

1976

Vol. 3
Serie A: General

No. 18

①

PERCEPCION REMOTA POR COMPUTADORA:
EQUIPO, PROGRAMAS Y APLICACIONES.

Adolfo Guzmán Arenas**.

*Informe PR-75-2
**Investigador del CIMAS

Recibida: 2-IV-76

Artículo 27

RESUMEN.

Se describen los programas de cómputo y equipo asociado necesario o conveniente para el desarrollo de trabajos de clasificación, identificación de cultivos, mapas de uso de suelo y en general actividades de percepción remota, susceptibles de efectuarse con el auxilio de una computadora digital.

Asimismo, se menciona la jerarquía de recursos necesaria para el desarrollo de actividades relacionadas complementarias, como impresión de negativos, fotografías alteradas, digitalización de negativos fotográficos, etc., que una computadora lleva a cabo en apoyo de actividades de percepción remota y reconocimiento de formas.

Se mencionan aplicaciones en México y en el extranjero.

CIMAS-UNAM.
Apdo. 20-726.
México 20, D. F.
MEXICO.

PREFACIO.

El Proyecto PR ("Percepción Remota") tiene como metas la investigación y el desarrollo de técnicas y procedimientos de cómputo para analizar imágenes multiespectrales provenientes de plataformas de vuelo (satélites artificiales y aviones), para poder detectar con ellos, en forma automatizada, diferentes temas de la superficie fotografiada, tales como cultivos, pastizales, cuerpos de agua, estuarios, zonas urbanas, etc., y su cambio a través del tiempo.

Multidisciplinario por naturaleza, el Proyecto PR tiene sus cimientos sobre las ciencias de la computación, en particular en el reconocimiento de formas, el análisis numérico y el procesamiento digital de imágenes.

INDICE.

¿QUE ES PERCEPCION REMOTA?	4
-TECNICAS DE CAPTACION Y SENSORES.	10
-TECNICAS DE INTERPRETACION.	15
-RESULTADOS.	15
USOS DE LA PERCEPCION REMOTA.	16
ANALISIS POR COMPUTADORA DE IMAGENES MULTI- . . ,	
ESPECTRALES.	28
EQUIPO USADO. ¿PARA QUE SIRVE?	39
PROGRAMAS DE COMPUTO NECESARIOS. ¿QUE LABOR . . .	
DESEMPEÑAN?	48
BIBLIOGRAFIA.	50
AGRADECIMIENTO.	59
LISTA DE REPORTES TECNICOS DEL PROYECTO PR. . . .	60

QUE ES PERCEPCION REMOTA.

La percepción remota es tan antigua como el hombre mismo. La capacidad para obtener información a distancia, primero a simple vista y con el oído; luego con ayuda de binoculares, telescopios, microscopios, etc., le ha permitido al ser humano enriquecer su experiencia sensorial y el conocimiento de su habitat y le capacita, después del análisis de la información tele-obtenida, para la toma de decisiones efectivas.

Podemos definir la Percepción Remota como las técnicas, procedimientos y artes para obtener datos de objetos y sucesos que se encuentran distantes del observador interesado, así como su procesamiento e interpretación subsecuente para la extracción de información relevante. Es decir, la medición de las propiedades y parámetros de un cuerpo mediante un sensor o detector que no esté en contacto físico con tal cuerpo. Esto es posible porque toda materia cuya temperatura esté sobre el cero absoluto emite, absorbe, dispersa, refleja o transmite energía electromagnética.

EJEMPLO 1. Un avión de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (Secretaría de la Presidencia) vuela sobre cierta región del suelo patrio y obtiene imágenes (en una película fotográfica), las que después de ser analizadas por fotointérpretes y complementadas con datos y muestras tomadas en lugares selectos de esa región, generan una carta del uso

actual del suelo de esa zona, indicándonos superficies dedicadas a cultivos permanentes, pastizales, etc.

EJEMPLO 2. La Comisión Nacional del Espacio Exterior (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) estudia imágenes térmicas ("fotografías" captadas con sensores sensibles al infrarrojo) tomadas por el satélite NOAA de la National Aeronautics and Space Administration de los EEUU, para entre otras cosas conocer los lugares donde mora el gusano barrenador, larva de una mosca que infesta las llagas del ganado bovino sobre todo, y que constituye una merma para nuestra ganadería tropical. El lugar exacto donde están estos insectos puede entonces rociarse de moscas estériles: un control biológico de esta plaga.

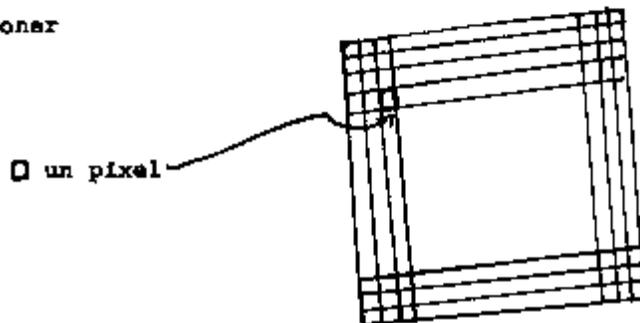
Aunque no es necesario, por lo general los datos obtenidos se presentan en forma de imágenes (en blanco y negro o a colores) para análisis visual, y a menudo se utilizan para la obtención de los datos sensores que responden no sólo al espectro visible, sino al infrarrojo, al ultravioleta, a ondas centimétricas del radar, etc.

FOTOGRAFÍAS. Dentro del espectro electromagnético, las emulsiones fotográficas operan en su parte visible y en los extremos infrarrojo y ultravioleta, registrando imágenes muy parecidas a las que el ser humano percibe cotidianamente. Son pues, las cámaras fotográficas los sensores remotos más usados.

IMÁGENES DIGITALES. En nuestro caso, la computadora analizará una representación digital de una imagen cuantizada. Expliquemos ésto. Supongamos que tenemos una fotografía blanco y negro (o sea en tonos grises) de la intensidad reflejada en el color verde (0.5 a 0.6 μ) de una región de Oaxaca. Es decir, los verdes muy intensos de esa zona saldrán muy claros (brillantes) en nuestra foto en tonos grises, en tanto que aquéllas partes pobres en coloración verde saldrán oscuras en nuestra foto.

Para representarla en forma accesible a la computadora, esta imagen debe cuantizarse, es decir, dividirse en cuadritos (pixels) de 1 mm de lado (lo que equivaldría a varios metros de lado en el terreno, según la escala de la foto) o del tamaño deseado para obtener una precisión razonable. El tamaño del pixel depende de nuestros fines, y está limitado por el grano de la emulsión que forma la imagen, por el instrumento que estamos usando para la cuantización, etc.

Bien, supongamos que hemos dividido a la fotografía en 500 x 500 cuadritos (250 000 pixels); es lógico ahora suponer



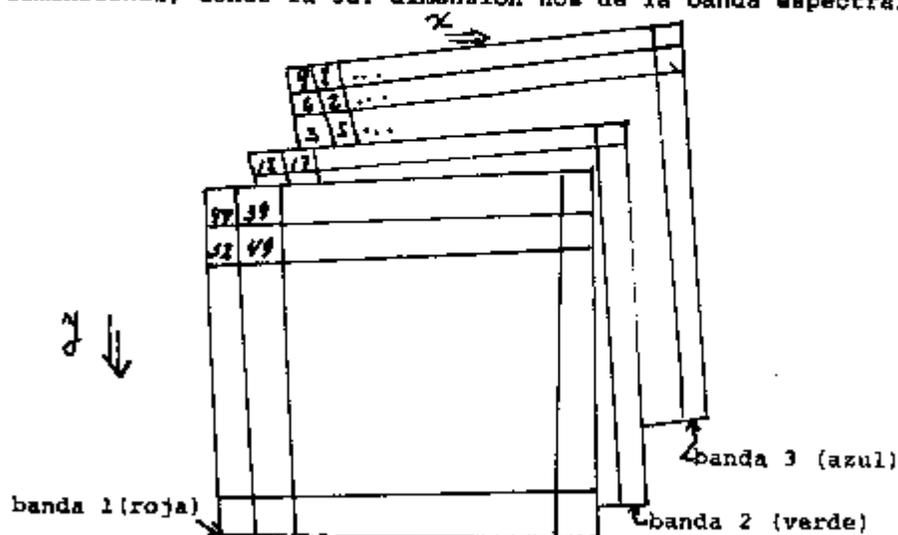
que en cada cuadrado la intensidad de gris (o sea de verde) es uniforme: todo el cuadrado se ve de un gris homogéneo, y no es posible distinguir en él zonas más claras u oscuras que el resto del cuadrado. (Si esta suposición falla, siempre podemos asignarle el valor promedio de la intensidad). Vamos a continuación a digitalizar los valores de la intensidad en cada uno de los pixels. Convenimos ahora en que la intensidad la representamos con M niveles distintos, de 0 a $M-1$. Es decir, escogemos el cuadrado más brillante (más verde, o sea más blanco, más claro) y le asignamos el número $M-1$; escogemos el punto más oscuro (más gris, más negro, menos verde) y le asignamos el valor 0, y a todos los cuadrados intermedios le asignamos valores entre 0 y $M-1$; por lo general en forma lineal según su intensidad. Estamos digitalizando cada pixel, y por ende, la imagen cuantizada.

Nuestra fotografía es ahora una gigantesca colección bidimensional de 250,000 números, cada uno de los cuales es alguno de $[0, 1, \dots, M-1]$. Los números más grandes nos representan altas intensidades de luz verde en esa parte de Oaxaca.

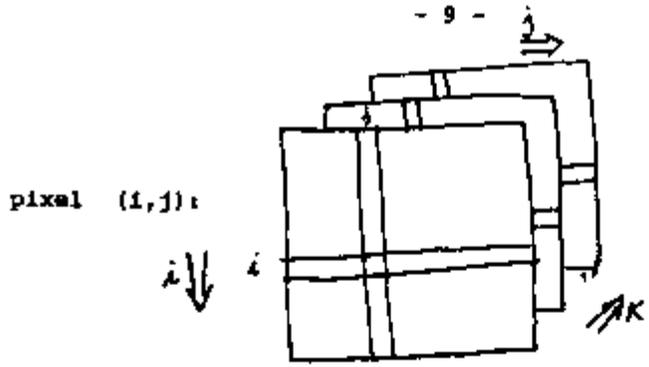
	1	2	3	...	250
1	15	17	23		
2	12	9	18		
3	19	13	26		
250					

IMAGENES MULTIESPECTRALES. Siguiendo el ejemplo, si tuviésemos a mano fotografías en otras bandas del espectro electromagnético, rojo, por ejemplo, procederíamos asimismo a cuantizarlas (también en 500x 500pixels) y a digitalizar la intensidad de rojo, y tendríamos, por consiguiente otro arreglo de números que nos representarán la intensidad de rojo.

Una imagen multiespectral se compone, pues de varias imágenes monoespectrales (de cierta banda o gama de frecuencias) de la misma región; es conveniente pensar en un arreglo tridimensional, donde la 3a. dimensión nos dé la banda espectral:



En nuestros trabajos, la coordenada "x" corre a la derecha, "y" corre hacia abajo; el píxel (i,j) se encuentra en la intersección de la iésima fila y la jésima columna, y las bandas corren hacia "atrás":



y el pixel (i,j) es



el valor del pixel (i,j) en la banda 1, o sea pixel $(i,j,1)$ es 42; en la banda 2 es 19; en tanto que pixel $(i,j,3) = 7$.

Vamos que el valor de pixel (i,j) es un vector: $\begin{bmatrix} 42 \\ 19 \\ 7 \end{bmatrix}$ y entonces

una imagen digital multispectral es un arreglo (bidimensional) de pixels, cada pixel siendo un vector de tantos elementos o componentes como bandas haya.

En el caso de las fotografías del satélite LANDSAT (antiguamente ERTS), hay cuatro bandas y las intensidades van del 0 al 127, excepto en la banda 4 donde a veces van del 0 al 63; una fotografía se compone de aprox. $\underline{1200}$ por $\underline{2400}$ pixels, cada uno de 85 m de lado, para abarcar una zona de aprox. 185 km de lado en la superficie terráquea.

ASTRONOMIA Y MICROSCOPIA. Aunque estas disciplinas están dentro de la definición de percepción remota, normalmente no se les considera así. Lo mismo ocurre con el sonido, por ejemplo, reconocimiento de voces, mapeo de profundidad con sonar, etc.

TECNICAS DE CAPTACION Y SENSORES.

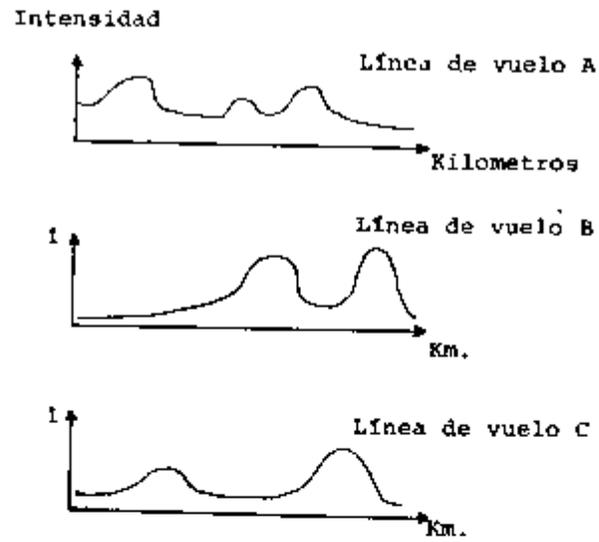
Como se dijo, una actividad de percepción remota consiste de dos fases: (a) la adquisición de datos mediante sensores apropiados, y (b) la interpretación de los mismos, que nos permite extraer información y reconocer estructuras relevantes al problema a resolver.

Procede ahora un análisis somero de los sensores empleados.

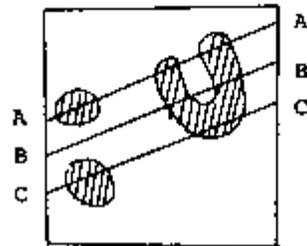
CAPTACION PASIVA.

La captación pasiva consiste en llevar, afocar o dirigir un sensor hacia determinado sitio, y medir ahí la intensidad obtenida, registrar ésta junto con la posición - - (x, ó x-y) donde fue recolectada, y de manera sistemática barrer con el sensor las posiciones de interés, para obtener un mapa (un conjunto) de mediciones.

Ejemplo 3. El Instituto Nacional de Energía Nuclear hace volar un avión, dotado de un detector de emisiones radioactivas, a baja altura sobre una zona a explorarse. El detector inscribe en una tira de papel la intensidad captada en ese instante, de manera que por ejemplo se obtienen para tres líneas de vuelo las siguientes gráficas:



La interpretación de estas señales nos permite localizar aproximadamente la fuente de estas emisiones:

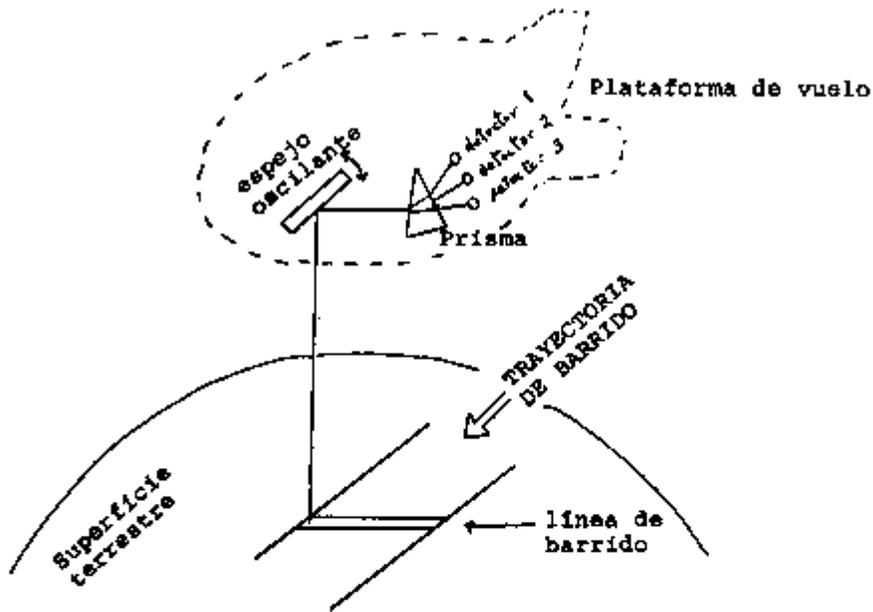


Los sensores pasivos más usados son:

- Sensores visibles. Operan en el rango visible del espectro electromagnético (0.4-0.8 μ).
- Películas en blanco y negro (sensibles en el espectro visible).
- Películas a colores (en el espectro visible)
- Películas a colores en el infrarrojo.

Las emulsiones fotográficas operan en la parte visible del espectro, incluyendo los extremos del infrarrojo y del ultravioleta. Así mismo se usa fotografía estereoscópica para poder percibir y medir la tercera dimensión: trabaja con un par estereoscópico formado por dos imágenes del mismo objeto tomadas desde puntos ligeramente desplazados.

- Barredores electromecánicos. Son barredores multi-espectrales que, colocados en plataformas de vuelo, escudriñan sistemáticamente áreas de interés. Algunos graban su información en película, otros en cinta magnética analógica o en cinta digital compatible con la computadora.



Principio del barredor electromecánico

Los barridores miden simultáneamente, según se indica en el diagrama, la energía presente en varias bandas angostas del espectro.

Los barridores toman información de una parte pequeña a la vez, y cubren la superficie escudriñada, mediante un movimiento mecánico oscilante, mientras la plataforma de vuelo avanza linealmente. Por lo general es un espejo el que oscila o rota.

Estos barradores obtienen información que es detectada y amplificada electrónicamente, y la señal alimenta un tubo de rayos catódicos para formar una imagen semejante al de un cinescopio de televisión; imagen que puede registrarse en una película. También la señal puede alimentar a un pequeño diodo de luz, para grabar la película directamente línea a línea. Por lo general estos barradores compensan y corrigen la información obtenida, y graban también simultáneamente otros parámetros: posición del avión, tiempo, canal de voz, etc.

Existen barradores que operan en la región del infrarrojo y en las microondas. Los de infrarrojo aprovechan las "ventanas atmosféricas", zonas del espectro donde la obtención producida por la atmósfera no es tan pronunciada.

Ejemplo 3. El avión de la Comisión Nacional del Espacio Exterior, S. C. T. posee un barrador mecánico multiaspectral infrarrojo con dos resoluciones: Graba la información en película y en cinta magnética analógica.

CAPTACION ACTIVA. El área de interés se puede "iluminar" con cierta radiación, y registrar la radiación reflejada o perturbada por los objetos de interés.

Los radares, que operan en la región de las microondas, emiten su energía en forma de pulsos, con polarización, y registran el eco regresado por el terreno. La señal de regreso fue afectada por la orientación y rugosidad de la superficie reflectante y por sus propiedades eléctricas (constante dieléctrica, conductividad, etc).

TECNICAS DE INTERPRETACION.

Las fotografías o imágenes obtenidas por los sensores deben ser interpretadas en busca de información relevante.

La técnica de interpretación visual hace uso del color, forma, textura, disparidad vertical y conocimiento previo del terreno, para hallar en él los rasgos de interés buscados. La interpretación visual está muy desarrollada y se practica en forma rutinaria en muchas instituciones.

La interpretación por computadora trata de hallar o ayudar a hallar los mismo rasgos que la interpretación visual, empleando métodos y programas de cómputo; será descrita con cierto detalle más adelante en la sección "análisis por computadora de imágenes multiespectrales".

RESULTADOS.

Como resultado de la fotointerpretación se obtienen cartas o croquis que muestran la localización y extensión de los rasgos buscados; por ejemplo, una carta que relaciona las minas con las fallas geológicas del noroeste de México (1), o bien un croquis donde aparecen señalados en verde los cultivos de trigo, en negro los de cártamo, etc. Por ejemplo, la carta de Uso Actual del Suelo del CeTeNa1 se ha elaborado principalmente a base de fotointerpretación apoyada (por supuesto) en información terrestre.

Otros resultados aparecen en forma numérica: hectáreas de sembradíos, etc.

Comparando interpretaciones del mismo lugar, pero de épocas distintas, se pueden observar cambios que nos ayuden a entender la evolución del fenómeno observado, es decir, su dinámica.

USOS DE LA PERCEPCION REMOTA.

Se ha acostumbrado englobar las aplicaciones de los sensores remotos dentro de algunas disciplinas científicas como veremos a continuación. Los ejemplos y referencias que se dan se refieren principalmente al uso de la computadora en la percepción remota.

AGRICULTURA Y SILVICULTURA.

Inventario de cosechas.

Esta es una de las aplicaciones más importantes, sobre todo si se trata de conocer la extensión de la superficie sembrada de cultivos como maíz, trigo, sorgo, etc, que obedecen a un ciclo de siembras y que están sujetos a rotación.

En Estados Unidos diversos investigadores (16,18, 19) han realizado trabajos de interpretación automática de imágenes multiespectrales que muestran claramente la factibilidad de emprender, a gran escala, el inventario de cosechas. Con este fin, el Proyecto LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment) encabezado por Robert MacDonald (20) de NASA se propone desarrollar y afinar técnicas de computación a fin de identificar trigo en dos estados de la Unión Americana, y

también hacer la identificación misma, utilizando fotografías del satélite ERTS o LANDSAT.

En México, la Secretaría de Agricultura y Ganadería, conjuntamente con el Proyecto PR del CIMAS (10,14), tratarán de (1) desarrollar técnicas para (2) hacer la identificación de trigo en la cosecha de primavera en el Valle del Yaqui, Son. Es decir, poder determinar cuántas hectáreas del cereal se sembraron. En este trabajo se utilizarán imágenes del satélite LANDSAT y de aviones CETENAL. Véase (10).

INVENTARIO DE ESPECIES ARBOREAS.

Por medio de la computadora se puede conocer la extensión de bosques en cierta zona, su composición, etc., según se puede apreciar en trabajos desarrollados por ejemplo en (21), véase también (18). En (22), Nichols et al desarrollan métodos para evaluar la cantidad de madera.

En México, el Instituto de Investigaciones Biológicas de la UNAM (11), conjuntamente con el Proyecto PR del CIMAS, tratarán de (1) aplicar y adecuar el Sistema PR de fotointerpretación automática, con el fin de (2) hacer el mapa de la flora del estado de Veracruz. Para esto se utilizarán imágenes del Satélite LANDSAT. La gran variedad de especies hace este trabajo particularmente difícil e interesante. Es esencial contar con información terrestre completa, adecuada y geográficamente bien situada.

Para un conocimiento mejor de nuestras especies arbóreas, en particular de bosques y otras asociaciones económicamente útiles, se pueda usar la fotointerpretación automática para

tener información a través del tiempo, y conocer por ejemplo cómo se tala un bosque, cómo va progresando la reforestación de ciertas laderas, etc.

Véase también (25).

Clasificación de suelos. Véase (25), trabajo hecho con el barredor multiespectral del satélite ERTS.

CONTROL DE LA HUMEDAD DEL SUELO.

¿Dónde ha llovido recientemente? ¿Cómo va la irrigación en determinada zona? ¿Cuál es la humedad del suelo en tal región? La interpretación por computadora de imágenes tomadas con sensores apropiados hace posible responder a estas preguntas (23).

Esta detección de humedad aprovecha sobre todo la información de la banda 7 (infrarrojo cercano) del satélite LANDSAT, porque el agua refleja muy poca energía en esa banda (0.8-1.1 μ).

En México los trabajos más cercanos a esta aplicación, y que usan fotointerpretación por computadora, son los de Seco (7), Díez (3) y Goode (4); necesitan alguna adaptación para detectar humedad. En particular, Seco utiliza el Sistema PR (10) desarrollado en el Laboratorio PR (14) del CIMAS, el que permite utilizar cualquier combinación de las 4 bandas del LANDSAT, cualquier combinación o subconjunto de las 12 bandas de adanes (10,14) tipo LARSYS, etc. (Un adán es un archivo progenitor de una estirpe multiespectral. Véase (10). Véase asimismo el informe PR-75-3).

SALINIDAD DE SUELOS.

UTILIZACION DEL AGUA POR LAS ESPECIES VEGETALES. EVAPORACION,
TRANSPIRACION.

DETECCION Y CONTROL DE PLAGAS.

En México, la Comisión Nacional del Espacio Exterior está desarrollando estudios (17) para determinar el habitat, zona de procreación, etc., del gusano barrenador, mosca cuya larva infecta heridas abiertas de animales salvajes y ganado, creando pérdidas y mermas al ganadero. Colaborando conjuntamente con el gobierno de los EEUU, se pretende usar control biológico de esta plaga liberando moscas machos estériles. Con esto, la ganadería del Sur de EEUU y la de México se verán beneficiadas. Véase también (38), que describe un trabajo en Arabia Saudita.

En EEUU hubo un experimento para determinar daños causados a milpas por ciertos parásitos. Se usaron aviones, el satélite ERTS y mucha información de apoyo terrestre.

La detección de bosques sanos y enfermos, por ejemplo, se basa en la forma distinta en que reflejan energía infrarroja.

PREDICCIÓN DE RENDIMIENTOS Y ANALISIS ECONOMICO.

En la tercera etapa de los proyectos PR (10) (México) y LACIE (20) (EEUU) se pretende averiguar el rendimiento de ciertos cultivos; es decir, hallar no solamente cuántas hectáreas están sembradas de trigo y sorgo, sino cuántas serán las toneladas cosechadas. Estas ideas son ambiciosas, pero se basan en el conocimiento del factor de rendimiento (cuántos

kilogramos de semilla se cosechan por hectárea de sembradío), el que depende de factores tales como la humedad, la insolación, el uso de fertilizantes, el cuidado del agricultor, etc.

GEOGRAFIA - DEMOGRAFIA- CARTOGRAFIA.

CLASIFICACION DE USOS DEL TERRENO.

¿Cómo se está usando la superficie de cierta región de México? ¿Dónde hay pastizales, naturales o inducidos? ¿Cuáles son las zonas de sembradío, las erosionadas, las zonas urbanas, etc? Se pueden hacer mapas que nos indiquen el uso actual de suelo.

Ahora bien, la observación periódica de una misma zona hace posible detectar cambios en ella: cómo se deforesta un bosque, cómo crece una ciudad; cómo aumenta un río, un lago, una presa, conforme avanzan las estaciones climáticas, etc. Un informe (33) nos describe la utilización de técnicas de reconocimiento de formas para este objeto.

USO POTENCIAL DEL TERRENO. Véase (25, 33). Sobre todo Baumgardner (25) identifica suelos y otros recursos, y hace ciertas inferencias en cuanto a su uso potencial.

En México CeTeNal elabora una carta de "Uso potencial del suelo" con fotointerpretación visual.

URBANIZACION Y DESARROLLO RURAL.

La ciudad de México ha sido fotografiada un sinnúmero de veces (cada 18 días, excepto cuando nublado), desde 1972, por el satélite LANDSAT, y es posible averiguar cómo estaba en el pasado, o cómo está en este momento. Para un urbanista, la Percepción Remota y el Análisis multiespectral de Imágenes puede ayudar a localizar zonas marginadas, parques, zonas industriales, etc., dentro de una ciudad.

En las fotografías del satélite LANDSAT, el tamaño del píxel (85 x 85 m) limita la aplicación a urbanización. Véase (34). Un estudio preliminar en México utilizando computadora se encuentra en el informe PR-75-13.

DENSIDADES DE POBLACION HUMANA, LOCALIZACION Y CAMBIOS.

ARQUEOLOGIA.

ANTEPROYECTOS DE LAS OBRAS DE INGENIERIA CIVIL. LOCALIZACION DE SITIOS PARA SU CONSTRUCCION.

EVALUACION DE DANOS CAUSADOS POR DESASTRES NATURALES. Véase (28); inundaciones.

SISTEMAS DE TRANSPORTACION DOMESTICA.

El sistema PR Barquet (2) está hallando en México carreteras y otros rasgos lineales en fotografías de satélite, con la computadora.

MAPAS ORTOGRAFICOS; ORTOFOTOS; FOTOGAMETRIA.

Una aplicación que puede enfocarse después hacia la producción de mapas y fotos corregidas es la de López Acevedo (12), en México. Véase también (39).

MAPAS TEMATICOS Y MAPAS CLIMATICOS. Véase (33).

GEOLOGIA.

TECTONICA.

EXPLORACIONES MINERAS Y PETROLERAS. GEOLOGIA ECONOMICA.

Véase (26, 36). En México, es relevante el trabajo de Salas (1).

PELIGROS AMBIENTALES DE LA NATURALEZA, TALES COMO ACCIONES VOLCANICAS, DESLIZAMIENTOS DE TIERRAS.

AREAS GEOTECNICAS, ZONAS DE ALTERACION HIDROTHERMAL. Véase

(32,35). Rowan (35) Describe un método interesante de hacer resaltar imágenes digitales.

GEOMORFOLOGIA. ANALISIS DE FORMAS DE LA TIERRA. Véase (26).

MAPAS FOTOGEOLOGICOS, MAPAS ESTRUCTURALES. Véase (26)

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS, UNIDADES LITOLOGICAS, UNIDADES ESTRUCTURALES. Véase (27, 35). Lathram (27) describe trabajos sobre Alaska.

LINEAMIENTOS Y FALLAS. PLEGAMIENTOS. CONTACTOS GEOLOGICOS.

En México, en el Consejo Nacional de Recursos Naturales no Renovables, el Ing. Don Guillermo P. Salas, utilizando fotografías del satélite LANDSAT, ha hecho estudios del Gran Geosinclinal Mexicano y del eje neovolcánico (1), en relación con la tectónica continental. No usa aún computación.

Véase también (27).

HIDROLOGIA.

DISTRIBUCION DEL AGUA EN LA SUPERFICIE.

Por ejemplo, el Plan Nacional Hidráulico (6) hace uso de imágenes de SKYLAB para conocer la extensión de los cuerpos de agua mexicanos. Adn no usan computadora.

En la UNAM se usa la computadora para detectar cuerpos de agua (7) en fotografías ERTS del Valle de México.

Véase (24), que reporta un trabajo en Canadá para estudiar la distribución del agua en el lago Big Quill, de Saskatchewan. Véase asimismo (25, 35).

DISTRIBUCION DEL AGUA SUBTERRANEA.

Véase (24).

EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA.

Véase (4) como ejemplo de evaluación de calidades de agua usando computadora. Véase también (41).

PROCESOS CONDUCTENTES A LA CREACION DE DESIERTOS.

DINAMICA DE LOS ESTUARIOS. Véase (37,), que presta atención especial a la concentración de sedimentos.

CONOCIMIENTO, EVALUACION Y PREDICCION DE POSIBLES DAÑOS POR INUNDACIONES. Véase (28).

LIMNOLOGIA. DELTAS LACUSTRES. DELTAS MARINOS.

OCEANOGRAFIA.

LOCALIZACION DE AREAS CON RIQUEZA BIOLOGICA. Véase (29,40).

En particular, Vanselous (29) describe la utilización para la pesca de imágenes y datos obtenidos mediante percepción remota.

LOCALIZACION DE CORRIENTES, LIMITES TERMALES, VIENTOS Y VELOCIDAD DE FLUJO.

LOCALIZACION DE RESURGENCIAS DE AGUAS DE LA PROFUNDIDAD.

IDENTIFICACION DE BANCOS DE PECES EN LA SUPERFICIE. Véase (29).

PELICULAS ACEITOSAS.

DETECCION Y EVALUACION DE LA CONTAMINACION. Véase (37).

MEDICION DEL ESTADO DEL MAR. Véase (30).

DETECCION DE PELIGROS PARA LA NAVEGACION. Véase (39).

OBSERVACION DE BAJIOS EN EL MAR.

DETERMINACION DE LAS RUTAS MAS CORTAS Y VIABLES. Véase (39)

BATIMETRIA; MAPAS DE LA TOPOGRAFIA SUBMARINA.

LOCALIZACION DE EMISIONES DE HIDROCARBUROS EN EL SENO DE LAS AGUAS MARINAS.

LOCALIZACION DE MANANTIALES DE AGUA DULCE EN EL SENO DE LAS AGUAS MARINAS.

METEOROLOGIA.

MEDICIONES CUANTITATIVAS DE LOS PARAMETROS ATMOSFERICOS. Véase (31).

FISICA DE LA ATMOSFERA. TRANSFERENCIA DE LA RADIACION Y BALANCE.

DETECCION DE TORMENTAS Y HURACANES. Véase (30,).

PREDICCIÓN DEL TIEMPO O ESTADO DEL CLIMA. Véase (31).

CALIDAD DEL AMBIENTE, ECOLOGIA.

CALIDAD DEL MEDIO AMBIENTE.

CONTAMINACION DEL AIRE, DEL AGUA Y DE LA TIERRA. Véase (37,41).

El segundo artículo (41) describe un estudio cuantitativo para medir la calidad del agua.

DEGRADACION BIOTICA Y ABIOTICA.

PRESIONES CULTURALES Y DEGRADACION EN GENERAL.

INTERFASES DE LOS SISTEMAS ECOLOGICOS MAYORES. Véase (40).

EQUILIBRIO ECOLOGICO Y SU DINAMICA. Véase (38).

PRESIONES DE PRODUCTIVIDAD. Véase (29).

EPIDEMIOLOGIA.

APLICACIONES VARIAS.

CENSOS GANADEROS Y DE ESPECIES SILVESTRES. Véase (42,43)

En México, es relevante (11).

CENSOS DE LA FAUNA DOMESTICA Y SILVESTRE EN GENERAL. Véase (38, 40,43).

MEDICIONES DE TEMPERATURA EN CUERPOS HUMANOS, ESPECIES ANIMALES Y VEGETALES.

ESTUDIOS MEDICOS EN CONDICIONES DEL ESPACIO EXTERIOR.

PATRONES DE DRENAJE O AVENAMIENTO.

En México, destacan los trabajos del Ingeniero y Maestro Don Felipe Guerra Peña (8, 9).

LOCALIZACION, DESARROLLO Y CONTROL DE CUENCAS HIDRAULICAS BIOLÓGICAS.

ACTUALIZACION DE MAPAS Y CARTAS.

Para una posible aplicación de la computadora en Actualización de cartas en México, véase (10), página 76.

Véase también (39).

DETERMINACION DE COMPONENTES MINERALES DE SUELOS Y ROCAS.

Véase (26,27).

DETERMINACION DE PARAMETROS FISICOS DE VEGETACION. CLASIFICACION DE ESPECIES VEGETALES, CULTIVADAS Y SILVESTRES.

Para una posible aplicación de la computadora en la clasificación de cultivos en México, véase (10), pág. 76.

El Instituto de Biología de la UNAM ha usado los sensores remotos para investigar la flora de Veracruz (11).

En NASA, el proyecto LACIE encabezado por Robert McDonald (20) es relevante. Véase también (18,21,25).

CLASIFICACION DE ESPECIES ARBOREAS.

Véase (11,22).

DETECCION DE MINERALIZACION RADIATIVA. CLASIFICACION DE MINERALES RADIATIVOS.

DETECCION Y CLASIFICACION DE MINERALES FLUORESCENTES.

DETERMINACION DE TEMPERATURA Y SALINIDAD DE AGUAS. Véase (35).

ANALISIS POR COMPUTADORA DE IMAGENES MULTIESPECTRALES.

Ya se definió al principio de este informe el formato de una imagen multiespectral susceptible de análisis por computadora. Cabe ahora describir en qué consiste tal análisis.

En esta descripción los ejemplos están tomados del Sistema PR, conjunto de programas que hacen análisis y fotointerpretación de imágenes multiespectrales (10,14).

Un sistema de cómputo que maneje estas imágenes debe estar capacitado entre otras, para las siguientes operaciones.

IDENTIFICACION DEL SITIO EXPLORADO.

Necesitamos trabajar (por ejemplo) sobre la laguna Tamiahua. ¿Tenemos una cinta de computadora que contenga una imagen multiespectral de esta área? ¿Cuántas hay? ¿De qué fecha son? ¿Cuántas bandas espectrales contiene? etc.

Esto es, inicialmente el sistema nos debe guiar a la información buscada, que por lo común es una cinta o archivo que contiene la zona geográfica de interés, en la fecha que se desea. Resumiendo, debe tenerse un programa que nos diga qué cintas o fotografías tenemos, su fecha, tipo, coordenadas, etc.

En el Sistema PR, esto se logra diciendo "SI" a la pregunta "¿IMPRIMO DESCRIPTORES?". (10,14). Véase también el informe PR-75-8 de Guerra.

ARCHIVO DE FOTOGRAFIAS. La computadora manipula un conjunto de fotografías o imágenes a las que se les debe poder imprimir, borrar o destruir, modificar, agrandar; formar subfotos

que son parte de otra foto; formar subfotos mediante la aplicación de funciones arbitrarias a las bandas de la foto progenitora.

Véase el informe PR-75-3 para entender las manipulaciones que el Sistema PR hace a las fotografías.

CORRECCION DE DISTORSIONES DE LA IMAGEN. La imagen tiene distorsiones geométricas, lumínicas, etc., que pueden dificultar la identificación de las zonas de interés. Las imágenes tomadas en aviones tienen más resolución, pero más distorsiones que las de satélite, debido a la altura a la que éste viaja. Para algunas aplicaciones la distorsión es despreciable o tolerable. Para otras aplicaciones, por ejemplo para comparar dos fotografías de la misma zona, pero de fecha distinta, con el objeto de observar cambios con el tiempo, basta normalizar una foto con respecto a la otra, es decir, "igualar" sus distorsiones.

En el Sistema PR, estos trabajos se realizan por programas descritos en el informe PR-75-15.

PRODUCCION DE ORTOFOTOS Y MAPAS.

Una fotografía multiespectral de suficiente calidad (con pocas distorsiones) se denomina ortofoto, y puede usarse tanto como mapa como para generar un mapa.

Actualmente el Sistema PR no produce ortofotos, pero podrá hacerlo según se describe en el informe PR-75-15.

DATOS TOMADOS EN EL SITIO EXPLORADO. De alguna manera sistemática, los datos deben poder guardarse en la computadora. Estos datos incluyen: fecha de la recolección de información, quién encuestó, coordenadas del sitio (preferentemente, su localización en una fotografía o mapa de la zona), qué cultivo había ahí, su variedad, estado de crecimiento, etc. Por "cultivo" entendemos también otros temas de la superficie terrestre: agua, zonas urbanas, etc.

Esta información nos sirve para poderle enseñar al programa el color de cada cultivo (o tema de la superficie) y después, para verificar los resultados del programa que hace la clasificación.

Esta información es nuestro enlace con la realidad, y es importante poderla ubicar con exactitud en la fotografía que la computadora analiza.

Por lo general, este tipo de información se obtiene también en muestreos de cultivos que luego se usan para hacer predicciones por métodos estadísticos. En ese caso los cultivos muestreados deben escogerse mediante técnicas especiales que aseguren su representatividad; en nuestro caso, ampero, la información obtenida en las plantaciones se usa para enseñarle al programa "cómo se ven las cosas"; por consiguiente, no necesita ser un conjunto de cultivos que representen estadísticamente a la población total, sino que se pueden escogerse en lugares más accesibles, a orillas de la carretera por ejemplo.

Claro está que si se nos olvida una variedad o tipo importante de cultivo, nuestra información será defectuosa. Resumiendo, debe tenerse un banco de información de apoyo terrestre, con programas que puedan guardar nueva información , modificar la ya existente, imprimir la información terrestre existente, toda o parte de ella.

En el informe PR-75-6, Guzmán describe cómo se efectúa esto en el Sistema PR. Las preguntas relevantes son: "¿AGREGO VERDADES DE TIERRA?", "¿LAS IMPRIMO?", "¿LAS MODIFICO?". BANCO DE DATOS DE APOYO TERRESTRE. Es importante que los datos que se obtengan de las exploraciones y visitas a las zonas estudiadas se puedan guardar en forma ordenada, sistemática y resistente a errores; esta recopilación viene entonces a constituir un banco de datos de la información recolectada en las plantaciones, minas, veneros, etc.

Este banco de datos contiene nuestro conocimiento sobre "la realidad" del fenómeno estudiado; el nombre de "verdad de tierra" que en inglés se le da (ground truth) es sugestivo por esto mismo.

La información aquí guardada variará con el uso que se le dé; empero, es necesario que contenga coordenadas, nombre del recolector, fecha de recolección, quién introdujo esta información al banco de datos, nombre del introductor, además de los datos específicos de interés: cultivo hallado, variedad, etc.

Cuando se mande imprimir (o borrar, o usar, en general) esta información, entra en juego la fecha de uso o fecha de impresión de esta información, que es distinta de la de recolección y de la de introducción o catalogación.

Véase el informe PR-75-6 para conocer cómo se usa este banco de datos en el Sistema PR. Usese "O" para imprimir todo el banco de información, y en este caso síquese por la impresora rápida ("O" también).

LOCALIZACION EN LA IMAGEN DE LOS LUGARES VISITADOS.

Los sitios encuestados o muestreados deben de localizarse en la imagen que la computadora manipula, y sus coordenadas en esta imagen deben conocerse. Para esto, es menester imprimir parte de la imagen, localizar visualmente los campos cuyos cultivos se conocen, y finalmente introducir a la computadora las coordenadas (referidas a la imagen), cultivo, etc. del campo localizado.

El informe PR-75-5 describe cómo hacer impresiones en el Sistema PR. La salida cero es por la impresora de alta velocidad de 132 líneas. La salida 1 es para el teletipo o consola.

Estas impresiones de parte de las imágenes deben facilitarnos la información en forma fácil de interpretar para el ojo, ya que se van a comparar con el mapa o foto que los encuestadores usaron. Para este fin se usa una pantalla de tubo de rayos catódicos a colores, con lo que se consigue una imagen "natural"; menos satisfactoriamente se utilizan multi-impre-

siones (con la impresora de la computadora) que en tonos grises nos muestran cada una de las bandas que forma la imagen multi-espectral.

En ocasiones también será necesario obtener una impresión de los valores de la intensidad reflejada (en cada banda) por los cultivos de una determinada porción, con el objeto de hacer análisis más detallados de la "información cruda" presente en la imagen.

También es útil la capacidad de ampliar y reducir la imagen.

Resumiendo, la localización en la imagen manipulada por la máquina de los cultivos visitados en el terreno requiere la capacidad de imprimir o desplegar parte de la imagen.

COORDENADAS GEOGRAFICAS.

Asimismo útil es el poder localizar en la imagen (que la computadora usa) sitios que corresponden a coordenadas geográficas (longitud y latitud) conocidas, y también el proceso inverso: señalar en la imagen un cierto paraje y poder averiguar sus coordenadas geográficas.

Resumiendo, se necesita un programa que convierta coordenadas de imagen a longitud y latitud, y viceversa. Véase el informe PR-75-15 para conocer las capacidades actuales del Sistema PR a este respecto.

APRENDIZAJE. A partir de la información obtenida en tierra sobre un cierto tema o cultivo, TRIGO, digamos, la máquina debe aprender el color asociado a él. Para esto, se le dice de cuáles campos (de trigo) debe aprender a conocer el trigo. Procede la computadora a analizar tales campos y tomar nota de su color (su emisión espectral en cada banda de la imagen), y de las discrepancias de color entre diferentes campos del mismo cultivo, de las modalidades predominantes de coloración, etc. Esta información caracteriza lo que para la máquina es TRIGO, y le servirá para identificar como TRIGO, posteriormente, campos con coloración y características similares.

Este procedimiento se denomina "aprendizaje con maestro" o "aprendizaje supervisado", porque a la máquina se le dice qué campos son trigo, cuáles son maíz, etc.

El aprendizaje supervisado del Sistema PR aparece descrito en el informe PR-75-6. Dígase "SI" a "¿APRENDO?" pero dígase NO a "APRENDO ARTIFICIALMENTE?".

APRENDIZAJE NO SUPERVISADO. Por el contrario, si no tenemos información terrestre, sino solamente la imagen multiespectral, se puede proceder a tratar de sistematizar y compartamentalizar la información en ella presente, usando un programa de cómputo al que se le pueda decir "divide esta imagen en cuatro (o seis, o veintitrés,...) conjuntos tales que los elementos que pertenezcan a un mismo conjunto tengan color parecido, y los que en cambio pertenezcan a conjuntos distintos tengan colores

notablemente diferentes". Esto se denomina aprendizaje no supervisado, pues no hay en este caso un "profesor" que diga qué cosa es cada clase o cómo se va a hacer la descomposición de la imagen, sino que el programa dice que dos cosas pertenecen al mismo conjunto o a conjuntos diferentes según ciertas reglas de similitud basadas en la proximidad de las firmas espectrales de los pixels a clasificar.

Aunque sea de paso, cabe hacer notar que un procedimiento análogo puede usarse para descomponer escenas (imágenes que nos representan objetos tridimensionales) en los cuerpos que las componen. Véase (15).

Ludlow describe en el informe PR-75-5 el aprendizaje no supervisado que se usa en el Sistema PR. Contéstese "SI" a la pregunta "¿HAGO CLUSTER?".

APRENDIZAJE ARTIFICIAL. Se llega aunque no muy a menudo, a forzar al programa a que aprenda "por decreto", sin necesidad de observar información de apoyo terrestre. Por ejemplo, si yo por algún camino obtengo la firma espectral de un cierto tema, puedo dárselo a este programa para que lo incorpore directamente a su banco de información de firmas espectrales; en este caso el programa obtuvo la información "artificialmente", y no de modo "natural", deduciéndola de los datos recolectados en varios terrenos.

Guzmán detalla el aprendizaje artificial que el Sistema PR realiza en el informe PR-75-6. Contéstese "SI" a las preguntas "¿APRENDO?" y "¿APRENDO ARTIFICIALMENTE?".

BANCO DE FIRMAS ESPECTRALES.

Podemos pensar que el banco de datos de apoyo terrestre contiene información "en bruto", sin procesar; una vez procesada y aprendida (según los "aprendizajes" que acabamos de describir), se tendrán los colores o firmas espectrales y otras características de los diferentes cultivos y temas que aparecen en la imagen. Estos aprendizajes se guardan en un banco de aprendizajes o de firmas espectrales.

En el Sistema PR basta decir "SI" a la pregunta "¿IMPRI-MO APRENDIZAJES?", para conocerlos. Los informes técnicos que describen el uso, manejo y precauciones relacionados con los aprendizajes contenidos en el banco de firmas espectrales del Sistema PR son, en orden numérico: PR-75-1 (Manual del Usuario); PR-75-3 (Manejo de archivos); PR-75-4 (clasificación); PR-75-6 y PR-75-7 (aprendizajes).

CLASIFICACION.

Conocidas las caracterizaciones de varios temas o cultivos podemos clasificar con ellos cierta zonas; es decir, queremos hallar en esa zona esos cultivos.

La clasificación de vastas regiones de la superficie es el punto central de los programas de fotointerpretación multi-espectral por computadora. Es mediante una clasificación de cierta zona en TRIGO, MAIZ, AGUA, ZONA URBANA, etc., que podemos saber qué hay dónde, cuándo, y cuánto.

Al clasificar, le decimos a la computadora: mira cada punto de la zona cuya clasificación es menester, y asigne uno de los siguientes nombres: TRIGO, MAIZ, AGUA, ZONA URBANA, etc. (los nombres y sus propiedades varían según los intereses del usuario del Sistema. Los nombres que se usen serán los del aprendizaje que se utiliza para hacer la clasificación. Un aprendizaje generalmente contiene información de varios cultivos o temas superficiales). Esta asignación o clasificación se realiza siguiendo reglas "complicadas", pero fundamentalmente se trata de comparar el color del punto a clasificar (o incógnita, pues aún no se sabe qué será) con los colores de cada uno de los cultivos conocidos (TRIGO, MAIZ, AGUA, ZONA URBANA,...) y se le asigna al punto incógnita el nombre del cultivo cuyo color sea más parecido o próximo al color de la incógnita. Si el punto incógnita a clasificar tiene un color bastante distinto al de cada uno de los cultivos conocidos con los que se le comparó, habrá que informar que ese punto incógnita quedó "sin clasificar" o en la clase "DESCONOCIDO".

Se invoca en el Sistema PR a las rutinas de clasificación tan pronto como se contesta "SI" a la pregunta "¿CLASIFICO?". Véase la descripción de Guerra en el informe PR-75-4.

COMPARACION DE RESULTADOS.

El usuario necesita saber con qué exactitud está proce-

diendo el programa y durante la fase de aprendizaje, el "maestro" permite que el programa haga algunas clasificaciones de prueba, con el objeto de ver si ya aprendió adecuadamente. El programa habrá aprendido adecuada o satisfactoriamente si al comparar sus resultados (su clasificación de una cierta región) con la realidad (contra la información terrestre recolectada en esa región), el porcentaje de equivocaciones es bajo.

La comparación consiste en revisar la información de apoyo terrestre que se tiene de la región, y ver si los TRIGOS fueron clasificados como TRIGOS, si los MAICES como MAICES, etc.

En el Sistema PR, contéstese "SI" a la pregunta "¿COMPARA?", después de haber efectuado una clasificación. El informe PR-75-9 describe esto.

EQUIPO USADO, PARA QUE SIRVE,

Los programas y las aplicaciones descritas arriba requieren de equipos y aparatos para poder desarrollarse. Si partimos de las imágenes ya en forma digital, el equipo más necesario es una computadora digital, desde luego. Se necesita también una pantalla de salida a colores para que resultados intermedios y finales puedan observarse. Si las imágenes están en forma analógica (negativos, por ejemplo), se usa un fotodensitómetro que las barra y las convierte a forma digital, tal vez grabando la información en una cinta magnética, tal vez alimentando directamente a una computadora que para esa información a memoria masiva (disco o cinta) para su análisis posterior.

Describese en seguida los equipos y su función en el análisis por computadora de imágenes multiespectrales.

LECTORA DE CINTAS MAGNETICAS.

Puesto que las imágenes vienen en cinta magnética, un transporte (o lector) de cinta es indispensable. Y dado que es un equipo mecánico con cierta tendencia a fallar, la regla común es tener más de uno.

Además, en una aplicación se estaría leyendo la imagen de una cinta y escribiendo los resultados en otra.

El almacenaje en cinta está ampliamente justificado: una fotografía de ERTS contiene cerca de 5 millones de pixels, y cada pixel ocupa 4 bytes (1 byte=8 bits).

Precaución: Siempre tenga un duplicado de sus cintas. Nunca sabe uno qué operador de la computadora se equivocará y permitirá que otro usuario use las cintas de usted para escribir en ellas.

Precaución: Quitele el aro a las cintas que contienen imágenes. Así solo se podrán leer.

Precaución: Otro uso de las cintas es para guardar sus programas. Tenga más de una copia guardada en cintas diferentes.

La tendencia actual es usar lectoras de cinta de 9 pistas, que graban a una densidad de 1600 bits por pulgada.

DISCO.

Casi todos los sistemas de cómputo se configuran actualmente con un disco.

En percepción remota sus usos son:

- Guarda los programas del usuario, el sistema operativo, etc.
- Guarda las imágenes que el usuario usa más frecuentemente.
- Guarda los cambios recientes al banco de fotografías, al banco de información de apoyo terrestre y al banco de firmas espectrales. Puede inclusive guardar todos estos bancos completos.
- Otro disco (que no contiene los programas, fotos, ni bancos) guarda la imagen que se está mostrando en la pantalla a colores y sirve para refrescarla.

Lo mínimo de memoria en disco sería tener 2 millones de bytes, aunque 20 millones es común y usable. Esto es aparte del disco que se necesita para refrescar la pantalla a colores.

MEMORIA DE ACCESO DIRECTO.

El tamaño de la memoria está "balanceado" con el de la unidad central de proceso (la "computadora"). Dado el gran tamaño de las imágenes a analizar, y para minimizar accesos a disco, la regla en percepción remota por computadora parece ser que mientras más memoria de acceso directo tengamos, mejor.

El límite inferior lo estimo en 64 K palabras de 16 bits.

Use las siguientes técnicas para ahorrar memoria:

- (a) Divida sus programas en pedazos que puedan eslabonarse uno encima del otro, formando una estructura de traslape ("overlay" o "link").
 - (b) Usted no necesita traer toda la fotografía a la memoria para procesarla. Traiga una línea a la vez, y procesela.
 - (c) Use el área dinámica de PL-1, y la pila ("stack" o "pushdown list") de los lenguajes de alto nivel que la poseen, para almacenar de variables temporales.
- Ciertas aplicaciones consumen grandes cantidades de memoria.

Por ejemplo, diagramas de dispersión (Véase informe PR-75-14) en varias dimensiones. Usense aquí técnicas de matrices ralas o poco pobladas.

COMPUTADORA (UNIDAD CENTRAL DE PROCESO) GRANDE.

Por "computadora grande" entiendo una IBM360/65, una Burroughs 6700, una CDC CYBER 70/72, una UNIVAC 1106, una PDP-10, una IBM 370/158, etc.

Mientras más grande sea su máquina, más fácil le será desarrollar la etapa de prueba, tendrá más flexibilidad, pero más caro le saldrá el procesamiento de sus imágenes.

Ventajas de una máquina grande:

- Generalmente vienen con periféricos "grandes": bastante memoria en disco, cintas, etc.
- Sistema operativo sofisticado.
- Si se opera en tiempo compartido varios usuarios pueden estar trabajando al mismo tiempo en actividades de percepción remota.
- Entrada y salida veloz.

Desventajas de una máquina grande:

- No es más rápida que una minicomputadora para las labores tardadas de clasificación y comparación.
- Mucho más cara.
- El usuario está alejado de la acción: un operador descuidado puede darle la cinta de usted a otro usuario, puede mandarle mensajes en medio de una impresión o salida importante, etc.
- El usuario está alejado de la operación: un operador perezoso puede montar las cintas que usted necesita media hora después que usted le pidió que lo hiciera.
- La máquina no es de usted (lo más probable). Usted tiene que compartir la máquina con otros. Tiene que levantarse temprano para que no le ganen los pocos teletipos disponibles.

Tiene que mostrar que lo que está haciendo es útil y vale la pena, para que le dejen usar los teletipos.

- Usted no opera la máquina (lo más probable). Tiene que entender que una "suspensión de dos minutos dentro de los próximos cinco minutos" puede durar una hora.

ES ABSOLUTAMENTE CIERTO QUE NO ES NECESARIA UNA MAQUINA GRANDE PARA HACER PERCEPCION REMOTA POR COMPUTADORA.

Pero, si tiene una máquina grande, úsela.

MINICOMPUTADORA (UNIDAD CENTRAL DE PROCESO, CHICA).

Las minicomputadoras más usadas en percepción remota son la PDP11/40 y la NOVA(Eclipse, por ejemplo).

Mientras más chica sea una máquina, más flexibilidad perderá en el desarrollo de su software y más cuidado tendrá usted en la estructura de sus programas, pretensiones de memoria, etc.

Ventajas de una máquina chica (minicomputadora):

- Barata: Si el programa de clasificación se tarda varias horas, lo cual puede suceder al analizar toda una fotografía del satélite LANDSAT, por ejemplo, no importa mucho. Cuatro horas de una máquina chica cuestan alrededor de \$400.00, cuatro horas de una grande serían \$8,000.00 aproximadamente.
- Más apropiada para manejar la pantalla a colores. Con esto me refiero a que, aunque se puede conectar la pantalla a la máquina "grande", ésta probablemente trabaje bajo un monitor de tiempo compartido, el que puede dar un servicio irregular a la pantalla, parpadeo de la imagen, etc.

- Se le puede conectar mucho más fácil que a la "grande" equipo electrónico digital especial que, en paralelo, haga clasificación o interpretación de imágenes, a fin de disminuir el tiempo de análisis.

DESVENTAJAS DE UNA MINICOMPUTADORA.

Léanse "ventajas de una computadora grande".

TELETIPOS O CONSOLAS.

Indispensables en un sistema interactivo, como lo es nuestro Sistema PR.

Preferible trabajar con un teletipo o impresor en papel. Escoja un rápido (de cuando menos 30 caracteres por segundo de impresión), que pueda trabajar en modo "full duplex" y que tenga paso chico (12 caract/pulg) o variable. Esto ayudará en las sobreimpresiones que salgan por el teletipo (10).

PANTALLA A COLORES.

Es el alma de un sistema de procesamiento automático de imágenes multiespectrales.

Es una pantalla de televisión o tubo de rayos catódicos, con una resolución de 512 líneas de 512 puntos por línea. Cada punto a su vez puede desplegarse en tres colores, y cada color tiene 32 ó 64 intensidades (5 ó 6 bits por componente cromática del pixel).

Esta pantalla trabaja como terminal conectada a una computadora, y tiene su propia memoria de refresco (disco o memoria de núcleos, o de estado sólido) para mantener la - -

imagen en el cinescopio. Tiene facilidades para falso color, para amplificar porciones de la imagen, para sobreponerle una banda de letras (letreros alfanuméricos), y también posee una pluma de luz o cursor para señalar partes específicas de la imagen.

LECTORA DE TARJETAS.

Util para sistemas que no son interactivos.

IMPRESORA DE LINEAS.

Util para obtener sobreimpresiones en tonos grises de imágenes. Usense todas las columnas de la impresora y el paso más pequeño que se pueda obtener (8 líneas/pulgada). Imprimase sobre papel blanco, sin marcas de agua o diseños en tintas al pastel. Usese una cinta de impresión nueva y buena para obtener máximo rango dinámico.

También se usa normalmente para obtener impresiones de listados, pruebas de programas, etc.

Si usted puede cambiarle el paso a la impresora para que avance medio renglón a la vez, en vez de un renglón (cambiar el número de dientes de algún engrane), esto dará una impresión con más rango dinámico.

CONVERTIDOR ANALOGICO/DIGITAL.

No es útil por sí solo. Es necesario como parte del sistema del microdensitómetro (q.v.), También se usa como constituyente del subsistema que lee cintas analógicas (de un barredor multi-espectral térmico, por ejemplo) y las transforma en información

digital para su procesamiento.

MICRODENSITOMETRO.

Este es un aparato que cuantiza y discretiza una fotografía. Es decir, divide a una imagen (un negativo en blanco y negro, por ejemplo) en un cierto número de líneas, a cada línea en puntos o pixels y mide en cada pixel la densidad (lo oscuro o claro) de la imagen. Con filtros de color en el microdensitómetro pueden digitalizarse fotografías a colores para obtener varias bandas, o bien si se tienen negativos en blanco y negro que se expusieron con filtros de color en la cámara.

GENERADOR DIGITAL DE FOTOGRAFÍAS.

La computadora puede con este aparato "escribir" en una película sensible, mediante un haz de luz modulado en intensidad, y producir un negativo para generación de fotografías.

Este equipo se usa para grandes volúmenes de producción.

PANTALLA BLANCO Y NEGRO.

No es útil.

CIRCUITOS ELECTRONICOS DIGITALES ESPECIALES.

Útiles para acelerar ciertos algoritmos (clasificación, por ejemplo) que se aplican a cada uno de los muchos pixels de una imagen.

Fáciles de conectar a un "bus" común de información de una minicomputadora (UNIBUS de la PDP-11, por ejemplo) y accesarlos como dispositivos de entrada y salida.

LECTORA DE CASSETTE (CINTA MAGNETICA).

No es útil dado su pequeño almacén de información.

TAMBOR MAGNETICO.

No es útil. Muy caro.

LECTORA/PERFORADORA DE CINTA DE PAPEL.

No es útil. Lenta.

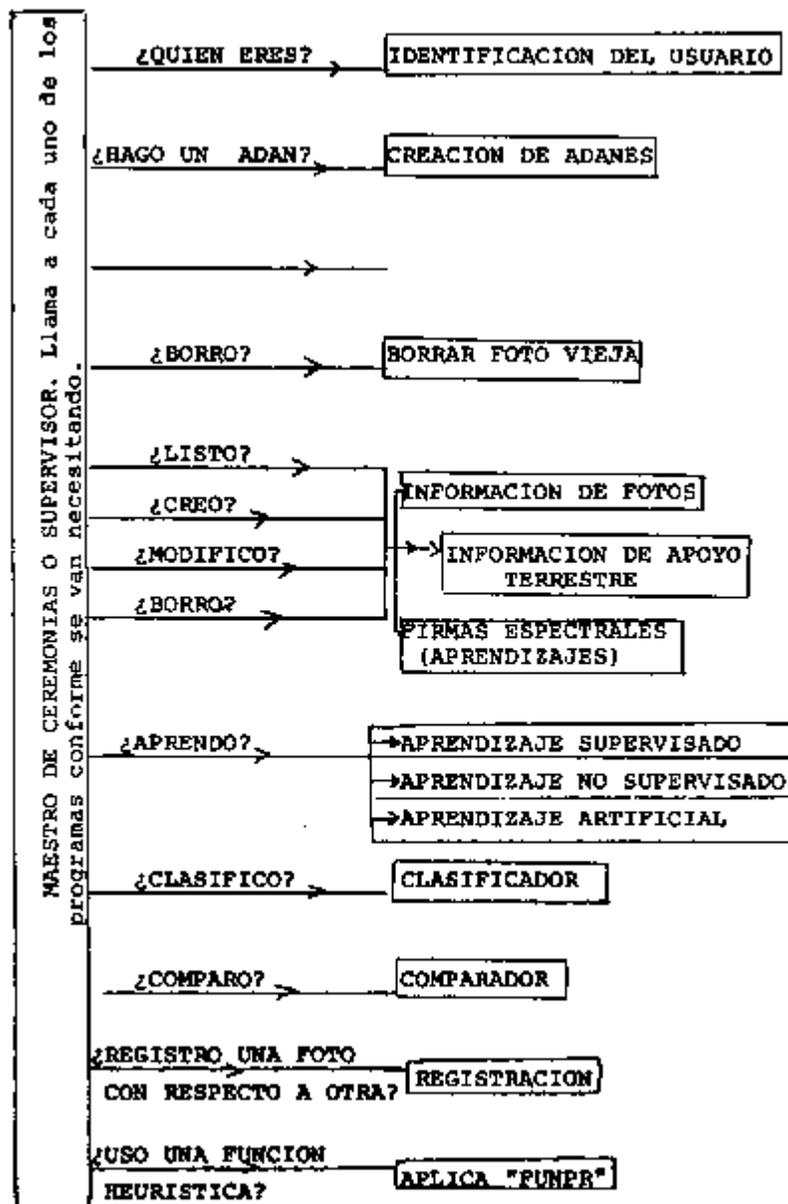
PROGRAMAS DE COMPUTO NECESARIOS, ¿QUE LABOR DESEMPEÑAN?

Cada uno de los programas que constituyen un sistema de percepción remota por computadora ha sido analizado en la sección "ANÁLISIS POR COMPUTADORA DE IMAGENES MULTIESPECTRALES". Claro está que dependiendo de la aplicación específica, se necesitarán otros más. Por decir algo, en la producción de mapas y ortofotos hay que tener programas de graficación, de transformación de coordenadas, etc.

Otro programa que no es aparente es el Maestro de Ceremonias o supervisor, que en un sistema interactivo dialoga con el usuario y llama a las diferentes rutinas de aplicación. Este programa en el Sistema PR aparece descrito en (10,14).

Otro programa cuya eficacia depende mucho de la rapidez y efectividad del sistema es el encargado del manejo de archivos, disco, cintas, etc. En el reporte PR-75-3 se describe este constituyente del Sistema PR de fotointerpretación por computadora de imágenes multiespectrales.

A continuación aparece un esquema del Sistema PR donde se ven los varios bloques que lo constituyen.



BLOQUESS DEL SISTEMA P. R.

B I B L I O G R A F I A .

- (1) Salas, Guillermo P. Tectónica Continental y Procesos Metalogenéticos en la República Mexicana. Memorias de la I Reunión sobre aprovechamiento de los datos derivados de los satélites tecnológicos para el estudio de los Recursos Naturales. Comisión Nacional del Espacio Exterior, S. C. T. Eugenia 197 y Zempoala. México 12, D. F. Octubre 1975.
- (2) Barquet, Jennie Becerra. Detección de rasgos lineales en fotografías de satélite. Reporte PR-75-16, Laboratorio PR, CIMAS-UNAM, Apdo. 20-726, México 20, D. F. 1975.
- (3) Díaz, Armando. Percepción Remota en la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Memorias de la I Reunión sobre Aprovechamiento de los Datos derivados de los Satélites Tecnológicos para el Estudio de los Recursos Naturales.
- (4) Gooda, Guillermo. Tesis Profesional, Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. (próxima a aparecer, 1976 tal vez).
- (5) Zarco Muñoz, Alfonso. Procesamiento Automático de imágenes de Satélite aplicado a la erradicación del gusano barrenador. Memorias de la I Reunión sobre aprovechamiento de los Datos derivados de los satélites tecnológicos para el Estudio de los Recursos Naturales.
- (6) García Sino, Fernando. El papel de Landsat I y Skylab en la elaboración del Plan Nacional Hidráulico. Memorias

de la I Reunión sobre aprovechamiento de los datos derivados de los satélites tecnológicos para el estudio de los Recursos Naturales.

- (7) Seco, Rosa. Detección de cuerpos de agua en fotografías del Satélite LANDSAT del Valle de México. Informe PR-71-12, Laboratorio PR, CIMAS-UNAM, Apdo. 20-726, México 20, D. F.
- (8) Guerra Peña, Felipe. La Hidrografía, factor analítico clave fundamental en la identificación de los rasgos naturales registrados en las fotografías aéreas. Publicación del Consejo de Recursos Naturales no Renovables. México, D. F. 1963.
- (9) Guerra Peña, Felipe. Las doce principales reglas de la interpretación fotogeológica y las bases fundamentales de que se derivan. Anuario de Geografía I, 1961, pp 80-116.
- (10) Guzmán, Adolfo. Proyecto PR. Informe de Actividades y Logros. Etapa Cero. Informe PR-75-2A. Laboratorio PR, CIMAS-UNAM, Apdo. 20-726, México 20, D. F. 1975.
- (11) Soto Esparza, Margarita. Uso de los Sensores Remotos en el Programa Flora de Veracruz. Memorias de la I Reunión sobre aprovechamiento de los datos derivados de los Satélites Tecnológicos para el Estudio de los Recursos -- Naturales.
- (12) López Acevedo, José Manuel. Superposición de Imágenes Digitales obtenidas por Satélite, de la misma área pero de fechas distintas. Informe PR-75-15, Laboratorio PR,

- CIMAS-UNAM, Apdo. 20-726, México 20, D. F. 1975.
- (13) Guerra, Víctor. Zonas urbanas del Valle de México vistas desde un satélite y analizadas por computadora. Informe PR-75-13, Laboratorio PR, CIMAS-UNAM, Apdo. 20-726, México 20, D. F. 1975.
- (14) Ludlow, Juan y Jinich, Armando. Sistema PR: Manual del Usuario. Informe PR-75-1, Laboratorio PR, CIMAS-UNAM, Apdo. Postal 20-726, México 20, D. F. 1975.
- (15) Guzmán, Adolfo. Decomposition of a visual scene into three-dimensional bodies. AFIPS Proc. FJCC, 1968.
- (16) Morain, Stanley A., and William, Donald L. Estimate of Winter Wheat Yield from ERTS-1 pp21,28, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication NASA-SP-351.
- (17) Barnes, Charles M., and Higuera Mota, Raúl. Applications of Remote Sensing to the eradication of the screwworm. Preliminary report of the developmental phase, April-December 1974. Job Order 92-105, Prepared by Lockheed Electronics Company, Inc. for Bioengineering Systems Division, NASA Johnson Space Center, Houston, Tex, March 1975. Report JSC 09582, LEC 5770.
- (18) Erb, R. Bryan. The utility of ERTS-1 data for applications in agriculture and forestry. pp75-85, Third Earth - -

- Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication - - NASA-SP-351.
- (19) Wigton, W. H., and Von Steen, D. H. Crop Identification and acreage measurement utilizing ERTS imagery. pp 87-92, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication NASA-SP-351.
- (20) MacDonald, R. B., Hall, F. G., and Erb, R. B. The use of Landsat data in a large area crop inventory experiment (LACIE). pp 181-183, Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed data, June 3-5, 1975, Purdue Univ, West Lafayette, Ind. Publication of IEEE # 75 CH 1009-0-C.
- (21) MacDonald, R. B. Agriculture, Forestry, range resources. pp 116-125. Third Earth Resources Technology Satellite Symposium, Vol II: Summary of results, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., Dec 1973. NASA - - Publication NASA-SP-356.
- (22) Nichols, James D., Gialdini, M., and Jaakkola, S. A. Timber inventory based upon manual and automated analysis of ERTS-1 and supporting aircraft data using multistage probability sampling. pp 145-157, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical - -

- Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication NASA-SP-351.
- (23) Blanchard, Bruce J. Measuring watershed runoff capability with ERTS data. pp 1089-1098. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA - - - Publications NASA-SP- 351.
- (24) Whiting, J. M. Determination of Groundwater inflow to prairie lakes using remote sensing. pp 2B-9 to 2B15, Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed data, June 3-5, 1975, Purdue Univ. West Lafayette, Ind. Publicación del IEEE # 75 CH 1009-0-C
- (25) Baumgardner, M. F., Kristof, S. J. and Henderson Jr , J. A. Identification and mapping of soils, vegetation and water resources of Lynn Country, Texas, by Computer analysis of ERTS MSS data- pp 17-30. Symposium on significant results obtained from ERTS-1; Vol II; Summary of results. NASA Goddard Space Center, Greenbelt, Md. March 1973. Publication X-650-73-127.
- (26) Lattman, L. H. Mineral resources, Geologic Structures and Landform Surveys. pp 106-114, Symposium of significant results obtained from ERTS-1; Vol II: Summary of results. NASA Goddard Space Center, Greenbelt, Md. March 1973. Publication X-650-73-127.

- (27) Latham, E. H., et al Preliminary geologic application of ERTS-1 imagery in Alaska. pp 31-38, Symposium of significant results obtained from ERTS-1; Vol. II: Summary of results. NASA Goddard Space Center, Greenbelt, Md. March 1973. Publication X-650-72-127.
- (28) Hallberg, G. R., Hoyer, B. E., and Rango, A. Application of ERTS-1 imagery to flood inundation mapping. pp 51-70. Symposium of significant results obtained from ERTS-1; Vol II: Summary of results. NASA Goddard Space Center, Greenbelt, Md. March 1973. Publication X-650-72-127.
- (29) Vanselous, T. M., et al Fisheries utilization of remotely sensed data. pp 2B16-2B22, Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed data, June 3-5, 1975, Purdue Univ. West Lafayette, Ind. Publicación del IEEE # 75 CH 1009-0-C.
- (30) Wang, P. P., and Burns, R. C. Signature Analysis and recognition of severe weather patterns. pp 3B1-3B1D, Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed data, June 3-5, 1975, Purdue Univ. West Lafayette, Ind. Publicación del IEEE # 75 CH 1009-0-C.
- (31) Billingsley, J. B., and Hasler, A. F. Interactive image processing for meteorological applications at NASA/Goddard Space Flight Center, pp 3B21-30, Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed data, June 3-5, 1975, Purdue Univ. West Lafayette, Ind. Publicación del IEEE # 75 CH 1009-0-C.

- (32) Longshaw, T. G., and Viljoen, R. P. Summary of photographic display of ERTS-1 CCT images for improved geological definition. pp 332, 33, Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed data, June 3-5, 1975, Purdue Univ., West Lafayette, Ind. Publicación del IEEE # 75 CH 1009-0-C.
- (33) Joyce, A. T., and Pendleton, T. W. Computer-implemented land use classification with pattern recognition software and ERTS digital data. pp 331-338, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium Vol I: Technical Presentations A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication NASA-SP- 351.
- (34) Raje, Surendra, et al. Interactive analysis and evaluation of ERTS data for regional planning and urban development: Los Angeles basin case study. pp 351-370, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C. December 1973. NASA Publication NASA-SP-351.
- (35) Rowan, L. C., et al. Mapping of hidrotermal alternation zones and regional rock types using computer enhanced ERTS MSS images. pp 807-808, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication NASA-SP-351.

- (36) Nicolais, S. M. Mineral exploration with ERTS imagery, pp 785-789. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentation, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication NASA-SP-351.
- (37) Williamson, A. N., and Crabans, W. E. Sediment concentration mapping in tidal estuaries. pp 1347-1386. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication NASA-SP-351.
- (38) Pedgley, D. E. ERTS surveys a 500 KM² locus breeding site in Saudi Arabia. pp 233-246, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentaion, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication NASA-SP-351.
- (39) Polcyn, F. C., and Lyzenqa, D. R. Updating coastal and navigational charts using ERTS-1 data. pp 1313-1346, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentaion, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication NASA-SP-351.
- (40) Stevenson, W. H., et al. A review of initial investigations to utilize ERTS-1 data in determining the availability and distribution of living marine resources, pp 1317-1332, Third Earth Resources Technology Satellite-1

Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publication NASA-SP-351.

- (41) Yarger, H. L., et al. Quantitative water quality with ERTS-1 pp 1637-1652, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publications NASA-SP-351.
- (42) Varney, J. R., Craighead, J. J., and Sumner, J. S., An Evaluation of the use of ERTS-1 satellite imagery for grizzly bear habitat analysis pp 1653-1670, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publications NASA-SP-351.
- (43) Work, E. A., Gilmer, D. S., and Klett, A. T. Utility of ERTS for monitoring the breeding habitat of migratory waterfowl. pp 1671-1686, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol I: Technical Presentations, Sections A and B, Goddard Space Flight Center, Washington, D. C., December 1973. NASA Publications, NASA-SP-351.

AGRADECIMIENTOS.

A los miembros de PR, y sobre todo a nuestros estudiantes y becarios, quienes hicieron posible la Etapa Cero del Proyecto PR que aquí se ha mencionado.

A los ingenieros Juan Puig de la Parra, Héctor Alonso y Angel García Amaro, de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Secretaría de la Presidencia, por sus magníficas fotos y mapas, y por su apoyo y aliento.

A los señores Robert MacDonald y Arnold Frutkin, del Earth Observation Program, NASA, EEUU, por su colaboración y apoyo fraternal.

A los ingenieros Raúl Higuera Mota, Sergio Padilla Guzmán y Nicolás Flores, de la Comisión Nacional del Espacio Exterior, S. C. T., por el uso de sus instalaciones y acceso a información relevante.

Al Dr. Francisco Andrade y a la Lic. Ana Estela Lozano, de la Dirección General de Economía Agrícola de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, por su apoyo, colaboración e interés en nuestro trabajo.

A Elizabeth Derbez, por su eficiente ayuda secretarial.

INFORMES TECNICOS DEL PROYECTO PR.

- PR-75-1. Ludlow Juan y Jinich, Armando.
Sistema PR: Manual del Usuario.
- PR-75-2. Guzmán Adolfo.
Percepción Remota por Computadora: equipo, programas y aplicaciones. Noviembre 1975.
- PR-75-2A. Guzmán Adolfo.
Proyecto PR: Informe de Objetivos y Logros. Etapa Cero.
Octubre 1975.
- PR-75-3. Ludlow, Juan y Jinich, Armando.
Sistema PR: Manual de Referencia.
- PR-75-4. Guerra, Víctor.
Clasificación por Computadora de Imágenes del Satélite LANDSAT.
- PR-75-5. Jinich, Armando y Ludlow, Juan.
Métodos de Impresión Digital de Imágenes.
- PR-75-6. Guzmán, Adolfo.
Cómo se usan las muestras terrestres para detección por Computadora de cultivos en fotografías: aprendizaje supervisado.
- PR-75-7. Ludlow, Juan y Guzmán, Adolfo.
Métodos de Agrupamiento ("clustering") por computadora de muestras multiespectrales: aprendizaje no supervisado.

- PR-75-8. Guerra, Víctor.
Un monitor interactivo simple para clasificación automática de imágenes de Satélite.
- PR-75-9. Guerra, Víctor, Seco, Rosa.
Algoritmos de verificación y comparación de las clasificaciones de cultivos obtenidas por la computadora de imágenes de Satélite.
- PR-75-10. Jinich, Armando.
Un monitor interactivo eficiente para clasificación automática de imágenes de satélite: careo avorazado de expresiones.
- PR-75-11. Díaz, Max.
Colores intermedios y pixels parciales ayudan a identificar pequeños campos agrícolas.
- PR-75-12. Seco, Rosa.
Detección por computadora de cuerpos de agua en fotografías Satélite LANDSAT del Valle de México.
- PR-75-13. Guerra, Víctor.
Zonas urbanas del Valle de México vistas desde un Satélite y analizadas por computadora.
- PR-75-14. Sánchez, Víctor Germán.
Nubes e histogramas ayudan a la detección de cosechas por computadora.
- PR-75-15. López, José Manuel.
Superposición de imágenes digitales obtenidas por Satélite, de la misma área pero de fechas distintas.

PR-75-16. Barquet, Jennie Becerra.

Detección por Computadora de Rasgos Lineales en
Fotografías de Satélite.

Los reportes anteriores pueden adquirirse en:
CIMAS-UNAM, Biblioteca
Apdo. 20-726. México 20, D. F. México.

Un pago voluntario de veinte pesos m. n.
por reporte, que compensa los gastos de impresión,
permitirá al Proyecto una mejor difusión de sus
resultados.
Haga sus cheques a favor de: CIMAS-UNAM.