso particular sumamente aplicado en esta clase de detección y se basa en la propiedad de la película INFRARROJO color.

Sucede que por una parte, la reflectancia de la superficie verde constituida por las hojas disminuye en los tejidos enfermos debido al cambio que se opera en la estructura celular en razón de la enfermedad. Por otra parte, es sabido que la clorofila posee un color definitivamente verde que sensibiliza ciertas bandas dentro del espectro visible. De tal forma, un incremento en la radiación dentro de la banda del color rojo en la longitud de onda respectiva (reacción en el filme IR color) por menor absorción clorofílica, provoca una disminución en el matiz "magenta" del falso color compuesto (FCC) y se incrementa como consecuencia el color o tonalidad verde de la fotografía en aquellas áreas afectadas.

Cuando la enfermedad ya se encuentra muy avanzada, incluso pueden detectarse las zonas más perjudicadas por su menor contenido de humedad (plantas secas), cambio de color directo de toda la vegetación "amarronada", etcétera.

Otras muchas aplicaciones surgen día a día para las imágenes satelitarias y su interpretación combinada con técnicas computacionales ha abierto inmensas posibilidades e insospechadas derivaciones.

Una gran cantidad de material de todas partes del mundo proveniente de las imágenes obtenidas por los satélites utilitarios, queda todavía sin procesar y puede ser motivo de importantes investigaciones futuras, sobre todo en el campo del estudio de los recursos naturales.

5. *Sistemas generadores de imágenes satelitarias*

Como ya se consignara, la obtención de imágenes satelitarias o vía satélite, se inicia prácticamente al ser puesto en órbita el satélite ERTS 1 - LANDSAT, el 23 de julio de 1972 y, posteriormente, el SKYLAB, puesto a punto el 25 de mayo de 1973 con su cámara multispectral para detección en el área de los recursos naturales.

Sumariamente, las características más salientes de cada uno de los dos satélites antes mencionados, son las siguientes:

El Satélite SKYLAB (Laboratorio estelar), posee una órbita inclinada 50° con respecto al Ecuador terrestre y efectúa un giro completo cada 93 minutos, repitiendo su "pasada" por un mismo punto de la Tierra a los 5 días.

Como ya se mencionara, su altura de toma es de 435 km y posee una Cámara fotográfica multispectral de alta precisión con lente variable de foco $f/2,8$ hasta $f/16$ y distancia focal de 152 mm., compuesta de 6 unidades. Capta en filme de 70 mm de ancho con mecanismos obturadores que pueden sincronizarse; llevan filtro variable y toma las fotos con filme en Blanco y Negro corriente, IR blanco y negro, Panatomic X b. y n., IR color y Color alta resolución. Todo ello opera mediante tripulación.

La longitud de onda de las bandas correspondientes a la cámara puede ser:

<i>Cámara N°</i>	<i>Banda espectral</i>
1	0,7 a 0,8 μ
2	0,8 a 0,9 μ
3	0,5 a 0,8 μ
4	0,4 a 0,7 μ
5	0,6 a 0,7 μ
6	0,5 a 0,6 μ

Con relación al punto anterior, la escala normal de entrega es de 1:2.850.000 que puede ampliarse corrientemente entre 3 a 10 veces más.

Otro instrumento del satélite es la Cámara terrestre simple provista de foco $f/4$ y distancia focal 457 mm. Se halla prácticamente alineada

con la anterior y admite película de 12.7 cm. de ancho, obteniéndose imágenes directas de $13,0 \times 13,0$ cm. Pueden usarse películas Color alta resolución (banda 0,4 a 0,7 μ), Color IR (en banda 0,5 a 0,8 μ) y Color IR de alta resolución. La escala de entrega permite obtener mejor la imagen a 1:950.000.

El detector multiespectral satelitario es del tipo electromecánico óptico que capta la energía que recibe; va provisto de telescopio de reflexión. La energía electromagnética es dispersada y captada por trece sensores que abarcan desde la banda 1:0.41 a 0,45 μ , hasta las bandas largas desde 10,20 μ a 12,50 μ de longitud de onda.

La radiación es amplificada, convertida en dígitos y registrada en cinta magnética.

Otro instrumento que porta el satélite es el espectrómetro infrarrojo, con un telescopio en sistema óptico de espejos planos, un espectrómetro de filtro y un visor con sistema de rastreo. El visor cubre 20° a cada lado de la línea de recorrido y mayor desplazamiento hacia adelante y detrás del nadir. La radiación captada por este sensor infrarrojo es separada en dos bandas, una corta (0,40 a 2,50 μ) y otra más larga (6,60 a 16,0 μ). Se comparan así fuentes de energía interna.

Los satélites llevan radiómetro de micro ondas, altímetro, dispersómetro y sensor radiométrico de banda larga.

El satélite LANDSAT o ERTS -1 (Earth Resources Technology Satellite) gira en órbita circular sincrónica con el sol, a 912 km de altura, efectúa unas 14 revoluciones alrededor de la Tierra por día y hace una pasada por el mismo punto cada 18 días. Su período es en consecuencia de 103, 15 minutos.

Posee tres Cámaras Vidicon con haz de retorno-RBV (Return Beam Vidicon), cubriendo cada imagen un área de 185×185 km con entrega a escala directa de 1:3.360.000. Las tres cámaras cubren un espectro que va desde 0,47 μ hasta 0,83 μ .

El detector multiespectral genera un sistema de barrido (MSS) de 4 bandas con longitudes de onda que van desde el visible hasta el IR cercano: Banda 4 - 0,5 a 0,6 μ ; banda 5 - 0,5 a 0,6 μ ; banda 6 - 0,7 a 0,8 μ y, banda 7 entre 0,8 a 1,1 μ . Los datos se reciben en sus tres estaciones terrestres.

Dada la gran altura de toma del ERTS, se ubican en la imagen grandes áreas de hasta 34.000 km^2 de superficie, con distorsiones relativamente muy pequeñas. Estas imágenes tanto de Cámara RBV como del detector MSS son muy difundidas. A la fecha, este satélite ha dejado de prestar servicios y se lo reemplaza por el ERTS-2, encontrándose en preparación asimismo el ERTS-C.

5.1. *Técnica de análisis*

La técnica de análisis de las imágenes se basa en los criterios básicos de la fotointerpretación de las mismas en función de características y propiedades que considera, aspectos tales como:

- i) la forma;
- ii) el tamaño;
- iii) el color;
- iv) el tono y su intensidad: tonalidad;
- v) el diseño, su asociación y distribución en la imagen: la estructura;
- vi) La textura y su relación con la distribución del tono;
- vii) las sombras y su análisis: forma, longitud, ancho, intensidad;
- viii) la asociación de rasgos o características, con formación de líneas rectas, líneas curvas, rayados, abanicos, anomalías en general, etcétera;
- ix) la combinación, distribución e intensidad de todos los elementos anteriormente consignados.

Asimismo, cumplido el análisis de la o, las imágenes obtenidas mediante una técnica determinada (la cámara por ejemplo), dicho estudio puede complementarse con un análisis posterior de las imágenes de la misma área obtenidas mediante otro procedimiento de detección (el radar, por ejemplo). Recuérdese asimismo que de un modo general, pueden establecerse dos grandes modalidades en el procedimiento para la obtención de las fotografías e imágenes; ellos son:

a) La detección lograda mediante sensores pasivos o detección pasiva, que es aquélla que se lleva a cabo captando la energía luminosa reflejada o la energía termal emitida por la superficie terrestre. En este caso, el sol es la fuente original básica de energía y los instrumentos no trabajan con energía propia. Es el caso clásico de las fotografías obtenidas mediante cámaras, aunque ellas sean muy sofisticadas de alta resolución o que trabajen en diferentes bandas.

Aquí intervienen factores tales como la reflexión, dispersión atmosférica, contraste, reflectancia, etcétera, la denominada "transparencia atmosférica" tiene asimismo gran importancia.

Dentro de la otra posibilidad se define:

b) La detección activa, aquella que se lleva a cabo con sensores que poseen su propia fuente de energía, siendo el ejemplo más genera-

lizado, el caso del radar; básicamente, estos últimos trabajan mediante el análisis de la denominada "energía de retorno".

La característica en el accionar de los sensores remotos depende lógicamente del instrumento de detección de que se trate.

Una cámara producirá directamente una imagen que luego puede ser procesada, ampliada, coloreada, etc., etc., mientras que un tipo de barredor específico, puede producir una línea de interpretación posterior o una señal determinada sujeta a código.

Básicamente entonces, podemos contar con:

i) Sensores que funcionan "imagen por imagen" como las cámaras fotográficas y otros aparatos ópticos.

ii) Sensores que funcionan "línea por línea" analizando la energía y/o el reflejo que reciben de la superficie mediante una célula fotosensible, línea por línea o "pasada por pasada" según un mecanismo de "barrido". Si estas líneas se producen paralelas entre sí y de acuerdo a una cierta condición de continuidad y correlación, se logra formar la imagen compuesta, similar al caso primero (barridores electromagnéticos de espejo).

Cabe admitir que las líneas van representando pequeñas fajas del terreno detectado o "barrido". La yuxtaposición de las líneas consideradas ordenadamente, genera la imagen total y puede ser o no codificada.

Esta diferenciación tiene gran aplicación en la detección dentro del IR y, sustancialmente, en el IR lejano o de mayor longitud de onda, la termografía, donde las diferencias de temperatura del cuerpo emisor aparecen en la línea y finalmente en la elaboración final de la imagen, con colores ya sea más grises u oscuros hacia los cuerpos fríos y colores más claros, amarillentos, etc., a medida que los objetos poseen mayor temperatura. Desde luego, todo ello condicionado al poder emisor del cuerpo "radiante" ya que en último grado esta condición final es la que determina la respuesta al instrumento captador. La conductividad, la capacidad calórica, etc., que a su vez dependen de factores tales como relación "agua/sólido" en los recursos naturales son los elementos determinantes.

A modo de ejemplo, puede mencionarse como aplicación de tales circunstancias, la diferenciación de suelos sueltos, gruesos que guardan menor humedad al cabo de un cierto tiempo de lluvia, frente a suelos compactos, finos embebidos en un mayor contenido de agua y por lo tanto con menor resistencia. Ello sería de uso en la agrupación textural de los suelos en grupos (suelos, medianos y finos) a los fines de su consideración como variable en la programación del riego.

Desde luego, la vegetación presente o cubierta vegetal es otro factor a tener en cuenta, ya que es conocida la diferencia entre un proceso de "evapotranspiración" en el complejo "suelo/cubierta vegetal" frente a la evaporación directa de la superficie del suelo desnudo. Este aspecto ha sido muy analizado en los estudios de radiación, evaporación, evapotranspiración y uso consuntivo.

5.2. *Uso del radar*

Dentro de los sistemas de sensores remotos activos, el empleo del radar presenta la ventaja de actuar en la fracción de las mayores longitudes de onda del espectro electromagnético, las denominadas microondas que trabajan en las bandas K (de 20 GHz) y X (de GHz).

A este respecto, se ha impuesto el sistema de "radares laterales" o de visión lateral, que producen la imagen en función del barrido de una franja al costado de la línea de vuelo, sistema que se designa corrientemente como SLAR (Side looking Airborne radar), o radar aerotransportado de visión lateral.

Estos instrumentos dan imágenes sensiblemente parecidas a las fotografías de cámara tomadas con sol bajo y escala pequeña.

Dado que se trata de un sistema con fuente de energía propia, es dable tomar imágenes de radar las 24 horas del día, sobre las cuales no influye el ángulo de iluminación solar sino el ángulo y posición que fijan la dirección del vuelo y la instalación del aparato en el vehículo de transporte, que corrientemente es un avión adaptado a dicha técnica de detección.

Los factores de forma y aspectos regionales parecen ser el fuerte en la preferencia de las imágenes de radar, ya que puede producirse un realce del relieve topográfico y, sobre todo, la diferencia entre superficies terrestres y los planos de agua. De aquí que esta técnica se aplica bastante en el relieve de costas y el análisis de las profundidades de lagunas, mares y espejos en áreas no profundas, pero debe olvidarse el énfasis sobre los grises para tomar más en cuenta la textura y la estructura.

Asimismo esta posibilidad de penetración en los primeros metros del espesor terrestre le permite detectar la profundidad de la "tabla de agua" o nivel del manto freático.

En el campo geomorfológico de muchas regiones y en apoyo cartográfico, este relevamiento mediante imágenes de radar ha sido muy aplicado.

Como ya se consignara, la caracterización de las líneas o relieve

costero en zonas complejas o de difícil acceso, se ve favorecida por el uso del radar, que posee una alta proporción de retorno desde la superficie terrestre en comparación con la baja proporción de retorno de las masas de agua.

Una aplicación complementaria de este principio es la detección de canales y drenes abiertos en sistemas o redes de distribución.

El diseño de drenaje aparece bastante bien delimitado y ofrece imágenes completas en grandes áreas. En todos los casos intervienen factores de definición tales como sombras (longitud, ancho e intensidad), trama y/o diseño, textura, perspectiva, etcétera.

Estas breves consideraciones muestran así aspectos actuales de la técnica conocida como de los sensores remotos, aplicada al mayor conocimiento de los recursos naturales y el medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

- (1) CARLSON, P. R.: "ERTS imagery of Northern California Coastal Currents, USA". Photo interpretation 73-4/1, julio 1973, Paris, France.
- (2) EDITIONS TECHNIP: "Photo interpretation". Max Guy, Ecole Nationale Supérieure de Petrole, varios números, Paris, France.
- (3) EOS TRANSACTIONS: "El Planeta Marte: un ensayo fotográfico". American Geophysical Union y Ciencia Interamericana, OEA, Vol. XVII, Nº 3-4, Washington, USA, 1976.
- (4) LANFAY, R. L.: "Chemical quality of water in the Tucson Basin, Arizona". U.S. Geol. Survey-Water supply paper, 1939-D, pág. 46, 1972, Washington, USA.
- (5) LUQUE, J. A. y PAOLONI, J. D.: "Manual de Operación de Riego". Edic. Riagro, 2ª ed. 1974, pág. 330, Buenos Aires, Argentina.
- (6) MAUL, G. A.: "Remote sensing of Ocean currents using ERTS imagery". Photo interpretation 73-4/5, julio 1973, Paris, France.
- (7) PERUCCA, J. C.: "Apuntes de Fotogeología y Sensores Remotos". Borradores, Buenos Aires, 1976.
- (8) REEVES, G. R.; ANSON, A. and LANDEN, D.: "Manual of Remote Sensing". American Society of Photogrammetry, tomos I y II, pág. 2100, Falls Church, 1975, Virginia, USA.
- (9) ROUQUET, L.: "Interpretation de documents photographiques pour l'étude de la repartition et de l'évolution de la végétation algairé dans un étang languedocien: l'étang de Mauguio". Photo interpretation 75-4/2, 3, 4. Agosto de 1975. Paris-France.
- (10) SHERMAN, J. E. and HATHEWAY, A. W.: "Occurrence of linears in the Tucson south quadrangle Pima Country, Arizona". Arizona, Geog. Survey Digest, vol. 7, págs. 79-86, USA.
- (11) SHUNIL, R.: "Informe sobre la NASA Goddard Space Flight Center y el Symposium sobre Percepción Remota". Traducc. IICA-Zona Andina, 1975, Lima, Perú.
- (12) TARANIK, J. V. and MOORE, G. K.: "Targeting Ground-Water exploration in South Central Arizona using LANDSAT imagery". Primer Seminario Latinoamericano sobre Sensores Remotos', CNIE, Buenos Aires, 1976.
- (13) VERGER, F.: "Une cartographie automatique des données de LANDSAT 1.". Photo interpretation 74-6/1, diciembre de 1974, Paris, France.
- (14) WELBY, Ch. W.: "Coastal processes of North Carolina, USA, as viewed by ERTS 1.". Photo interpretation 73-3/3, junio de 1973, Paris, France.