

29 Ab 7



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

"NOCIONES BASICAS DE PERCEPCION REMOTA PARA  
APLICACIONES GEOGRAFICAS"

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE OBTENER  
LICENCIADO EN GEOGRAFIA  
PRESENTA :  
ESTEBAN VICENTE JUAREZ MORALES

México, D. F.



1983

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

### CAPITULO I: EVOLUCION DE LA PERCEPCION REMOTA EN EL CAMPO DE ACCION DE LA GEOGRAFIA.

- I.1 Introducción.
- I.2 Definición de Percepción Remota.
- I.3 Las primeras Fotografías Aéreas.
- I.4 Aplicaciones Geográficas de las Fotografías Aéreas.
- I.5 Utilización de Otros Sistemas de Percepción Remota.

### CAPITULO II: PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.

- 2.1 Características Espectrales de la Fuente de Iluminación.
- 2.2 Efectos Atmosféricos.
- 2.3 Características Espectrales de los Objetos.
- 2.4 Sistemas de Colección de Datos.
  - 2.4.1 Ultravioleta.
  - 2.4.2 Visible e Infrarrojo Cercano.
  - 2.4.3 Infrarrojo Termal.
  - 2.4.4 Microondas (pasivo).
  - 2.4.5 Radar.

### CAPITULO III: PROCESAMIENTO DE DATOS.

- 3.1 Elementos del Reconocimiento de Patrones.
- 3.2 Preprocesamiento.
  - 3.3.1 Preprocesamiento de la Geometría de la Imagen.
  - 3.3.2 Corrección Radiométrica de la Imagen.
  - 3.3.3 Procedimiento de Mejoramiento de la Imagen.

- 3.3.4 Densidad Tonal.
- 3.3.5 Mejoramiento de los Límites.
- 3.3.6 Detección de Cambios.
- 3.3.7 Mejoramiento del Contraste.
- 3.3.8 Otras Opciones.

#### CAPITULO IV: DISCRIMINACION DE CARACTERISTICAS EN LAS IMAGENES.

- 4.1 Discriminación de Características en las Imágenes.
  - 4.1.2 Discriminación de Características con Campos de Prueba: El MSS.
  - 4.1.3 Discriminación de Características Utilizando Algoritmos de Agrupamiento.
  - 4.1.4 Discriminación por Texturas.
  - 4.1.5 Función de Decisión/Clasificación.
    - 4.1.5.1 Salida de la Clasificación.
  - 4.1.6 Verificación de los Resultados.

#### CAPITULO V: EJEMPLO DE APLICACION.

- 5.1 Imágenes Satelitarias: Nuevo Instrumento Metodológico en el Campo Geográfico.  
Primera Aplicación: Estudio de la Ocupación del Espacio en Función de Presencia de Agua- Río San Juan.

CONCLUSIONES.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

## INTRODUCCION

En México existen pocos trabajos que se hayan abocado a divulgar los principios básicos de la Percepción Remota, sobre todo para aplicaciones geográficas. Existen una gran cantidad de aplicaciones. Como ejemplo podríamos citar que se puede utilizar en estudios de uso del suelo y cambios en el mismo, trazo o actualización de mapas y cartas diversas, uso potencial del suelo, urbanización, desarrollo rural, densidades de población, determinación de sistemas de transporte, etc.

Por lo expuesto anteriormente, el objetivo primordial de esta tesis es el de divulgar los principios fundamentales de la Percepción Remota y va dirigida a los geógrafos que se interesen en su aplicación geográfica.

Cabe aclarar que la presente tesis tuvo y tiene muchas limitaciones ya que existieron factores tales como que la mayoría de la información bibliográfica de esta disciplina está en idioma extranjero, esto provocó que gran parte del trabajo no tuviera muy buena traducción de términos científicos y técnicos, que algunas de las veces se optó mejor por dejarlos en su idioma original para no trasgiversar su significado; otro factor limitante fue mi falta de experiencia en la parte de el procesamiento de imágenes, también fue muy difícil tener acceso a bibliografía reciente y ya que la percepción remota es una disciplina en evolución constante, por lo tanto las referencias bibliográficas de la misma se vuelven obsoletas. Y por último, cabe mencionar que esta tesis se basó en su mayoría en trabajos realizados por instituciones e investigadores de los Estados Unidos de Norteamérica.

## CAPITULO I: EVOLUCION DE LA PERCEPCION REMOTA EN EL CAMPO DE ACCION DE LA GEOGRAFIA.

### I.1 INTRODUCCION.

La conservación del medio ambiente y la explotación racional de los recursos naturales que necesita el hombre para satisfacer sus necesidades requiere de la inventarización, localización, distribución y evaluación de tales recursos.

La ciencia aeroespacial y la tecnología denominada percepción remota están comenzando a ofrecer nuevos instrumentos y técnicas con las cuales el geógrafo, el ecólogo, el agrónomo y otros especialistas pueden observar e inventariar, en un tiempo relativamente corto, los recursos de la Tierra.

Las fotografías en varias bandas del espectro visible e infrarrojo, barredores ópticos-mecánicos y sistemas de radar, son algunos de los ejemplos de las técnicas que se están utilizando para observar y medir las características de la superficie terrestre. Técnicas de identificación automática, computadoras y métodos estadísticos se están aplicando para el análisis e interpretación de la información obtenida por los diferentes sensores remotos.

### I.2 DEFINICION DE PERCEPCION REMOTA

La percepción remota es, en los términos más simples, la detección y/o evaluación de objetos sin contacto directo. En un sentido estricto, las actividades relacionadas con la percepción remota incluyen únicamente aquellas que están relacionadas con la detección de la energía radiante electromagnética.

Desde el punto de vista del reconocimiento de los recursos de la tierra, la definición de percepción remota incluye los siguientes aspectos:

- a) Se utilizan varios sistemas de sensores.
- b) El sensor obtiene inicialmente datos y no información.
- c) El sensor está en un sitio remoto con relación al área de interés.
- d) Es necesario procesar los datos para obtener la información deseada.
- e) La percepción remota involucra una combinación hombre/máquina.

En un sentido más específico, percepción remota puede ser definida como "La disciplina comprometida con la adquisición de datos acerca de la superficie terrestre por medio de la utilización de varios sistemas de sensores que son transportados generalmente por una nave aérea o espacial, y con la transformación de datos a información útil para el entendimiento y/o manejo del medio ambiente en que se desarrolla la actividad del hombre" (Hoffer, 1971).

### 1.3 LAS PRIMERAS FOTOGRAFIAS AEREAS.

Tan pronto se hubo descubierto la práctica de la fotografía en 1839, rápidamente se hicieron mejoras. Para 1851 los procesos de Daguerrotipo (placa de metal) y Calotipo (papel negativo y copias) fueron muy provechosos. Para 1900, vino el desarrollo y utilización de placas secas con capas de bromuro de plata en gelatina o de cloruros de plata y rollos de película flexible; de esto resultó la percepción mecánica de objetos a distancia, la ahora llamada "Percepción Remota".

En 1857, las fotografías aéreas fueron tomadas desde un globo cautivo y en 1860 las primeras fotografías aéreas fueron hechas en los Estados Unidos, de una parte de Boston, Massachusetts, desde un globo cautivo a 1 200 pies. Gavilanes, palomos y cohetes fueron probados más tarde, pero la inestabilidad de estos portadores y la calidad de los resultados dejaron mucho que desear. Para la era en la cual los aeroplanos fueron operacionales, los procesos fotográficos ya eran mejores. La primer fotografía en movimiento fue tomada desde un avión pilotado por Wilbur Wright, sobre Centocelli, Italia, en abril 24 de 1909. Mucho antes de eso, algunas cosas de las fotografías aéreas se reconocieron, espionando durante la guerra civil americana y mapeo general fueron sus dos usos. Sin embargo, la fotografía aérea de una naturaleza práctica data de los primeros días de la primera guerra mundial; ésta fue introducida por Lieutenant Law'es de la Fuerza Aérea Británica, cuando él tomó las primeras fotografías del territorio enemigo. Por aquel entonces las fuerzas aliadas hicieron numerosos esfuerzos para desarrollar equipo y métodos apropiados de operación. Algunos geógrafos asociados con unidades militares de la primera guerra mundial consideraron el uso de la información recabada en la guerra, para el tiempo de paz. Unos hablan acerca de la utilización de esta información en Arqueología y en detallar más los mapas de carreteras, construcciones y campos agrícolas. Otros comentaban sobre formas físicas tales como pantanos y afloramientos rocosos. No obstante, el cubrimiento fue pobre y el área fotografiada fue limitada, los potenciales para inventarios y cartografía fueron reconocidos rápidamente.

Las mejoras en aviones, cámaras y películas fueron el

resultado en gran parte de la fotografía del tiempo de paz. En estudios geográficos fueron de dos tipos: el primero fue el cubrimiento de fotografía simple, usualmente a partir de instrumentos de dominio manual. Se trabajaron varias escalas desde verticales, pasando por oblicuas bajas hasta oblicuas altas. Estas generalmente fueron ilustrativas, pero en 1922 Lee acentuó la potencialidad que tenía la acumulación de datos a partir de fotografías aéreas, con respecto a ambos rasgos, los físicos y los culturales (W.T. Lee, 1922).

Otros ejemplos de reconocimiento de utilidad fueron las investigaciones urbanas de Joerg (W. L. J., 1923) y la atención a los detalles arqueológicos, por Jhonson and Platt al final de este periodo (G.R. Jhonson and R. R. Platt, 1930). Este primer tipo de cubrimiento fue por áreas sin proyectar, varios tópicos y fotos tomadas en diferentes tiempos y con diferentes escalas.

El segundo tipo de cubrimiento difiere en que éste fue tomado para propósitos de mapeo topográfico, con lo cual comenzó el dominio del uso de las fotografías aéreas. A mediados de 1920, algunas partes de los Estados Unidos fueron fotografiadas con tres tipos diferentes de cámaras, una para fotografías verticales sincronizada con dos para fotografías oblicuas bajas; la vertical tenía una escala de aproximadamente 1: 35 000, y tenía poco traslape lateral y frontal. El cubrimiento que realizó la U.S. Army Airs Corps, fue muy bajo, pero para ese entonces otras partes de los Estados Unidos eran fotografiadas por nuevas empresas de mapeo. Todas las fotografías trabajadas por estas personas estaban muy estrechamente relacionadas a la foto-

grametría (mapeo elaborado a partir de fotografías aéreas con un alto grado de exactitud). Todos los esfuerzos estuvieron dirigidos a programar el tiempo en el cual se cubriría fotográficamente el total de los Estados Unidos, esto comenzó alrededor de 1930.

El plan fotográfico tuvo inicialmente dos objetivos primarios, uno fue el mapeo topográfico de todos los U. S. A. en escalas medianas. El otro fue el de un mapeo local a gran escala pero fue diseñado para pagos oficiales, basado en el acraje de campos individuales para la participación de los granjeros en programas de pagos de cultivos para varias clases de conservación. Para estos dos usos se utilizaron los llamados planes para fotografías aéreas verticales de impresiones de contacto en escalas de 1:20 000 con 60 % de sobreposición a lo largo de este-oeste o norte-sur de las líneas de vuelo y del 30 al 40 % de traslape lateral. Esto mostró clara e inmediatamente que esta escala era inadecuada para ambos usos, por consiguiente las reducciones fueron hechas para el trabajo de mapeo y el desarrollo de los programas de pagos de cultivos. Muy pocos geógrafos estuvieron trabajando con esas fotografías. Algunos estuvieron en empresas dedicadas a mapeo y algunos en el trabajo de subvención.

Los geógrafos americanos primeramente experimentaron y sin proyectar trabajaron con aspectos físicos y culturales, diferentes áreas durante este periodo.

Se hicieron innovaciones para la toma de fotografías aéreas para el campo y en los tratamientos para determinar causas de diferentes observables en textura y tono. Los resultados por supuesto recorrieron la gama de detalles físicos y culturales en

una área. De lo poco que fue publicado, un artículo de Russell, Foster y Mc Murry nos menciona el inventario total de usos, desafortunadamente la publicación apareció durante el tiempo de guerra y en una publicación periódica de muy limitada circulación (J. A. Russell, F. W. Foster, and K. C. Mc Murry, 1943).

Mientras tanto, los usos ilustrativos continuaron, en pequeña escala, como por ejemplo estudios geográficos sobre Suramérica y Africa (J. L. J. Rich, 1942), cerca del Erin de este periodo apareció un artículo ilustrado sobre tipos vegetativos de Alaska, mencionando el uso de la aerofotointerpretación con un cubrimiento a pequeña escala (1:35 000 a 1:50 000) para clasificación del suelo, así como también por muestreos de campo y para travesía en áreas inhóspitas (K. H. Stone, 1948).

También el Departamento de Agricultura, el principal contratante en el plan americano, obtuvo más y más cubrimiento, durante este periodo los geógrafos tuvieron muy poca actuación. Roscoe atribuyó esto a la carencia de información sobre el alcance y acceso de cubrimiento, la multiplicidad de los objetos geográficos y la intensidad de los intereses teóricos o a la carencia de demanda comercial para sus productos interpretados (J. H. Roscoe, 1960). Sin embargo, la experimentación y carencia de uso probablemente reflejarían cambios en los objetivos de la geografía americana con el tiempo, los fuertes intereses físicos estuvieron disminuyendo en favor de una orientación más cultural y enfocado hacia los lugares donde habita el hombre.

Mientras tanto, los geógrafos europeos seguían conservando la especialización física y disponían de las fotografías aéreas para este propósito.

Un buen número de científicos de otras disciplinas, como geólogos y silvicultores, comenzaron a interpretar muchos tipos de datos; algunos de ellos fueron con un punto de vista geográfico y encontraron a su manera una salida hacia lo geográfico, pero la mayoría de los estudios eran dirigidos hacia publicaciones de otras disciplinas (American Society of Photogrammetry). La primera salida para todos los tipos de artículos sobre aerofotointerpretación comenzó en "Photogrammetric Engineering" después de 1945.

Una atención especial se enfocó en el periodo de la segunda guerra mundial. Esto fue la época cuando la aerofotointerpretación comenzó una creación de técnicas de obtención de información con fines de inteligencia, que con frecuencia se le utilizaba para dramáticas realizaciones.

Algunos geógrafos, tanto extranjeros como locales, fueron asignados a trabajos de fotointerpretación y fueron especialmente entrenados. La localización de blancos militares y evaluación de daños fueron las primeras tareas.

El trabajo fue hecho en dos niveles: tácticos y estratégicos. Se le dio énfasis a la preparación y uso de claves de interpretación, por medio de los cuales la identificación y utilización para fines militares podría ser inmediata además de que no se necesitaba tener mucha experiencia previa por parte del intérprete. Los intérpretes ingleses establecieron récords envidiables en estas tareas en los niveles estratégicos.

La mayoría de las interpretaciones elaboradas en el tiempo de guerra se hizo con fotografías a gran escala, con un

rango de escalas desde 1:5 000 a 1:10 000. Para mapeo y estudios estratégicos se hicieron varios esfuerzos para obtener traslape vertical, mientras que para trabajos de inteligencia táctica se obtuvieron variaciones en los tipos y las calidades de las fotografías; los intérpretes aprendieron a utilizar cualquier fotografía que llegara, incluyendo negativos húmedos; ésta fue una muy buena experiencia para la interpretación de postguerra, sobresalieron muchos geógrafos calificados para usos de las fotografías aéreas en el tiempo de paz y además, instruidos para la utilización de los mismos en tiempo de guerra y en fotografía contemporánea. Al final del periodo, los principales artículos geográficos publicados en los Estados Unidos fueron todavía muy generales y descriptivos.

Hubo mucho énfasis en las técnicas de interpretación después de la Segunda Guerra Mundial. En parte, esto fue porque tanto más progreso se hizo en fotogrametría antes y durante las hostilidades.

Se elaboraron buenos mapas con gran exactitud vertical ya que se contaba con entrenamiento adecuado y buen equipo de ingeniería.

Ya que como la mayoría de los artículos sobre interpretación fueron publicados en Photogrammetric Engineering la asociación con tal especialidad fue un despistamiento. Además de eso, el entrenamiento y la experiencia del tiempo de guerra se dirigió a la preocupación de "como hacer" más que "para qué".

La instrucción formalizada se desarrolló rápidamente y se enfatizó la técnica. En 1946 hubo trece cursos en dependencias

oficiales de los Estados Unidos; en Europa esto fue combinado con otras técnicas en algunas instituciones. Para 1954, hubo 173 cursos en los Estados Unidos, mientras que en locaciones extranjeras tanto en Universidades y Agencias Gubernamentales se introdujeron tales entrenamientos (American Society of Photogrammetry, 1966). En la mayoría de los casos, las principales referencias disponibles fueron manuales militares, los instructores habían tenido experiencia militar, y el cubrimiento extranjero obtenido para ejercicios fue de origen militar; el énfasis sobre la técnica era esperado.

Todas las clases de claves, de interpretación fueron desarrolladas tanto para elementos físicos como para culturales del paisaje, y el subrayamiento del tono de la mayoría fue excesivamente optimista a pesar de ocasionales advertencias (K. H. Stone, 1951). Sin embargo, también muchos trabajos geográficos que involucraban la aerofotointerpretación en este tiempo terminaban en la descripción sin análisis.

Algo de sobreénfasis en la técnica resultó de la atención especial para la existencia de cubrimiento, cuando la Unión Geográfica Internacional estableció su "Comisión sobre la utilización de las fotografías aéreas". En 1949, sus miembros enfatizaron la necesidad de conocer qué partes del mundo fueron fotografiadas. Este punto se recalcó durante este periodo (K. H. Stone, 1953).

Otra vez se le dió mucha más atención a la esencia física para la interpretación y porque esto era una nueva herramienta, se hizo natural que los intereses de la geografía americana estuvieran centrados en los métodos más bien teniendo esto en

cuenta sólo como una forma más de adquisición de datos para análisis espacial obtenido por el razonamiento.

#### I.4 APLICACIONES GEOGRAFICAS DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS.

En esta fase la fotointerpretación geográfica americana comenzó con una aplicación más técnica que en una teórica. Los esfuerzos generalmente geográficos fueron más agudamente enfocados sobre las relaciones hombre-espacio; las cualidades fundamentalmente interdisciplinarias de la geografía se mostraron más claramente.

Los análisis de datos derivados de la fotointerpretación llegaron ahora, de hecho, al fin al resultado; esto fue el comienzo de una era de aplicaciones geográficas las cuales se extendieron hasta los días actuales, pero tuvieron en parte un cambio de nombre a lo largo del camino.

Los usos de los datos interpretados fueron sobre todas las clases de tópicos y problemas. Algunas bibliografías demuestran esto (R. B. Honea and V. C. Prentice, 1968). Las primeras aplicaciones estuvieron relacionadas con problemas específicamente urbanos, tales como análisis de distribución de vecindarios con diferentes niveles de estado económico, dirección del tráfico y su volumen, clasificación de plantas industriales, mapeo del uso del suelo de varias zonas y planeamiento del desarrollo han sido los tópicos favoritos. Igual progreso se hizo en la interpretación de detalles rurales.

En el lado cultural fueron los usos de identificación de cultivos a través de varios estados de crecimiento para análisis de uso del suelo (D. H. Brunnschweiler, 1957). De los tópicos

de elementos físicos, la interpretación de vegetación para una gran variedad de objetivos fue ejemplar (V. P. Finley, 1960).

Cierto, muchos usos de fotografías aéreas fueron relegados en el contenido de los trabajos de ese tiempo. Notas de pie de páginas ocasionales nos descubrieron la dependencia de la investigación en cubrimientos comerciales o privados (K. H. Stone, 1963), pero en muchas instancias los datos fueron inespecíficos, así como su fuente. La investigación extranjera siguió el mismo patrón. También se hicieron avances considerables en la interpretación en otras disciplinas: Geología, Silvicultura, Agricultura y Arqueología representan áreas en las cuales las aplicaciones se incrementaron con propósitos académicos y no académicos. Como un resultado, recordamos usos no muy grandes, que aparecieron primeramente en salidas ingenieriles, pero publicados en libros y revistas periódicas de una y otra área, disciplinas y especialidades.

Durante este período hubo algunos intereses geográficamente académicos, centrados en los aspectos de la técnica, La regionalización y los códigos continuaron (L. D. Black, 1955). Se resumieron procedimientos para interpretación específica de elementos físicos y culturales del paisaje (K. H. Stone, 1964).

Se investigó la interpretación instrumentada (J. P. Latham, 1959). Se enfatizaron las técnicas de instrucción formalizada, así como también los usos de fotografías aéreas para análisis regional y cursos corrientes.

Esto hizo la transición hacia la era espacial, una era durante la cual el enfoque en la técnica no fue tan exagerado como había sido previamente.

## I.5 UTILIZACION DE OTROS SISTEMAS DE PERCEPCION REMOTA.

El primero de abril de 1960, un nuevo sistema de percepción de la Tierra desde alturas remotas fue introducido, éste era el "Tiros-1", provisto de televisión y haciendo observaciones con películas infrarrojas, el cual fue lanzado como un proyecto de investigación y desarrollo que continuó al programa Explorer (1958) y al programa Discover (1959). Muy rápidamente el "Tiros" se volvió un sistema operacional para observación del tiempo. Los resultados captaron mucha atención y vino un rápido reconocimiento de otros posibles usos. Entonces, en 1964, el satélite Nimbus fue puesto en órbita, con cámaras avanzadas de televisión y un sistema operacional en infrarrojo con alto grado de resolución, proporcionando las primeras fotografías de día y de noche de la Tierra.

Mientras tanto, los U. S. A. comenzaron programas con aeronaves tripuladas. El primer vuelo tripulado fue el "Mercury", lanzado en 1961, y continuaron después con el Géminis y el Apolo. Durante el vuelo del Géminis-3, en marzo de 1965, fueron obtenidas cerca de 25 fotografías en color, con una cámara de dominio manual. Tres meses después, el siguiente vuelo incluyó experimentos fotográficos con equipo similar y produjo nuevas fotografías. En agosto de 1965, 250 fotografías fueron tomadas con equipo similar. Las áreas de cubrimiento estuvieron limitadas a bajas latitudes, siendo las mejores fotografías las que representaban tierras secas; las observaciones de: tiempo, geología, y los patrones de uso agrícola en color atrajo y difundió el interés en muchas disciplinas. Sin embargo, las aplicaciones específicas fueron una parte tardíamente desarrolladas debido a las escalas muy pequeñas y a las diferentes posiciones de los ejes de las cámaras (NASA, 1967). No

obstante cinco años más tarde se iniciaron aterrizajes sobre la luna y vuelos de los U. S. A. superiores a las 244 horas se completaron. Las cámaras manuales estuvieron aún en uso; pero instrumentos montados para percepción en algunas partes del espectro electromagnético suministraron nuevos datos en la "NASA"; programas con nuevos tópicos y áreas se expandieron grandemente. El abastecimiento de datos remotamente percibidos se incrementó grandemente con el lanzamiento del ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) en julio 23 de 1972.

Un desarrollo concomitante fue el del programa del Geological Survey llamado EROS (Earth Resources Observation Systems). El ERTS-1 fue colocado en órbita polar sincrónica al Sol, cerca de 600 millas del exterior de la Tierra y completa una secuencia total de observación cada 18 días. Su RBV (Return Beam Vidicon) de imágenes era para grabar en tres bandas (0.475 a 0.575 um (verde), 0.580 a 0.680 um (rojo), y 0.690 a 0.830 um (infrarrojo solar), pero el sistema tuvo que ser cancelado un mes después del lanzamiento; su MSS (Multi Spectral Scanner) de imágenes, grabó en cuatro bandas; 0.5 a 0.6 um, 0.6 a 0.7 um, 0.7 a 0.8 um y 0.8 a 1.1 um. Las impresiones de contacto son en películas de 70 mm. con escalas de 1:3.369 000; éstas están disponibles para su compra en varios formatos a costo de reproducción en el "Eros Data Center" en Sioux Falls, Dakota del Sur. También llamado "Browse Files", para su inspección pública las imágenes son mantenidas al día y se encuentran en 19 oficinas en los Estados Unidos por parte del Geological Survey y en más de 22 oficinas de la National Oceanic and Atmospheric Administration of the Department of Commerce. Un catálogo computarizado del cubrimiento y una impresora automatizada hace posible el completar las órdenes de compra en tiempo

razonable. Así, los datos para los Estados Unidos y los muchos países participantes en el programa están disponibles en cantidades y calidades nunca antes igualadas. Esta disponibilidad continuará, programas futuros en los cuales por supuesto estará incluido el ERTS-1, serán superpuestos a el Skylab y suplementados por los "ERTS".

El volumen es de unos 10 000 pies cúbicos a manera de taller, el cual orbitaría a 235 millas encima de la Tierra y llevaría instrumentos para astronomía, biología e investigación orientada de la Tierra; esto último sería en agricultura, silvicultura, oceanografía, hidrología, geología y geografía, por percepción remota con equipo montado y adaptado en múltiples bandas.

El ERTS-B sería una modificación del ERTS-1; proporcionaría imágenes en una banda adicional a la del ERTS-1.

Remontándonos al pasado, en 1962 fue cuando "La percepción remota" comenzó a ser un término común y ha tomado significancia en ambos aspectos: en la imagen y también en el análisis de ésta.

En 1962, dos geógrafos, Evelyn L. Pruitt y Walter H. Bailey, iniciaron esfuerzos dirigidos hacia el "First Symposium on Remote Sensing of the Environment", auspiciados por la Universidad de Michigan. Este fue el inicio de una fase en la cual los técnicos de la "Black Box" y científicos, necesitando datos remotamente percibidos, los trabajaron en común; sus primeras "Insinuaciones Evangelísticas" estuvieron pronto anegadas por muchos artículos, demostrando los usos en varias disciplinas. No obstante, los geógrafos estaban rezagados en lo que respecta a la ob-

tención de una profundización dentro de la percepción remota.

Se notó una modesta participación de los geógrafos en los cuatro symposiums nacionales realizados en 1962, 1964, 1966 y 1967, y esto todavía fue más notorio en el último (J. P. Latham, 1967), pero algunos geógrafos fueron muy activos. Usos generales y, sobre todo, interpretación regional, fueron los dos tópicos cubiertos. Una mayor iniciativa se tomó en 1966, cuando el "Spacecraft en Geographic Research" fue publicado con recomendaciones para el uso de los datos remotamente percibidos en ocho subdivisiones de la Geografía. Se esquematizaron los potenciales específicos de las imágenes aéreas en infrarrojo (J. E. Estes, 1966). Mientras que la aplicabilidad de las fotografías aéreas en el uso del suelo y geografía histórica obtenían mayor atención (D. Steiner, 1965). También en 1966 se reconoció la característica interdisciplinaria de la geografía y por lo tanto su potencial para los análisis físicos y culturales de los datos de naves espaciales (Nasa, 1966). En 1967, los potenciales generales fueron esbozados otra vez de una manera eficaz (R. H. Alexander, 1965). Ciertamente, el mapeo le concernía a muchas disciplinas. Algunos geógrafos se comprometieron a esto; pero como primeramente en 1965, en diferentes partes de el espectro electromagnético fue causando una división de esfuerzos en muchos campos (sobre todo en problemas de escalas múltiples y múltiples resoluciones), así es como una referencia menciona "una tarea necesaria del fotointérprete será obtener experiencia en el reconocimiento de detalles comunes, en muchas escalas y diferentes resoluciones para hacer óptimo el uso de la fotografía espacial" (J. Van Lopik et al, 1965). En resumen, para 1966 la Geografía Americana implementó técnicas para afrontar las responsabilidades de la percepción

remota. En adición a los esfuerzos individuales anotados anteriormente, los geógrafos participaron arduamente. Por ejemplo, en 1966 la Asociación Americana de Geógrafos determinó su "Comisión sobre las aplicaciones geográficas de la percepción remota" bajo las órdenes de su primer Director del Proyecto, R.W. Peplies, la comisión fue completamente activa por cerca de cinco años en tareas de investigación y educación. Con varios proyectos iniciados hubo un curso de verano de corta duración para el "Staff" y estudiantes graduados que después se continuó por unos años en 1968. La comisión trabajó cerradamente con el programa de aplicaciones geográficas. Iniciado por el Geógrafo Director Arch C. Geriarch en el U.S. Geological Survey, el cual es aún un programa de mucha utilización, evaluación e investigación.

Para 1971, varios geógrafos fueron profundizando y en grosando en contenido y análisis mediante el empleo de datos de imágenes espaciales. No más grande fue la precaución o indiferencia. Las aplicaciones a usos urbanos fueron recalçadas (J.P. Latham, 1971). Los sistemas de cámaras fueron investigados (R. Welch, 1971). Clasificaciones de utilización rural y técnicas de reconocimiento se desarrollaron (R.D. Rudd, 1971). Los análisis de asentamientos se innovaron grandemente (W.R. Tobler, 1969). La automatización y los sistemas de aprovechamiento para la interpretación de imágenes fueron examinados (C.P. Low, 1971). Los cursos formales se incrementaron, algunos auxiliados con cursos de fotogrametría y algunos no (B.T. Stanton, 1971).

Ciertamente este capítulo afirma la gran amplitud y profundidad de los usos geográficos de las imágenes espaciales. La disciplina, con sus campos relacionados, va más allá de la

parte de el espectro visible para el ojo humano y también hacia el entendimiento y el empleo de los datos remotamente percibidos en los sectores de reflectado de el infrarrojo cercano, termal o infrarrojo emitido, radar y microondas (pasivos).

"Quizás lo mejor de todo, está en las interdisciplinaciones de los geógrafos para unir y hacer un común denominador de los numerosos esfuerzos de la percepción remota en algunos campos " (R.K. Holz, ed, 1973).

La percepción remota geográfica no podrá ayudar aún; pero está desarrollando un acelerado sistema de evaluación en el aspecto teórico y aplicado.

## CAPITULO II: PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.

El objetivo principal de la percepción remota es detectar y grabar en una porción selecta de el espectro electromagnético (figura 1); la detección se hace posible porque el tono o color realzan el contraste entre un objeto o fenómeno de interés y su fondo. Los investigadores se esfuerzan en derivar información útil de imágenes multiespectrales pudiendo adquirir un entendimiento básico de las interacciones energía-materia-medio ambiente-sensor involucradas en la formación de una imagen. Las imágenes adquiridas por sensores remotos por detección o percibidos por niveles de emisión y/o radiación reflejada en varias porciones del espectro electromagnético.

El término espectro electromagnético se aplica a toda energía radiante que se mueve con la velocidad constante de la luz en una onda patrón armónica. Hay tres mediciones básicas las cuales definen el carácter de las ondas de espectro electromagnético: longitud de onda (la distancia de una cresta de una onda a otra), velocidad de la onda (la rapidez con la cual las crestas de la onda avanzan) y frecuencia de la onda (número de crestas de la onda, las cuales pasan por punto dado en un periodo específico de tiempo). Porque la velocidad de la onda es constante (la rapidez de la luz) en todo el espectro electromagnético hay una relación recíproca entre la frecuencia de la onda y la longitud de ésta. En el campo de la percepción remota, el término más reciente escrito en una sola palabra "Wavelength" es mucho más comúnmente empleado que el término "frecuencia" (American Society of Photogrammetry, 1963).

La radiación electromagnética presenta entonces un con

tinuo de frecuencias, longitudes de onda, y cuantos (la mínima unidad de energía de radiación electromagnética, más comúnmente conocida como fotón para estos trabajos de percepción remota) de longitud, ondas de radio de muy baja frecuencia a la muy corta, ondas cósmicas y gamma de alta frecuencia.

En la práctica este continuo de energía electromagnética, como se aprecia en la figura 1, está dividido en varias bandas de longitud de onda o regiones espectrales, tales como ra yos X, ultravioleta, visible, infrarrojo, etc. En realidad ninguna de estas regiones tiene sus límites bien definidos, y hay un gran número de sobreposiciones en las regiones y en la terminología aplicada a ellos (Nunnally, 1969).

El nivel de energía reflejado o emitido de objetos, normalmente varía con la longitud de onda dentro del espectro electromagnético, la firma espectral de un objeto en una imagen está gobernada por la cantidad de energía transmitida hacia el sensor dentro del rango de longitud de onda en el cual el sensor forma la imagen y, por tanto, una única firma espectral tonal de un objeto con frecuencia puede ser identificado si la energía que está siendo reflejada y/o emitida desde su división dentro de las bandas de longitud de onda cuidadosamente escogidas. Mientras que muchos sistemas convencionales con extensos rangos o extensas bandas sensitivas pueden tender a inhibir diferenciaciones del objeto hacia su medio que lo rodea, por medio de grabación selectiva de energía desde o dentro de bandas con longitudes de onda particulares, la capacidad de discriminación puede, generalmente, mejorarse.

Mientras que la técnica de formación de imágenes multi

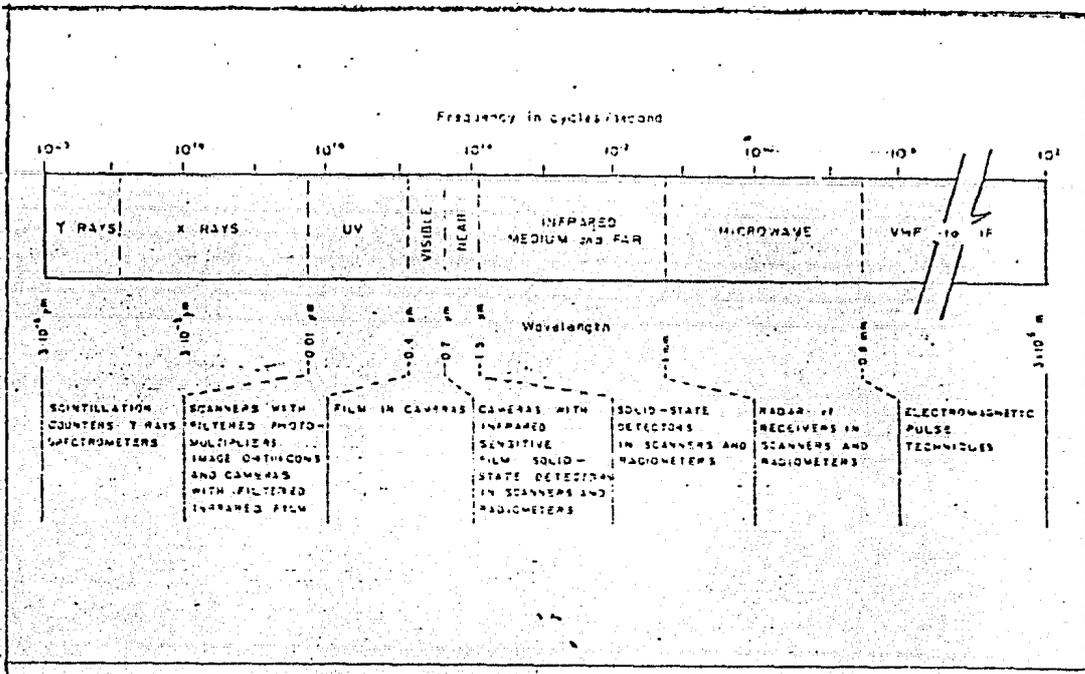


Fig. 1- El espectro electromagnetico (Parker y Wolf, 1965).

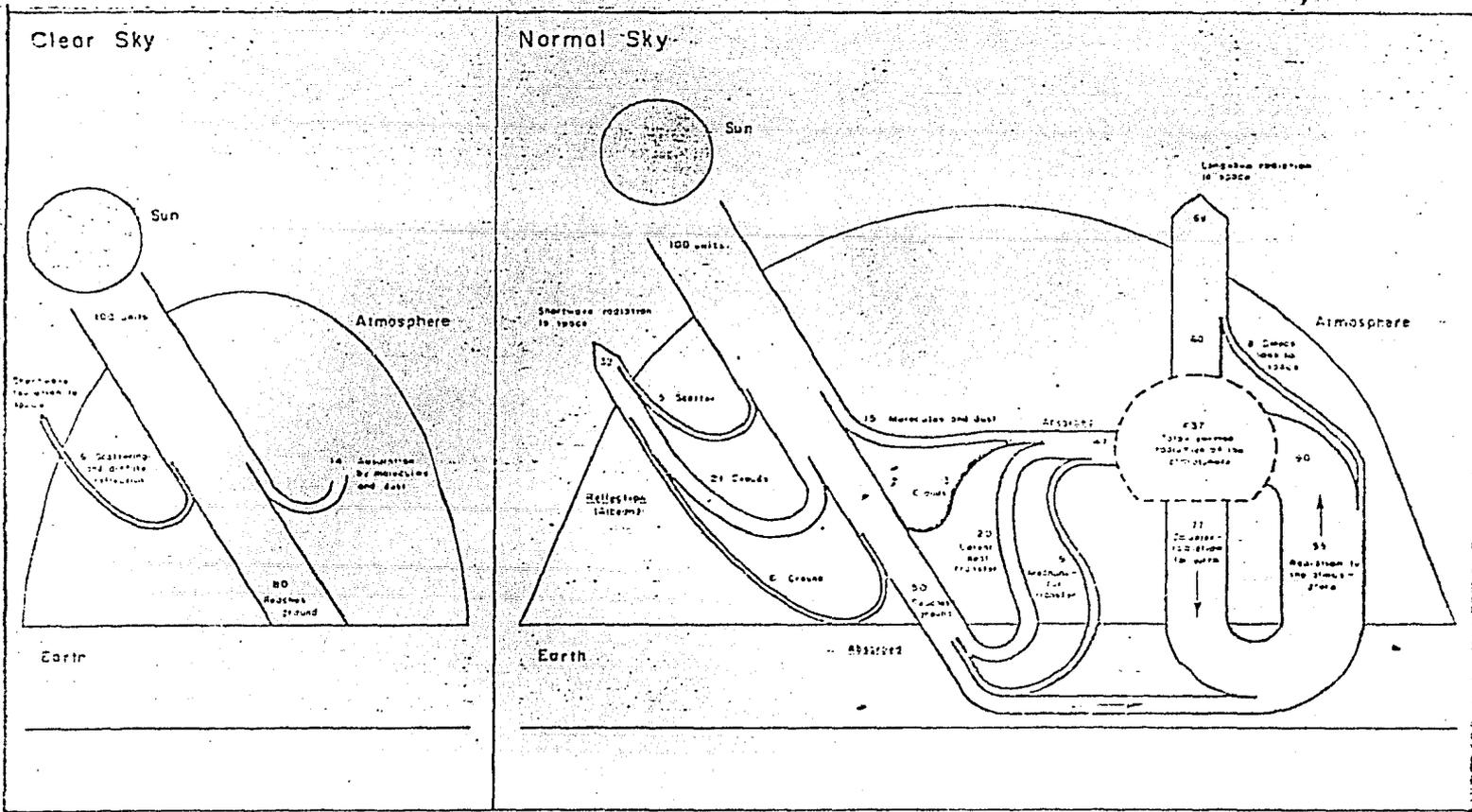


Fig. 2- Diagrama de flujo de la energia (Estes, 1976).

espectrales parece ser relativamente simple, surgen complicaciones debido a inciertos ó variaciones relacionadas a los siguientes factores:

- 1) Características espectrales de las fuentes de iluminación.
- 2) Angulos de incidencia de la iluminación.
- 3) Transmisión selectiva, reflexión, absorción, emisión y efectos de dispersión de la atmósfera.
- 4) Características de reflectancia y emitancia de los objetos.
- 5) Altitud del sistema sensor.
- 6) Colección de datos, procesamiento y técnicas de presentación y
- 7) Técnicas de interpretación de datos.

La comprensión de estos factores y las inseguridades asociadas con su distribución, medición y relativa importancia es necesaria para identificar y medir el contraste entre el objeto y su fondo relacionado en alguna operación de percepción remota.

En la actualidad, los científicos concentran sus estudios en los sistemas que producen imágenes o fotografías en longitudes de onda de las bandas que se localizan aproximadamente entre los 0.3 micrometros ( $\mu\text{m}$ ) en las cercanías del ultravioleta hasta cerca de 1 a 3 cms. en la porción de las microondas de el espectro electromagnético (ver fig. 1). En esta banda relativamente extensa, los sistemas de percepción pueden incluir el uso de cámaras, vidicones, escudriñadores óptico-mecánicos o radiómetros.

La mayoría de los sistemas operan en las bandas mencionadas anteriormente. En general, los sistemas pasivos graban el

nivel natural de radiación emanado de una escena dada. Los sistemas activos utilizan fuentes artificiales de energía tales como pulsaciones de radar, bombas de foto flash y rayos laser. Esto significa que en la actualidad se puede producir radiación electromagnética de casi todas las longitudes de onda deseadas para el uso en sistemas activos de reconocimiento remoto. Por ejemplo, "X" radiación se puede obtener desde catodos de alto voltaje, radar y radiación en microondas desde tubos especializados y fuentes de cavidad resonante, radiación de radio frecuencia de fuentes de dipolos de oscilamiento y radiación para la mayoría de las otras partes del espectro a partir de masers, filamentos y lámparas de gas. Desafortunadamente con la excepción única del radar, pocos de estos sistemas son de uso común. Otros sistemas operacionales activos incluyen escudriñadores de línea de laser, los cuales graban una escena en una base de punto por punto, o sistemas activos ópticos, los cuales emplean unidades de flash para iluminación de la escena. En el caso de las unidades tipo flash, la calidad de la fotografía es pobre comparada con la fotografía de día dentro del relativamente bajo nivel de iluminación y asociado con el rápido decrecer con el incremento del rango (Jensen, 1968). Los escudriñadores de laser proveen más detalles que pueden ser realizados con un flash, pero la anchura del cubrimiento es limitado por el decaimiento de la irradiación con el rango.

## 2.1 CARACTERISTICAS ESPECTRALES DE LA FUENTE DE ILUMINACION.

Los sistemas pasivos graban energía que se produce directamente natural, los dos ejemplos más comunes son: la energía luminosa reflejada y energía termal emitida desde la superficie terrestre. Aunque este tipo de energía viene desde la superficie terres-

tre la radiación solar es indirectamente responsable por casi todo esto, con la excepción de la energía geotermal. Un diagrama de flujo de energía especificando los cambios a que son sometidos tanto energía solar y geotermal entre el tiempo en el que ellos dejan la fuente y el tiempo en que llegan a ser percibidos por el sensor, se puede observar en la fig. 2. El periodo de poder radiante de el Sol (su irradiación, o el flujo radiante que toca una superficie o una unidad de área varía en función de la longitud de onda) está alrededor de los 0.5  $\mu\text{m}$  (la banda verde de la porción visible del espectro electromagnético). El Sol, entonces, es una excelente fuente de energía cuando nosotros deseamos medir el fenómeno de reflectancia en la porción visible (0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ ), la fotografía infrarroja (0.7 a 1.0  $\mu\text{m}$ ), o, para una menor amplitud en las porciones del ultravioleta cercano (0.3 a 0.4  $\mu\text{m}$ ) del espectro electromagnético. Cuando la emisión del fenómeno está siendo medida de objetos que están cerca del promedio de temperatura ambiente de la Tierra (300 °K). El periodo de poder radiante de la Tierra (como oposición al periodo de poder radiante de el Sol) está en una longitud de onda de cerca de 9.6  $\mu\text{m}$ . Como resultado, la Tierra por sí misma es una excelente fuente de energía para reconocimientos remotos pasivos de la superficie de la Tierra utilizando energía emitida en la región infrarrojo termal (Colwell, 1968).

Para un entendimiento total de las técnicas de percepción remota pasivas y los problemas inherentes involucrados en la optimización de tales técnicas, es necesario una mejor comprensión del concepto de iluminación. La iluminación puede ser definida como la luz (flujo luminoso) que incide en un área dada (National Academy of Sciences, 1970). Para el propósito de la percep-

ción remota, la iluminación (luz) está generalmente compuesta de una combinación de luz solar directa que penetra la atmósfera y luz solar difusa (skylight), resultado de la dispersión atmosférica y la reflexión. La reflectancia luminosa y la emitancia del terreno varía considerablemente aún entre diferentes tipos de materiales así como también en función del tiempo. Porque de estas diferencias en reflectancia y emitancia entre diferentes objetos es posible identificar y diferenciar objetos terrestres o detalles sobre la base de energía diferencial reflejada o emitida que responde a un tipo dado de imágenes de percepción remota. Estas diferencias generalmente aparecen en la imagen en forma de diferencias tonales entre un objeto y su fondo, y son usualmente referidas como contraste. La cantidad o relativa magnitud de esas diferencias tonales son usualmente llamadas "Contrast ratios".

El ángulo de el Sol es un aspecto que se debe considerar porque sus efectos, no sólo la cantidad de iluminación ya sea siendo emitida o reflejada al sistema de percepción, también la calidad espectral, así como los ángulos y la intensidad de la iluminación cambia los contrast ratios del objeto y varían su fondo. En suma, las sombras se enfatizan en ángulos bajos del Sol, esto realza la habilidad para ver delineaciones.

La intensidad y duración de la iluminación para una localidad dada varía con la latitud, ya sea norte o sur, estación del año, la hora del día y la topografía local.

Conforme cambien los ángulos de iluminación pueden decrecer los contrast ratios del objeto y su fondo, haciendo la interpretación más difícil cuando se usan los sistemas pasivos de percepción remota, esto también afecta las "firmas espectrales" de

los sistemas activos de percepción remota. Esto también ha demostrado que las variaciones del ángulo de inclinación de un terreno pueden producir variaciones significantes en la cantidad de iluminación recibida por área. Estas variaciones causan una respuesta espectral definida en las imágenes de radar. De acuerdo a lo expuesto se recomienda tener cuidado en el planeamiento de alguna investigación o programa de adquisición de imagen.

En vista de que los niveles de iluminación solar están sujetos a variación no sólo en función del tiempo sino que también de área a área, el mejor método de obtener precisión e información consistente a partir de mediciones de densidad fotográfica es el usar sensores que creen su propia energía, o usar una fuente calibrada de luz como iluminación artificial.

Mientras que la iluminación artificial pueda aliviar parte del problema de la variación en el nivel de iluminación solar, todavía existe la necesidad de más estudios que conduzcan a un mejor entendimiento de sensores tan sofisticados.

### 2.2.1 EFECTOS ATMOSFERICOS

Una consideración importante en la interpretación de datos adquiridos por medio de percepción remota es el efecto de la atmósfera terrestre sobre la radiación electromagnética; la atmósfera es un medio extremadamente complejo a través del cual la mayoría de la energía electromagnética pasa para ser remotamente percibida. La radiación solar se somete a cambios en carácter, esto se debe a la actuación de efectos atmosféricos sobre los niveles de energía. Un resumen de factores que afectan la utilidad de la percepción remota en varias partes del espec-

tro se presenta en la tabla 1. Un proceso complejo de dispersión, reflexión y absorción por parte de la atmósfera altera la cantidad de energía solar que toca la Tierra. Otras alteraciones también ocurren con la energía reflejada o emitida por un detalle sobre la superficie terrestre que viaja a través de la atmósfera y es grabada por un aparato de sensoramiento (por ejemplo, cámaras, radiómetros). En las porciones visible y visible cercano del espectro, la dispersión es la causa principal de la reducción de la energía; en el infrarrojo, la absorción es la causa principal; en las longitudes de onda más grandes de 18 mm (en la porción de las microondas del espectro electromagnético), no se aprecia la atenuación atmosférica (American Society of Photogrammetry, 1963).

Con respecto al proceso de dispersión (ver tabla 3) la dispersión Rayleigh y la Mie son importantes en el espectro visible. Confinando al interés de la percepción remota a la Tierra, una atmósfera transparente se compone principalmente de nitrógeno y oxígeno con residuos de varios otros gases. Las moléculas de estos gases son de un diámetro más pequeño que la longitud de onda principal de la luz visible. La dispersión se dificulta cuando "r" (los radios de las moléculas de gas) es, aproximadamente, igual o más grande que  $0.1 \lambda$  (0.1 veces la longitud de onda de la energía electromagnética). Cuando este tipo de atmósfera transparente se presenta se le conoce con el nombre de una atmósfera rayleigh (Hall y Howell, 1966).

A la dispersión de partículas de radio más largo, aproximadamente  $0.1 \lambda < r < 25 \lambda$  se le denomina dispersión Mie. A los aerosoles atmosféricos, el polvo, niebla, humo, etc., cuyo tamaño de partículas puede ser igual o exceder la longi-

Tabla No. 1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE SENSORES REMOTOS.

REGION ESPECTRAL Y SISTEMA DE SENSOR	INTERVALOS APROXIMADOS DE LONGITUD DE ONDA (MICROMETROS)	RESOLUCION ESPACIAL APROXIMADA LOGRABLE (MILIRADIANES)	CAPACIDAD DE PENETRACION ATMOSFERICA.*	CAPACIDAD DE DIA-NOCHE	CAPACIDAD DE TIEMPO REAL.+	RECTIFICACION GEOMETRICA.++
Ultravioleta (escudriñado) res óptico mecánicos, imágenes de orticones, y cámaras de película W/B IR).	0.01- 04	.01-0.1		sólo de día	sí	buena
Visible (escudriñadores óptico mecánicos, cámaras convencionales película) y vidicones).	0.4- 0.7	0.01- 0.001	H	sólo de día**	generalmente no x	calidad métrica potencial.
IR (Reflectante) cámaras convencionales con película sensitiva W/IR, detectores de Estado sólido en escudriñado) res y radiómetros.	0.7- 3-5	.01 - 0.1	H. Sg	sólo de día	generalmente no x	calidad métrica potencial.

REGION ESPECTRAL Y SISTEMA DE SENSOR	INTERVALOS APROXIMADOS DE LONGITUD DE ONDA (MICROMETROS)	RESOLUCION ESPACIAL APROXIMADA LOGRABLE (MILIRADIANES)	CAPACIDAD DE PENETRA CION ATMOS FERICA.*	CAPACIDAD DE DIA-NOCHE	CAPACIDAD DE TIEMPO REAL.+	RECTIFICACION GEOMETRICA.++
Ir termal (Detectores de estado sólido en escudriña- dores y ra- diómetros detectores de cuanto)	3.5 - 30.0	1.0	H, S	día o noche	sí	buena
Microondas (escudriña- dores y ra- diómetros, antenas y circuitos)	$10^3 - 10^6$	10	H, S, F,	día o noche	sí	Pobre-regular
Radar # (escudriña- dores y dis- persiómetros, antenas y circuitos).	$8,3 \times 10^3$ $1.3 \times 10^6$	10	H, S, F, R, $\phi$	día o noche	existe potencial	regular.

SIGNIFICADO DE LOS SIMBOLOS DE LA TABLA # 1.

---

\* Denota las condiciones atmosféricas las cuales pueden ser penetradas por energía, en esta porción del espectro electromagnético donde: H-Bruma, s-Humo, Sg-Niebla y Humo, F-Niebla o nubes, R-Lluvia.

---

+ Esto se refiere a la habilidad para evaluar los sistemas de "salida" de un sensor así como se adquiere la información original.

---

# Mientras el radar opere dentro de la región de las microondas, su utilidad es significativamente diferente que la de otros radiómetros.

---

∅ La capacidad de penetración se incrementa con el aumento de la longitud de onda.

---

x El potencial de observamiento para tiempo real existe en un sistema de exploración y la película pancromática puede ser observada en tiempo real cercano utilizando un proceso de tipo Bimat.

---

++ Denota el potencial para mapeo planimétrico.

---

•• Discontinuo el uso de sistemas ópticos activos tales como las unidades de flash edgenton o las líneas de rastreo laser o los sistemas de amplificación de luz.

---

La resolución en las longitudes de onda cortas está limitada primeramente por la dispersión atmosférica.

$$S = K_1 \cdot \frac{1}{\lambda^4}$$

Donde S = Dispersión  
K = Constante

---

La resolución en las longitudes de onda largas está limitada primeramente por la apertura de los sensores.

$$R = k_2 \cdot \frac{1}{\lambda^4}$$

Donde R = Resolución  
D = Diámetro de las "óptics collection".

---

tud de onda de la luz.

También se les llama partículas Mie. Considerando que la dispersión Mie se restringe generalmente a la atmósfera baja (más o menos 15 000 pies (4 560 mts)), la dispersión Rayleigh ocurre a una altitud de 30 000 pies (9 120 mts), sobre esa altitud hay poca dispersión atmosférica.

La absorción domina a la reflectancia de la porción del infrarrojo del espectro electromagnético. Varias bandas de absorción (bandas de energía electromagnética las cuales son absorbidas a un grado muy alto) son originadas por la presentación de gases tales como H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y O<sub>3</sub>, los cuales están presentes en la atmósfera. La principal ventana atmosférica (porción del espectro electromagnético donde poca o nula absorción se lleva a cabo (tabla 2) para imaginación en esta porción del espectro es la banda de 8- a 14- $\mu$ , donde la absorción atmosférica está en un mínimo y provee el más alto nivel de transmisión de energía que puede ser detectado por los detectores infrarrojo termal.

Conforme se va incrementando la altura sobre la Tierra, la cantidad de atmósfera a través de la cual la energía emana de materiales terrestres deberá pasar para ser remotamente percibida, también se incrementa.

Las características espectrales de cada detalle terrestre afectan el retorno de energía a un sensor remoto. Por eso las características de reflectancia y emitancia de los detalles de la superficie deberán ser estudiados para facilitar la selección apropiada de los sensores que sean más

TABLA No. 2

PRINCIPALES VENTANAS ATMOSFERICAS PARA LA PERCEPCION  
REMOTA DESDE SATELITE.

REGION	INTERVALO DE LONGITUD DE ONDA ( $\mu\text{m}$ )	
ULTRAVIOLETA Y VISIBLE	0.30 - 0.75	
	0.77 - 0.91	
CERCANO INFRARROJO	1.00 - 1.12	1.55 - 1.75
	1.19 - 1.34	2.05 - 2.40
INFRARROJO INTERMEDIO	3.50 - 4.16	
	4.50 - 5.00	
INFRARROJO TERMICO	8.00 - 9.20	17.00 - 22.0
	10.2 - 12.4	
MICROONDAS	2.06 - 2.22	7.50 - 11.5
	3.00 - 3.75	

TABLA No. 3

PRINCIPALES PROCESOS DE DISPERSION DE LA RADIACION ELECTRO-  
MAGNETICA POR LA ATMOSFERA

PROCESO DE DISPERSION	DEPENDENCIA CON LA LONGITUD DE ONDA	DIAMETRO (d) PROMEDIO DE LAS PARTICULAS DISPERSORAS ( $\lambda$ )
RAYLEIGH	$\lambda^{-4}$	$\frac{d}{\lambda} < 0.1$
MIE	$\lambda^0 - \lambda^4$	$\frac{d}{\lambda} = 0.1 - 10$
NO - SELECTIVA	$\lambda^0$	$\frac{d}{\lambda} > 10$

convenientes para detectar los detalles que nos interesen.

### 2.3 CARACTERISTICAS ESPECTRALES DE LOS OBJETOS

La intensidad de la señal (la magnitud de la energía emanada de una fuente) como una función de la longitud de onda, varía con la aspereza de la superficie y las propiedades dieléctricas de los objetos que son percibidos. Se han utilizado sistemas espectrográficos de campo y laboratorio para medir las características espectrales de los detalles del terreno. La fig. 3 es un esquema del espectrómetro de campo del "Purdue Laboratory for Agricultural Remote Sensing". Las características espectrales son utilizadas como un patrón hacia el cual las decisiones sobre el tipo de sensor y longitud de onda pueden basarse. Está comprobado que este tipo de estudio es esencial para cualquier análisis cuantitativo del resultado general de los datos (Avera et al, 1966). En la actualidad en la práctica, las técnicas de acumulación de datos espectrales sobre detalles de la superficie dejan mucho que desear y un método el cual exactamente presente "The on site" propiedades de emitancia y reflectancia de los objetos en el tiempo de imaginamiento deberá ser encontrado (Myers et al, 1966).

### 2.4 SISTEMAS DE COLECCION DE DATOS

Conforme se apreció en la fig. 1, hay sensores que tienen la capacidad de detectar energía electromagnética en cada porción del espectro electromagnético. Por ejemplo pueden utilizarse: contador geiger-muller, cintilómetros y otros detectores de ionización en las regiones de los rayos gamma y rayos x; los fósforos en las partes de los rayos x y en la por-

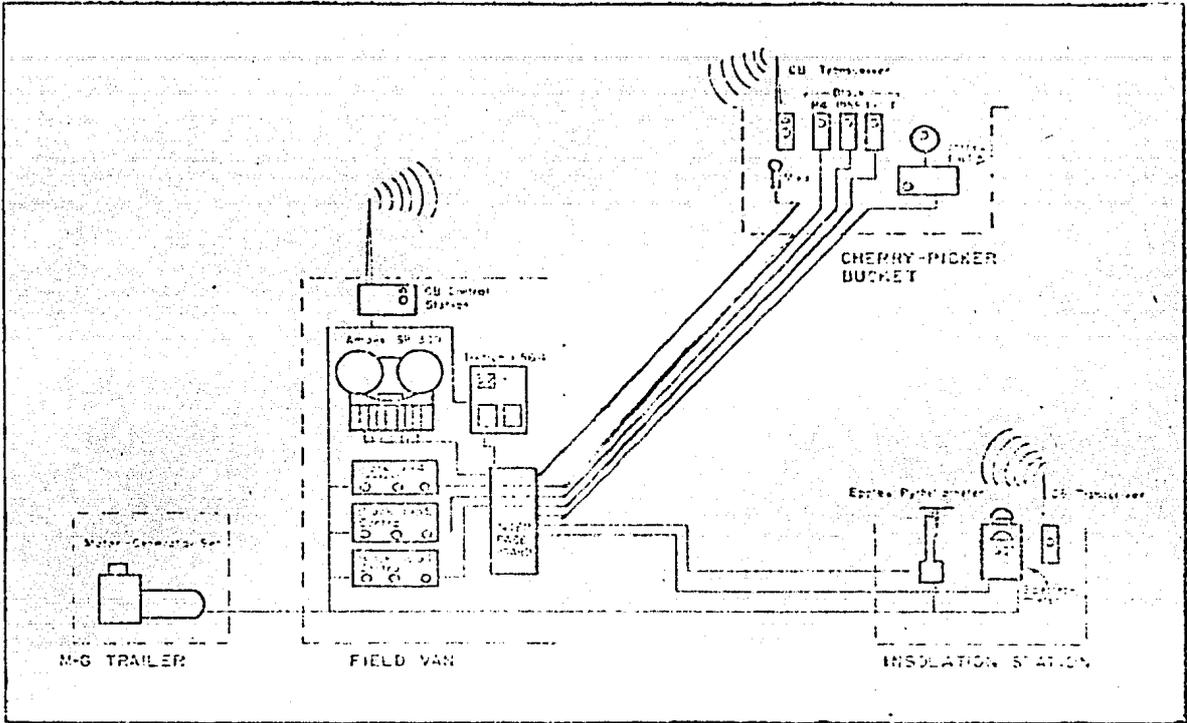


Fig. 3 - Diagrama del espectrometro de campo del Laboratorio para Percepción Remota Agrícola (Purdue University).

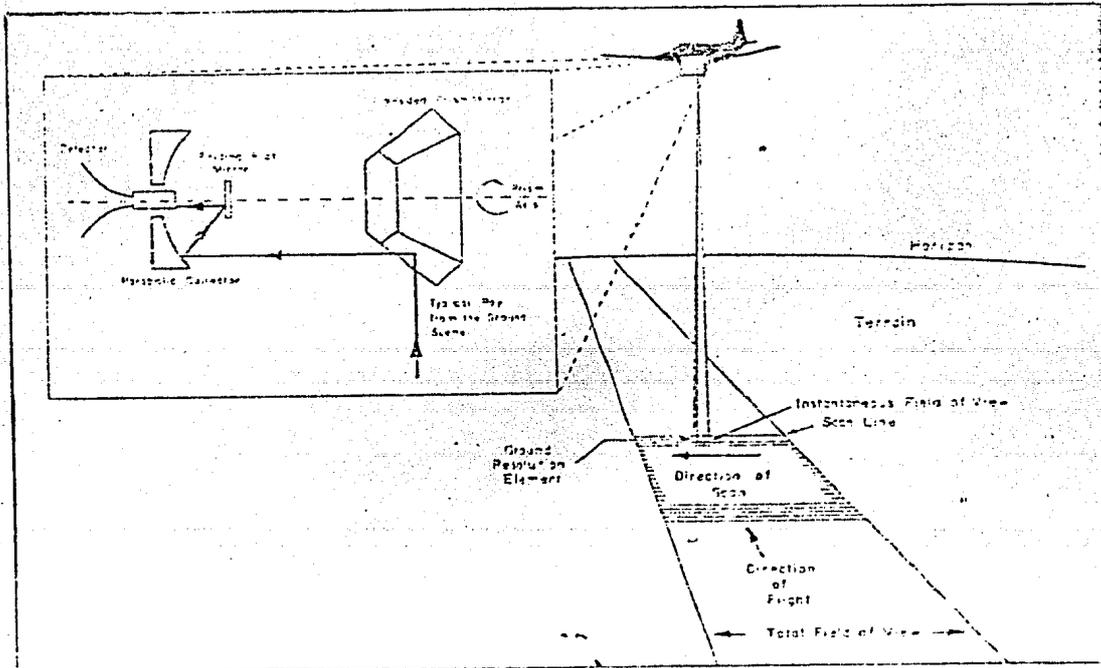


Fig. 4 - Esquema simplificado del sistema de escudriñamiento (Estes, 1976).

ción del ultravioleta cercano, visible, e infrarrojo cercano; los detectores termalés en la región del infrarrojo termal; las antenas y circuitos para detectar energía en la región de las microondas y las ondas de radio (Colwell, 1968). El poder de resolución (que es la habilidad de un sensor particular para hacer una imagen exactamente definida), es una consideración importante en la selección de un sensor dado. El poder de resolución es más pobre entre más nos movamos hacia las longitudes de onda más largas. Esta dificultad, sin embargo, se puede salvar por medio del incremento de el diámetro de las ópticas, lentes o antenas que son utilizados para coleccionar energía.

La resolución del sensor se expresa en términos de distancia de resolución espacial (líneas pares por milímetro) o funciones de transparencia óptica (función de modulación de transferencia). En la actualidad, los sensores que operan en el ultravioleta, visible, infrarrojo termal y las porciones de las microondas del espectro electromagnético, aparecen con mayores potencialidades para los geógrafos. A continuación mencionaré algunos de los factores que afectan la adquisición de imágenes en esas porciones del espectro.

#### 2.4.1 ULTRAVIOLETA

Los sensores ultravioleta dependen primariamente de la radiación reflejada del Sol para la formación de la imagen. Su uso para percepción es, por tanto, limitado a la luz del día.

La radiación ultravioleta del Sol es fuertemente atenuada por la atmósfera en las longitudes de onda más cortas

que 0.28 mm (principalmente debido al ozono y al oxígeno molecular). Las cámaras convencionales proveen un alto grado de resolución y pueden utilizarse en el ultravioleta cercano, en vista de que las emulsiones de las películas actuales disponen de sensibilidades que caen dentro del rango de esta porción del espectro. Un factor limitante en los sistemas fotográficos con cámaras en el ultravioleta es que algunos materiales de los lentes se opacan en longitudes de onda más cortas que los 0.36  $\mu\text{m}$ , y se deben de utilizar lentes con alto contenido de cuarzo.

Los sistemas de escudriñadores, incluyendo la televisión, puede también utilizarse para percepción remota en el ultravioleta cercano por empleo selectivo de detectores apropiados. Un esquema simplificado del sistema de escudriñador se muestra en la fig. 4. Estos sistemas pueden exhibir más pobres características de resolución que las cámaras convencionales, pero ofrecen la ventaja de una capacidad de tiempo-real de observación. En suma, los sistemas de escudriñadores normalmente tienen una ventaja sobre los sistemas fotográficos y de video en su habilidad para "ver" a través de la radiación dispersada por la atmósfera. Considerando a las cámaras convencionales, producen imágenes directamente sobre emulsiones fotográficas, los sistemas de escudriñadores graban sus señales como impulsos electrónicos en cintas magnéticas y puede, por tanto, electrónicamente sustraerse (o filtrarse) algo de "ruido" en la señal debido a la dispersión.

Este tipo de procedimiento permite la observación de un gran número de detalles de la superficie, en muchos casos es posible con video o imágenes fotográficas, sin embargo algunos realces electrónicos pueden mejorar la calidad de la imagen fo-

tográfica.

#### 2.4.2 VISIBLE E INFRARROJO CERCANO.

En esta porción del espectro electromagnético los sistemas de cámaras convencionales y multilentes, así como también los escudriñadores óptico-mecánicos, son utilizados para obtener fotografías y otras imágenes (una fotografía se define como una imagen producida cuando la energía reflejada choca directamente con una emulsión fotográfica. Una imagen, por otra parte, es producida por la emitancia o sistema activo de reflexión de energía la cual ha sido convertida por un detector a un formato semejante a una pintura).

Sin embargo, los requerimientos específicos de una misión dada de adquisición de imágenes aéreas puede variar, las siguientes consideraciones se aplican generalmente a la mayoría de las misiones:

- 1) Cubrimiento rápido de grandes áreas del terreno; esto es acompañado por el uso de un sistema el cual fotografiará o escudriñará una área máxima de terreno por unidad de tiempo;
- 2) Producción de una cantidad máxima de información extractable por imagen; aquí un sistema deberá redituvar la más alta resolución espacial posible para todo el formato de la imagen, usando ya sea combinaciones de filtros y películas o bandas espectrales que combinen las más altas resoluciones posibles con sensibilidad espectral en una porción óptima del espectro electromagnético; y
- 3) Dependabilidad y economía de operación.

Existen seis tipos de sistemas de cámaras aéreas:

- (1) Vertical, (2) Panorámica, (3) Strip film, (4) Tri-

metrogon, (5) Divergente oblicua y (6) Oblicua. Cada uno de estos sistemas posee ventajas para un cierto tipo de estudios. De estos seis tipos de sistemas de cámaras, la cámara para fotos verticales es la de uso más común, mientras que las cámaras panorámicas son menos importantes. Los sistemas de cámaras restantes son utilizados en la actualidad para misiones con propósitos especiales. Conforme se va moviendo el transporte aéreo las exposiciones se van haciendo en intervalos predeterminados de tiempo. La longitud de tiempo entre las exposiciones individuales está normalmente condicionado por:

(1) La altitud del vuelo, (2) velocidad del avión, (3) longitud focal de la cámara y (4) formato de la película; todos los cuales gobiernan el tamaño del área de terreno cubierto por exposición. Debido a los avances en las capacidades operacionales de las plataformas sensoras, la mayoría de los sistemas de cámaras usados hoy, deben emplear alguna forma de compensación del movimiento de la imagen (I.M.C.). Hasta hace poco, el I.M.C. era innecesario en las operaciones aéreas de mapeo porque a las grandes alturas a las cuales se realizan los vuelos, la muy baja velocidad de propulsión de conducción del transporte aéreo, y la relativamente baja resolución de las películas bases utilizadas (American Society of Photogrammetry, 1966).

Con el uso del jet y el desarrollo de bajas velocidades, fine-grained, la alta resolución de las emulsiones fotográficas la necesidad de un método de compensación por el movimiento del avión durante el tiempo de exposición se requiere. Sin embargo, algunas técnicas pudieron ser empleadas, lo más común era ver la película durante la exposición para que la película y la imagen se movieran a la misma velocidad para prevenir que la ima-

gen saliera borrosa.

La fotografía aérea para el inventario de los recursos naturales usa longitudes focales de 6, 8 1/4, o 12 pulgadas. Sin embargo, en 70 mm (anchura de la película) de cámaras multibandas, se usa comúnmente una longitud focal de 80 mm. Las cámaras aéreas usualmente tienen mezcla de distancias focales, con las cuales se puede hacer infinidad de combinaciones según la necesidad de detalles que se necesite se noten con claridad en la imagen.

Los sistemas fotográfico multilentes son análogos en algunas formas a los escudriñadores óptico-mecánicos, los cuales se discutirán después. Los sistemas fotográficos multilentes se han desarrollado específicamente para obtener fotografías simultáneas en varias partes de las porciones visible y visible cercano del espectro electromagnético.

Los sistemas fotográficos multilentes pueden constar de una cámara de formato simple acompañada de lentes múltiples o de cámaras múltiples adaptadas para uso sincrónico.

Las primeras ventajas de los sistemas fotográficos multilentes son:

- 1) Se pueden tomar imágenes multibanda simultáneamente de la misma área al mismo tiempo;

- 2) La fidelidad geométrica y el gran poder resolvente de estos sistemas permiten que la imagen se interprete con un tipo de información más familiar;

- 3) Las combinaciones de filtros y películas son expues-

tas simultáneamente. Por lo tanto algunas variaciones en las condiciones de iluminación (las cuales posiblemente ocurrirían cuando las bandas individuales son tomadas a diferentes horas del día o del año) son minimizadas o no existen; y

4) Algunas combinaciones de filtros y películas pueden ser explotadas con estos sistemas.

Cuando se seleccionan las bandas espectrales o las combinaciones de filtros y películas, debe tenerse cuidado en evitar la redundancia; por ejemplo, para evitar la selección de combinaciones las cuales producen un efecto similar. También debe recordarse que los sistemas fotográficos multibanda están limitados por sensibilidad espectral de las emulsiones fotográficas, en la actualidad, las emulsiones fotográficas tienen un rango espectral de cerca de 00.29 u. en el ultravioleta, para aproximadamente 1.1 u. en el infrarrojo cercano (ORR, 1968). Aunque existen muchas ventajas en el uso de un sistema de cámara multibanda, algunas desventajas también deben de mencionarse:

1) Los formatos de las imágenes de los sistemas fotográficos multilentes son usualmente más pequeños que los de las cámaras aéreas convencionales; esto es necesario para incrementar el número de exposiciones o la altitud del vuelo para obtener igual área de cubrimiento.

2) La calibración y el control necesario para garantizar resultados exactos hace que estos sistemas sean muy costosos.

3) La cantidad de datos adquiridos hacen más difícil el uso para el intérprete.

La cámara panorámica es capaz de tomar fotografías con alto grado de resolución de una gran área en una sola exposición. Considerando que en los sistemas de cámaras convencionales, la nitidez de la imagen decrece en función de la distancia. A partir del centro de la foto, las cámaras panorámicas proveen un alto grado de nitidez de la imagen en cada una de las partes de la fotografía. Para producir una imagen clara cuando se fotografían grandes áreas, una paradójica necesidad es la de que se necesita un campo angular estrecho para minimizar algunas aberraciones de los lentes.

La cámara panorámica produce su campo por una estrecha ranura en una parte opaca cerca del plano focal de la cámara.

La ranura es paralela a la línea de vuelo de la plataforma de la cámara y la imagen se obtiene cuando la cámara panorámica va de un lado a otro conforme el transporte aéreo avanza. Las cámaras panorámicas mantienen un enfoque uniformemente claro para toda la área tomada porque la película es expuesta en la forma de un arco, en vez de mantenerse plana como en una cámara convencional. Consecuentemente, la escala de la fotografía en una imagen panorámica comienza progresivamente a empequeñecerse.

Algunas ventajas de los sistemas de cámaras panorámicas son:

1) No se requiere el vuelo preciso para la fotografía vertical;

2) Un lado segado del terreno puede ser imaginado con alta resolución en una sola fotografía; y

3) Personal, transporte aéreo, cámaras y los requerimientos de película por unidad de área son mucho más bajos, grandes áreas son escudriñadas en una sola imagen.

Entre las desventajas están:

1) Constantemente hay cambios en las necesidades de escala, lo que implica procedimientos especiales de rectificación; y

2) El relativamente bajo "cyclic rate" de las cámaras panorámicas restringe su uso a las más altas altitudes.

Un sistema de escudriñador puede utilizarse para producir imágenes no sólo en el visible e infrarrojo reflectante, sino también en las porciones ultravioleta cercano y en infrarrojo termal del espectro electromagnético.

En un sistema de escudriñador (tal como el sistema de escudriñador del infrarrojo termal), un espejo rotatorio dirige la energía emanada del terreno a un detector. En algún instante dado en el tiempo, el espejo rotatorio visa sólo un pequeño segmento del terreno. La energía infrarroja incide en el detector, generando un impulso eléctrico que varía en intensidad de acuerdo a la cantidad de energía termal proveniente del terreno que está siendo visada por el espejo. La señal puede entonces usarse para modular un rayo de electrones, tal como se mueve un punto luminoso en la pantalla de intensidad modulada de un tubo de rayos catódicos. Un punto de este modo se modula, incrementando su brillantez o reduciéndola en proporción directa a la intensidad del rayo del electrón.

Una imagen de la luz es grabada en película fotográfica

y qué es lo que se produce por el sistema, en efecto, un mapa termal del terreno (Colwell, 1968). Otro sistema más complejo es el escudriñador óptico mecánico desarrollado en la Universidad de Michigan. La fig. 5 muestra un esquema del sistema de escudriñador multiespectral. Este sistema puede dividir el espectro electromagnético entre 0.32  $\mu\text{m}$  y 14  $\mu\text{m}$ , dentro de 18 canales separados y puede proveer una gran cantidad de datos para el estudio de los fenómenos de reflectancia y emitancia de los detalles de la superficie. Esta información es colectada y almacenada en una cinta magnética, lo cual puede ser más tarde transformada en un formato de imagen o manipulada por técnicas y procesos estadísticos en procedimientos de interpretación por computadora como previamente se estableció, una ventaja de grabar de esta manera (sobre un explorador (televisión)

el cual directamente imagina una escena dada) es que se puede incrementar la resolución mediante la supresión del "ruido" del medio o fondo en el procesamiento final de la señal. Finalmente, los tubos de imagen, que operan en las porciones visible e infrarrojo reflectante de el espectro, están comenzando a incrementarse en forma importante. Ejemplos de sistemas de tubos de imagen son los vidicones, los orticones y los isocones. Los vidicones tienen gran importancia en la actualidad. El primer satélite Landsat-1 utilizó un sistema de vidicón como parte complementaria de su sensor. El sistema de cámaras del Landsat-1 opera con tres cámaras de rayos de retorno de vidicon con un obturamiento simultáneo. Cada cámara percibe una banda espectral por separado, dentro de el rango 0.48  $\mu\text{m}$  a 0.83  $\mu\text{m}$ . Una vez que una área ha sido escudriñada por la cámara, la imagen resultante es almacenada en la superficie fotosensible del tubo de la cámara, donde ésta es explorada por un rayo de electrones

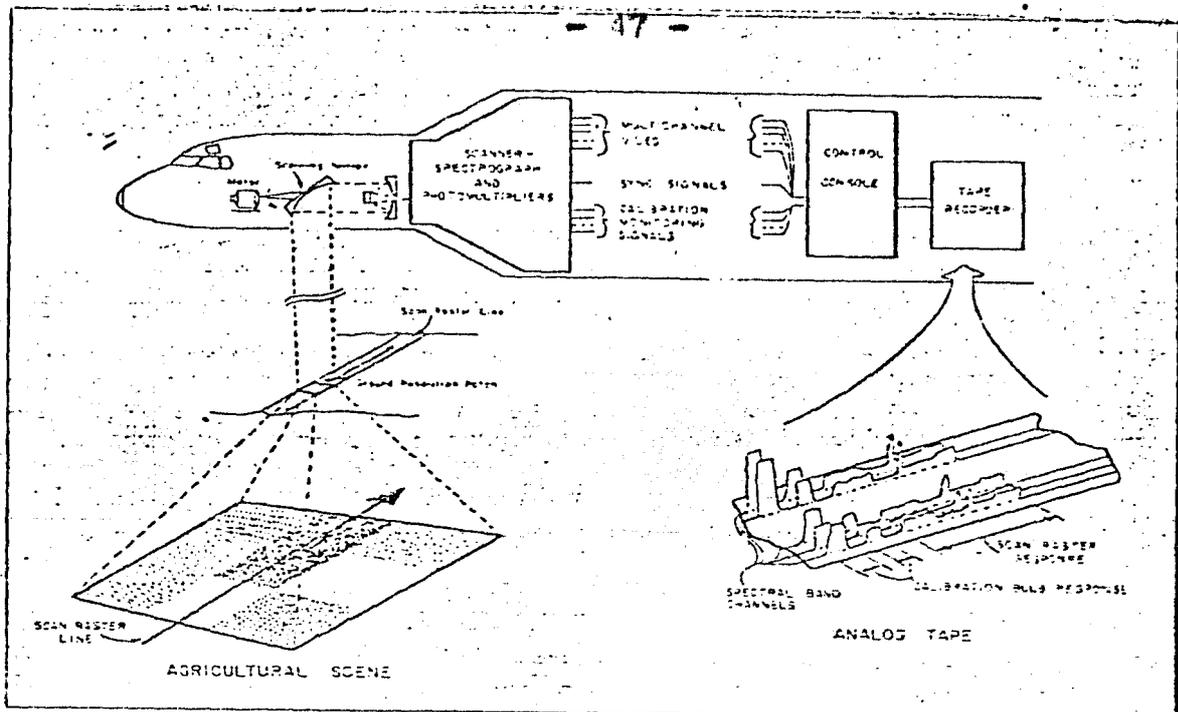


Fig.5-Diagrama de un sistema de escudrimiento multispectral (Ester, 1976).

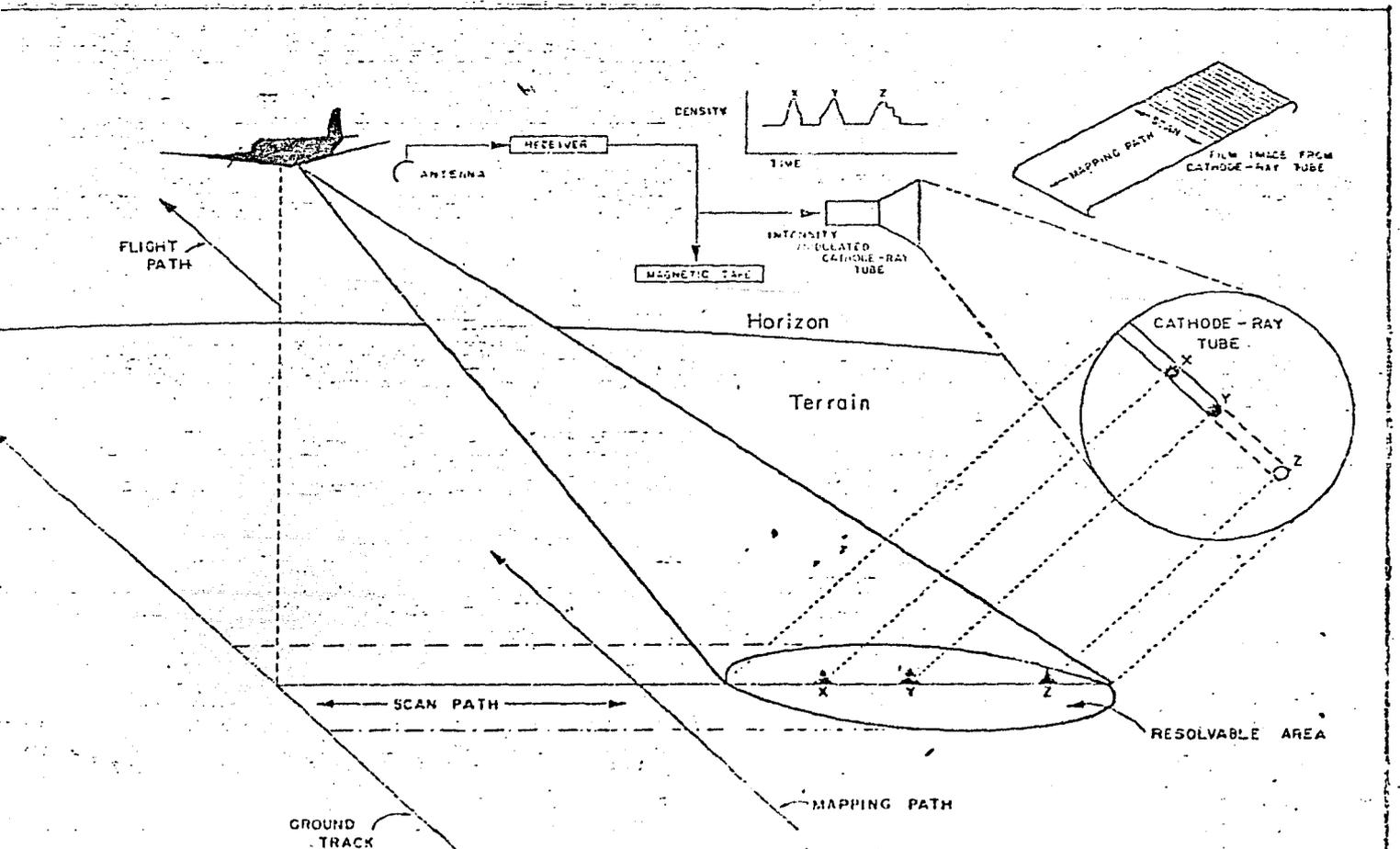


Fig.6- Diagrama de un sistema de radar de observación lateral (SLAM) (Ester, 1976).

para producir como resultado final una señal de video. Estas señales pueden entonces ser almacenadas directamente en una cinta de grabación o transmitidas en tiempo real a estaciones receptoras en la superficie (donde se puede almacenar en discos o cintas magnéticas). Un punto que debería tocarse es el que respecta a los sistemas de video, es el uso de "low-light-level illumination television systems (lltv)", el cual utiliza óptica especial para obtener imágenes nocturnas sin la ayuda de equipo de flash. El potencial de este tipo de sistemas está siendo explorado; y el sistema por sí mismo ha sido empleado por los militares y en algunos proyectos oficiales, así como también por investigadores interesados en el medio ambiente natural.

#### 2.4.3 INFRARROJO TERMAL.

La porción infrarrojo del espectro electromagnético se puede dividir en tres partes: (1) el infrarrojo cercano o reflectivo, 0.7  $\mu\text{m}$  a 1.5  $\mu\text{m}$  (en esta área, las emulsiones de las películas son sensibles a la energía directamente reflejada); (2) Infrarrojo medio, 1.5  $\mu\text{m}$  a 5.5  $\mu\text{m}$  (aquí los exploradores se utilizan para medir tanto radiación emitida como la reflejada); y, (3) infrarrojo lejano (5.5  $\mu\text{m}$  a 1.00  $\mu\text{m}$ ). Los sensores infrarrojos termal, entonces, generalmente imaginan radiación emitida, sin embargo también la radiación reflejada puede ser grabada. Durante las horas de luz del día, aproximadamente igual cantidad de energía solar reflejada y emitida son retornadas a un sensor terrestre orientado en la región espectral entre 3.0  $\mu\text{m}$  a 4.5  $\mu\text{m}$ . Un detector infrarrojo operando en esa región puede grabar fenómenos relacionados a la reflectancia.

La Tierra es esencialmente un cuerpo negro que con su

energía radiante alcanza unos 300°K. Como tal, la Tierra es una excelente fuente de energía para un equipo de percepción pasivo operando en las longitudes de onda del infrarrojo lejano.

Todos los objetos arriba del cero absoluto, los cuales absorben la energía radiante del Sol, tienden a incrementarse en temperatura y reemitir la energía básicamente en la porción de el infrarrojo del espectro. Esta emitancia puede definirse como la energía radiante por segundo por centímetro cuadrado.

Acorde con la ley de Stefan-Boltzmann, de un cuerpo negro el poder emisivo total o energía radiante es exactamente proporcional a la cuarta parte del poder de su temperatura absoluta. Sin embargo, en vista de que no hay tal exactitud de cuerpo negro, la emisividad está generalmente dada como el radio  $w/w_b$ , donde  $w$  es la emitancia de un cuerpo real y  $w_b$  es la emitancia de un cuerpo negro a exactamente la misma temperatura. En vista de que los sensores termales no dependen completamente de la energía reflejada para la formación de una imagen, estos sistemas están provistos con capacidades de vigilancia tanto de día como de noche. Operando en forma de escudriñador, los sistemas de infrarrojo termal también proveen la importante capacidad de adquisición de datos en tiempo real.

Un escudriñador óptico-mecánico, como el que se describió anteriormente es el equipo de imaginación que más se usa en lo que respecta generalmente a la porción infrarrojo termal de el espectro electromagnético. Las emulsiones fotográficas no son sensitivas a la energía en las longitudes de onda de la región del infrarrojo termal. Los escudriñadores óptico-mecánicos usan un detector que consiste en una capa de algún material infrarrojo

jo sensitivo, como antimonio de indio, o pasta de mercurio, pasta de cobre o capa dorada de germanio, en el final de un conductor eléctrico. Este material ocupa una área extremadamente pequeña, es por eso que sea factible, en un sistema de transporte aéreo.

#### 2.4.4 MICROONDAS PASIVO.

Los sistemas de radar y microondas pasivo operan en la porción de las microondas del espectro electromagnético desde 0.1 cms a 100 cms. La atenuación atmosférica aquí es insignificante. Porque hay un cambio entre las longitudes de onda y la resolución espacial en una apertura dada o tamaño de la antena.

Los sistemas pasivos de microondas generalmente operan en las longitudes de onda más cortas en la porción de las microondas del espectro. En esta región hay algo de atenuación, causada principalmente por el vapor de agua y el oxígeno atmosférico. Los sistemas pasivos de microondas aunque están en las mismas longitudes de onda que los radares, difieren de ellos en que ellos hacen uso de la radiación natural emitida por los objetos más que de la iluminación artificial.

Las propiedades más importantes de los objetos que determinan el carácter de su radiación de microondas son: (1) Emitancia; (2) Transmitancia; (3) Reflectancia; (4) Temperatura. Sin embargo, los sistemas de imaginación de microondas son a partir de radiación emitida, así como lo hacen los equipos de infrarrojo termal, la imaginación de microondas pasivo es más linealmente una función de la temperatura que las imágenes del infrarrojo.

La radiancia de microondas, o lo que es comúnmente llama-

da la temperatura de brillantez de objetos que aparecen en imágenes de microondas, que es más aproximada a una curva de cuerpo negro que las imágenes del infrarrojo termal. Sin embargo, los sistemas pasivos de microondas exhiben de día y de noche capacidad operacional, una desventaja es su relativamente baja resolución espacial. Sin embargo estos sistemas pueden ser diseñados con resolución para una variedad específica de tareas, esto es costoso, y hay prácticamente un límite en el diseño e instalación de una antena para un sistema dado o la selección de longitudes de onda para operación y tamaño de la antena (entre más grande es la antena la resolución es mejor) será en función de la necesidad para detectar y mapear un objeto dado de un fenómeno.

Aunque la resolución espacial es inversamente proporcional a la longitud de onda (para una apertura o tamaño de la antena dada), los requerimientos de resolución dictarán la operación en las más cortas longitudes de onda posibles, generalmente en el orden de 8 mm (National Academy of Sciences, 1970).

Se han desarrollado radiómetros para imaginación en la porción de las microondas del espectro electromagnético. Estos utilizan una antena de rayos estrechos adherida a un dispositivo mecánico de escudriñamiento. Este dispositivo continuamente mueve la antena a través de un rango angular designado en un plano transversal al patrón de vuelo del transporte aéreo. La antena de rayos cubre una estrecha franja en el terreno en la dirección transversal a el movimiento dirigido del transporte aéreo proporciona las causas de desarrollo de una línea de exploración dada o una franja de imagen.

Los sistemas de exploramiento electrónico actualmente

están siendo desarrollados y probados tienen mayores ventajas; no hay partes mecánicas movibles, capacidades más rápidas de exploración, y control computarizado en la fase y amplitud de cada elemento. Estos sistemas están siendo comúnmente diseñados usando generadores de estado sólido. Su amplitud y fase son controladas con unidades electrónicas simples. El problema mayor es primeramente el costo (American Geological Institute, 1968).

#### 2.4.5 RADAR.

El radar es un sistema activo de percepción remota, el cual opera en la porción de las microondas del espectro electromagnético. Cual tal, su capacidad de imaginación depende del retorno de la señal de energía suministrada por el mismo sistema del radar, la naturaleza de la energía retornada por el sensor del radar depende tanto de las propiedades de energía electromagnética transmitida como de las propiedades de los fenómenos de la superficie que está siendo percibida. Las propiedades de la energía electromagnética incluyen (1) longitud de onda, (2) polarización, y (3) dirección. Las propiedades de los fenómenos de la superficie que deberán ser consideradas son:

- 1) Propiedades dieléctricas y de conducción.
- 2) La aspereza de la superficie en unidades de longitud de onda.
- 3) Resonancias físicas.
- 4) Pendiente de las superficies.
- 5) Efectos de la superficie, y
- 6) Area de dispersión (National Academy of Sciences, 1970).

Algunos sistemas de imaginación de radar son de observa-

ción lateral; esto es, ellos exploran en un patrón lateral al patrón de vuelo del transporte aéreo. El nombre de "Side-Looking Airborne Radar" (SLAR) es frecuentemente usado en la designación de estos sistemas, éstos ofrecen tanto de día y de noche capacidad virtual en todo tiempo. El radar posee la habilidad para cubrir grandes áreas en una sola imagen y lo hace también en corto tiempo.

Con respecto a la resolución espacial, el radar depende de su longitud de onda y el rango de inclinación (ver fig. 6). La resolución espacial está en función del tamaño del rayo, por tanto éste se ajusta a las variaciones en el tamaño de la antena en un sistema de "brute force" o ajustando la apertura sintética en un sistema de Synthetic aperture (Moore, 1965). La apertura sintética del radar dirige un rayo estrecho de energía en ángulos convenientes al patrón de vuelo del transporte aéreo. Una pulsación de energía es transmitida desde la antena del radar, y la intensidad relativa de las reflexiones de los objetos que están siendo percibidos producen una imagen. En la siguiente pulsación transmitida el transporte aéreo se mueve hacia adelante una pequeña distancia y una franja ligeramente diferente de terreno es imaginada. Estas franjas secuenciales del terreno son grabadas, lado por lado, en un rollo de película para formar una imagen del terreno. El rayo del radar convencional o de "brute force" forma esencialmente un ángulo constante. La resolución es, por tanto, mejor en un rango cercano a donde la anchura del rayo es menos y progresivamente peor conforme se incrementa el rango de inclinación.

Una antena más larga se utiliza para enfocar el rayo dentro de un ángulo más estrecho, mejorando la resolución. El mejor

ramiento de la resolución se puede llevar a cabo con éxito utilizando longitudes de onda más cortas de energía electromagnética.

Se pueden utilizar varios métodos para mejorar la resolución de los radares convencionales:

- (1) Una antena larga.
- (2) Una longitud de onda corta, y
- (3) A close-In range interval.

Existe también un número de factores limitantes: Primero, hay un límite para la longitud práctica de las antenas, las cuales pueden ser llevadas y estabilizadas en el transporte aéreo. Segundo, el uso de longitudes de onda cortas causa grandes atenuaciones por las nubes y la atmósfera. Como resultado de estas limitaciones, los radares convencionales son primeramente utilizados en rangos cortos (en términos de distancia desde el transporte aéreo al "blanco") y bajos niveles de operación. Para vencer esas limitaciones los radares de apertura sintética han sido desarrollados. Los radares de apertura sintética (antena sintética) proveen una anchura específica, la anchura efectiva del rayo en rangos más lejanos sin requerimientos en una longitud actual antenna o una longitud de onda corta. Una antena sintética se produce teniendo un transporte aéreo con una relativamente corta actual antenna que transmite y recibe pulsaciones en intervalos regulares a lo largo del patrón de vuelo.

Esas señales individuales son primero almacenadas y entonces sumadas para producir una antena de longitud larga efectiva. En efecto, el sistema escudriña la misma escena un número de veces y entonces combina la información de todas esas

líneas de exploración. Esta, la antena sintética es, cierto, muchas veces más larga que la "actual antenna" y por tanto da rayos mucho más estrechos y mejora la resolución. La diferencia importante aquí es que la "actual antenna" transmite, recibe y despliega solo una pulsación en un tiempo así como una imagen en una línea. Para la antena sintética cada "blanco" produce un gran número de pulsaciones de retorno. Esta variedad de retornos de cada "blanco" debe ser almacenada y entonces combinada dentro de un solo pulso, en una forma especial para simular una "actual antena" de la misma longitud.

Así, la longitud efectiva de la antena de un sistema de apertura sintética puede ser considerada la distancia a que un transporte aéreo está en observación de un "blanco" dado (Goodyear Aerospace Corporation, 1971).

### CAPITULO III. PROCESAMIENTO DE DATOS

En el análisis de las imágenes de los sensores debemos buscar tanto derivar datos e información de estas imágenes. Se deberán expresar en términos numéricos o cuantitativos en cuanto sea posible. Sólo cuando los números se asocian con datos e información pueden hacerse mediciones rigurosas, respetables y probar hipótesis cuantitativas. El obtener números a partir de imágenes se puede hacer de muchas maneras.

El primer objetivo en el análisis cuantitativo de las imágenes de sensores remotos es la identificación de puntos, líneas y áreas sin ambigüedad, o desarrollar la relación probabilística acerca de los puntos, líneas y áreas.

La identificación total usualmente no es posible, y por lo tanto se requieren las relaciones probabilísticas para dar los niveles exactos de la determinación. A través de la identificación o probable identificación de un objeto, a nosotros nos interesará la enumeración o conteo del número de cosas en clases (por ejemplo, líneas, áreas, puntos, casas, caminos y cultivos o diferentes tipos de estos) y con la medición la determinación de longitudes, tallas y áreas. La relativa habilidad y velocidad en llevar a cabo esos objetivos variarán con las circunstancias. Generalmente el hombre es hábil; pero para ciertas tareas es relativamente lento en analizamiento, como es el caso del análisis de un gran número de imágenes. Por otra parte, las vastas cantidades de datos completamente indigerible para un hombre pueden ser manejados completamente por una computadora, pero ésta puede ser menos exacta que un intérprete; las ventajas y defectos de cada uno (hombre y máquina) nos han enseñado

las más recientes investigaciones dirigidas hacia sistemas totalmente interactivos para el análisis de una imagen. Tales sistemas involucran decisiones de tiempo real, haciendo del hombre una parte esencial del sistema.

Los sistemas completamente interactivos involucran al hombre, despliegue análogo (televisión, fotointérprete, etc.) y computadoras digitales y análogas.

### 3.1 ELEMENTOS DEL RECONOCIMIENTO DE PATRONES

El análisis de una imagen es una tarea en el reconocimiento de patrones o el reconocimiento de patrones y la delimitación de límites entre clases homogéneas en una imagen (agua, terreno descubierto, tipo de vegetación, estructuras geológicas, calidad de la habitación urbana, nieve, etc.). Es lo cual los científicos experimentados hacen muy bien en una imagen simple de blanco y negro o color. El reconoce diferentes clases y patrones a través del uso de muchas pistas contextuales e inferenciales en la fotografía. Esto incluye relaciones espaciales de tono, textura, la talla, forma y la geometría de los objetos, así como también la información espectral en el color de la fotografía. Su campo y experiencia en interpretación y su conocimiento de disciplinas científicas particulares son apuntes referidos al establecimiento de las clases y de los límites entre ellos. El reconocimiento de patrones del hombre en espacio real tridimensional involucra su procesamiento y compactación del volumen de los datos, para extraer información útil y clasificarla dentro de clases significativas. Sin embargo, el reconocimiento de patrones en análisis cuantitativo también incluye "espacio estadístico" así como también espacio real en el cual

el patrón es un vector en un N-espacio dimensional; un ejemplo podría ser el uso de 12 canales de exploración para el cual cada uno de los puntos sobre el terreno tiene un valor en la escala tonal de grises en cada una de las 12 imágenes. Esos 12 valores de la escala tonal de grises pueden ser imaginados como procedentes de una locación en 12 espacios estadísticos dimensionales para ese punto. El sistema de reconocimiento de patrones busca la distribución a partir de límites en los N-espacios dimensionales tanto que cada una de las regiones de estos puede asignarse a una clase de patrones. Hay de este modo una analogía casi, imperfecta -entre los dos- el reconocimiento de patrones llevado a cabo por el hombre (si la esteroscopia tridimensional emplea) cuando él hace identificación y erige límites en una fotografía y el N-reconocimiento de patrones estadísticos dimensionales llevado a cabo por una computadora cuando éste busca agrupar y erigir límites en espacios estadísticos.

Se puede decir que un intérprete hace reconocimiento de patrones rutinariamente y sin muchas consideraciones acerca de la unicidad de su capacidad. El reconocimiento de patrones también envolverá la comparación de información derivada de nuevos datos con los que obtenemos conocimiento de ejemplos de patrones o paradigmas. Para el hombre, el paradigma se basa en alto grado en la experimentación y consiste en la suma de muchas experiencias en el campo de trabajo y en la interpretación de imágenes durante varios años.

Para las máquinas, el número de patrones muestra es naturalmente más pequeño. No obstante que tiene limitaciones para ciertos problemas, una sucesión de patrones puede ser intro

ducida a la computadora y esto puede adaptableemente mejorar su conocimiento de las características de la muestra considerando el uso de un algoritmo de aprendizaje.

El rendimiento de un hombre o máquina va a ser en función de la naturaleza de un patrón desconocido en comparación con otros patrones conocidos.

El concepto de reconocimiento de patrones se dió anteriormente; puede extenderse también a la inclusión de varias formas de preprocesamiento de imágenes así como también la extracción y análisis de patrones en la información extractada de la imagen.

Las fases a seguir en el reconocimiento de patrones son: cinco principalmente:

- 1) Introducción de patrones iniciales.
- 2) Preprocesamiento de patrones.
- 3) Discriminación de características.
- 4) Función de decisión/clasificación.
- 5) Salida de la clasificación.

La introducción de patrones puede consistir de una fotografía en blanco y negro que será analizada por un fotointérprete. La misma fotografía podría también ser digitalizada línea por línea, con un explorador, para análisis computarizado. Una fotografía a color que será analizada por un fotointérprete es también introducida en un patrón. Esta a su vez puede ser escudriñada secuencialmente con filtros azul, verde y rojo hasta que los vectores de color tridimensionales en geometría convergente, son grabados para procesamiento digital. El patrón de

introducción puede constar de un gran número de canales como es el caso del escudriñador multiespectral. En este caso la dimensionalidad de los datos sería muy alta. La fotointerpretación no sería factible y los datos podrían ser convenientemente manejados a través de procesamiento computarizado.

Las imágenes obtenidas en diferentes tiempos también estarían en un patrón de entrada. En esta instancia, para hacer comparaciones entre las imágenes en una pequeña área base, tendrían que ser llevados a cabo a la misma geometría exacta a través de rectificación óptica o digital o sea una función de preprocesamiento, antes de que las manipulaciones del procesamiento se puedan hacer un densitrómetro, que traza a través de una imagen y esto es también un patrón de entrada (un densitómetro explora las variaciones en transmitancia de una fuente constante de luz pasando a través de una serie de puntos en una imagen). Un patrón de entrada podría aun también ser un simple detalle, como también una línea dibujada a través de una imagen en la cual son marcadas las anchuras de las copas de los árboles. Considerando que estos detalles varían grandemente en su dimensionalidad en espacio real, espacio estadístico y en el tiempo, todos son patrones de entrada que se les puede hacer un análisis de procesamiento.

La función de preprocesamiento o realceamiento incluye procedimientos tales como la eliminación de distorsiones (geométricas y fotométricas), cambio de escala, traslación, rotación, ruido, eliminación, delineamiento de imagen, nivel tonal de la escala de grises, filtramiento, combinación de color y así sucesivamente. Un procedimiento simple es por ejemplo la impresión de una fotografía con una gamma (contraste) diferen-

te para expandir la escala de gris, el realceamiento de la orilla por reimpresión a través de intercalar una película positiva y negativa de la misma escena. El preprocesamiento también involucra funciones de alguna complejidad tales como la obtención de las transformaciones bidimensionales fourier de una imagen. Esto requiere equipo óptico sofisticado o programas digitales que funcionen satisfactoriamente.

En todos los casos, sin embargo, el preprocesamiento busca:

- (1) Producir un alto nivel de invariante en los datos.
- (2) Reducir su dimensionalidad.
- (3) Enfatizar las características particulares de los datos.
- (4) Establecer un formato más conveniente.
- (5) Reducir ruido.
- (6) Restaurar imágenes degradadas.

Una gran variedad de transformaciones matemáticas se pueden aplicar un poco sin saberlo por el analista cuando él elabora varios límites u otros realceamientos de las imágenes usando métodos simples.

El reconocimiento de patrones involucra la determinación de detalles a través de la sintaxis o lógica del problema a través de manipulaciones estadísticas de los datos.

Los detalles derivados sintácticamente y lógicamente son muy difíciles de describir y definir por las computadoras en vista de que cada uno es un caso especial en sí mismo. No obstante para el humano ello representa la suma de la interpre-

tación en el campo, la experiencia intelectual y puede ser generalizada como "argumento en contexto".

Los científicos altamente experimentados hacen juicios en fotointerpretación, los cuales son basados en convergencia de evidencia, utilizando pistas contextuales y otras en la imágen para mejorar la identificación. Esta capacidad del hombre está substancialmente más allá que los sistemas análogo y digital. En este tiempo y sólo cuando los más recientes sistemas estén aliados con el hombre en un sistema interactivo total, puede entonces la experiencia y el juicio de los científicos dirigirse al problema en conjunción en la rapidez y la capacidad de evaluación de las computadoras.

Los detalles estadísticamente designados usados durante la fase de extracción de detalles incluye las técnicas familiares de análisis multivariado, análisis de función discriminante y análisis de agrupamiento. En esta fase de extracción de detalles, por tanto, surge una dicotomía real entre el hombre usando un gran número de "argumentos en contexto" y la convergencia de pistas de evidencia, los cuales él hace bien y la máquina por el contrario ineptamente, y la implementación de algoritmos estadísticos, los cuales el hombre hace muy lentamente y sin embargo la máquina lo hace estupendamente. Es importante hacer notar, sin embargo, que es difícil asegurar que los algoritmos estadísticos y los procedimientos de convergencia de evidencia convergen en la misma respuesta tanto en grado como en clase. Esto sería notable si ellos fácilmente lo hicieran para sus modelos de decisión, los fundamentos filosóficos son tan disimilares. La función del detector de detalles es, de este modo, reformar y extraer la esencia del patrón des-

de la introducción de información (después del preprocesamiento) hasta que ésta puede ser más fácilmente clasificada y las decisiones pueden ser vertidas en un gran volumen de datos del mismo medio ambiente.

La cuarta fase en el proceso de reconocimiento de patrones es la de decisión y clasificación. En esta fase, los detalles (pistas) presentes en los datos son agrupados en clases apropiadas y las decisiones son hechas probabilísticamente (y en algunos casos determinísticamente) en clases dentro de las cuales un detalle dado será establecido).

Ejemplos de lo anterior son estos:

1) Un fotointérprete decide después de la inspección de muchas fotografías que él puede distinguir siete clases de vecindarios y la calidad del alojamiento en fotografías infrarrojo color. El entonces establece el límite alrededor de los vecindarios en las fotografías.

2) El análisis computarizado de datos de 12 canales del escudriñador multiespectral, la extracción de detalles y la compactación de datos son ejecutados usando análisis de los componentes principales. Esto se emplea como "entrada" para un algoritmo de agrupamiento el cual busca los ocurrimientos naturales agrupados en 12 dimensionales espacios estadísticos dentro de los cuales los datos caen (de paso, debería acentuarse que esos "agrupamientos naturales" varían con el algoritmo y la métrica empleada y sólo la prueba real de su convergencia para un problema particular, es checar manualmente detalle por detalle para clasificaciones aberrantes. Un hombre hace este juicio). La quinta fase y final en el proceso de reconocimiento

de patrones es la clasificación de salida en una variedad de formas.

La salida incluye tal variedad de formas como:

- (1) Sobreposiciones manualmente preparadas de una fotografía aérea.
- (2) Sobreposiciones corregidas para ajustar la escala del mapa.
- (3) Una salida alfa numérica de una línea de impresión adherida a una computadora.
- (4) Una salida reproducida fotográficamente en blanco y negro derivada de una terminal de computadora.
- (5) Un despliegue en una unidad de televisión en color.
- (6) Un tabular organizado en orden por el intérprete o impreso por el computador.

El resultado llevado a cabo siguiendo esas fases requerirá entonces verificación. Esta es una fase esencial de conclusión en toda investigación.

### 3.2 PREPROCESAMIENTO

Se pueden implementar nuevas funciones de preprocesamiento usando técnicas especiales con película, con sistemas análogos, ópticos, electrónicos, y con sistemas digitales. En vista que la introducción de datos viene en una variedad de formas (películas, cintas magnéticas análogas, cintas magnéticas digitales, etc.), la primera fase en el formamiento computarizado es frecuentemente por medio de la película digitali-

zada hasta cinta magnética por exploramiento de la imagen ó de conversión de cinta análoga a digital hasta que los datos estén computados compatiblemente.

El preprocesamiento puede designarse para llevar a cabo uno o más de los siguientes propósitos:

(1) Permitir juicios cualitativos. Para establecer o mejorar juicios cualitativos concernientes a los datos.

(2) Para eliminar distorsiones geométricas o radiométricas en la imagen; de este modo mejorando la calidad de las manipulaciones cuantitativas que serán ejecutadas.

(3) Enfatizar o realzar los datos.

(4) Restaurar ciertos detalles no presentes en la película o datos originales.

(5) Simplificar o condensar los datos. (comprensión de datos).

### 3.3.1 PREPROCESAMIENTO DE LA GEOMETRIA DE LA IMAGEN.

En vista que la imaginación y la introducción de datos de una línea trazada llega en una variedad de escalas y geometrías, un investigador se enfrenta con el problema de reconciliamiento de estas geometrías hasta que las diferentes imágenes o datos pueden ser sobrepuestos para comparación. Si carece de equipo conveniente para rectificación de alta calidad él puede convivir con datos con una variedad de escalas y distorsiones o desarrollar procedimientos manuales laboriosos hasta que pueda analizar el material efectivamente.

Las imágenes múltiples pueden ser procesadas tanto en computación analógica como digital y los puntos de decisión se hacen utilizando métodos estadísticos del reconocimiento de patrones, las imágenes o datos deberán estar ya en un punto geométrico congruente (esto se hace con la "salida" de un vuelo simple con un escudriñador multiespectral) o deberán ser llevados a un punto congruente a través de igualamiento de imágenes para una imagen referencia o un mapa referencia u ortofoto. Esta es una tarea sumamente difícil para imágenes de diferentes tipos o datos a menos que los siguientes requerimientos se tengan al menos sustancialmente:

(1) El área imaginada sea plana o más o menos suavemente ondulada y/o

(2) Las imágenes se obtengan con sistemas de un campo de visión muy estrecho, y/o

(3) Las imágenes se obtengan desde niveles muy altos de transporte aéreo o transporte espacial y/o

(4) Las imágenes sean producidas por cámaras de mapeo y se puedan producir ortofotos.

Las rectificaciones ópticas, electrónicas y digitales son posibles. En general, la rectificación óptica es mejor y más barata. El igualamiento de imágenes electrónica y digitalmente está plagado por distorsiones electrónicas en el primer caso y por el costo del procesamiento en el último.

Si no se requiere la exacta correspondencia punto por punto, se puede obtener óptica simple y congruencia digital y electrónica a bajo costo.

La mayoría de los fotointérpretes que estudian áreas extensas encuentran que generalmente los estudios de detección de cambios donde la exacta correspondencia no es necesaria, se pueden tolerar algunas desviaciones.

### 3.3.2 CORRECCION RADIOMETRICA DE LA IMAGEN

Las correcciones radiométricas de las imágenes se intentan para eliminar o al menos reducir los efectos de las siguientes variaciones en la densidad de la imagen para asegurar un alto nivel de invariante espacial con respecto a la radiancia de la escena (reflectancia o emisión):

(1) Decaimiento de la intensidad de la luz en sentido contrario al centro de las lentes fotográficas.

(2) Fore Lighting and Back-Lighting en una fotografía (observando hacia y contra el Sol).

(3) Variaciones sistemáticas a lo largo del patrón de vuelo del sensor a partir de los cambios en la iluminación de la escena, desarrollando e implantando procedimientos, etc.

(4) Línea de exploración - variación en el ángulo de observación de la línea de exploración en los escudriñadores multiespectrales.

(5) Variaciones del patrón de la antena y la línea de exploración en las imágenes del radar.

(6) Variaciones de frecuencia alta en la línea de exploración en imágenes muestra a partir de fósforos débiles en el CRT y detalles similares, y

(7) Respuesta no distorsionada con tubos de imagen.

El procedimiento de corrección radiométrica frecuentemente estipula la normalización de una imagen. Muchos métodos se han utilizado, no todos llevan a cabo las correcciones igualmente bien. Los procedimientos incluyen:

1) El uso de un antivignetting (densidad neutral) filter o unos lentes en los cuales la densidad de los off-axis conforme al inverso de la función vignetting. Si un filtro antivignetting no se utiliza en la cámara u otros componentes, entonces encontraremos bajos niveles de iluminación en las orillas de las fotografías. La compensación puede hacerse colocando una placa de densidad neutral sobre el negativo.

2) Racionamiento entre copias fotográficas en una película a color o entre canales en un escudriñador multiespectral en una imagen digital o análoga (Brooner, et al, 1971).

Normalización de la línea de exploración. Esto incluye los procedimientos para eliminar fore-lighting and backlighting, antena patrón y otras variaciones en la línea de exploración en las imágenes de radar, distorsiones radiométricas a partir de cambios en el ángulo de observación en escudriñadores multiespectrales; las lecturas del densitómetro de punto pueden ser manualmente ajustadas con respecto a la posición en una imagen o una indefinida (desenfocada) baja densidad positiva puede ser intercalada con un negativo para corregir el positivo final, los algoritmos han sido desarrollados por Crane (1971) en Michigan y otros han sido desarrollados en Purdue (Hoffer y Goodrick, 1971).

4) Normalización y calibración de los tubos de imagen, los cuales tienen una respuesta de tono bajo, a través de la imagen puede también llevarse a cabo para eliminar este efecto mediante el uso de un aditivo de baja densidad intercalado en el procesamiento de la película o por corrección digital de puntos por escudriñamiento en una imagen.

5) Otras técnicas incluyen sustracción de patrón de radiancia por el substraimiento del objeto más oscuro en una escena de todos los otros (Crane, 1971), e igual intervalo de cuantificación (Brooner, Haralick and Dinstein, 1971) de fotografías o de imágenes multiespectrales sujetas a variabilidad a lo largo de la exploración.

### 3.3.3 PROCEDIMIENTO DE MEJORAMIENTO DE LA IMAGEN.

Los principales procedimientos de realceamiento de imágenes son de densidad tonal, contornamiento, realceamiento de las orillas, detección de cambios a través de la adición de la imagen, sustracción y promediamento y mejoramiento del contraste. Estos se pueden llevar a cabo en blanco y negro a través del uso de intercalaciones de positivos y negativos de imágenes y mediante el uso de combinaciones ópticas de color haciendo un procesamiento de salida y/o despliegue electrónico o digital. Existe usualmente un equivalente simple tanto para los procedimientos complejos análogos y digitales. Pero, sin embargo, los procedimientos simples casi siempre se pueden encontrar más baratos elaborando las funciones principales de la computadora digital, esto es posible sólo cuando existe la secuencia exacta de las operaciones que se tienen que ejecutar. La computadora tiene la ventaja de flexibilidad de aprovechamiento.

### 3.3.4 DENSIDAD TONAL

Un slice o segmento de escala gris puede seleccionarse para enfatizar un detalle dado; por ejemplo agua en una fotografía infrarrojo cercano blanco y negro. En vista de que el agua absorbe radiación infrarroja, normalmente éste es el detalle más oscuro en una fotografía infrarroja cercano. A través del control de exposición, uno puede fotográficamente obtener todos los tonos de gris más brillantes que los del agua. A costo de mucho tiempo y paciencia en un laboratorio fotográfico los segmentos de densidad tonal fotográfica se puede obtener de cualquier parte o extensión de una escala de gris. Este no es un procedimiento fácil para cualquier causa pero es factible con película Agfa Contour con la cual la equidensity slicing se puede obtener (Ranz and Schneider, 1971). Una posición variable en la escala de gris y Width Slicing puede ser rápidamente implementada con un sistema electrónico por reemplazamiento de la transparencia de la fotografía en la pantalla de un tubo de rayos catódicos (CRT) y explorándola, con eso convirtiendo las densidades de la imagen a voltajes. Los niveles de voltajes deseados son entonces seleccionados y desplegados en un CRT, en un monitor de televisión de color o blanco y negro o impreso en un film writer. Frazee, Myers and Nestin (1971), por ejemplo, usaron density slicing y un despliegue en color en una prueba de mapeo en condiciones del suelo en Dakota del Sur. Equidensity Slicing puede llevarse a cabo en una fotografía color en alguna o más de las capas de color con un explorador vario-cromógrafo color. Con un sistema digital, cualquier nivel o niveles de gris pueden ser seleccionados y sacados en una línea de impresión, en una flat-bed o drum plotter, o directamente hacia un photographic film writer. ¿Cuáles son algunas de las ven-

tajas y desventajas de cada uno de estos procedimientos? Si un investigador necesita Density Slice ocasionalmente o él tiene muy limitados fundamentos, ciertamente debería usar el procedimiento fotográfico o pagar para tener esto mismo, menos es posible tener una organización de servicio que digitalice una imagen para él o procese esto con un equipo análogo electrónico. Mucho tiempo se consume en insignificancias con una densidad tonal fotográfica y esto no es fácilmente reproducible con el paso del tiempo. Esto es inherentemente difícil de calibrar la reproducción fotográfica y retener calibración. Un sistema análogo que involucre tubos de rayos catódicos o tubos de imagen puede costar miles de dólares y, mientras que ofrece gran flexibilidad y rapidez, esto puede ser difícil de calibrar. Para un sistema computador digital la película deberá ser explorada y digitalizada. Los programas deberán estar escritos en algoritmos desarrollados.

Mientras que estos son relativamente programas simples, ninguno es trivial; y la integración de un sistema completo de entrada y salida es una tarea difícil.

### 3.3.5 MEJORAMIENTO DE LOS LIMITES.

El mejoramiento de los límites es una fase del procesamiento muy importante que puede ser utilizado para la nitidez de una imagen por restauración de los componentes de alta frecuencia y para enfatizar ciertos límites seleccionados o todos los límites para ayudar a su interpretación. Esto podría incluir todos los límites con gradientes de densidad clara, más gradientes sutiles, o límites alineados en una dirección dada.

Existen varias formas de mejoramiento de los límites fo-

tográficamente, un método simple es el de intercalar una imagen positiva y negativa y además desplegar uno con respecto al otro slightly.

Todos los límites en ángulos correctos a la dirección del desplazamiento serán mejorados como líneas blancas en el límite principal y líneas oscuras en el borde de salida en la fotografía resultante expuesta a través del intercalado; esto es una derivativa direccional. Sin embargo los límites de igual nitidez paralelos a la dirección del desplazamiento de la foto no serán mejorados. No obstante si uno deseara enfatizar todos los límites independientes de dirección, este procedimiento no sería satisfactorio. Para llevar a cabo la invariante con respecto al realce del límite (recordar que la invariante es un atributo deseable que nosotros buscamos estudiar en el reconocimiento de patrones), es necesario para montar el intercalado del positivo y negativo en un disco rotatorio con un "Exposure Light" montado en los ejes exteriores alguna distancia encima de las fotografías. Conforme el disco rota la luz brilla diferencialmente a través de las dos imágenes y realza todos los límites irrespectivamente de la Dirección. No obstante, en este caso el realzamiento diferirá dependiendo del gradiente de la orilla. Un excesivo gradiente entre una área muy oscura y una clara producirá una orilla diferente que una con bajo gradiente, dependiendo del ángulo en el cual la luz esté montada en los ejes exteriores de rotación del disco. Este procedimiento es algo selectivo con respecto a la nitidez de las áreas entre los límites. Un lineamiento de interés para un geólogo puede o no ser enfatizado por un procedimiento tal, de este modo el procedimiento de realce puede enfatizar el "ruido" así como también información para el intérprete. Otro procedimiento es

intercalar un positivo innítido y un negativo nítido e imprimirlo por medio de ambos.

El análogo electrónico del desplazamiento de dos películas con respecto a uno y otro a lo largo de una línea es para diferenciar la imagen a lo largo de las líneas de exploración de un CRT. Este sufre de las mismas ventajas y desventajas de los sistemas ópticos.

Para llevar a cabo el equivalente electrónico del invariante del realce del límite con respecto a la dirección, se requiere una exploración espiral o su equivalente. Un procedimiento óptico complejo es el de llevar a cabo la transformación Fourier de una imagen usando fuente de luz colimatada o laser, para filtrar todo, pero los componentes de alta frecuencia con un desvanecimiento reconstituyente de la imagen.

Procedimientos similares pueden emplearse, por ejemplo digitalmente, en el proceso de digitalización; la digitalización pixel por pixel se lleva a cabo en una exploración secuencial en un rastreador comparable con el de un CRT. De este modo, hay ya estructurado dentro de el sistema de orientación preferido a partir de la dirección del escudriñamiento. Esto necesita ser removido antes de proceder al realce del límite. Las fases involucradas entonces son desarrolladas de algoritmos para remover la línea de exploración de ruido. Para realceamiento del límite por derivativa direccional y para manejo del realzamiento de la dirección invariante. En segunda instancia el algoritmo lleva la primer derivativa en una dirección dada. En tercer instancia, esto involucra el uso de funciones las cuales son neutrales con respecto a la orientación, tales como una

rotación invariante de operación derivativa secundaria; por ejemplo, una transformación Laplaciana o una Fourier.

Un ejemplo comúnmente citado de realce de límites es el enfatizamiento de los lineamientos en una fotografía para mapeo de fracturas.

Este no es un problema trivial en cualquiera de sus fases. Los geólogos difieren casi de ellos mismos en la interpretación de los lineamientos donde otros creen que no existen. Consecuentemente, nosotros no tenemos bases estables con las cuales evaluar la ejecución de un sistema análogo o digital por que la comparación es con una interpretación en la cual hay una predisposición tanto conceptualmente como experimentalmente.

Esto no provoca que los excelentes análisis de fracturas no puedan hacerse por un geólogo competente o que los resultados obtenidos de esto no sean útiles en mapeo de geología general y en estudios de economía geológica. Un lineamiento mapeado por un geólogo puede tener muchos cambios en la escala de gris y en otras características a lo largo del lineamiento. La máquina enfatizará esas diferencias así como también esas en las cuales están directamente relacionadas a el lineamiento el cual el geólogo también utiliza para tomar sus decisiones. Así, como resultado la máquina producirá un alto nivel de "ruido" en su procedimiento de detección de lineamientos y realce de el límite. Sin embargo, sea lo que sea, hace esto reproducible y consistente, en el cual el hombre no es tan consistente. El procedimiento de realce del límite también disminuye el volumen de datos que tienen que ser inspeccionados así como también da algo de énfasis, pero no a todos, de los datos requeridos.

### 3.3.6 DETECCION DE CAMBIOS

Una función interesante de preprocesamiento es la de detectamiento de cambios de una imagen a otra. En esta instancia, uno está buscando cambios de interés para el observador. Tales cambios están embebidos en una gran cantidad de "extraños cambios" o desorden. Considerando, por ejemplo, un observador interesado en la detección de cambios significantes en el acraje del campo de un tiempo a otro. En adición al cambio en acraje el cual él desea, habrá también muchos cambios irrelevantes tales como las condiciones de los cultivos o del suelo.

Las funciones de preprocesamiento en la detección de cambios fáciles de implementar son todas de alta ambigüedad. El intérprete normalmente tiene que intervenir para hacer juicios en lo que es ambiguo y lo que es información útil. La detección automatizada de cambios es hasta ahora muy difícil. La detección manual o interactiva hombre-máquina deberá ser la que predomine por mucho tiempo.

Los procedimientos típicos utilizados en la detección de cambios son los de Flicker, esto es, presentando alternadamente la primera y entonces la segunda imagen a el observador en un promedio de 10 imágenes por segundo. De este modo las áreas donde los cambios se han llevado a cabo aparecen inestables mientras que las áreas donde no hay cambios permanecen estables en la imagen. El Flickering puede ser hecho fácilmente con un esteroscopio simple armado con fuentes de luz, con la luz alternativamente incidiendo en y atrás de las dos imágenes. Esto se puede implementar en un sistema análogo utilizando tubos CRT o en sistemas digitales o totalmente interactivos.

Otro proceso común utilizado para el detectamiento de cambios es el de "sustraimiento" (actualmente razonamiento) de una imagen de otra. Esto puede hacerse fotográficamente utilizando una transparencia positiva de una imagen y un negativo del otro e imprimiendo una nueva fotografía por medio de ambos, áreas no cambiantes estarán en tonos de gris medio. Sin embargo, el signo de el cambio con respecto a una fotografía no será desplegado. El mismo procedimiento puede ser muy fácilmente implementado con un sistema electrónico o en un sistema digital.

Ya sea hecho con equipo óptico simple (precedido por generación de ortofotos) o con los más complejos sistemas electrónicos y digitales, la principal dificultad que permanece en esa detección de cambios, es la de que mientras intrínsecamente es muy atractiva la idea para el estudio de el medio ambiente, resulta no ser fácilmente tratable para preprocesamiento tanto por métodos simples o por sistemas digitales o electrónicos; el entresacamiento de la información de el ruido y el llevar a cabo una compactación sustancial de los datos a través del preprocesamiento está ahora en un estado de desarrollo incipiente. Esto no debería caernos de sorpresa ya que la mayoría de las fases de la detección de cambios se llevan a cabo manualmente.

Cuando las imágenes original y preprocesada se utilizan al mismo tiempo una interpretación más completa puede elaborarse por parte de el intérprete.

### 3.3.7 MEJORAMIENTO DEL CONTRASTE.

El mejoramiento del contraste es una función de preprocesamiento de imagen. Utilizado para hacer diferencias tonal

les en la escala de gris, no fácilmente detectable con el "Naked Eye". Más obvias para interpretación. Cualquier imagen de bajo contraste o cualquier segmento de la escala de gris de una imagen puede ser realizada por este procedimiento.

Las imágenes de bajo contraste para lo cual el mejoramiento es apropiado, puede surgir de varias causas. Ciertas escenas pueden ser inherentemente de bajo contraste en una longitud de onda dada a un contrastamiento de escena puede ser observado de una atmósfera nublada.

Una técnica común para mejorar el contraste es producir nuevos negativos y positivos a través del procesamiento repetido con película de alta gamma. Un procesador Log-Etronic puede también utilizarse para mejorar el contraste. El control más grande en mejoramiento del contraste se mantiene en un procesamiento digital. Las imágenes de bajo contraste de los Erts se pueden mejorar antes de la combinación de color para realzar el contraste de color.

### 3.3.8 OTRAS OPCIONES.

Los ejemplos precedentes de opciones de preprocesamiento son sólo parte de las opciones disponibles. Otras opciones incluyen Thresholding (Steiner et al, 1972), combinaciones ópticas y electrónicas de imágenes en color (Estes y Senger, 1971), mejoramiento de la nitidez de una imagen digital con: operaciones Laplacianas (Steiner et al, 1972), cuantificación de texturas usando funciones de correlación, algoritmos de el vecino más cercano y claves dicotómicas, transformaciones Fourier para la varianza de la señal, número de límites por unidad de distancia, análisis de poder espectral, etc. (Kaizer, 1955; Simonett y Brown, 1965).

## CAPITULO IV. DISCRIMINACION DE CARACTERISTICAS EN LAS IMAGENES

### 4.1 DISCRIMINACION DE CARACTERISTICAS EN LAS IMAGENES.

El proceso de discriminación de características es un procedimiento por medio del cual la estructura interna y externa del problema y la estructura interna de los datos son evaluados y juzgados y rendidos en la más mínima información que se necesite por tiempo, canal o algún otro factor para llevar a cabo la identificación exacta, lo cual deberá ser aceptable para el problema que se esté manejando.

La discriminación cuantitativa de características involucra cuatro aspectos principales:

- 1) El desarrollo de una estructura lógica para el aislamiento de variables significantes para su análisis.
- 2) Preparación de mediciones cuantitativas.
- 3) La determinación de las características de las variables.
- 4) El colapsamiento de los datos hasta que solo el punto esencial o esencia de la estructura de los datos sea llevada a cabo hasta la fase de decisión/clasificación.

#### 4.1.2 DISCRIMINACION DE CARACTERISTICAS CON CAMPOS DE PRUEBA. EL MSS.

En la discriminación de características con el escudriñador multiespectral (MSS) comúnmente se emplean campos de prueba. Un campo de prueba es una submuestra, de la cual se conoce completamente la identificación. Esta se utiliza para generar subpoblaciones estadísticas para que los poderes de decisión en

la siguiente fase puedan implementarse más eficientemente. El proceso de selección de detalles, siendo precedido por ejemplificación, es contingente por su utilidad en la calidad del ejemplificación; el tamaño de su muestra, su distribución espacial y la eficiencia están todas involucradas. El problema es para establecer la distribución de probabilidades en N-Espacios dimensionales (N es igual al número de canales que el escudriñador multiespectral utilice). Estos entonces se utilizan para erigir poderes de decisión para aplicarlos a los sets de predicción de datos. En general, las distribuciones de probabilidad son empíricamente derivadas en el tiempo de vuelo del transporte aéreo por medio de la obtención de Ground-Truth Data.

Ellos también se pueden conocer a priori de datos previamente obtenidos los cuales pueden ser preparados en una tabla de consulta de procedimientos (ver Eppler, Helmke, y Evans, 1971).

Una variedad de técnicas de despliegue de datos se utilizan para facilitar extracción de detalles cuando se utilizan datos del explorador multiespectral: Histogramas, para cada una de las categorías y por canal, matrices de correlación y covarianza. Los datos de campos de prueba se utilizan usualmente con discriminantes paramétricas: Funciones de probabilidad Bayesiana o de máxima verosimilitud.

Thresholding se utiliza comúnmente con ambos. Thresholding es simplemente un proceso de asignamiento a una clase descartada de detalles.

Por la gran cantidad de tiempo computacional involucrado en el uso de la función de máxima verosimilitud, se están im

plementando muchos procedimientos alternativos, están siendo probados.

Crane y Richardson (1972) mencionan: Mientras esto sirva para reducir el número de datos a través de ejemplificación, también sirve para ahorrar tiempo con el poder de decisión por sí mismo. El poder de decisión en uso común está basado en dos asunciones:

- (1) Que los datos estén en forma Gaussiana (Normal) y
- (2) Que los datos de prueba para cada una de las clases representen adecuadamente la clase entera.

Con esas dos asunciones el poder de decisión de la función de máxima verosimilitud llega a un patrón cuadrático. Este patrón requiere un gran número de multiplicaciones para cada una de las decisiones, especialmente cuando existen muchos datos de los canales y se utilizan muchas clases. Esto fundamenta un modelo de decisión lineal que ha tenido una comparación favorable con la función de máxima verosimilitud ya que es más exacta y 50 veces más rápida: "En la selección de un subset de canales para procesamiento, el método lineal es especialmente promisorio. La razón es completamente simple: Hay muchos subsets de canales que producen reconocimiento óptimo cercano para la ejecución de datos de prueba. De este modo, aún a través de métodos lineales puede ocasionalmente escogerse un subset diferente que encuadrará, la diferencia en ejecución será probablemente insignificante". Bond y Atkinson (1972) también han desarrollado procedimientos no paramétricos rápidos.

Las funciones lineales discriminantes llevan a cabo resultados satisfactorios con datos multibanda / multiclases

tan grandes como en el orden de la separabilidad de clases como fue lo que se observó durante el proceso de clasificación. Su algoritmo toma 5 minutos para una área comparada con 70 minutos para 6 canales y 5 horas usando 12 canales con la función de máxima verosimilitud. Conociendo tales excepciones nosotros observamos que tan importante es la elaboración de trabajos por medio de computación sobre todo para trabajar datos del escudriñador multiespectral. Si los costos se pueden reducir trabajando con paquetes desarrollados por diversas instituciones de los U. S. A., que podrían extender el uso de la computadora en el analizamiento de sistemas multiespectrales de los landsats y transportes espaciales futuros. Hay ciertas razones para considerar que las excepciones expresadas antes son factibles y que el procesamiento en tiempo real con computadoras análogas será viable y relativamente barato. Otros estudios han incrementado la rapidez o la muy satisfactoria predicción de resultados, esto incluye lo elaborado por Su, Jayroe y Cummings (1972). Un algoritmo de agrupamiento compuesto secuencialmente por Richardson et al (1971) -un modelo de condición de límite elíptico; y por Eppler, Helmke, y Evans (1971), quien desarrolló una tabla de consulta de procedimientos 30 veces más rápida que la función de máxima verosimilitud y más amplia así como también exacta.

Otros métodos estadísticos para la extracción de detalles involucran funciones lineales, funciones discriminantes polinomiales, funciones potenciales (El n-potencial dimensional ejercido por un punto en el espacio) y divisionamiento no paramétrico.

Una discusión extensa se puede encontrar en Fu (1971). Steiner (1970) utiliza análisis de funciones discriminantes li-

neales para extraer características para identificación de cultivos. Con 11 cultivos y 13 variables (tiempos de observación), el 100 % de identificación fue posible. El tiempo fue segmentado a lo máximo para poder ser bien diferenciado; probablemente una exactitud comparable podría llevarse a cabo con una clave dicotómica e interpretación manual. El valor principal de esta investigación fue el énfasis del tiempo como una discriminante.

Una de las muy pocas investigaciones acerca de las relaciones entre tamaño de los campos de prueba y la exactitud de los resultados es la elaborada por Roth y Baumgardner (1971). Ellos investigaron la relación entre el color del suelo y la materia orgánica, empleando el coeficiente de determinación por un canal y por seis canales. Se necesita para esto muy poco muestreo regional para este tipo de solución. Sin embargo, la mayoría de las situaciones requieren muy altas tasas de ejemplificación. Hoffer y Goodrick muestran que para clases agregadas (suelo descubierto, agua, vegetación verde) las muestras de prueba seleccionadas de una área pequeña se pueden extrapolar sobre distancias considerables (97 % de exactitud para suelo, 100 % para agua y 99 % para vegetación verde). En vista de que el tiempo es una función discriminante valiosa (Steiner, 1970), nos sugiere que los multidados de las imágenes landsat y categorías densas deberían llevarse a cabo con buena discriminación sobre grandes distancias.

Un punto importante establecido por Hoffer y Goodrick fue el de que aunque había desviaciones significantes en los datos espectrales, no había desviación en la exactitud porque habían sido solo esas tres clases presentes en el área por

ellos estudiada. Este resultado debería de estudiarse con cautela porque habrá problema de "thresholding" en medio ambientes más complejos en áreas grandes, donde simplemente no serán compatibles dentro de las categorías de suelo desnudo o vegetación verde.

Su estudio también mostró que hay que realizar un escrutinio cuidadoso utilizando funciones decayentes que son organizadas espacialmente.

#### 4.1.3 DISCRIMINACION DE CARACTERISTICAS UTILIZANDO ALGORITMOS DE AGRUPAMIENTO.

En áreas para las cuales los campos de prueba no son útiles, la extracción de características se puede derivar a través de la utilización de un algoritmo de agrupamiento.

Esto es similar a una fotointerpretación en una región desconocida donde un intérprete establece trazos alrededor de las regiones que fotográficamente aparecen como similares. El proceso de mapeo de tipos naturales de paisaje es una rutina de agrupamiento manual a base de fotografías o imágenes.

Turner (1972) nos dice que "a pesar de la existencia ahora de un gran volumen de literatura sobre análisis de agrupamiento no hay unanimidad en criterios basados universalmente aunque hay algunos consensos en el mejor criterio para ciertos tipos de datos". El establece que, cuando los datos puedan ser considerados una muestra de una distribución normal multivariada continua, la varianza generalizada (el determinante de la combinación dentro del grupo de una matriz de varianza-covarianza) parece tener una extensa aplicabilidad. El también menciona

que donde los datos no son muestreados de distribuciones discretas o donde hay mezclas de datos de ambos tipos de distribución, la mayoría de los criterios sugeridos están basados en mediciones de distancias euclidianas. En su estudio, él utiliza una técnica influenciada por una desarrollada por Tryön y Bailey (1970).

El análisis de los procesos y dilemas de los campos de prueba y agrupamiento en el aprovechamiento de la extracción de características se ha fundamentado en que: hay buenos trabajos con sets de pocos datos pero que la dimensionalidad y el costo de el procesamiento es substancial para grandes áreas. Se han desarrollado filosofías de agrupamiento de clasificación espacial utilizando procedimientos de agrupamiento de un sólo paso afín al utilizado por Nagy et al (1971). El utilizó una medida de función de distancia (el máximo de los valores absolutos de las diferencias entre los componentes espectrales), con una contrastante contigüedad espacial. El "pesó" la porción espacial del análisis inicialmente más fuertemente que la espectral utilizando un tipo de función de correlación espacial dimensional.

Fu (1971) y Steiner et al (1972) discuten algunos detalles de las varias similaridades, distancia mínima, variación mínima, mode seeking, análisis de discriminante Iterativa y transformaciones espaciales de características utilizadas en agrupamiento. La mayoría de las mediciones de agrupamiento comúnmente utilizadas son por ejemplo como distancias euclidianas, similarity ratios, correlaciones normalizadas, distancia mínima, determinación Iterativa de localizaciones de centroides, análisis de componentes principales, funciones discriminantes

canónicas y mediciones de separabilidad.

Aún después de cualquiera de estas rutinas de agrupamiento que hayan sido aplicadas, frecuentemente es necesario inspeccionar manualmente los datos para encontrar inclusiones peculiares o adversas.

Existen muchos problemas en la utilización de campos prueba. ¿Cómo hacer que los campos de prueba representen adecuadamente los datos que se utilizaron en predicción? ¿Sobre qué distancias de un campo de pruebas puede el entrenamiento extrapolarse con cualquier confianza? ¿Cuál es la técnica estadística más apropiada y el Time-Saving para la utilización con campos de prueba? ¿Qué pasa en situaciones donde los datos se obtienen en tiempos inapropiados para llevar a cabo discriminación máxima? Problemas comparables y verdaderamente aún más serios surgen con algoritmos de agrupamiento. Estos problemas se pueden ilustrar al referirnos otra vez al proceso de delimitación de paisajes naturales en imágenes. El intérprete que se ocupe de el delimitamiento de paisajes naturales o homogéneos sabe que esto puede hacerse muy fácilmente en algunas localizaciones. Conforme se mueva en nuevas áreas, frecuentemente es muy difícil decidir donde establecer un límite y donde se deberá erigir una nueva clase. De esta manera, el agrupamiento natural que uno establece será conforme al tamaño del área sobre la cual uno lleva a cabo el análisis. En un estilo similar los algoritmos de agrupamiento son conforme al espacio geográfico sobre el cual se están utilizando. La literatura está llena de demandas pretensiosas para la eficiencia de uno u otro algoritmo en comparación con otras propuestas; de hecho, nosotros ahora nos encontramos en un estado de desarrollo temprano

en el análisis de rutinas de agrupamiento para saber cómo separar materias de indeterminancia y sus relaciones para las dimensionalidades espaciales y multiespectrales de los datos.

#### 4.1.4 DISCRIMINACION POR TEXTURA.

La extracción de características de textura se emplea típicamente en el desarrollo de claves de interpretación. De tres a cinco patrones de textura pueden utilizarse. El equivalente de este proceso en una técnica análoga es el utilizar la varianza de la señal en una chart strip recorder. Nunnally (1969) utilizó el microdensitómetro para auxiliarse en la agrupación de clases de paisaje natural en imágenes de radar de Tennessee. Morain y Simonett (1967) utilizaron funciones de densidad de un CRT y análisis de pulse-height para indicar diferencias texturales en imágenes de radar en comunidades de plantas. La extracción de características de textura se está expandiendo en grado significativo con sistemas digitales. De hecho lo que hasta ahora se ha realizado ha demostrado que los estudios sobre textura son esenciales para el análisis de datos multiespectrales para hacer mejoras significantes en la identificación.

Un análisis general de utilidad en esta área está dado por Ramapriyan (1972) en su artículo sobre análisis de frecuencia espacial de datos multiespectrales. El utiliza la transformación discreta de Fourier. En vista de que la varianza de la señal en el dominio de amplitud está relacionado a la textura de la imagen, la mayoría de las medidas utiliza alguno de los aspectos de la varianza de la señal.

Las matrices de la dependencia espacial del tono de gris ha sido utilizado por Haralick (1971) para análisis de textura. Los elementos de la matriz son las frecuencias relevantes con las cuales los tonos de gris seleccionados ocurren en pixels vecinos de relaciones angulares definidas y distancias. Haralick definió funciones escalares de esas matrices incluyendo la diferencia inversa del momento angular secundario; la correlación entre tonos de gris vecinos y el momento angular secundario. En vista de que estas características están en dirección dependiente, ellos no son invariantes con respecto a la rotación angular, pero ello se puede hacer invariante by summing sobre cuatro direcciones para ejecutar la extracción de características. Problemas similares de carencia de invariante requiere summing sobre todas las direcciones cuando la transformación Fourier se utiliza. Otras técnicas, desarrolladas por Hord y Gramenopoulos (1971), son las de Thresholded derivative densities y análisis geométrico de la señal para noise ratio en el plano de transformación Fourier. Estas técnicas fueron refinadas por ellos a través de la regionalización prior, o particionamiento de el formato y seguido por la aplicación de los algoritmos para muestras de cada una de las regiones.

Woolnough (1972) utilizó microdensitómetro para evaluar los componentes texturales de muskeg y obtuvo el 92 % de identificación con una sola medición de textura a partir de datos del microdensitómetro. Maurer (1971) midió las texturas de campos de cultivos utilizando una exploración microscópica exacta de fotómetro y empleando un procedimiento de predicción y una prueba de el vecino más cercano.

#### 4.1.5 FUNCION DE DECISION/CLASIFICACION

Después de que la fase de extracción de características es completada (para un subset de los datos) las reglas de decisión para discriminación entre categorías desarrolladas durante la fase de extracción de características se utilizan para establecer datos nuevos dentro de una o más categorías, o se establecen dentro de un Thresholded, clases no indentificadas.

En el análisis cualitativo, las reglas de decisión están basadas juiciosamente. Ellos se desarrollan como una serie de reglas y procedimientos para casos de difícil manejo de sobreposicionamiento de categorías. En la elaboración de un mapa de uso del suelo, por ejemplo, el desarrollo de reglas de decisión es como el procedimiento de extracción de características, un proceso iterativo.

En primera instancia, las clasificaciones amplias son erigidas basadas en las clases principales, las cuales son observadas en la imagen. Un ejemplo de esto sería el esquema principal de mapeo de uso del suelo utilizando fotografías aéreas desarrollado por Anderson, Hardy y Roach (1972) y utilizado por el U.S. Geological Survey, Geographical Applications Program (GAP), en su mapeo de uso del suelo. Las clases amplias de uso del suelo así establecidas sirven para definir el primer nivel extenso de interpretación y reglas de decisión. Después de eso, se procede a mapear, caso después de caso se encuentra involucrando ligeras radiaciones. Los juicios se establecen y las decisiones rechazadas son codificadas dentro de la práctica.

En mapeo cualitativo tal como mapeo de vegetación y geológico, es realmente raro para las reglas de decisión, es-

tar estructurado formalmente. La mayoría de la interpretación cualitativa con imágenes de percepción remota es en mucho un proceso de poder catch - as - catch, en el cual después lo hecho es muy difícil de reconstruir para otro intérprete el mismo material. Las bases altamente juiciosas de las reglas de decisión erigidas se muestra en comparaciones de mapas producidos por diferentes intérpretes. De este modo, un geólogo confrontado con evidencia de fallamiento puede unir un grupo de fallas a lo largo de una línea de fractura de rocas sedimentarias a través de valles, dentro de una falla particular extensa. Otro geólogo más cauto puede dejar las mismas fallas como elementos aislados y no integrarlos dentro de la falla particular extensa. En otro ejemplo, dos intérpretes mapeando comunidades de plantas naturales pueden percibir una área mezclada complejamente en un estilo disimilar total. Uno puede decidir erigir una nueva clase compuesta de una mezcla compleja de dos o más cantidades, mientras que, aún en la misma escala de mapeo, el otro intérprete puede preferir mantener las categorías discretas. De este modo, ocurren continuos problemas de abultamiento y separamiento cuando se establecen juicios cualitativos.

Aunque esos juicios son imperfectos y cualitativos, se podrían establecer reglas para implementar decisiones si fuera necesario. Muy frecuentemente no se estructuran reglas porque la mayoría de los científicos no les agrada el desear sujetarse a sí mismos a la disciplina mental requerida para codificar sus prácticas. Otra razón es que la cantidad de tiempo requerido para codificación es muy grande y la diversidad de paisajes naturales y sistemas es tan substancial que muchos "Boogle" involucrados retrasan el trabajo.

Donde se utilicen los procedimientos estadísticos, sin embargo, las reglas de decisión deben ser si bien llegar hasta el fin para que la computadora o el dispositivo análogo pueda implementar en los datos restantes. Las reglas de decisión y clasificación son, entonces, para la implementación de la máquina, por definición cuantitativa y estadística, considerando que aquello utilizado por el intérprete humano son juiciosas y substancialmente cualitativas, sólo ocasionalmente son estrictamente cuantitativas.

Las reglas de decisión en procedimientos con computadora involucran Thresholding y selección de límites de decisión, la selección de un nivel de Thresholding se utiliza para producir una clase sin valor dentro de la cual todos los detalles no identificados pueden establecerse. La función de Thresholding se puede describir mejor con un ejemplo. Si no se utiliza Thresholding, entonces todos los detalles presentados para clasificación deberán asociarse a una u otra de las clases establecidas que se desarrollan en la fase de extracción de características. Esto se utiliza para todas las características de una área y serán las partes deseadas de una clasificación. De este modo, no utilizando un Thresholding se producirán un gran número de errores de comisión. Recíprocamente, un alto nivel de Thresholding rechazará u omitirá muchos detalles los cuales deberían ser clasificados dentro de las categorías seleccionadas. De este modo, el nivel de Thresholding utilizado dictará la proporción de errores de omisión y comisión. Dependiendo de el problema que se tenga, puede ser deseable no tener Thresholding, un severo Thresholding o algún nivel intermedio. La selección del nivel está dictado por los

requerimientos de el problema y por la distribución en el espacio estadístico de los datos. La posición usualmente escogida es designada para producir una mínima suma de errores de omisión y comisión, ejemplos de Thresholding se encuentran en cada uno de los usos con el escudriñador multiespectral o el problema de Thresholding puede tratarse como una parte de el problema general de la erección de superficies de decisión entre nubes de datos en N-Espacios Dimensionales, para los cuales nosotros podemos abocarnos.

En el proceso de extracción de características, una variedad de procesos estadísticos se utiliza para encontrar los más eficientes para el erigimiento de los límites entre las clases delineadas (usando un campo de prueba) o las clases de ocurrimiento natural (utilizando un algoritmo de agrupamiento).

Los procedimientos estadísticos comúnmente producen resultados de exactitud ampliamente comparable. Sin embargo, ellos no son igualmente parsimoniosos en tiempo de computación, las reglas de decisión entonces simplemente son la codificación de la localización de los valores del límite en N-Espacios Dimensionales entre una clase y otra. Para reducir el costo de el clasificamiento de sets muy grandes de datos los procedimientos simplificados tales como una tabla de consulta y el uso de una u otra de las aproximaciones lineales las cuales son más simples y demandan menos tiempo de computación que el que utiliza la función de máxima verosimilitud.

#### 4.1.5.1 SALIDA DE LA CLASIFICACION

Como se mencionó anteriormente, la salida de la clasificación puede ser dada en una variedad de formas, las tres

principales clases de salida son tabular, gráfica y en formato de mapa. Estas se pueden obtener de sistemas manuales, de computación y análogos.- Salida tabular. Numerosas formas de salidas tabulares pueden implementarse. Una salida común es una matriz exacta de identificación que da identificaciones correctas sobre las diagonales, errores de comisión en uno de los ejes y errores de omisión en el otro. Esto puede ser derivado como el resultado directo de una tabulación punto por punto de resultados de fotointerpretación: (1) A partir de la sobreposición de un mapa nuevamente interpretado. Establecido sobre un mapa previo y entonces utilizando a Point Counting Grid; (2) A partir de una tabulación elemento por elemento y comparación en una computadora. Datos directamente tabulares no se producen fácilmente. Producidos a partir de equipo análogo, pero puede ser cuando el equipo es anexado a la computadora hasta que la computadora saca los datos. Las tablas pueden ser fácilmente preparadas con la computadora.- Salida gráfica. Los histogramas de la frecuencia de ocurrencia de una categoría identificada simple en el área, se puede preparar manualmente. Cualquier impresión gráfica comparable se puede producir fácilmente con la computadora, o ser fácilmente desplegado en un tubo de rayos catódicos. Esto se fotografiará para tener una grabación permanente.- Salida en Mapa. Un mapa interpretado es probablemente la forma más común de salida. Esta podría ser un mapa cualitativo, una mezcla cualitativa-cuantitativa o cuantitativo basado en tabulaciones estadísticas.

La lista de mapas es tan interminable como el genio de el hombre para inventar; mapas de categorías múltiples y valor simple: Is Arithmetic (funciones de contornamiento confi-

nuo); dasimétrico (identificación discreta de distribuciones contínuas); uso de valores absolutos, porcentajes, proporciones, cambios de un tiempo a otro, puntos y líneas así como también en formatos de áreas. Los despliegues monocromáticos y en televisión en color son métodos comunes de presentación de la salida final en mapa de un sistema de identificación digital o análogo. Una salida alfanumérica de un sistema digital se utiliza completamente usando un impresor de líneas. Algunas salidas pueden ser fotografiadas como placas de separación y más tarde combinadas fotográficamente o en impresión, para obtener un mapa en color.

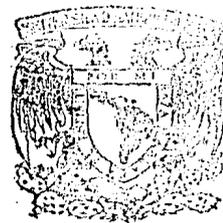
Algunas instalaciones pueden tener Film Write Out Devices, el cual utiliza elementos discretos de gris, para mapear con una exactitud considerable varias categorías. La fidelidad geométrica de los dispositivos de salida del Film Write es tan alta que un sistema híbrido análogo digital puede producir salidas muy exactas de mapas. Otros pueden utilizar impresores de varios tipos.

#### 4.1.6 VERIFICACION DE RESULTADOS

La verificación de resultados en un estudio puede ser un procesamiento muy informal o altamente estructurado. Una clara ventaja de las formas más estructuradas y más cuantitativas de extracción de datos en percepción remota es que la verificación de resultados sea explícita y frecuentemente llevada a cabo por el autor. Los procesos en mapeo cualitativo o mapeo casi cuantitativo, como tradicionalmente se realiza por geógrafos, biólogos y geólogos es un procedimiento mucho más informal.

Esto se basa tanto como cualquier cosa en el tiempo (algún otro descubre errores en nuestro trabajo), reputación (Geógrafo X es conocido como un trabajador más cuidadoso que el geógrafo Y), o al intercalar un mapa cualitativo puede ser establecido un mapa más amplio indicando la calidad de las fuentes de los datos y juicios utilizados para preparar el mapa principal. La gran ventaja de la computadora es la de proveer la exactitud cuantitativa que nosotros requerimos. Es que esto fuerza a los investigadores a muestrear con más equidad y dictaminar los errores en su salida y examinarlos de cualquier tipo concienzudamente en su trabajo.

Esta actitud está ahora comenzando a difundirse mucho para su utilización en trabajos cualitativos elaborados por científicos naturales y una atención más explícita se está utilizando para cuantificar resultados.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

GE—NASA ERTS

TRES CÁMARAS DE TELEVISIÓN

ESCUADRA MULTIESPECTRAL

REFLEJOS DE LA LUZ SOLAR

REFLEJOS DE LA LUZ SOLAR



FALLAS GEOLÓGICAS



YACIMIENTOS MINERALES



ESTRATOS ACUIFEROS



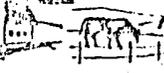
LAGO; RÍO



BOSQUE



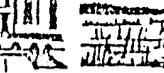
CAMPOS LABRANTIOS



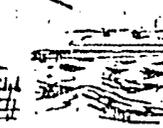
PASTIZALES



ZONA URBANIZADA



TERRENOS GENAGOSOS



OCEANO

ESTACIÓN RECEPTORA

TRANSMISIÓN DE LA IMAGEN

CINTA PARA TELEVISIÓN

CINTA PARA COMPUTADORA

FOTOCOPIAS

ESPECIALISTAS QUE SE VALEN DE LOS DATOS SOBRE RECURSOS TERRESTRES

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SISMICAS

POSIBLES YACIMIENTOS PETROLIFEROS

ADMINISTRACIÓN DE LAS RESERVAS HIDRÁULICAS

CONSERVACIÓN FORESTAL

ADMINISTRACIÓN DE LOS PRODUCTOS AGRICOLAS

LOCALIZACIÓN DE MINERALES RAROS

CONSERVACIÓN DE ESPECIES EN PELIGRO DE EXTINCIÓN

PLANIFICACIÓN DEL USO DE LA TIERRA

DETECCIÓN DE CONTAMINANTES DEL AMBIENTE

## CAPITULO V " APLICACION (EJEMPLO )"

### 5.1\* IMAGENES SATELITARIAS: NUEVO INSTRUMENTO METODOLOGICO EN EL CAMPO GEOGRAFICO.

Primera aplicación: estudio de la ocupación del espacio en función de la presencia de agua Río San Juan (Mereles de Pérez O.I. y López de Uliarte B., 1980).

#### Introducción:

Este trabajo tiene como finalidad mostrar, en caracteres generales, las posibilidades de utilización integral de las imágenes satelitarias, especialmente en lo que atañe a la disciplina geográfica.

Las aplicaciones de esta técnica son varias y escapan por tanto a una rápida enumeración. Sólo para citar algunos ejemplos mencionaremos a la Cartografía, Geología, Hidrología, y Oceanografía, entre otras, como ciencias que se sirven a diario de la teledetección satelitaria.

Su actualización permanente está basada precisamente en el hecho de que los satélites del sistema LANDSAT (antes ERTS), recorren el espacio a una altura de 940 km y pasan por el mismo punto cada 9 días. Por lo tanto cualquier fenómeno capaz de modificarse con el tiempo es captado por el mismo con

\* Nota aclaratoria. En el ejemplo se seleccionaron de las figuras de la investigación original las más representativas, debido a que no se pudieron reproducir con buena calidad y a la falta de espacio (E.V.J.M.)

mayor rapidez y precisión, por ejemplo, que si se acudiera a otros medios tradicionales, como los relevamientos terrestres.

Sin quitar la vital importancia de estos, es preciso reconocer que, comparativamente, requieren más tiempo e inversión.

Y así como en otros campos las imágenes satelitarias representan un instrumento eficaz, dinámico y actual, a la par que económico, creemos que en nuestra especialidad están llamadas a prestar un valioso aporte.

Se ha considerado oportuno, en virtud del tema y para una mayor y mejor comprensión del no iniciado, dividir el presente estudio en cuatro partes:

- 1) Generalidades técnicas.
- 2) Descripción resumida del programa LANDSAT.
- 3) Descripción de las imágenes.
- 4) Ejemplo: análisis de una imagen LANDSAT.

Es necesario destacar aquí que de ningún modo se pretende haber agotado el tema, pues la aplicación a diferentes aspectos de nuestra ciencia, puede y de hecho debe admitir infinitas variantes.

En nuestro país es mínima la utilización que de este instrumento metodológico se ha hecho y menos aún dentro del campo geográfico.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que existe una cobertura LANDSAT de aproximadamente 150 imágenes, es conveniente tener presente su posible aplicación al estudio de los re-

cursos naturales y el medio ambiente, tema éste de vital importancia para todos los países del mundo.

#### GENERALIDADES TECNICAS:

Antes de entrar al estudio de las imágenes satelitarias, se ha considerado oportuno hacer un breve resumen de carácter técnico.

Aquella persona que desee profundizar en alguno de los temas específicos podrá remitirse a la amplia bibliografía existente.

Es sabido que la luz visible por el ojo humano es sólo una parte ínfima del total del espectro electromagnético, postulado éste ya demostrado en el siglo pasado por James Clerk Maxwell (1831-1879).

Considerando un panorama mucho más amplio y conforme a lo esquematizado en el Gráfico No. 1, vemos que el espectro completo se extiende, en sentido decreciente de longitudes de onda, entre  $10^{16}$  milimicras en las ondas de audio, hasta  $10^{-5}$  en los rayos gamma ( 1 milimicra = 10 amstrong =  $10^{-9}$  m).

Entre estos límites y siempre en el mismo sentido, encontramos ondas largas y cortas de radio, microondas, radiación infrarroja, radiación visible, radiación ultravioleta y rayos X.

Todas estas clases de radiación son, al fin y al cabo, nada más y nada menos que ENERGIA, que se manifiesta de diferente modo.

Estos modos presentan similitudes y disparidades, con-

forme a su carácter particular. Por ejemplo: se propagan en el vacío a una velocidad aproximada a los 300,000 km/seg.

(299.792.9 km/seg. según experimentos realizados con un geodímetro por el científico sueco EDGE en 1956). Tal velocidad es constante cualquiera sea su longitud de onda y presentan un diseño de ondas armónicas. Sin embargo la radiación no puede ser percibida, salvo en un reducido sector, por el ser humano, de modo directo.

Para el tema objeto de nuestro estudio bastará con señalar los límites entre la radiación ultravioleta, pasando por el sector visible y llegar a la radiación infrarroja.

El Gráfico No. 1 muestra remarcado el sector en cuestión.

No por lo expresado se quitará importancia a todas las otras radiaciones que componen el espectro electromagnético, pero se hará hincapié aquí al sector del mismo comprendido entre los 3,000 a 11.000 A°, aproximadamente, por ser estas radiaciones las que captan los sensores remotos de los satélites LANDSAT en su tarea.

También es preciso hacer notar que la diferente reflexión de las distintas radiaciones es de importancia capital. Este fenómeno de reflectancia y emisión distinta en los objetos detectados es lo que permite estudiarlos y diferenciar, por ejemplo: agua pura y contaminada, diferentes formaciones geológicas, zonas áridas y vegetación, etc.

Es necesario señalar que la energía captada por los sensores proviene en su mayor parte de la que la Tierra refle-

FRECUENCIA  
(ciclos/seg.)

LONGITUD DE ONDAS  
(milimicras =  $\mu.\mu.$ )

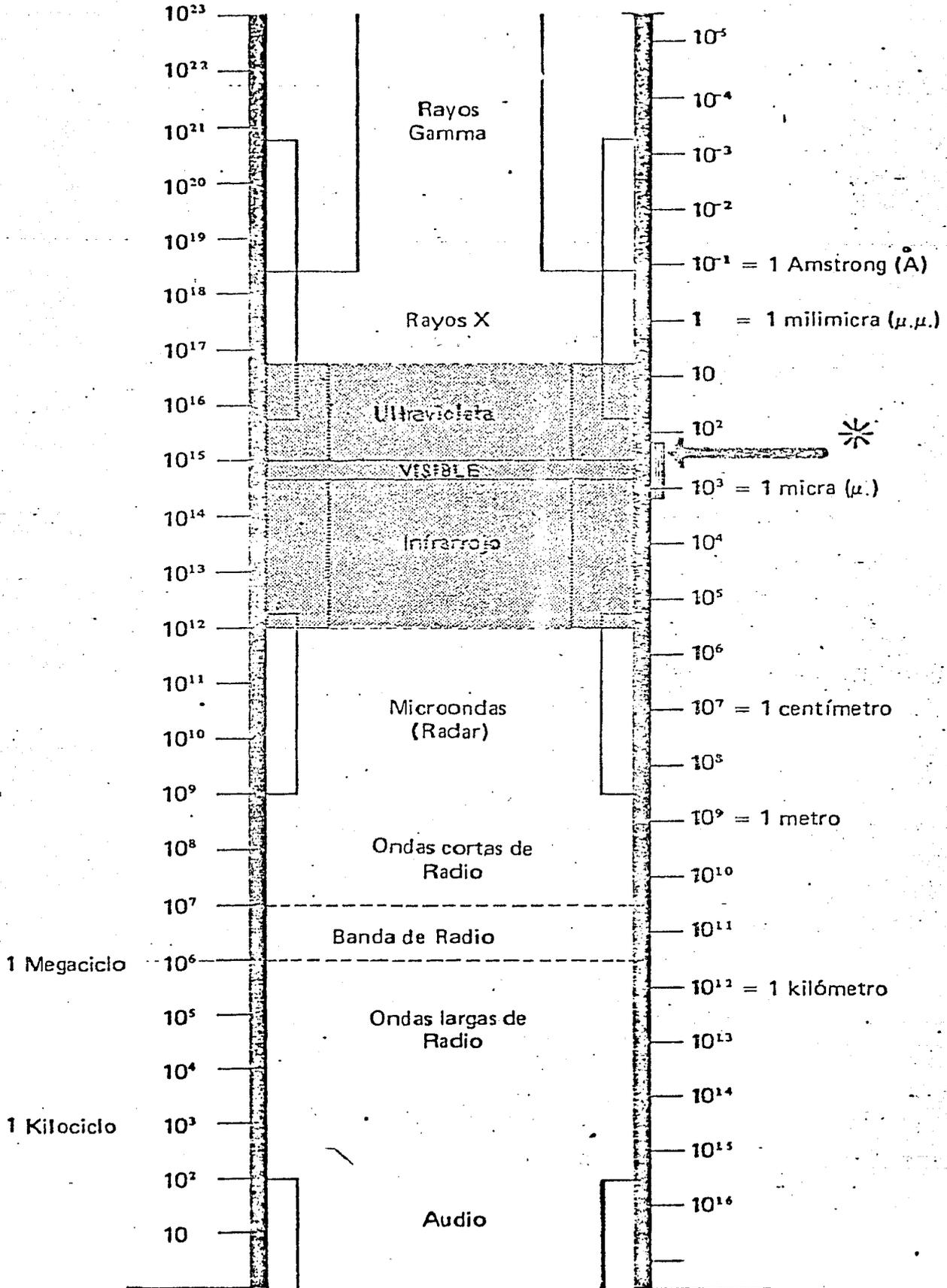
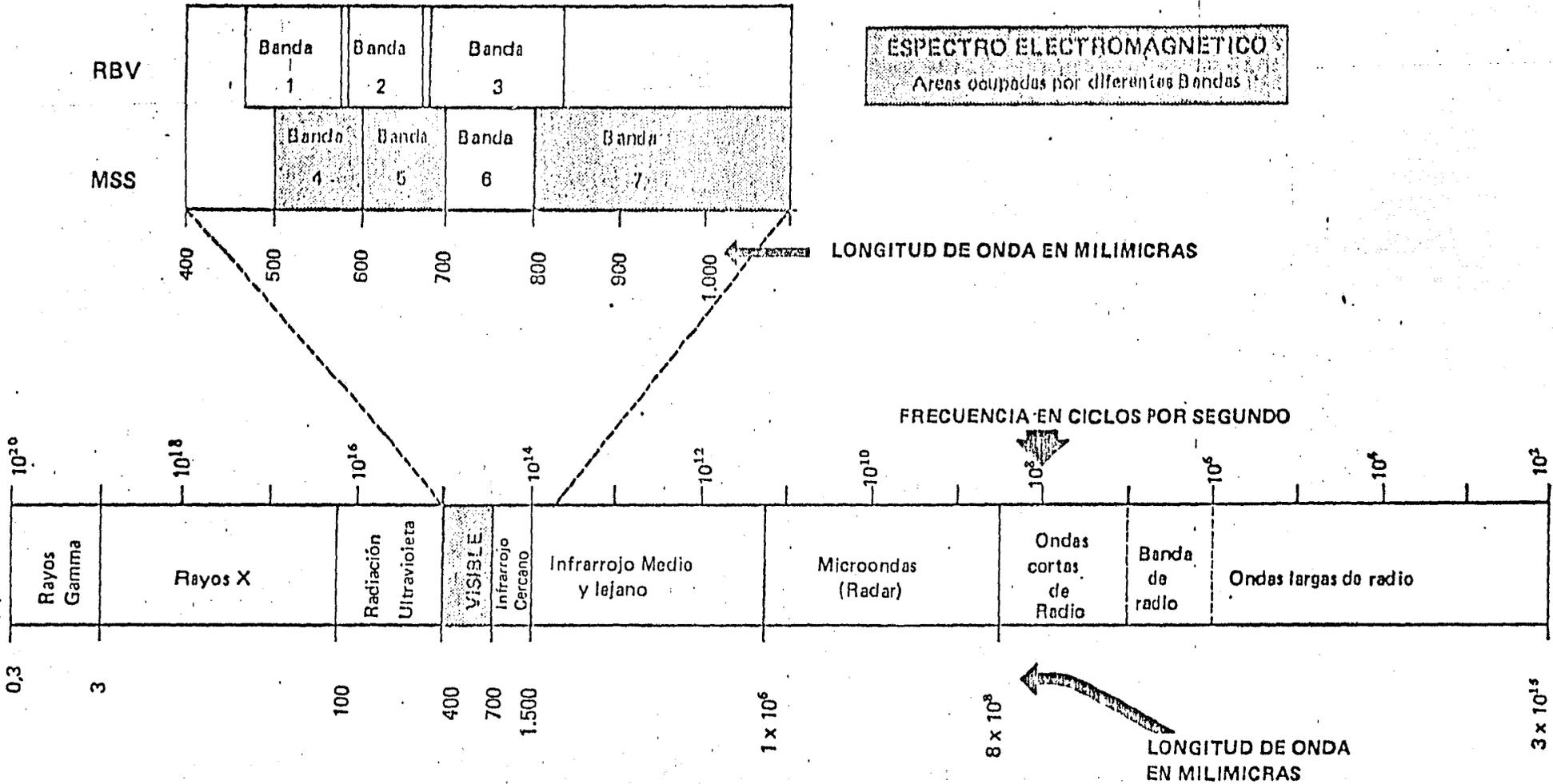


GRAFICO Nº 1

**ESPECTRO ELECTROMAGNETICO**  
 Areas ocupadas por diferentes Bandas



ja luego de haberla recibido del Sol, siempre teniendo en cuenta que cada objeto sobre la superficie terrestre, cada elemento del terreno, absorbe, refleja y emite energía.

Finalmente es interesante destacar la importancia del ángulo de iluminación solar de la zona en el preciso momento del registro.

Puede afirmarse, por ejemplo, y de modo muy general, que entre 20° y 30° el ángulo es óptimo para la mayoría de los fines; si bien alrededor de 45° de inclinación facilitan los estudios costeros.

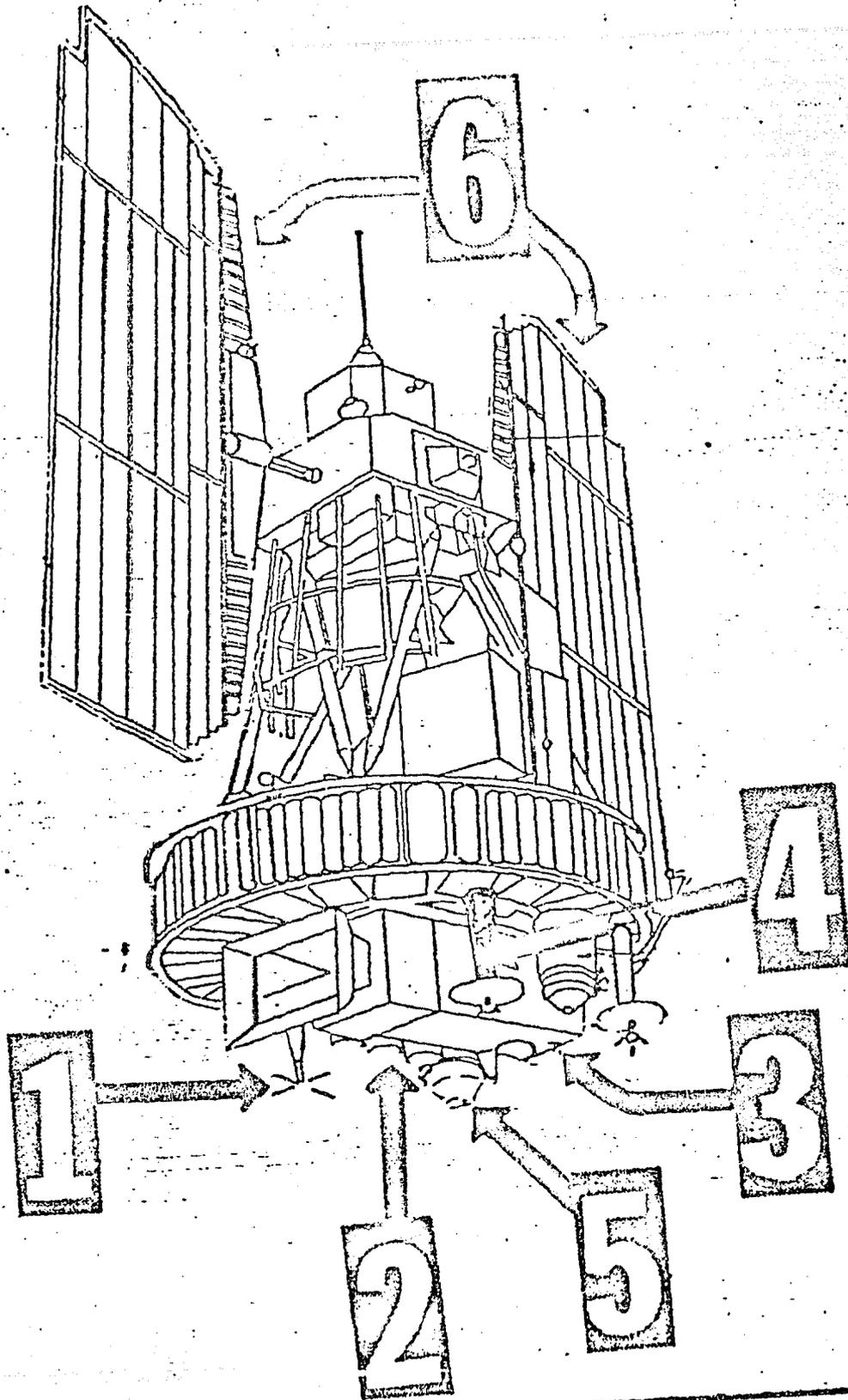
Descripción resumida del Programa LANDSAT.

Los satélites del actual sistema LANDSAT son los correspondientes al anteriormente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite = satélite tecnológico de recursos terrestres).

Fueron lanzados: el primero el 23 de julio de 1972; el segundo en febrero de 1975, con el propósito de analizar las posibilidades ofrecidas por la teledetección remota aplicada a los estudios y/o investigaciones referidas a los recursos naturales y al medio ambiente.

El lanzamiento del LANDSAT III se produjo en el primer trimestre de 1978. Los LANDSAT IV y V se pondrán en órbita durante la presente década del 80.

En el gráfico No 2 se muestra un dibujo esquemático del satélite LANDSAT, donde se señalan algunas de sus partes a



Satellite LANDSAT

que hace referencia este texto.

La finalidad básica de estos satélites no fue obtener la mayor cantidad posible de información, sino estructurar nuevos métodos de análisis de las imágenes enviadas, cuyo objetivo general es sostener un cubrimiento satelitario repetitivo con imágenes multiespectrales de los recursos terrestres.

Los satélites LANDSAT han sido diseñados y puestos en funcionamiento por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los E.E.U.U. (N.A.S.A.), organismo que en la actualidad los dirige.

Estos aparatos forman parte de un proyecto interdepartamental denominado Programa EROS (Earth Resources Observation System = sistema de observación de los recursos de la Tierra) y en el que participan varios organismos del gobierno de los Estados Unidos, como los Departamentos del Interior y de Agricultura, la NASA, el Organismo Nacional del Océano y la Atmósfera y el Cuerpo de Ingenieros de la Atmósfera.

#### REFERENCIAS AL GRAFICO No. 2:

- 1.- ANTENA DE COLECCION DE DATOS. Sirve para la conexión tierra-satélite del sistema de recopilación directa de la información (DCS), suministrada en forma de datos numéricos. Es información instantánea que se canaliza a control a través de las plataformas sensoras situadas en tierra. No registra imágenes.
- 2.- CAMARA VIDICON DE HAZ DE RETORNO (RBV): En número de tres y similares a cámaras de T. V. convencionales, enfocan una

imagen de 185 x 185 km con una resolución aproximada de 45 metros. Operan en Bandas 1, 2 y 3 y su información en general es grabada para empleo posterior.

- 3.- BARREDOR MULTIESPECTRAL (MSS): Reúne información en las Bandas 4, 5, 6 y 7; en longitudes de onda que varían entre 500 y 1.100 milimicras ( $\mu$ ) graba en cinta las señales de "barrido", que luego son transferidas a película infrarroja color de 70 mm que constituirán las "imágenes multibanda".
- 4.- GRABADOR DE VIDEO DE BANDA ANCHA: Empleado para grabar los datos provenientes de los sub-sistemas REV y MSS cuando los mismos no pueden ser transmitidos de modo inmediato a tierra.
- 5.- SENSOR DE POSICION: En conjunto con el sub-sistema de control de posición y el ajuste de órbita mantiene el control sobre la trayectoria fijada.
- 6.- PANELES SOLARES: Proveen, por aprovechamiento y conversión de la luz solar, la energía necesaria para alimentar los sub-sistemas del satélite.

Los satélites poseen un equipo de sensores remotos, sensibles a diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético, cuyo principal objetivo es detectar y registrar la energía reflejada por la superficie terrestre.

El equipo de sensores de los LANDSAT 1° y II° se compone de tres cámaras y de un sistema de barrido multiespectral de 4 bandas, recibiendo imágenes que cubren un área de 185 x

185 km (100 x 100 millas náuticas).

Las tres cámaras cubren una zona del espectro que de 475 u.u. hasta 830 u.u. (4.750 a 8.300 Å) y el barrido multi-espectral va registrando en las cuatro bandas longitudes de onda desde el límite inferior del espectro visible hasta el infrarrojo cercano.

El poder de resolución es de 80 metros, lo que significa que es capaz de distinguir en la imagen como puntos separados dos objetos que se encuentren como mínimo a esa distancia, por debajo de ella se confundirán en uno solo.

La extensión de las bandas, que se detallan en el Gráfico No. 3, es la siguiente, conforme a su sensibilidad.

(referido a long. de onda )

Banda 4 =	500 a	600 u.u.	( 5.000 a	6.000 Å )
Banda 5 =	600 a	700 u.u.	( 6.000 a	7.000 Å )
Banda 6 =	700 a	800 u.u.	( 7.000 a	8.000 Å )
Banda 7 =	800 a	1100 u.u.	( 8.000 a	11.000 Å )

La diferente sensibilidad permite, como se verá, más adelante, el cubrimiento óptimo de las radiaciones correspondientes a cada frecuencia.

La superposición lateral de las imágenes oscila entre 14 % en el Ecuador y llega al 85 % a los 80° de latitud; mientras que la superposición longitudinal (en el sentido de vuelto) es de aproximadamente un 10 %.

El primer satélite de este sistema se colocó en una órbita circular sincrónica con el Sol a una altura de 912 km. El mismo se encuentra sobre una región determinada de la Tierra cada 18 días y realiza 14 evoluciones por día. Su trayectoria es Norte-Sur.

Como el LANDSAT II se encuentra en la misma órbita pero opuesto  $180^\circ$  (o sea opuesto al LANDSAT I) el cubrimiento repetitivo se concreta cada 9 días, en lugar de los 18 originales.

Tanto este cubrimiento repetitivo como el cubrimiento estacional que proporcionan las imágenes LANDSAT representan un importante medio para la interpretación de los fenómenos dinámicos.

En lo que se refiere al LANDSAT III, las características técnicas son diferentes, si bien complementa el programa de observaciones de los I y II.

Posee un nuevo canal, denominado "termal infrarrojo" que registran lecturas comparadas entre mediciones simultáneas de infrarrojo cercano y espectro visible.

Además de ello, las imágenes cubrirán sólo 98 x 98 km, pero con un aumento de resolución de 40 metros, frente a los 80 de los LANDSAT I y II.

El registro en Bandas 4, 5, 6 y 7 se realizará de modo similar al efectuado anteriormente.

En todos los casos los registradores de video acumulan la información y cuando los satélites pasan por alguna de sus

estaciones terrestres, ubicadas en Fairbanks (Alaska); Goldstone (California) y Goddard (Greenbelt, Maryland), los vuelcan en las mismas.

La comunicación está asegurada en 12 o 13 de las 14 órbitas por la ubicación de las estaciones terrenas.

Estas estaciones están equipadas para recibir datos del Barredor Multiespectral (MSS), Cámara de haz de retorno (RBV) y sistema de colección de datos (DCS).

#### DESCRIPCION DE LAS IMAGENES

Sólo mencionaremos de modo general las características del material sensible empleado para la obtención de las imágenes satelitarias.

Se trata, en este caso, de la llamada "película infrarroja color".

Difiere de un film color convencional en que, si bien posee las tres capas características de cualquier material de uso comercial, las sensibilidades para cada banda (amarillo-magenta-azul) han sido incrementadas expresamente para mejorar la percepción de cada una.

Como sucede con todo material sensible fotográfico de tipo reversible, en cada banda el color asociado con ella desaparece y el resultante está determinado por las restantes bandas sin exponer.

Como ejemplo podemos decir que el film expuesto a

radiación azul, en los 7.000 a 8.800 Å<sup>o</sup>, no contendrá imagen azul, sino amarillo y magenta.

Como ya se señalara anteriormente, la modificación de los reflejos infrarrojos de los objetos es de gran importancia en la fotointerpretación y de allí la utilización de las imágenes infrarrojo color especialmente en la identificación de tipos de vegetación, ríos, costas, etc.

Las imágenes LANDSAT permiten en las distintas bandas componer imágenes en color llamadas "falso color compuesto".

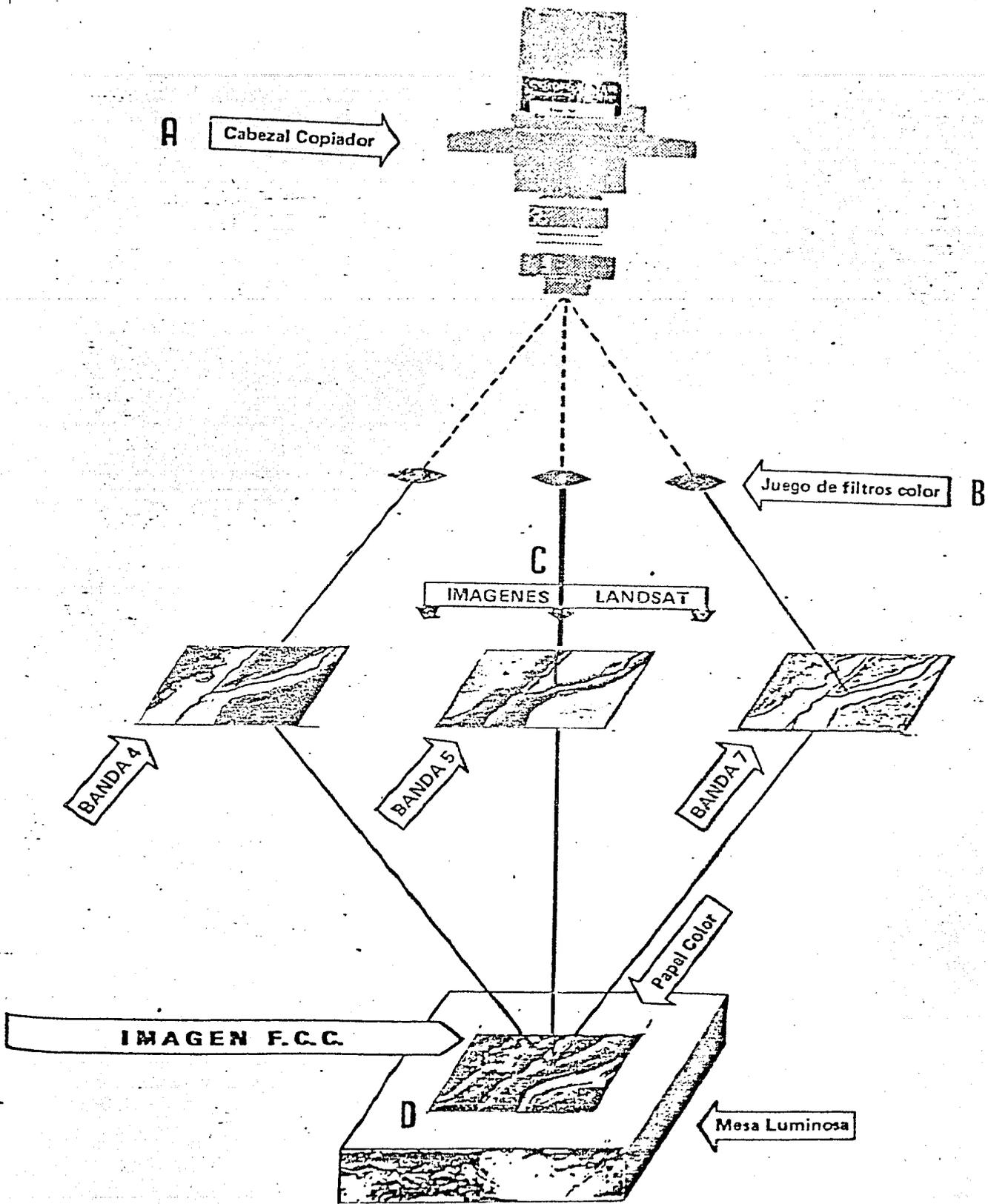
Estas son creadas exponiendo simultáneamente tres de las cuatro bandas en blanco y negro a través de diferentes filtros de color sobre una película o papel color.

Por lo tanto esto se resume a un trabajo de laboratorio en donde se emplea: una cámara o cabezal copiator, filtros de color, imágenes multibanda, papel color y una mesa luminosa.

En el gráfico No. 5 pueden identificarse de modo muy esquemático los elementos mencionados.

Las características más notables de las imágenes LANDSAT son especialmente su escala y el bajo nivel de distorsión, tanto como la cantidad de información espectral que pueda reflejada, si se tiene en cuenta a su vez la diferencia que existe entre estas y las tradicionales fotografías aéreas, en lo referido principalmente al estudio de los recursos terrestres.

Considerando la altura de los satélites, el área abar-



cada en una sola imagen es muy grande: cada lado de la misma comprende 185 km (100 millas náuticas) de terreno.

Así, el área total registrada alcanza una superficie de 34.000 km<sup>2</sup>, aproximadamente.

Si se compara esta cifra con los relevamientos aerofotográficos comunes en escala 1:20 000 hasta 1:70 000, para una tamaño de fotograma de 23 x 23 centímetros, tomando como ejemplo la escala 1:70 000, ésta representa 16 x 16 km de terreno, equivalentes a 250 km<sup>2</sup>.

Esto es 130 veces menos que la de una imagen LANDSAT. Por lo tanto serían necesarias, aproximadamente, entre 300 y 1.200 fotografías (según la escala empleada) para cubrir completamente la superficie de una sola imagen satelitaria.

Volviendo a la distorsión antes citada, también hay diferencias fundamentales entre los fotogramas convencionales y las imágenes LANDSAT.

Considerando las fotografías de 23 x 23 cm, es necesario hacer notar que la distorsión en los bordes representa angularmente 34°, cifra que llega a 46° en las esquinas, mientras en las imágenes del satélite, debido a la posición del mismo, altura y forma de barrido, dicha distorsión alcanza en la dirección Norte-Sur (que es la de vuelo del satélite) no hay distorsión angular alguna.

Hay otro aspecto interesante en el empleo de las imágenes satelitarias:

El uso de fotogramas de 23 x 23 cm requiere en primer lugar equipo adecuado (visor estereoscópico para observarlas correctamente o equipo restituidor para trazado de cartas) que no siempre está al alcance de todos.

La imagen LANDSAT permite un manejo mucho más simple.

Por ejemplo: la obtención de una superficie se realiza calcando sobre papel transparente milimetrado el área en cuestión.

Teniendo en cuenta la escala, que para la imagen de 74 x 74 cms es de 1:250.000 y representa 185 x 185 km de terreno; cada milímetro resultará el equivalente a una distancia de 250 metros de terreno y cada cuadro de  $1 \text{ mm}^2$  el equivalente a 6,25 Ha.

De allí a calcular con relativa aproximación las superficies de áreas cultivadas, ciudades, lagos, etc. se reduce a contar los cuadros y multiplicar por la constante correspondiente (6, 25 Ha. ó  $62.500 \text{ m}^2$ , según el caso).

El costo de las imágenes LANDSAT es bajo y tanto en blanco y negro como en falso color compuesto es factible obtenerlas en el EROS DATA CENTER (10 th Dakota Av. Sioux Falls, South Dakota 57198, USA).

INTERPRETACION DE LA SIMBOLOGIA CONTENIDA EN LA IMAGEN ESTUDIADA:

FORMATO: Las imágenes del barredor multiespectral son paralelogramos y no cuadrados; esto se debe a los efectos de

la rotación de la tierra y porque la imagen MSS es creada por un explorador óptico mecánico. Los lados son paralelos al trazado de la órbita N-S del satélite.

SIGNOS: En los cuatro márgenes se presentan marcas compuestas por letras y números, que representan las coordenadas en sistema Mercator. En el margen inferior, además de las cruces de registro hay una serie de datos en código que en este ejemplo se leen de izquierda a derecha del siguiente modo:

ø3, MAR-75 = fecha de la toma fotográfica: 3 de marzo de 1975  
C S31- 41/Wø69-3- latitud y longitud del centro de la imagen

31° 41' S

69° 03' W

N S31 - 43/Wø69-ø4 latitud y longitud del nadir: 31° 43' S  
69° 03' W

MSS 45 7 = tipo de sensor y bandas utilizadas en la imagen:  
barredor multiespectral en bandas 4, 5 y 7.

R = forma de transmisión: grabada

SUN EL4ø .AZø69 = ángulo solar: elevación 40°; azimut 69°

19ø = rumbo del satélite

ø555 = número de órbita

G = estación de registro en tierra: Goldstone (California,  
E.E.U.U.)

1 - N-D-2L = datos de procesamiento de la imagen:

1 = modo lineal

N = procesamiento normal

D = uso de efemérides "definitiva"  
a la mejor

2 = modo comprimido de señal del  
MSS procesada antes de la trans-  
misión

L = baja ganancia (en b.4y5)

NASA ERTS = Agencia gubernamental que dirige y nombre del co-  
rrespondiente proyecto:

E - 2 $\phi$ 4 $\phi$  - 13452 - 57 -  $\phi$ 2 = número de identificación de la ima-  
gen:

E: identificador clave del proyecto: ERTS-LANDSAT

2: LANDSAT 2

$\phi$ 40: cantidad de días transcurridos desde el lanzamien-  
to del satélite a la fecha de toma

13452: hora de toma: 13 horas

45 minutos

2 decenas de segundos =

20 segundos.

5-7: claves de identificación de bandas espectrales:

5 y 7

$\phi$ 2: claves de calibración de la imagen.

Además se encuentra una escala de grises que se em-  
plea para controlar la calidad de la imagen y del procesamien-  
to posterior.

INTERPRETACION DE LA IMAGEN UTILIZADA:

La imagen LANDSAT empleada en el presente trabajo pue-

de catalogarse, de acuerdo a la terminología del EROS DATA CENTER (Sioux Falls), Data Inquiry System, General List:

- Imagen: Falso Color Compuesto (FCC) en tres bandas  
(4-5-7)
- Nubes: 0 % condición óptima poco común
- Coordenadas del centro: Latitud 31° 41' Sur  
Longitud 69° 03' Oeste
- Fecha: 3 de marzo de 1975
- Altura del satélite: 923,8 Km
- Ubicación geográfica: Centro y Oeste de la porción  
Sur de la Provincia de San  
Juan - República Argentina.
- Escala realizada: 1: 250.000

De acuerdo a lo anteriormente mencionado sobre el procesamiento para la obtención de la imagen de Falso Color Compuesto, las bandas utilizadas en ésta tienen asignados los siguientes colores:

- Banda 4 = amarillo-marrón en degradación al amarillo
- Banda 5 = rojo y su degradación
- Banda 7 = azul y su degradación

#### LINEAMIENTOS GENERALES:

Una vez señaladas las bandas con su color se tomó cada una de ellas independientemente para comenzar a examinar a qué conjunto o elemento geográfico estaba referido.

Banda 4: permite identificar los diferentes lineamientos orgánicos.

- a) Cordones principales: 1- Cordillera Frontal  
2- Precordillera  
3- Sierra de Pie de Palo,  
etc.

- b) orientación de los mismos: N-S
- c) estructura geológica: terciarias y paleozoica
- d) acumulación de nieve sobre cordillera frontal.

Banda 5: permite identificar todos los espacios cubiertos de vegetación.

así como también:

- a) desarrollo de valles en función del uso de la tierra
- b) tipo, vigor y densidad de vegetación
- c) área cultivada
- d) extensión de la misma
- e) instalación humana: urbana, rural
- f) vías de comunicación.

Banda 7: permite identificar diferentes aspectos geográficos en función.

de la degradación del color:

- a) zonas de intensa aridez
- b) redes de drenaje superficial
- c) morfología de las corrientes de agua
- d) acumulación de sedimentos finos
- e) depresiones, cañones, ríos secos

- f) conos de deyección, quebradas, valles, etc.
- g) tipos de suelo.

APLICACION Y ESTUDIO DE LOS LINEAMIENTOS GENERALES ENCUADRADOS EN LA PRESENTE IMAGEN:

Analizando la imagen de Falso Color Compuesto y de acuerdo al procesamiento de las bandas utilizadas en ella (4-5-7) se pueden delimitar tres áreas diferentes en función del recorrido del río San Juan desde sus nacientes hasta el Valle de Tulum.

La presencia de agua superficial y el desarrollo de la vegetación han servido como primer paso para la interpretación de la imagen y su división en tres sectores.

También otros aspectos como el geológico, geomorfológico, económico, son factibles de ser estudiados mediante la observación de la misma.

1° Sector

Comprende la casi totalidad de la cuenca imbrífera con los correspondientes afluentes que luego darán origen en la localidad de Las Juntas al río San Juan.

Teniendo en cuenta el área abarcada por la imagen en este sector, resaltan en primer plano las formaciones montañosas que sirven de límite al denominado Valle de Calingasta. Estas son: al W Cordillera Frontal; al E, N y S de la misma la Precordillera.

De acuerdo a las distintas bandas utilizadas en la

imagen FCC (Falso Color Compuesto) tres son las tonalidades que resaltan y permiten su identificación con los alineamientos anteriormente mencionados.

Considerando la presencia de agua superficial se observan los diferentes ríos que bajan de la Cordillera Frontal bastante bien definidos, los cuales aportan su caudal para la formación posterior del río San Juan; a la vez se pueden identificar distintos procesos geomorfológicos creados por los mismos.

La banda 5 identificada por el color rojo representa aquí toda la extensión en sentido N - S ocupada por la vegetación que coincide con el desarrollo del valle.

Es factible también identificar el espacio cultivado mediante la utilización de material gráfico apropiado.

Por ejemplo: la superficie cultivada del mismo, en este caso, abarcaba, a la fecha de la toma, aproximadamente 6.200 Ha (ver referencias).

Ejemplo de aplicación:

Cálculo de superficies realizado de modo expeditivo utilizando imágenes LANDSAT: se calca con la mayor exactitud posible la superficie en cuestión sobre el papel transparente milimetrado.

#### CALCULO DE SUPERFICIES

Escala 1: 250.000

1 mm 250.000 mm = 250 metros

$$1 \text{ mm}^2 \cdot 250 \times 250 \text{ m} = 62.500 \text{ m}^2 = 6,25 \text{ Ha.}$$

Ejemplo: Valle de Calingasta

$$\begin{array}{r} 1.004 \text{ mm}^2 \quad 1.004 \\ \times 6,25 \\ \hline 6.275 \text{ Ha} \end{array}$$

Comparación con datos estadísticos existentes:

\* DATOS ESTADÍSTICOS BANCO DE SAN JUAN S. A.

* Superficie cultivada . . . . .	4.800 Ha.
* Cálculo aproximado . . . . .	6.275 Ha.
* Superf. Empadronada . . . . .	8.000 Ha.

Se desprende del análisis anterior que la superficie calculada por el método presente constituye una excelente aproximación, ya que refleja según la época de toma de la fotografía, las variaciones de superficie verde.

II° Sector:

Se extiende desde el nacimiento del río San Juan en la localidad de Las Juntas hasta el emplazamiento de los valles Ullum - Zonda. En este sector se pueden reconocer dos tramos en relación al recorrido del río.

Primero: desde Las Juntas a Tambolar.

Segundo: desde el kilómetro 52 hasta los valles Ullum - Zonda.

En sentido general este sector incluye la casi totalidad del sistema montañoso denominado Precordillera, y tomando como base la observación de la imagen en FCC permite establecer la existencia de núcleos montañosos bien diferenciados que son cortados transversalmente por el río.

Hacia la margen izquierda del mismo se observan los siguientes alineamientos: Cordillera del Tigre, Sierra de la Deheza, Sierra de Talacasto, etcétera.

Por la margen derecha: Sierra del Tontal, Sierras Alta y Chica de Zonda, C. Ballo, Sierra del Pedernal, Quebrada de la Flecha, etc.

Así también se identifican quebradas, ríos secos, torrenteras y otros elementos geomorfológicos característicos.

El río entre Las Juntas y Tambolar posee un ancho lecho de inundación, esto se debe a un control estructural que existe en Tambolar. En este lugar y en momentos determinados el río se va endicando debido a sus facturas: por un lado el gran cono que baja de la quebrada del río Tambolar, y por otro la existencia de una falla activa que está levantando a las calizas. Este levantamiento ha producido un quiebre de la pendiente de la curva de equilibrio del río, y por eso aguas arriba del mismo la pendiente es menor que en la zona de aguas abajo.

El lecho de inundación está formado por material aluvional grueso con lentes de arenas y arcillas; esto ha permitido la existencia de vegetación autóctona en pequeñas áreas, pues se trata de una región extremadamente árida cuya cobertura vege-

tal es casi nula, según se destaca en la imagen.

Esta cobertura está representada por esporádicas manchas rojas, que permiten identificarla en dos sentidos de acuerdo al pico o forma de trazado que se observa. -

Primero: la que se ubica en ambas márgenes del río corresponde no sólo a la presencia de vegetación natural sino también a la utilización de la tierra realizada por pequeñas instalaciones humanas.

Segundo: la degradación del color rojo en las laderas de la Sierra Chica de Zonda denotan la presencia de vegetación típica del lugar por la conjunción de dos factores:

- a) lluvias esporádicas.
- b) aguas superficiales que permiten la formación de vegas.

Es importante señalar dentro de este segundo sector la futura instalación del complejo hidroeléctrico Tambolar-Los Caracoles.

El río San Juan tiene dos rumbos netamente diferenciados en este tramo que se estudia. Esta variación se manifiesta cuando recibe el aporte del río Saso.

Aguas arriba de este punto el río San Juan tiene un rumbo dominante N-S y aguas abajo del mismo el curso cambia en un ángulo de prácticamente 90°, siguiendo el rumbo O-E.

Sobre la ruta Nacional No. 20 que vincula a la ciudad de San Juan con la villa de Calingasta se construirá la obra

mencionada más arriba, la cual estará ubicada en los dos únicos lugares que reúnen las características morfológicas y topográficas apropiadas para su emplazamiento.

Entre Tambolar (Km 75) y Los Caracoles (Km 52) el río tiene una pendiente de 8 metros por kilómetro, siendo su módulo de  $64 \text{ m}^3$  por seg.

Tambolar será una presa de material suelto con una altura de 80 metros desde el lecho del río y una longitud en el coronamiento de 452 metros.

Ello generará un embalse aguas arriba de 50 hectómetros cúbicos. La energía producida alcanzará a 383 GWK al año.

Caracoles, en cambio, será una presa de hormigón en arco de doble curvatura. Su altura de 130 metros desde el lecho del río y su cota de coronamiento estructurada en los 1.100 dará origen a un embalse que cubrirá 820 hectáreas, mientras la central hidroeléctrica tendrá una capacidad de producción de 480 GWK.

Estas obras significarán para la provincia, desde el punto de vista socioeconómico, transformaciones fundamentales que permitirán modificar el esquema de monocultivo, transformándola en un nuevo polo de desarrollo.

De acuerdo a la observación de la imagen FCC, los lugares que serán ocupados por este complejo hidroeléctrico están perfectamente individualizados.

### III Sector:

Comprende desde el emplazamiento de los valles Ullum y Zonda hasta abarcar la totalidad del Valle de Tulum.

Conforme a la observación de la imagen FCC vuelve nuevamente el color rojo a ocupar el primer plano en la misma, el cual coincide con los valles anteriormente mencionados.

La presencia de agua asociada a la vegetación y en función del espacio permite identificar la gran extensión que ocupa la superficie cultivada del valle de Tulum y en menor escala de los de Ullum y Zonda.

Otro de los elementos que resaltan son los alineamientos orográficos que sirven de límite al espacio ocupado por los valles. Estos son los siguientes: en dirección N-S y hacia la porción Occidental encontramos: Sierra de Villicum, Sierra Chica de Zonda, Sierra de Pedernal, etc.

Hacia el oriente y con una coloración que es reflejo de su estructura geológica se ubica la sierra de Pie de Palo.

Otro detalle notable de la imagen son las distintas depresiones rellenadas por sedimentos finos que en cierta manera siguen a los alineamientos anteriormente citados.

Estos sedimentos son el resultado de la transformación de la región, debido a la intensa erosión y aridez consecuencia de diferentes elementos climáticos.

Intercalados entre la coloración rojiza y de acuerdo

a la observación de la imagen, se encuentran manchas más oscuras que detonan la presencia de la capa freática muy cerca de la superficie. Geográficamente y de acuerdo a su ubicación corresponde a la localidad de Médano de Oro, zona muy rica, en función del rendimiento por hectárea de diferentes cultivos.

El río San Juan asume una coloración diferente a los tramos anteriores, lo que permite deducir que el mismo atraviesa distintos tipos de suelo, gran parte de ellos salinos. Así también es notable el material sedimentario que arrastra a medida que recorre esa zona.

Otro elemento factible de ser estudiado y que puede identificarse en la imagen es lo relativo a la infraestructura, sobre todo caminos, rutas principales, embalses, etc. como la ubicación de núcleos poblacionales.

#### ALGUNOS ESTUDIOS REALIZADOS MEDIANTE LA UTILIZACION DE IMAGENES LANDSAT:

Los datos obtenidos por los satélites del sistema LANDSAT tienen un campo muy amplio de aplicación, tanto en la Cartografía, Geología, Geografía, Hidrología, Estudios de la erosión, inventario del uso de la tierra, Corrientes marinas, etc.

Muchos de los organismos internacionales han indicado la necesidad de utilizar este medio y varios son los estudios que se han realizado hasta la actualidad por investigadores de distintos países.

En Pakistán: ubicación del distrito minero de cobre

porfírico de la región de Chagai; en E.E. U.U.: sobre exploración y prospección petrolífera; en el sur de Italia: sobre los volcanes Etna, Vesubio, Strómboli; en España: la variación del río Ebro y su efecto inmediato sobre la agricultura; en Arizona (E.E. U.U.): extensión de las inundaciones que provocaron las lluvias en octubre de 1972 como así también la sedimentación y erosión causadas por las mismas, que permitieron determinar las zonas inundadas.

En Asia del SE: la cuenca del Mekong inferior ha sido estudiada por las imágenes satelitarias, dado que el acceso por vía terrestre era bastante peligroso.

En Estados Unidos se ha comenzado un estudio general sobre todos los desiertos de arenas del mundo con la idea de clasificar las dunas, determinando su origen y analizando sus movimientos.

En numerosos países pudo confeccionarse, o ponerse al día la carta del alcance de las nieves.

La nieve fundente es muy bien diferenciada por comparación entre las bandas 4 y 7, ya que la reflectancia del agua disminuye fuertemente en el infrarrojo; así también la posición de las morrenas y glaciares, conos de deyección y terrazas, obteniéndose datos sobre la erosión provocada por el hielo.

Respecto a los estudios realizados en nuestro país, se pueden mencionar los trabajos desarrollados por el Laboratorio de Fotointerpretación de la Universidad Nacional de San Juan, entre los que pueden citarse:

- "Carta Geotécnica de Cuyo"
- "Mosaico de la República Argentina"
- "Evolución Geomórfica de los ríos Mendoza y Tunuyán"
- "Estudio estructural de Bariloche"
- "Un ejemplo de aprovechamiento multidisciplinario: ángulo noroeste de la provincia de San Luis".

En otra área, la empresa argentina Aeroterra, S.A. ha realizado el inventario de recursos naturales a escala 1:250 000 de distintas regiones de la República Argentina y Paraguay.

#### Conclusiones:

La teledetección remota ha significado un aporte fundamental para la adquisición, perfeccionamiento y modernización de los conocimientos científicos y técnicos aplicables a la evaluación, desarrollo y manejo de los recursos naturales y del medio ambiente.

Los programas espaciales ERTS, LANDSAT y SKYLAB han demostrado que la percepción remota desde el espacio es sobre todo un procedimiento factible práctico, rápido y económico para la evaluación de esos recursos. La geografía, con toda una vasta gama de fenómenos naturales y económicos, relacionados con la actividad del hombre, es una de las ciencias más beneficiadas con los datos adquiridos desde el espacio, pues aquellos le permitirán encuadrar el primer paso para el análisis de una región determinada.

La República Argentina tiene, aproximadamente, una

cobertura LANDSAT de más de 150 imágenes y cada una de ellas es factible de ser utilizada para múltiples aplicaciones, más aún dentro del campo geográfico.

En síntesis, en este trabajo se ha pretendido demostrar en forma muy general el aprovechamiento de una imagen de satélite y describir cuál es la metodología que conduce a reconocer con bastante exactitud los elementos más importantes de una región, en este caso, la representada en el sector oeste y centro de la porción sur de la provincia de San Juan.

## CONCLUSIONES

Como es ya sabido, la Detección Remota puede realizarse desde aeronaves ordinarias o desde satélites terrestres, con cámaras u otros dispositivos detectores.

La detección remota de recursos naturales se basa en que, según las características del terreno, se refleja o emite energía electromagnética en ciertas y determinadas longitudes de onda. La interpretación satisfactoria sólo puede lograrse si el interpretador comprende plenamente qué respuesta de tonos en varias bandas puede esperarse de alguna característica determinada. Tal conocimiento puede obtenerse efectuando estudios de identificación de imágenes sobre varias bandas obtenidas en zonas de características conocidas (campos de prueba). Cuanto más amplios sean estos estudios, más fácil resultará la identificación de características.

La calidad y cantidad de la percepción remota para aplicaciones geográficas recaerá en algunas serias consideraciones y acciones deliberadas entre las cuales podrían estar las siguientes:

Deberá estar conforme en un mayor enfoque de esfuerzo geográfico, como se mencionó anteriormente a lo largo del desarrollo histórico de la percepción remota, los progresos han sido diferidos por la pobre definición de una esencia disciplinaria, las relaciones hombre-espacio son poco aceptadas, muchos de los trabajos son meramente descriptivos, otros se dedican a enfatizar más las técnicas que la esencia del estudio.

La interpretación de datos remotamente percibidos es una técnica; su valuación depende primero del campo de su filosofía básica. Un posible tema central acerca de esto se podría establecer, aceptando el análisis locacional, el método geográfico como si fuera una técnica, sí pero adaptable, la función interdisciplinaria debe de predominar ante todo.

Es correcto establecer que cualquier ciencia es interdisciplinaria en alguna forma, pero algunas son más que otras. Los esfuerzos que se están haciendo para desarrollar una percepción remota geográfica podrán hacerla en el futuro más eficiente, tratando de concentrar la adquisición de cualquier dato necesario para análisis locacional teórico o aplicado. Debemos de tener ciertos procedimientos metódicos. Estos siempre deben de ser esenciales.

En el futuro, el problema principal será la selección de una gran masa de imágenes que cubrirán diferencias en lugar, tiempo, posición en el espectro electromagnético, escala y resolución. Es recomendable que se usen imágenes múltiples. Además, se obtienen mejores resultados trabajando con cubrimientos que abarquen desde las escalas más pequeñas hasta las más grandes. Esto no es lo único; ya que un procedimiento similar puede utilizarse para ir a través del espectro, pero hay que ser cautos.

Con respecto al trabajo de campo, la percepción remota no es comunmente para reducir los estudios geográficos a investigación en gabinete, sino para que ésta haga el trabajo de campo más productivo; pero aquí puede ser o no un sustituto

de la observación directa (mas no debe de ser).

El análisis debe de ser la meta de investigación geográfica. La descripción es básica; pero es dudoso que esto sea perdurable. Fundamentalmente nosotros debemos de discernir el por qué de esa localización, distribución, su causalidad y efecto de los hechos y fenómenos que se estén estudiando. En esto orientemos nuestra contribución como geógrafos y la necesidad del trabajo interdisciplinario.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Geological Institute, 1968, AGI Course Lecture Notes, American Geological Institute, Washington, D. C.
- American Society of Photogrammetry, Photointerpretation Subcommittee, I, 1963, "Basic Matter and Energy Relationships Involved in Remote Reconnaissance", Photogrammetric Engineering, 29 (5): 761-799.
- American Society of Photogrammetry, 1966, Manual of Photogrammetry, 3d, Ed., George Banta Company, Menasha, Wis., Vols. I y II.
- Anderson, J.R., E.E. Hardy, y J.T. Roach, 1972, "A Land Use Classification System for Use With Remote Sensor Data", Geological Survey Circular. 671, U.S. Geological Survey, pp. 1-16.
- Avera, H.Q., et al., 1966, Feasibility of Multiband Photographic Reconnaissance, SID 66-301, North American Aviation, Space and Information Systems Division, Downey, Calif.
- Brooner, W.G., R.M. Haralick, and it's Hak Dinstein, 1971, "Spectral Parameter Affecting Automated Image Interpretation Using Bayesian Probability Techniques", Proceedings of the Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. III. University of Michigan, Institute of Science and Technology, Ann Arbor, pp. 1929-1949.
- B.T. Stanton, 1971, "Education in Photogrammetry", Photogrammetric Engineering, 37: 293-303.
- C.H. Mac Fadden, 1949, "Some Preliminary Notes on the Use of the Light Airplane and 35 mm. Camera in Geographic Field Research" Annals of the Association of American Geographers, 39: 188-200.
- C.P. Low, 1971, "Modern Use of Aerial Photographs in Geographical Research", Area, 3: 164-169.
- Colwell, R.N., 1968, Manual of Multiband Photography, NASA Grant No. 05-003-080, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D. C.

D.H. Brunnschweiller, 1957, "Seasonal Changes of the Agricultural Pattern -A Study in Comparative Airphotointerpretation", Photogrammetric Engineering, 23: 131-139; M.S. Goodman, 1959, "A Technique for the Identification of Farm Crops in Aerial Photographs", Photogrammetric Engineering, 25: 131-137; P.P. Karan, 1960, "A Land Use Reconnaissance in Nepal by Aerofield Techniques and Photography", Proceedings of the American Philosophical Society, pp. 172-187.

D. Steiner, 1965, "Use of Air Photographs for Interpreting and Mapping Rural Land Use in the United States", Photogrammetric, 20: 65: 80; R.M. Newcomb, 1966, "Two Keys for the Historical Interpretation of Aerial Photographs", The California Geographer, 7: 37-46.

Eppler, W.G., D.L. Loe, and E.L. Wilson, 1971, "Interactive Displays/Graphics Systems for Remote Sensor Data Analysis", Proceeding of the Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. II, University of Michigan, Institute of Science and Technology, Ann Arbor, pp. 1293-1306.

Estes, J. and L.W. Senger, 1971, "An Electronic Multi-Image Processor, Photogrammetric Engineering, 37 (6): 577-586.

Fu, K.S., 1971, On the Applications of Pattern Recognition Techniques to Remote Sensing Problems, Technical Report EE 71-13, School of Electrical Engineering, Purdue University, Lafayette, Indiana.

González, V.M. y Lira, J.E., 1978, "Evaluación preliminar de fotos aéreas color IR-Color e imágenes termales aplicadas a estudios agrícolas detallados", Proc. del 1er. Symposium Internacional sobre Percepción Remota, Instituto Geográfico Militar de Chile, Santiago de Chile, Chile, pp. 115-133.

Goodyear Aerospace Corporation, 1971, Basic Concepts of Synthetic Aperture Radar, Goodyear Aerospace Corporation, Litchfield Park, Ariz.

G.R. Johnson and R.R. Platt, 1930, Peru from the Air, Special Publication 7, American Geographical Society, New York.

Hall, H.J., and H.K. Howell, Eds., Photographic Considerations for Aerospace, 2d Ed., ITEK Corporation, Lexington, Mass.

Hoffer, R.M., and F.E. Goodrick, 1971, "Variables in Automatic Classification over Extend Remote Sensing Test Sites", Proceedings of the Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. III, University of Michigan, Institute of Science and Technology, Ann Arbor, pp. 1967-1981.

Hord, R.M., and N. Gramenopoulos, 1971, "Automatic Terrain Clasification from Photography", Processing Spie Symposium on Remote Sensing of Earth Resources and the Environment, Palo Alto, California.

J.A. Russell, F.W., Foster, and K.C. Mc Murry, 1943 , "Some Applications of Aerial Photographs to Geographic Inventory", Papers of the Michigan Academy of Sciences, Arts and Letters, 29: 315-341.

J.E. Estes, 1966, "Some Applications of Aerial Infrared Imagery", Annals of the Association of American Geographers, 56: 673-682.

J.H. Roscoe, "Photointerpretation in Geography", Chapter 14 in Manual of Photographic Interpretation, 1960, American Society of Photogrammetry, Washington, D. C.

J.P. Latham, 1959, Possible Applications of Electronic Scanning and Computer Devices to the Analysis of Geographic Phenomena, University of Pennsylvania, Geography and Industry Department, Philadelphia; J.P. Latham, Methodology for Instrumented Geographic Analysis, Department of Geography, Bowling Green State University, Bowling Green, Ohio.

J.P. Latham, 1967, Remote Sensing Papers at the A AAS Impact and Implications, Technical Report, 2, Florida Atlantic University, Boca Raton, Fla.

J.P. Latham, 1971, "Urban Applications of Remote Sensing", Geographical Review, 61: 139-142.

J. Van Lopik et al., 1965, "Photointerpretation in the Space Sciences", Photogrammetric Engineering, 31: 1060-1075.

Kaizer, M., 1955, A Quantification of Textures on Aerial Photographs, Technical Note 121, ad 69481, Boston University Research Laboratories, pp. 1-33.

K.H. Stone, 1948, "Aerial Photographic Interpretation of Natural Vegetation in the Anchorage Area, Alaska", Annals of the Association of American Geographers, 38: 465-474.

K.H. Stone, 1951, "Geographical Air-Photointerpretation", Photogrammetric Engineering, 17: 754-759.

K.H. Stone, 1953, "World Air Photo Coverage for Geographic Research". Annals of the Association of American Geographers, N.S. 11:2-6; H.V.B. Kline, op. cit., pp. 539-541.

K.H. Stone, 1963, "The Annual Emptying of Lake George Alaska", Artic, 16: 26-39.

K.H. Stone, 1964, "A Guide to the Interpretation and Analysis of Aerial Photos", Annals of the Association of American Geographers, 54: 318-328.

L.D. Black, 1955, "Regional Keys are Valid Geographical Generalizations", Photogrammetric Engineering, 21: 706-708; G. K. Lewis, 1957, "The Concept of Analogous Area Photointerpretation Keys", Photogrammetric Engineering, 23: 874-878; Y. Kedar, 1958, "Geographic Approach to the Study of Photointerpretation", Photogrammetric Engineering, 24: 821-824.

Mereles de Pérez, O.J. y López de Uliarte B., 1980, "Imágenes Satelitarias: Nuevo Instrumento Metodológico en el Campo Geográfico. Primera Aplicación: Estudio de la Ocupación del Espacio en Función de la Presencia de Agua -Río San Juan", en Cuadernos de la Universidad, Universidad Católica de Cuyo, San Juan, Rep. Argentina, pp. 53-70.

Moore, R.K., 1965, Radar as Sensor, CRES Report No. 61-7, University of Kansas, Center for Research in Engineering Sciences, Lawrence.

Morain, J.A., and D.S. Simonett, 1967, "K Band Radar in Vegetation Mapping", Photogrammetric Engineering, Vol. 33, pp. 730-740.

Myers, V.I., et al., 1966, "Remote Sensing in Soil and Water Conservation Research", Fourth Symposium on Remote Sensing of Environment, University of Michigan, Institute of Science and Technology, Ann Arbor, pp. 801-814.

Myers, V.I., et al., 1970, "Soil, Water, and Plant Relations", Chapter 6 in Remote Sensing, National Academy of Sciences, pp. 253-297.

Nagy, E.G. Shelton, and J. Tolaba, "Procedural Questions in Signature Analysis" Proceedings of the Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. II, University of Michigan, Institute of Science and Technology, Ann Arbor, pp. 1387-1401.

National Academy of Sciences, 1970, Remote Sensing: With Special Reference to Forestry and Agriculture, National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NASA, 1966, Peaceful Uses of Earth - Observation Space Craft, Cr. 256, Washington, D.C., pp. 15-19.

National Aeronautics and Space Administration, 1967, Earth Photographs From Gemini III, IV and V, Washington, D.C.

Nunally, N.R., 1969, "Integrated Landscape Analysis with Radar Imagery", Remote Sensing of Environment, (1): 1-6.

Nunally, N.R., 1969, Introduction to Remote Sensing: The Physics of Electromagnetic Radiation, USGS Contract No. 14-08-001-10921. Association of American Geographers, Washington, D.C.

Orr, D.G., 1968, "Multiband Color Photography", Manual of Color Aerial Photography, Appendix I, Part I, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Va.

Ramapriyan, H.K., 1972, "Spatial Frequency Analysis of Multispectral Data", in F. Shahrokhi, Ed., Remote Sensing of Earth Resources, Vol. I, University of Tennessee, Tullahoma, pp. 621-644.

Ranz, E., and Schneider, 1971, "Progress in the Application of AGFA Contour Equidensity Film for Geo - Scientific Photo Interpretation", Proceedings of the Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. III, University of Michigan, Institute of Science and Technology, Ann Arbor, pp. 779-790.

R.B. Honea and V.C. Prentice, 1968, Selected Bibliography of Remote Sensing, Interagency Report NASA 129, U.S. Geological

Survey, Washington, D.C., R.B. Honea and V.C. Prentice, 1970, Selected Bibliography of Remote Sensing, Supplement to Interagency Report NASA-129, U.S. Geological Survey, Washington, D.C.

R.D. Rudd, 1971, "Macro Land-Use Mapping with Simulated Space Photos" Photogrammetric Engineering, 37: 365-372; J.R. Anderson et al, 1972, A Land Use Classification System for Use with Remote Sensor Data, U.S. Geological Survey Circular 671, Washington, D.C.; N.A.S. - N.R.C., 1970, Remote Sensing, with Special Reference to Agriculture and Forestry, Washington, D.C.; N.J.W. Thrower, 1970, "Land Use in the Southwestern United States from Gemini and Apollo Imagery", Annals of the Association of American Geographers, Vol. 60, Map Supplement 12, Scale 1:1 000 000.

R.H. Alexander, "Man's New Views of the Earth: The Potential of Remote Sensing", in S.B. Cohen, Ed. 1965, Problems and Trends in American Geography, Basic Book, New York, pp. 239-250.

R.K. Holz, Ed., 1973, The Surveillant Science: Remote Sensing of the Environment, Houghton Mifflin Company, Boston.

Roth, C.B., and M.F. Baumgardner, 1971, "Correlation Studies with Ground Truth Data and Multispectral Data: Effect of Size of Training Field", Proceedings of the Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. II, University of Michigan, Institute of Science and Technology, Ann Arbor, pp. 1403-1414.

R. Welch, 1971, "Earth Satellite Camera System: Resolution Estimates and Mapping Applications", The Photogrammetric Record, 7: 237-246; R. Welch, 1972, "Quality and Applications of Aerospace Imagery", Photogrammetric Engineering, 38: 379-398.

Steiner, D. et al., 1972, "Automatic Processing and Classification on Remote Sensing Data", Chapter 3, in R.F. Tomlinson, Ed., Geographical Data Handling, Symposium Edition, Second Symposium on Geographical Information Systems, I.G.V., Ottawa, August.

Su, M.Y., R.R. Jayroe, and R.E. Cummings, 1972, "Unsupervised Classification of Earth Resources Data", in F. Sharokhi, Ed., Remote Sensing of Earth Resources, Vol. I, University of Tennessee, Tullahoma, pp. 673-694.

Tryon, R.C., and D.E. Bailey, 1970, Cluster Analysis, Mc Graw-

Hill Book Co., New York.

Turner, B.J., 1972, "Cluster Analysis of Multispectral Scanner Remote Sensor Data", in F. Sharoki, Ed., Remote Sensing of Earth Resources, Vol. I, University of Tennessee, Tullahoma, pp. 538-549.

V.P. Finley, 1960, Photo Interpretation of Vegetation, Literature and Analysis, Technical Report 69, U.S. Army S.I.P.R.E., Wilmette, III.

W.L. Joerg, 1923, "The Use of Airplane Photography in City Geography", Annals of the Association of American Geographers, 13: 211.

Woolnough, D.F., 1972, "Automatic Recognition of Muskeg from Aerial Photographs", Photogrammetria, 28 (1): 17-25.

W.R. Tobler, 1969, "Satellite Confirmation of Settlement Size Coefficients", Area, 1830-34.

W.T. Lee, The Face of the Earth as Seen From the Air, 1922, Special Publication 4, American Geographical Society, New York.

#### OTRAS OBRAS CONSULTADAS

Camaro, R.A., 1982. "Estudio cartográfico de la vegetación del Sureste de Jalisco mediante percepción remota". Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México.

C.C.A.L. - IBM; IIMAS-UNAM, 1979. "Memorias del II Seminario Internacional sobre el uso de los sensores remotos", México, D. F.

Cortes, L. A., 1972. " Las nuevas técnicas de la percepción remota", CIAF, Bogotá, Colombia.

De Agostini, R. D., 1975 " Sensores remotos y principios de percepción remota", CIAF, Bogotá, Colombia.

Guzmán, A., Seco, R. y Sánchez, V. G., 1976. Computer Analysis of Landsat Images for Crop Identification in Mexico. Rep. Tec. PR - 76 - 17. IIMAS, UNAM, Mexico.

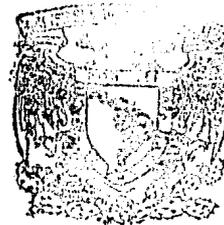
IIMAS - IBM. 1977. " Memorias del I Seminario Internacional sobre el uso de los sensores remotos en el desarrollo de los paí-

ses". México, D. F.

Lorrain, E. G. y Flores N., 1980. " México desde el espacio", INIREB, Xalapa, Ver.

Miranda, J. I. 1981. Estudio para identificar y clasificar caña de azúcar utilizando el sistema de análisis multiespectral SIDAM. 2. Sec. de Prog. y Pres., Coord. Gral. de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.

Peel, R. F.; Curtis, L. F. and Barret, E. C., 1976. " Remote Sensing of the Terrestrial Environment". Proc. of the 28th. Symp. of the Colston Research Society. Univ. of Bristol. Bristol, London.



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA