

## INSCRIPCIONES

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA DE LA  
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
LA FACULTAD DE INGENIERIA. U. N. A. M

Palacio de Minería Calle de Tacuba No 5  
Mexico 1. D. F.

### Horario de oficinas:

Lunes a viernes de 9 a 18 h.

**Cuota de inscripción \$3,000.00**

La cuota de inscripción incluye

- o una carpeta con las notas de los profesores
- o bibliografía sobre el tema
- o servicio de cafetería

### Requisitos

- o Pagar la cuota de inscripción o traer oficio de la empresa o institución que ampare su inscripción, a más tardar una semana antes del inicio del curso
- o Llenar la solicitud de inscripción

Para mayores informes hablar a los teléfonos

521-40-20      521-73-35      512-31-23

### CONSTANCIA DE ASISTENCIA

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería de la U N A M, otorgaran una constancia de asistencia a los participantes que concurren regularmente y que realicen los trabajos que se les asignen durante el curso

CIRCULA LIBRE DE PORTE  
POR VIA DE SUPERFICIE  
Y DENTRO DEL TERRITORIO NAL.  
ART 17 LEY ORGANICA DE LA U N A M

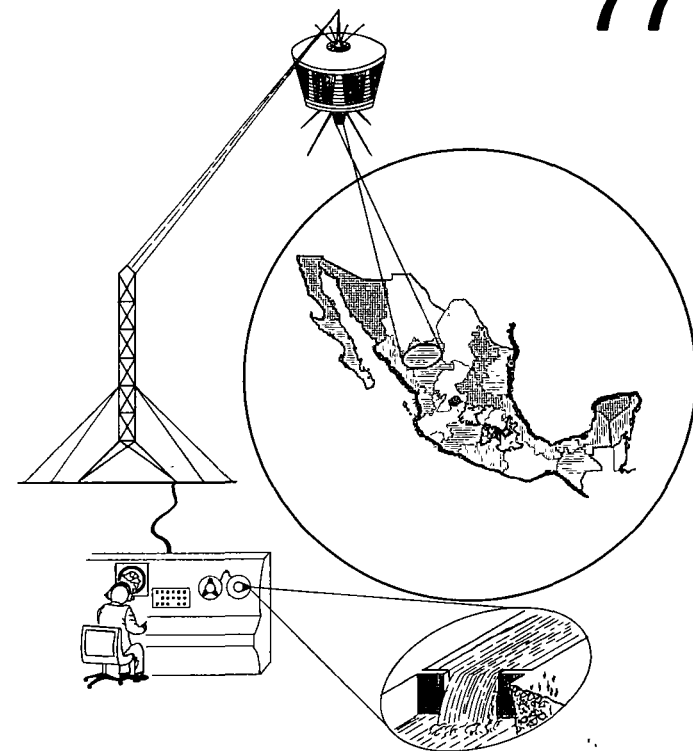


centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, u n a m

Palacio de Minería  
Calle de Tacuba No. 5  
México 1, D.F.



77



# FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

**DURACION:** 40 h

**FECHAS:** Del 7 al 18 de noviembre

**HORARIO:** Lunes a viernes de 17 a 21 h

**Coordinador:** Ing Raul Cejudo Ortega

Con patrocinio de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico y la Dirección General de Grande Irrigación

centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, u n a m





centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DEL CENTRO DE EDUCACION  
CONTINUA

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del Jefe del Centro de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso. Las personas que deseen que aparezca su título profesional precediendo a su nombre en la constancia, deberán entregar copia del mismo o de su cédula a más tardar el SEGUNDO DIA de clases, en las oficinas del Centro con la señorita encargada de inscripciones.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona encargada de entregar las notas del curso. Las inasistencias serán computadas por las autoridades del Centro, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo del 80% de asistencia.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece el Centro están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso. Las personas comisionadas por alguna institución deberán pasar a inscribirse en las oficinas del Centro en la misma forma que los demás asistentes, entregando el oficio respectivo.

Con objeto de mejorar los servicios que el Centro de Educación Continua ofrece, al final del curso se hará una evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos por parte de los asistentes.



CENTRO DE EDUCACION CONTINUA DESFI

"FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS"

FECHA: Del 7 al 18 de noviembre  
 DURACION: 40.00 hrs.  
 COORDINADOR: Ing. RAÚl Cejudo Ortega  
 HORARIO: Lunes a viernes de 17.00 a 21.00 hrs

TEMA	PROFESOR	HORARIO	FECHA
I. FOTOGRAMETRIA	Ing. Antonio Bolaños Medina	17 a 21 hrs.	7,8 y 9 de Nov.
II. FOTO INTERPRETACION	Ing. Alejandro Guzmán Aguirre	17 a 21 hrs.	10, 11 de nov.
III. CARTOGRAFIA	Ing. José Gonzalo Vargas	17 a 21 hrs.	14, 15 de Nov.
IV. SENSORES REMOTOS	Fis. Armando Jinich	17 a 21 hrs.	16 de nov.
	Dr. Adolfo Guzmán Arenas	17 a 19 hrs.	
	M. en C. Guillermo Baz		17 de nov.
V. APLICACIONES DE LA PERCEPCION	Ing. Fernando García Simo	19 a 21 hrs.	17 de nov.
	Ing. Carlos Acosta del Campo	17 a 21 hrs.	18 de nov.
VI. PRACTICA LABORATORIO DE PERCEPCION REMOTA DEL IIMAS, UNAM	Fis. Armando Jinich	9 a 13 hrs.	19 de nov.

DIRECTORIO DE PROFESORES  
DEL CURSO

"FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS"

1. ING. CARLOS ACOSTA DEL CAMPO  
JEFE DEL. DPTO. TECNOLOGIA ESPACIAL  
CONSEJO DE RECURSOS MINERALES  
Niños Heroes No. 139-6° Piso  
México 7, D. F.  
Tel. 578-62-26
  
2. ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA  
PROF. DE FOTOGRAMETRIA E.S.I.A.  
Calle San Matías No. 28  
Col. Iztacalco  
México 8, D. F.
  
3. ING. FERNANDO GARCIA SIMO  
I.P.E.S.A.  
DIRECTOR DE DESARROLLO CIENTIFICO  
San Lorenzo No. 153-6° Piso  
Col. del Valle  
México 12, D. F.  
Tel. 575-40-77 y 559-17-23
  
4. ING. JOSE GONZALO VARGAS  
DETENAL  
  
Insurgentes Norte No. 476-702  
Col. Tránsito  
México 4, D. F.  
Tel: 578-62-00 Ext. 175 y 176
  
5. ING. ALEJANDRO GUZMAN AGUIRRE  
PROFESOR INVESTIGADOR  
INST. DE INV. DE MAT. APLICACIONES  
Y SISTEMAS, UNAM.
  
6. DR. ADOLFO GUZMAN ARENAS  
PROFESOR INVESTIGADOR  
INST. DE INV. DE MAT. APLICACIONES  
Y SISTEMAS, UNAM.

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO  
"FOTOGAMETRIA Y SENSORES REMOTOS"

7. M. en C. GUILLERMO BAZ  
PROFESOR INVESTIGADOR  
INST. DE INV. DE MAT. APLICACIONES  
Y SISTEMAS, UNAM.
  
8. FIS. ARMANDO JINICH  
PROFESOR INVESTIGADOR  
INST. DE INV. DE MAT. APLICACIONES  
Y SISTEMAS, UNAM.  
Tel. 550-52-15

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

CURSO: "FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS"

FECHA: Del 7 al 18 de noviembre

PROFESOR Y/O TEMA

		Dominio del tema.	Eficiencia en el uso de ayudas audiovisuales.	Mantenimiento del interés (amenidad, facilidad de expresión, comunicación con los alumnos).	Puntualidad.
FOTOGRAMETRIA	Ing. Antonio Bolaños M.				
TO INTERPRETACION	Ing. Alejandro Guzmán A				
CARTOGRAFIA	Ing. José Gonzalo Vargas				
SENSORES REMOTOS	Fis. Armando Jinich				
SENSORES REMOTOS	Dr. Adolfo Guzmán Arenas				
SENSORES REMOTOS	M. en C. Guillermo Baz				
APLICACIONES DE LA PERCEPCION	Ing. Fernando García S.				
APLICACIONES DE LA PERCEPCION	Ing. Carlos Acosta del C.				
PRACTICA	Fis. Armando Jinich				

EVALUACION DEL CURSO

	CONCEPTO	EVALUACION
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO CON EL CURSO	
4.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO CON EL CURSO	

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10



1. ¿Qué le pareció el ambiente del Centro de Educación Continua?

Muy agradable                       Agradable                       Desagradable

2. Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

Periódico Excélsior                       Periódico Novedades                       Folleto del Curso

Cartel mensual                       Radio Universidad                       Comunicación carta, teléfono, verbal, etc.

3. Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería:

Automóvil particular                       Metro                       Otro medio

4. ¿Qué cambios haría usted en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

---

---

---

5. ¿Recomendaría el curso a otras personas?                      Si                       No

6. ¿Qué curso le gustaría que ofreciera el Centro de Educación Continua?

---

---

---

7. ¿Qué servicios desearía que tuviese el CEC para los asistentes a cursos?

---

---

---

8. Otras sugerencias:

---

---

---



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

FOTOGRAMETRIA

ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

Noviembre de 1977

## F O T O G R A M E T R I A

= = = = =

DEFINICION.- La Fotogrametría se define de manera sencilla, como el arte de hacer planos y mapas por medio de las fotografías aéreas y terrestres. También se puede definir de otras dos formas; como el proceso que permite conocer la forma, dimensiones y ubicación, de los objetos fotografiados, a través de sus imágenes fotográficas correspondientes; y como la métrica aplicada a las fotografías.

ANTECEDENTES.- El empleo de la fotogrametría en sus distintas formas data de muchos años atrás; es tan antigua como una ciencia específica. En el año de 1839 se hizo público el invento de la fotografía por Niepce y Daguerre; y cuando se logró hacer fotografías de un modo práctico, se pensó en aplicar el descubrimiento a los levantamientos cartográficos. No hubo duda en apreciar que la fotografía era el medio más ventajoso de conservar latentes los diferentes puntos y rayas provenientes de un objeto fotografiado, por corresponder a cada punto de éste, otro punto igual en la imagen, o por cada recta que pase por el primero, otra recta igual en el segundo. Pero había que pensar la manera de reconstruir en un momento dado, la forma y dimensiones de lo fotografiado; fué así como el capitán Francés A Laussedat,

a quien se le atribuye ser el verdadero fundador de la Fotogrametría invento el primer método de Restitución basado en dos fotografías del mismo objeto, tomadas desde dos estaciones distintas, en este caso desde los extremos de una línea llamada Base. Las visuales que desde cada estación se dirigen hacia un objeto, forman dos haces de rectas cuyos centros de proyección son las estaciones de toma de fotografías precisamente; de donde es posible deducir dos direcciones para fijar el punto de objeto a reproducir por intersecciones;

haberla incorporado a la computación electrónica. En México el campo de acción de la Fotogrametría es muy vasto, pero su desarrollo ha sido lento. En la Actualidad pocas empresas se dedican a la práctica de la Fotogrametría; y en las Instituciones Docentes de Enseñanza Superior, ha faltado visión para avocarse a la enseñanza de tan importante disciplina.

APLICACIONES.- El aporte de la Fotogrametría a las actividades humanas es positivamente importante y su campo principal lo constituye la Topografía, en donde de manera considerable se aplica con gran éxito. A lo anterior se añaden múltiples usos de la Fotogrametría, tanto en la investigación como en el aspecto práctico; así por ejemplo: se aplica a estudios y proyectos de obras de Ingeniería Civil; en levantamientos de exploración en general para el conocimiento y evaluación de los recursos naturales y humanos del País de una región; tiene gran importancia en la solución de problemas catastrales, urbano y rural; se aplica en estudios arqueológicos y en muchos otros casos específicos. Asimismo, conociendo la función más amplia de una planificación, que es la de representar las formaciones topográficas y las obras humanas existentes en una región determinada, con la mayor fidelidad posible, conviene advertir que no existen métodos más ventajosos que los procedimientos fotogramétricos para ello.

ESTEREOFOTOGRAFIERIA.- La estereofotogrametría nos proporciona un medio objetivo de lo fotografiado, permitiéndonos la facultad y con la mayor comodidad en gabinete, de conocer la fisonomía del terreno en relieve; asimismo todo su contenido; natural y artificial; todas sus formaciones; sus pendientes; su vegetación, etc., etc. Es sin duda, la base fundamental para los fines de Fotoin-

con el equipo de que se dispone, determinar la escala media de las fotografías, los recubrimientos longitudinal y lateral y la altura de vuelo "H" a que deben ser tomadas, tal como se procede en el cálculo del proyecto de vuelo en las páginas siguientes.

Después de conocer la ubicación y forma del terreno con sus dimensiones, se programan las líneas de vuelo por medio de rectas ~~que~~ paralelas; y como por lo general todas las áreas por fotografías son irregulares, se recomienda orientar las líneas en dirección de los lados más largos del terreno, con el fin de tener el menor número de ellas posible, pues de adoptar otro rumbo, aumentaría el trabajo en los procesos subsecuentes. Se dice que las mejores direcciones para un levantamiento fotográfico son las Norte-Sur y las Este Oeste; sin embargo esto sólo responde a una facilidad de vuelo cuando el área de terreno tenga esta ubicación, pero en la mayoría de los casos no sucede lo mismo. Por ejemplo, en la

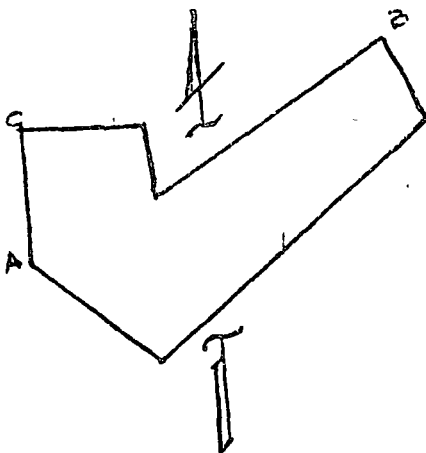
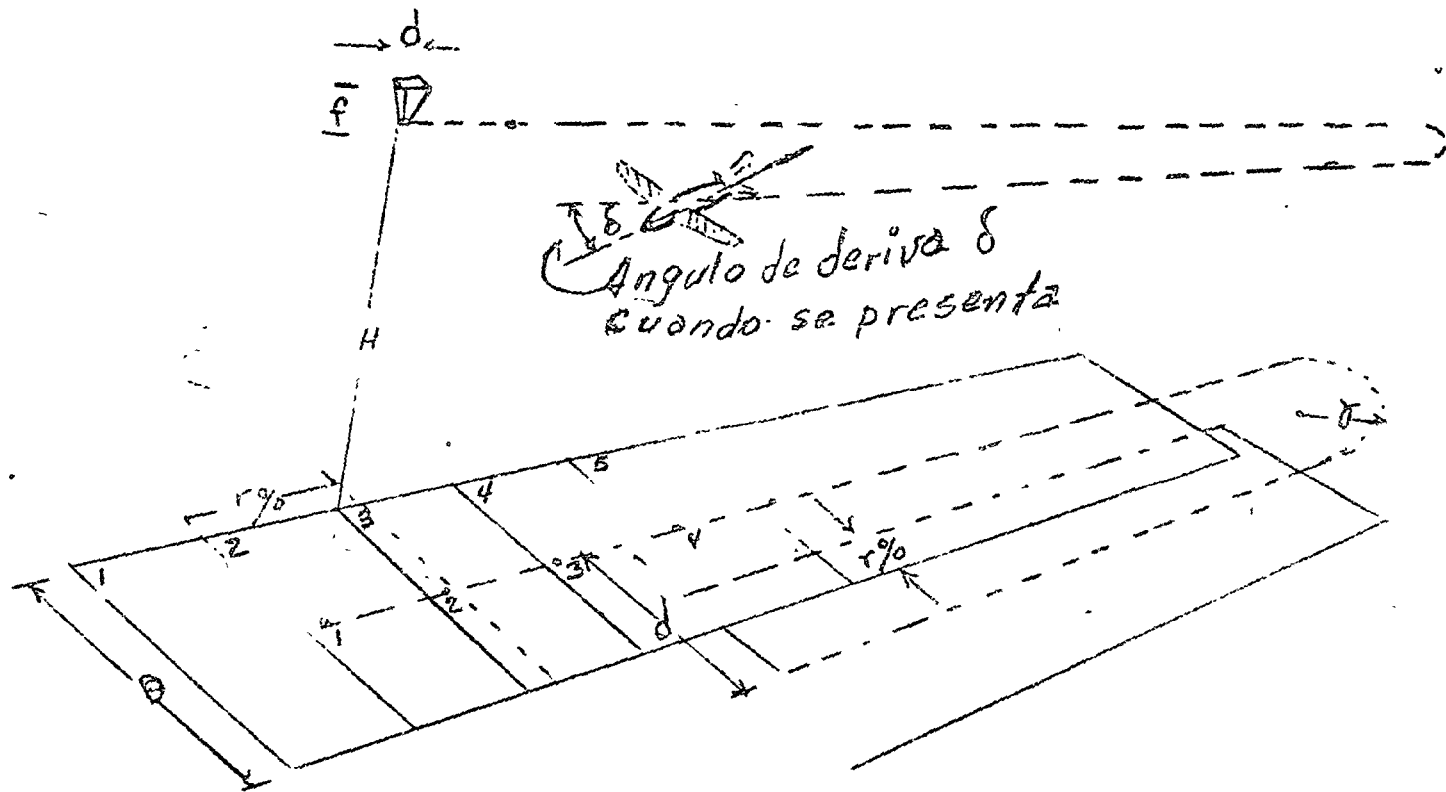


figura No. las líneas de vuelo se haría en la dirección AB y no en la AC; salvo que por razones de subdivisión del área, como resultado de un reacomodo de las fajas de vuelo, tendría preferencia la dirección NS.

Si los rectángulos o fajas en que se haya dividido el terreno para su levantamiento son de una longitud tal que no sea posible volar sin instrumentos especiales de navegación, entonces se puede dividir el área en secciones con el propósito de acortar las líneas para que el piloto no pierda de vista los controles naturales y artificiales de que se vale para poder localizar los centros de las líneas adyacentes y lograr el paralelismo que debe haber entre ellas; ya que en nuestro medio la ejecución correcta del trabajo depende más que nada de la experiencia de los operadores, a falta de sistemas de navegación. Sin embargo con los accesorios propios de la cámara fotogramétrica puede lograrse una precisión de  $\pm 3\%$  lateral y del 1% en la longitudinal.



En esta figura se ve el esquema de la forma de vuelo, así como los traslapes longitudinal y transversal.

2.2

Fig. 2 y 3 Esquemas de los tableros que se mencionan en el párrafo anterior.

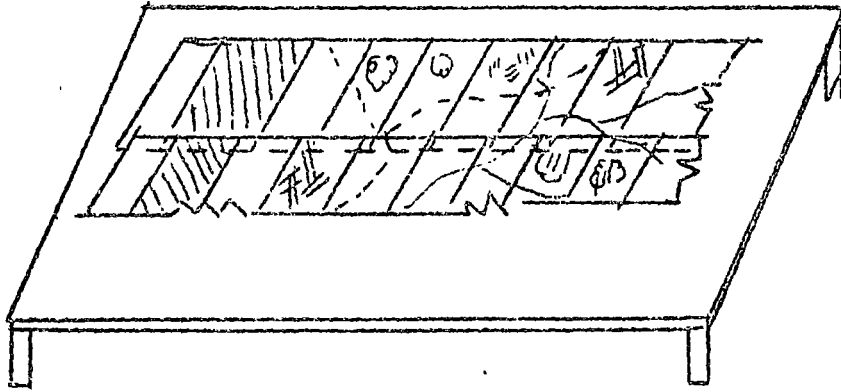


Fig. No. 2 Tablero Horizontal

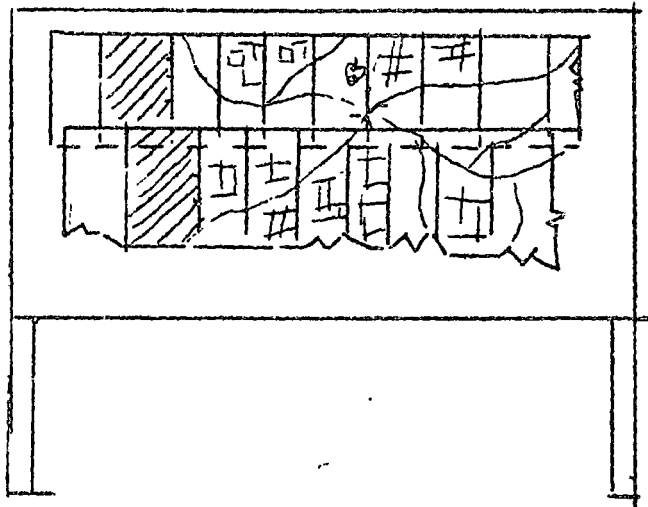


Fig. No. 3 Tablero Vertical

Siendo que las fotografías se colocan en sus tamaños reales en los tableros, cuando la zona levantada es extensa, no es posible integrar el mosaico en un sólo tablero; por lo que se puede hacer en secciones, ya sea empleando otros tableros o descargando sucesivamente el mismo. Cada sección de mosaico debe hacerse con una pequeña sobreposición para poder relacionarlas entre sí, cuando se quiera armar el conjunto fotografiado.

Un mosaico puede confeccionarse con fotografías de tamaño reducido también, pero el proceso de reducción implica algún costo; por lo que para comodidad de manejo de un fotoíndice, del tendido original se hacen reproducciones fotográficas a escalas pequeñas adecuadas; estas reproducciones se logran con el empleo de cámaras fotográficas especiales llamadas "Cámaras reproductoras", cuyos formatos son hasta de 70 cms. por 90 cms., o más y para el enfoque se desplazan sobre rieles hasta de 10 m. de longitud. Véase la figura No.

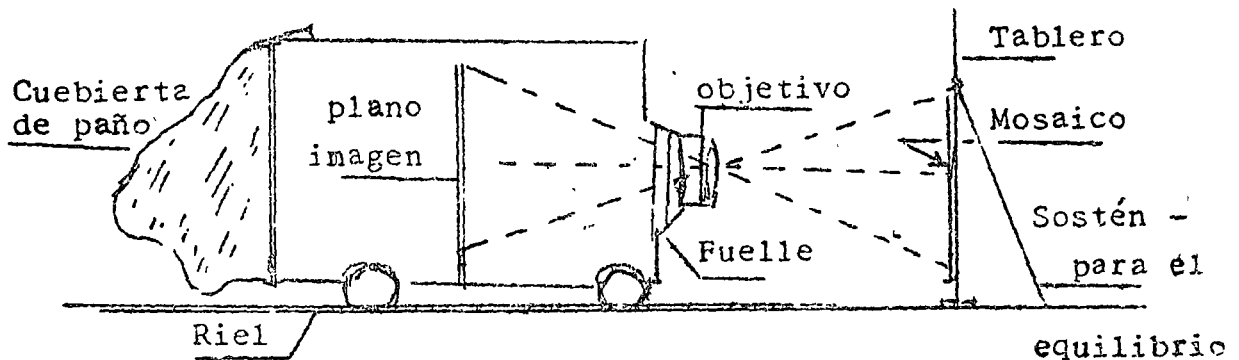


Fig. No. 6 Esquema de una cámara fotográfica reproductora.



contenido planimétrico del mosaico queda a escala determinada.

La rectificación consiste en el logro de las condiciones fotográficas apropiadas, para poder obtener de las fotografías datos reales y precisos.

El proceso de rectificación se desarrolla como sigue: a partir de puntos de posición conocida, que pueden ser puntos de apoyo terrestre si han sido medidos por medios topográficos directos, o puntos de control fotogramétrico si han sido determinados por triangulación Radial o por Aero-triangulación, etc., puestos a escalas en una hoja cuadrículada y señalados esos mismos puntos en las negativas de las fotografías correspondientes; y con el empleo de un aparato fotogramétrico denominado rectificador de imágenes, se llega a la rectificación buscada, haciendo que las imágenes fotográficas proyectadas por el rectificador, crezcan o disminuyan, según el caso, hasta una distancia igual a la dada por los puntos situados en la cuadrícula a la escala a la que va a confeccionar el mosaico específicamente.

Un rectificador de imágenes se compone de tres partes esenciales: un soporte vertical, una cámara fotográfica que se desplaza sobre el soporte anterior y un tablero en la parte inferior del mismo eje vertical; dicho tablero además del desplazamiento vertical, puede inclinarse en varios sentidos y girar alrededor de su eje vertical. Véase la figura No. 3

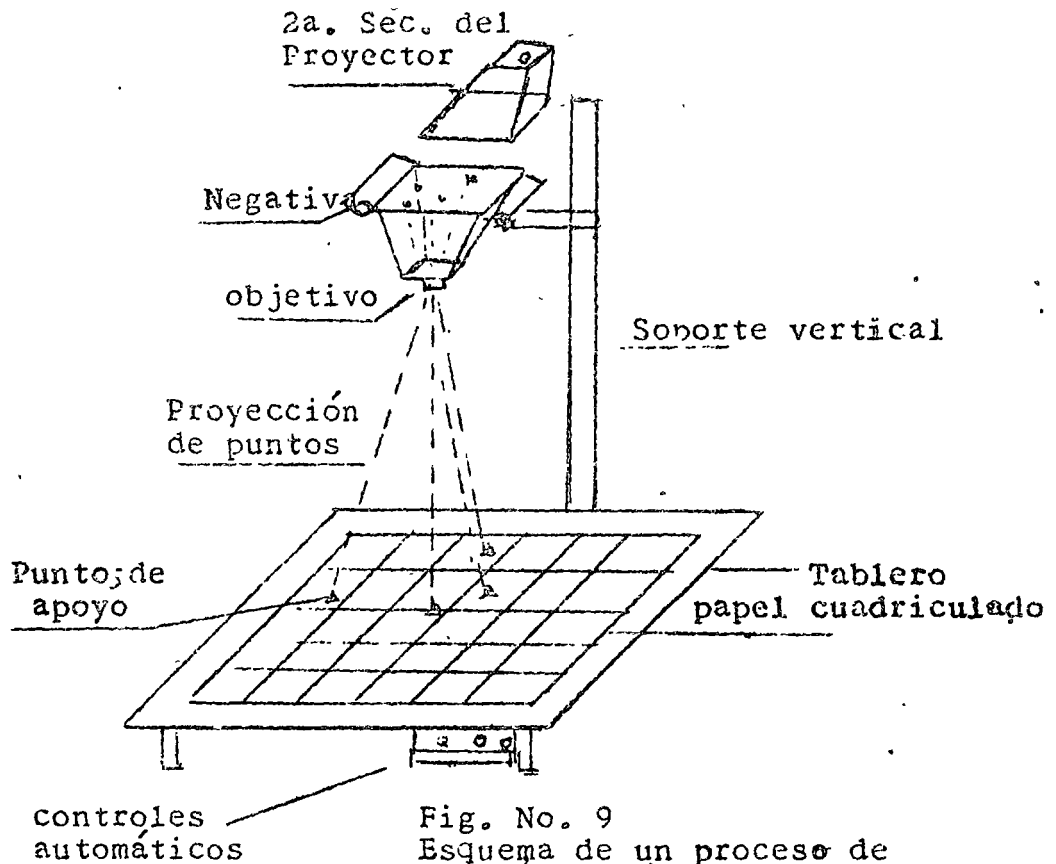
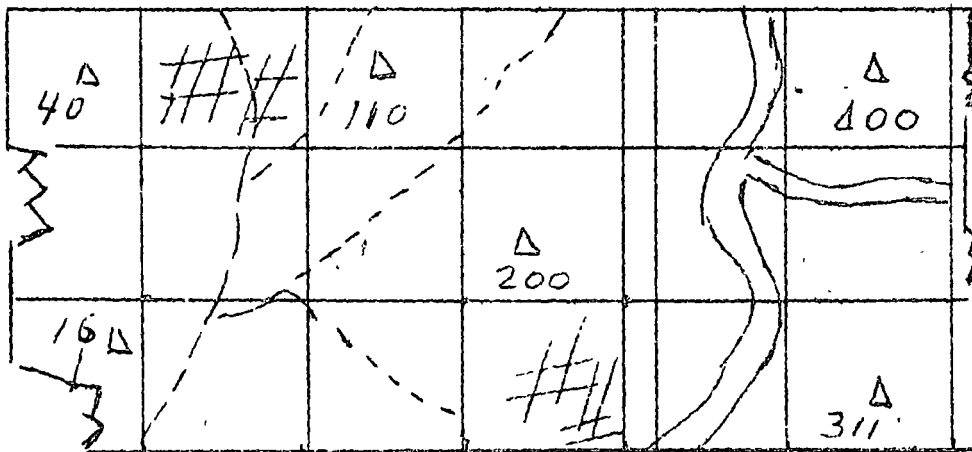


Fig. No. 9  
Esquema de un proceso de rectificación.

Para mayor facilidad de trabajo en la elaboración de un mosaico, de la proyección fotográfica rectificada de cada fotografía, se dibujan en la hoja cuadrículada todos los detalles sobresalientes como caminos, ríos, arroyos y otros que a juicio de los operadores puedan servir posteriormente de control para el pegado de las fotografías del mosaico. Véase la fig. No.



## RESTITUCION FOTOGRAMETRICA

La restitución fotogramétrica puede entenderse como un proceso que permite la elaboración de mapas y planos por medio de las fotografías aéreas ó también terrestres.

Este proceso empieza desde la toma de fotografías en orden progresivo y con un porcentaje de traslape del tamaño de las fotografías, entre la primera y la segunda, entre ésta y la tercera, etc. El traslape de referencia resulta de fotografías desde dos estaciones diferentes, la misma zona de terreno; y es un requisito indispensable para poder observar el terreno fotografiado en tercera dimensión para un estudio.

Esto es la parte más trascendental en el proceso fotogramétrico, cuyo fenómeno se explica a continuación.

## ESTEREOSCOPIA

La estereoscopia es un fenómeno virtual por medio del cual es posible ver los objetos fotografiados en tercera dimensión, a través de sus imágenes correspondientes. La visión estereoscópica se verifica en la zona de superposición de

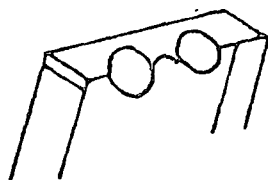


Fig. No.15 Esquema de un estereoscopio de lentes, llamado por su tamaño, estereoscopio de bolsillo.

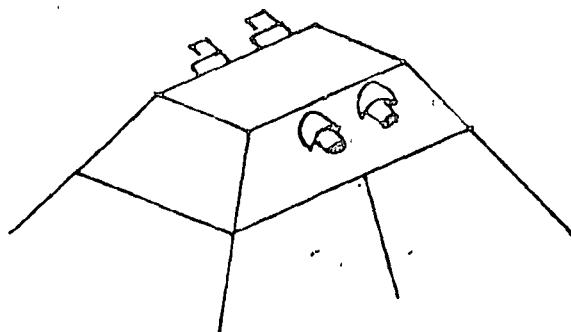


Fig. N<sup>o</sup>.16 Esquema de estereoscopio doble para la observaci<sup>o</sup>n simult<sup>anea</sup> de instructor y aprendiz.

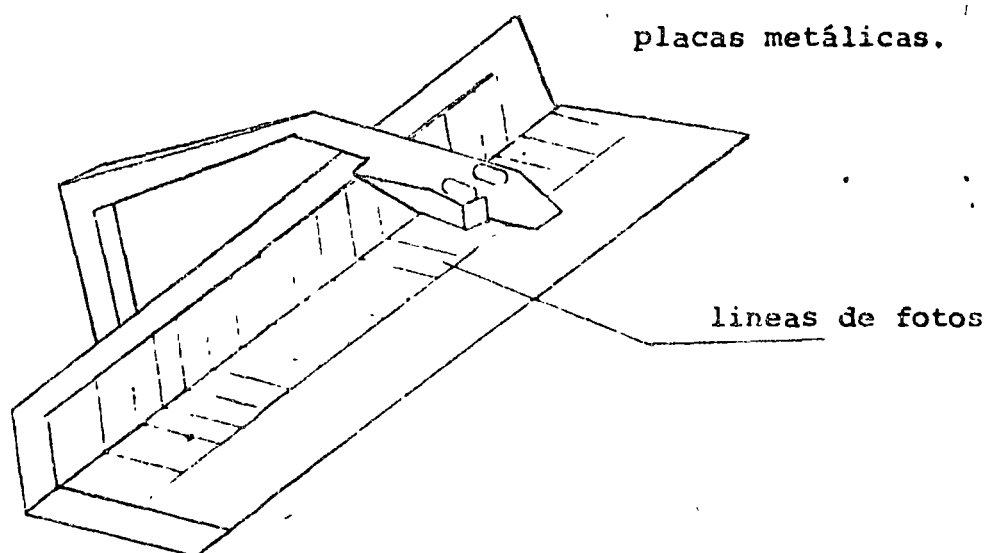


Fig.No.17 Esquema de un estereoscopio de brazo, de lentes y prismas para examinar líneas de fotos.

El artificio de un estereoscopio es para obligar al observador a ver dos imágenes de un mismo objeto, adoptando la posición similar a la de la cámara fotográfica en el momento de la toma de las fotografías y en tales condiciones poder reproducir en forma virtual, el haz de rayos luminosos cuyas intersecciones se forman en el cerebro, dando por resultado la sensación de relieve por fusión de imágenes.

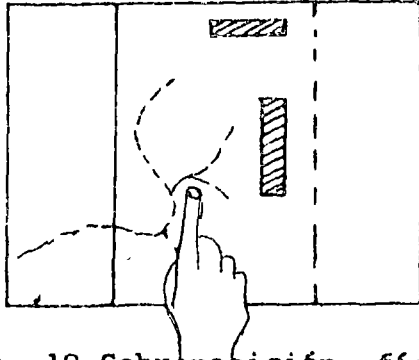


Fig. No. 18 Sobreposición física de las dos fotografías como si cada detalle o figura fotografica se fusionara con su homóloga.

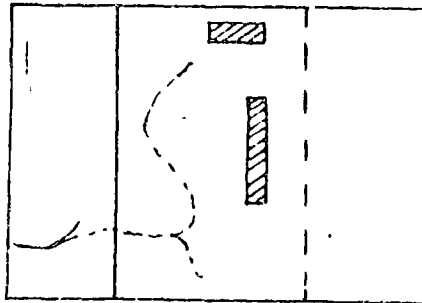


Fig. No. 19 En posición de dos, someter las fotografías debajo del estereoscopio y separarlas más o menos 6 cm.

4. Escoger, en el área del modelo de cada fotografía un detalle común sobresaliente, señala con los dedos índices como se ve en la figura número                      y en posición de observación, como en la figura número                      apoyar los dedos en las fotografías para poder juntarlas ó separarlas, según el caso, hasta lograr que las imágenes de los dedos se fusionen en una sola, esto es: como si un dedo se sobrepusiera física y exactamente sobre el otro.

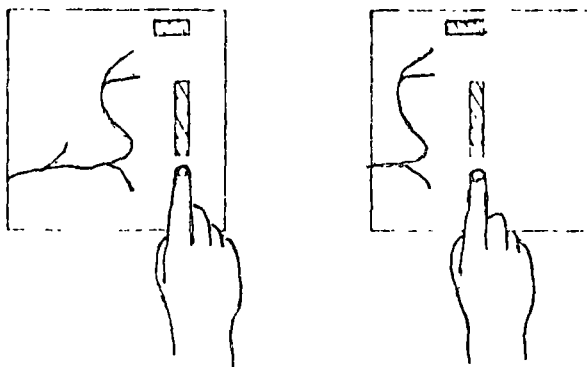


Fig. No. 21

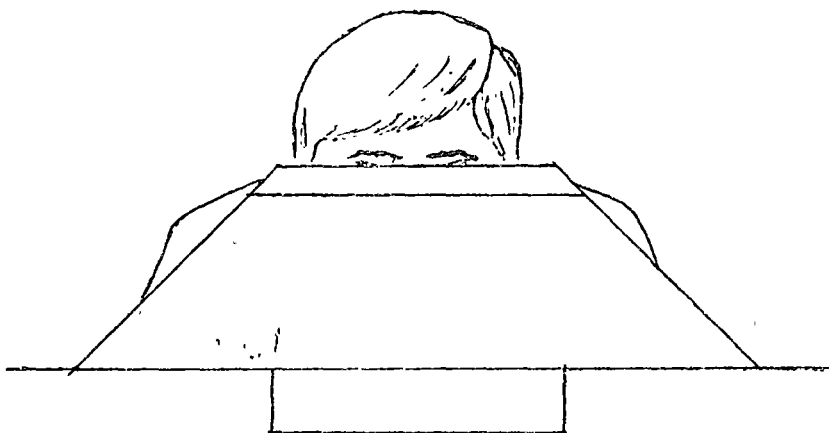


Fig. No. 22

ra número

Una vez concebido el fenómeno de la estereoscopia en los aparatos elementales antes descritos, la gama de aparatos de restitución es abundante, agrupándose en aparatos de 1º, 2º y 3er. orden, atendiendo al tipo y precisión de trabajo que con cada uno de ellos se puede ejecutar.

Resultaría tedioso entrar en detalle respecto al funcionamiento de cada uno de ellos, por lo que a grandes rasgos señalaremos que en los proyectos del aparato de restitución, se colocan las placas fotográficas para la concepción del modelo estereoscópico; y con ayuda de puntos terrestres de posición conocida dibujados en una cuadrícula rectangular a escala, darle al modelo del terreno la posición que éste tenía en el momento de ser fotografiado; de este hecho procede el concepto de restitución. A continuación se recurre a los implementos con que cuenta el aparato para transferir el contenido fotográfico que sea de interés, tanto en el aspecto planimétrico como en el altimétrico por medio de las curvas de nivel, a la hoja cuadrículada puesta a escala y que será el plano de restitución.



pueden llegar a tomar un carácter serio.

Respecto a la reproducción de los planos, es de todos conocidos los procedimientos usuales y otros de mejor técnica; pero debido al uso que las copias ó reproducciones se acostumbra, siempre serán lo menos costosas, con la condición de que no se alteren en nada su geometría.

Ahora como recomendación, deben procurarse los planos de restitución para efectos de comprobación de las originales y de las reproducciones.

#### ORTOFOTO

La ortofotografía, es un procedimiento fotogramétrico por medio del cual es posible transformar la perspectiva central -  
cónica de las fotografías aéreas, en proyección horizontal u  
oblicua; de este hecho procede el concepto.

El proceso es posible en aparatos fotogramétricos especiales,  
donde se modifican uno a uno los rayos de las imágenes -  
va ser integrados en proyección plana.

## GEOMETRÍA DE LAS FOTOGRAFÍAS

Se entiende por geometría de las fotografías, la relación que existe entre los objetos o partes fotografiados y sus imágenes correspondientes en las fotografías.

Los elementos que sirven para establecer las relaciones geométricas son: la altura de vuelo o altura de toma de las fotografías "H"; la distancia principal o constante focal "f" de la cámara fotogramétrica y las dimensiones del formato. Obsérvense los elementos citados y la geometría correspondiente, en la figura No. 1

Ahora bien, una vez establecidos los conceptos anteriores, resulta fácil comprender que todas las imágenes fotográficas quedar sometidas a escalas determinadas, las cuales pueden llegar a conocerse en cada caso.

ESCALA.- Se llama escala a la relación que existe entre el dibujo y la parte medida directamente, llamada parte real, cuya expresión matemática es:

$$\frac{c}{D} = \frac{I}{E} = 1 : E$$

En la cual:

El numerador representa las partes dibujadas, según el sistema y el denominador, llamado módulo de la escala, la equivalencia real.

Las escalas por su uso y precisión, se clasifican en: grandes, medias y pequeñas; considerándose grandes las comprendidas entre los límites de: 1:1 a 1:10 000; de 1:10 000 a 1:50 000 son medias y pequeñas las de 1:50 000 en adelante.

La figura siguiente representa una exposición de eje vertical de una parte de terreno sensiblemente horizontal, cuyos elementos van a servir para establecer la fórmula de la escala de la fotografía.

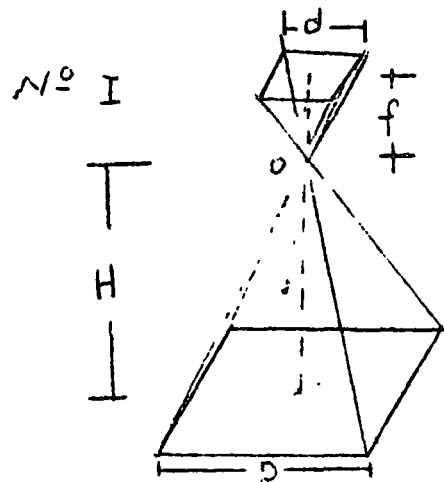
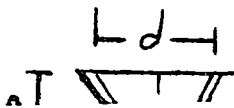


Fig. No. 1. Se muestra una exposición fotográfica con los elementos para establecer las relaciones geométricas.

figura y por definición de ese se tiene:  $\frac{1}{E} = \frac{d}{D} = \frac{f}{H}$

onde: d, imagen fotográfica  
 distancia real o parte fotografiada  
 f, distancia focal de la cámara

H = 3 000 m. sobre el terreno

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{H} = \frac{150}{3\ 000} = \frac{1}{20\ 000}$$

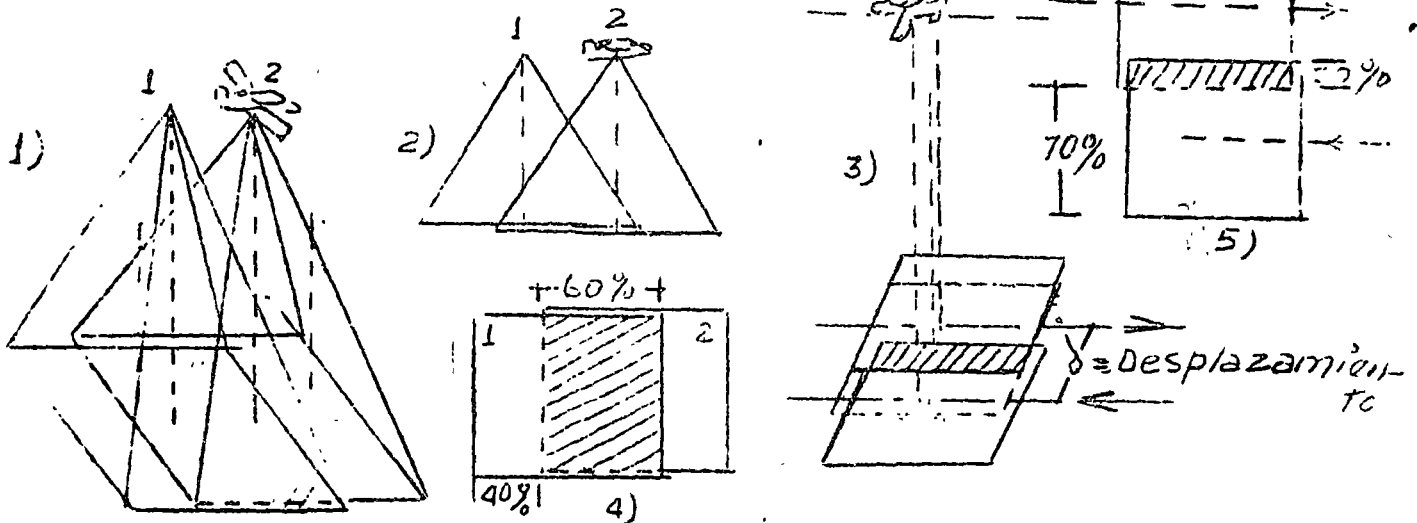
f = 150 m m distancia focal

$$S = (23 \times 200)^2 = 21.16 \text{ m}^2$$

Formatos = 23 x 23 cm<sup>2</sup>

Superficie = ?

Todos los vuelos fotogramétricos se ejecutan con sujeción a una finalidad previa; y en relación con ello es como se limitan los recubrimientos o traslapes que deben cumplirse indefectiblemente. Así por ejemplo, para los fines de restitución, o sea para la elaboración de planos por medio de las fotografías, los recubrimientos deben ser como mínimo, de un 60% de las dimensiones del formato, en sentido lineal, entre dos fotografías consecutivas; siendo de un 30% en el sentido transversal entre dos líneas o fajas de vuelo adyacentes. Ambos traslapes pueden aumentar o disminuir según el estudio a que se destinen las fotografías.



Las figuras 4 y 5 representan esquemáticamente los recubrimientos útiles para restitución; y por ellas es posible dar una definición lógica a los conceptos de recubrimiento a traslape, tales como: parte común entre 2 fotografías consecutivas o entre 2 líneas paralelas, etc. sobrepuestas de dos fotografías sucesivas, o entre fallas laterales, etc.

Si en la figura 4 dos fotografías consecutivas, tomadas desde dos sitios distintos, contienen la misma parte de terreno en un 60%, el 40% restante representa el avance real del avión fotogramétrico; así también si 2 fajas paralelas, entre ida y vuelta del avión se traslapan 30%, el 70% restante representa el desplazamiento lateral o transversal. El problema siguiente se resuelve aplicando la descripción anterior.

Primero se calcula la superficie que capta una fotografía, se divide entre 4; a continuación se divide la superficie por levantar entre -- aquella cuarta parte de superficie.

Tomando la misma escala del problema anterior se tiene 1:25 000; -- siendo la superficie  $S = 40 \times 10 = 400 \text{ Km}^2$

Ahora  $23 \times 250 = 5750 \text{ m.} = 5.75 \text{ Km.}$

Sup. =  $5.75 \times 5.75 = 33.06 \text{ Km}^2$       Sup. útil =  $\frac{33.06}{4} = 8.26 \text{ Km}^2$

Luego :  $Tf = \frac{400}{8.26} = 48.4 = 49 + 10\% = 54$

La diferencia en los resultados entre los dos procedimientos no tiene importancia, menos si se tienen en cuenta las aproximaciones que se han hecho en el primer caso y que en el segundo caso es una solución a priori.

**VELOCIDAD E INTERVALO:**

Intervalo de exposición.- El intervalo de exposición se refiere a la distancia o al tiempo que debe transcurrir entre dos exposiciones consecutivas; a dicha distancia se le llama base de toma fotográfica; y debe ser constante para que se verifique el porcentaje de sobreposición fijado. Se puede pensar que la cámara se va a manejar de tal manera que pueda hacerse un disparo cada vez que se cumpla el intervalo cortado en distancia. Sin embargo hoy día existen medios que hacen que la cámara funcione en forma automática y que por medio de aparatos auxiliares sea posible fijar un intervalo de tiempo de acuerdo con la velocidad del avión, para ir tomando fotografías con el recubrimiento deseado; el aparato en este caso, se llama intervalómetro y va colocado en el avión según se ve en la figura No.

Explicado lo anterior, se puede completar el problema pasado, usando la fórmula:  $I = \frac{e}{V}$  que viene de la fórmula de  $e = Vt$ . En la fórmula I significa Intervalo; e, es el espacio recorrido por el avión y es igual al avance real; V, es la velocidad de crucero del avión fotogramétrico. El problema siguiente está resuelto en forma íntegra de acuerdo con las consideraciones anteriores.

**DATOS**

H = 6 000 m. sobre el terreno

f = 150 mm.

Formatos =  $23 \times 23 \text{ cm}^2$

Velocidad de crucero  $V = 350 \text{ Km/h}$

**CALCULAR**

1.- Escala media

2.- Fotos en línea

3.- Número de líneas

4.- Desplazamiento entre 2 líneas

La parte final del problema se refiere a la determinación de la cantidad de película que ha de consumirse en un levantamiento; pues aunque se sabe que la longitud de los rollos de película va con la capacidad del chasis almacén de las cámaras, es muy bueno saber cuántas exposiciones se logran con cada longitud; por ejemplo con 60 m., que es la capacidad de las cámaras Wild, o con 120 m. -- que corresponden a un chasis almacén de las cámaras Zeiss. De manera pues, que si el terreno que se va a levantar rebasa los límites de película citados, es conveniente preparar lo necesario para no entorpecer la labor de toma de fotografías, sobre todo cuando el levantamiento se va a llevar a cabo lejos de la base aérea. Es costumbre, sin embargo, llevar unas cargas de repuesto siempre.

La solución del problema resulta sencilla si se conoce el consumo de película por exposición como en el caso del problema de que se trata.

#### SOLUCION

Consumo por exp. = 24 cm.

Fotos por línea = 14 + 10% = 15

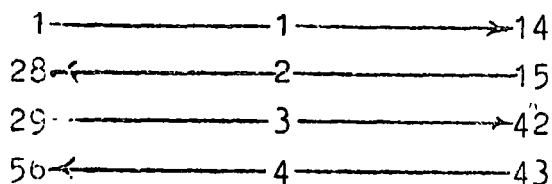
Fajas de vuelo = 4

luego:

$(24 \times 15)4 = 14.40 = 15 \text{ m.}$

También si se toma el total de fotografías calculadas, se tiene:  $24 \times 62 = 14.88 = 15 \text{ m.}$

Los resultados del cálculo nos permiten dibujar el diagrama de vuelos con su nomenclatura correspondiente.



Estos diagramas no van a escala; pero se aprecia en ellos la forma regular o irregular del terreno levantado.

$$\frac{I}{E} = \frac{d}{D} \cdot \frac{1}{1000} = \frac{15}{600} \cdot \frac{1}{1000} = \frac{1}{40000}$$

se insiste aquí, que los 600 M. pudieran ser medidos directamente o bien a través de un plano que contiene la pista de referencia.

2.- En una fotografía aérea aparecen marcados dos puntos de apoyo terrestre A y B, cuyas coordenadas son como sigue: A( 100, 60) y B ( - 150, 95 ), siendo la distancia fotográfica entre ambos puntos de 100 mm.

Determinar la escala media de la fotografía de referencia. Se tiene que  $d = 100$  mm.

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} = \sqrt{(150-100)^2 + (95-60)^2} = \sqrt{50^2 + 35^2} =$$

$$\sqrt{2500 + 1225} = \sqrt{3725} = 61.03$$

$$\text{luego: } \frac{I}{E} = \frac{d}{D} \cdot \frac{1}{1000} = \frac{100}{61.03} \cdot \frac{1}{1000} = \frac{1}{610.3}$$

ahora para saber a qué altura fué tomada la fotografía, conociendo la distancia principal de la cámara que aquí damos como  $f = 15$  cms., se tiene:  $\frac{I}{E} = \frac{f}{H} \therefore H = \frac{E \cdot f}{I} = \frac{3535 \cdot 0.15}{1} = 530.25$  m sobre el nivel medio del terreno.

Habiendo determinado la  $H_m$  de vuelo, es posible resolver otros problemas. Por ejemplo: Con la  $H_m$  calculada en el problema anterior, hallar las dimensiones aproximadas del terreno levantado y la superficie del mismo, si en línea fueron tomadas 50 fotografías que se recubren 60%; y para el ancho fueron necesarias 4 líneas de vuelo que se recubren 40%. Se tiene que:

$$L = (40\% \times 23) (35.35 \times 50) = 9.2 \times 1767.50 = 16261 \text{ M} = 16.26 \text{ Km}$$

$$\text{Ancho} = (0.70 \times 23) (35.35 \times 4) = 16.1 \times 141.40 = 2266.54 \text{ M} = 2.266 \text{ Km}$$

$$S = 16.26 \times 2.266 = 36.83 \text{ Km}^2$$

Otro.- Con los datos que se proporcionan, hallar la escala media de las fotografías y la superficie aproximada del terreno levantado, si a lo largo se tomaron 50 fotografías sobrepuestas 60%; a lo ancho se volaron 4 fajas recubiertas 30%.

$$D = \frac{1(10,25) \text{ y } 2(110) \text{ distancia fotográfica entre } \#1 \text{ y } \#2 \text{ } d = 100 \text{ mm.}}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}} = \frac{100}{\sqrt{(110-10)^2 + (275-25)^2}} = \frac{100}{\sqrt{100^2 + 250^2}}$$

$$= \frac{100}{\sqrt{10000 + 62500}} = \frac{100}{\sqrt{72500}} = \frac{100}{269.26} \text{ M.}$$



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

FOTOINTERPRETACION

Ing. Alejandro Guzmán A.

Noviembre, 1977

## FOTOINTERPRETACION

Este breve curso puede considerarse únicamente como una introducción al estudio de la fotointerpretación, mostrando sus amplias posibilidades en los procesos de evaluación.

La fotointerpretación utiliza para determinar las características del relieve, un medio que sea capaz de registrar las radiaciones electromagnéticas, que un objeto puede emitir o modificar las emitadas por otra fuente. (Fig. 1)

El medio que puede utilizar para detectar la radiación electromagnética puede ser la fotografía aérea o lo que se conoce como sensores remotos, obteniéndose en ambas cosas un sistema de detección a distancia.

Todo sistema de detección o distancia puede analizarse bajo el siguiente esquema:

- 1.- Una fuente de radiación
- 2.- Un medio transmisor
- 3.- Un objeto
- 4.- Un detector que forma la imagen (Fig. 2)



En la cadena captor - detector se superponen las propiedades de la fuente para darnos la imagen que observamos:

Si una fuente emite un cierto espectro se puede encontrar un captor capaz de registrarlo en toda su intensidad, pero será necesario escoger solamente una cierta porción, para estudiarla separadamente, de este modo sabremos lo que la imagen detectada representa realmente.

-- Las fotografías aéreas tienen ventajas notables, cubren una gran cantidad de área, el hecho de que las imágenes se superponen, permiten obtener una visión tridimensional y las imágenes registradas son representaciones inigualables del relieve original además de permitir comparaciones con imágenes obtenidas en otras épocas.

Lo anterior permite al observador establecer relaciones entre los diversos objetos o rasgos del paisaje, cosa que no se podría hacer en un tiempo muy breve, estando en el terreno, además permite percibir datos significativos sin que sea distraído por datos irrelevantes.

Todo trabajo de la fotointerpretación tiene que ver con el intento de comprender situaciones poco conocidas de cualquier tipo.

El hecho de utilizar algunas figuras e imágenes conocidas, permite llegar a combinaciones familiares, que tienen algún significado de acuerdo con el objetivo de la interpretación. Esta actividad mental conduce a una forma práctica de ampliar un repertorio siempre creciente de figuras y relaciones conocidas, que con el transcurso del tiempo permiten llegar a una mayor efectividad en el proceso fotointerpretativo.

Con el tiempo es frecuente que se den interpretaciones con error o equivocadas, porque en los intentos de explicación se utilizan modelos demasiado familiares, que deben ser siempre reexaminados, ya que la interpretación, no puede considerarse como rutinaria; cada nueva interpretación siempre es una situación desconocida.

#### APLICACIONES DE LA FOTOINTERPRETACION

Entre las múltiples aplicaciones que tiene la fotointerpretación destacan las siguientes:

Geología Minera .- Identifica las condiciones geológicas que puedan ser favorables para la localización de yacimientos minerales.

Geología Petrolera .- Define estructuras y litologías asociadas a los yacimientos petrolíferos.

Suelos .- Factor importante en la clasificación y usos del suelo para fines de planeación regional.

Materiales de Construcción .- Selecciona los sitios en los cuales pueden existir materiales de construcción para las grandes obras.

Vías Terrestres - Selecciona las diversas alternativas para planear la construcción de un camino.

Presas - Elemento importante para seleccionar los sitios más adecuados para la construcción de presas y determinar las características geológicas en la boquilla como en el vaso.

Obras Marítimas .- Ayuda a definir los sitios en donde es posible la construcción de obras tales como puertos.

tografías, debido a que las imágenes se presentan a una escala muy pequeña con respecto a la realidad, algunos elementos del relieve adquieren una apariencia que no se puede adivinar estando en el terreno.

Para poder llevar a efecto la relación de ideas antes mencionadas es necesario tener en la mente el relieve se manifiesta en las fotografías por :

Las características físicas de las fotografías, como son el tono y la textura. La percepción del color es un elemento importante en el conocimiento del medio ambiente; en las fotografías en blanco y negro los colores de los objetos se presentan en la forma de tonos de gris, aún cuando existen las fotografías aéreas en color, la fidelidad entre los colores en la naturaleza y los registrados por las fotografías no es muy buena, porque tiende a predominar un tono y son afectadas de un modo notable por la luz, la cual tiende a desvirtuar la coloración que tenía originalmente cuando fue impresa en el papel. Los tonos de las imágenes fotográficas dependen de muchos factores como son el ángulo de incidencia de los rayos luminosos y el ángulo con el cual son reflejados. Por ejemplo se puede observar que un cuerpo de agua al ser fotografiado puede presentar tonos que van del blanco al negro.

En un estudio de caracter geológico, se puede llegar a obtener datos relacionados con la estructura y composición de cierta parte del relieve. En estudios industriales el observar la imagen de una planta industrial, nos puede decir más a cerca de sus funciones y estructuración que la que se puede obtener por medio de una inspección visual en el terreno. La imagen fotográfica de un bosque, nos permitirá tener una idea apropiada acerca de su potencialidad económica, en la vida cotidiana para poder saber la intersección de caminos o el inicio de caminos secundarios, es necesario leer una serie de avisos o señales o bien de efectuar una investigación para saberlo; en las fotos aéreas este problema se reduce a una simple observación del relieve. La importancia de la forma en el intérprete es que le ayuda a efectuar diferenciaciones lo cual puede conducir a identificaciones.

El tamaño de los objetos es un elemento de valor en la fotointerpretación, al permitirnos hacer comparaciones con otras formas y llegar a rápidos resultados respecto al problema que se este tratando de resolver. La sombra es un fenómeno muy familiar, pues en la vida cotidiana nos permite conocer la forma y el tamaño de los objetos por la sombra que estos arrojan, también ayudan acentuando la sensación de profundidad,

canal, una ciudad o poblado, una carretera, etc., los segundos deben a causas naturales y las lineaciones que las componen son irregulares en su configuración.

### TECNICAS DE LA FOTOINTERPRETACION

La fotointerpretación se lleva a efecto sobre el modelo tridimensional representado en las fotografías aéreas, por el efecto que produce la diferencia de paralajes. La observación del modelo puede efectuarse mediante el uso de un aparato llamado estereoscopio, el cual tiene como finalidad hacer que los ojos miren independientemente la misma imagen contenida en dos fotografías sucesivas.

Los estereoscopios según sea el sistema que se utilice para transportar los rayos luminosos que inciden en las fotografías hasta los ojos de observador, se clasifican en: dióptricos, cuando la luz reflejada por las fotografías es transportada por dos pares de espejos colocados a  $45^\circ$  con respecto al plano que contiene a las copias fotográficas, como se muestra en la figura. Catóptricos, cuando para observar la imagen se utilizan dos lentes de 2.5 de aumento, con una distancia focal apropiada, este tipo de estereoscopio se le conoce comúnmente como de bósillo.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

FOTOINTERPRETACION  
(CONTINUACION)

Ing. Alejandro Guzmán Aguirre

Noviembre, 1977

## FOTOGEOLOGIA APLICADA A LA GEOHIDROLOGIA

-- Objetivo del Estudio .- Cualquier problema de tipo geohidrológico en el cual es necesario considerar el regionalismo es necesario contar con el medio apropiado que sirva para realizar una serie de observaciones de las rocas. Para el efecto es preciso contar con las fotografías aéreas que abarquen de un modo completo el área de estudio y una región de mayores dimensiones, que sirva para establecer sus condiciones de regionalidad. Estas fotografías es conveniente que sean a una escala adecuada, la cual puede ser del orden de 1: 20 000 ó 25 000, sin embargo algunas veces suelen utilizarse escalas mayores como 1: 10 000 o bien escalas menores como 1: 50 000. La escala más apropiada estará de acuerdo fundamentalmente con la extensión del área objeto de estudio y la magnitud de los rasgos geomorfológicos contenidos en el paisaje, es decir teniendo siempre en mente la relación de áreas de captación o cuencas.

-- Metodología .- Una vez que se obtienen los materiales fotográficos adecuados se procede a desarrollar una secuencia que se inicia con la disposición del material que se va a



Una vez que se a completado el análisis será necesario - realizar una serie de visitas al campo con el objeto de efectuar simultaneamente la verificación de la información obtenida de las fotografías, ya sea ratificando o rectificando lo que se observó y buscando todos aquellos indicios que nos pueden dar idea de la posible presencia de cuerpos de agua en el subsuelo. Cuando se ha obtenido todos estos datos es posible formular una serie de consideraciones, con el propósito de encontrar la solución del problema que nos hemos propuesto. Es necesario advertir que previamente la visita al campo ya se ha confeccionado un mapa fotogeológico el cual puede hacerse a partir del acoplamiento directo de las fotografías o bien trasladando la información obtenida en las fotografías a un mapa planialtimétrico, el cual tendrá una escala conveniente de manera que pueda ser útil para toda la serie de informaciones que se hagan en el campo.

-- Tipo de Investigaciones Geohidrológicas .- De acuerdo con las características del estudio geohidrológico estos se pueden agrupar en tres categorías:

Es necesario disponer de información geológica, así como todos aquellos datos referentes a clima, precipitación, evaporación y escurrimiento.

Durante el proceso fotointerpretativo se tendrá muy en cuenta marcar lo mejor posible las distintas unidades litológicas que puedan ser bien distinguibles, estructuras tales como pliegues, fallas, fracturas y la presencia de cuerpos intrusivos. También será necesario elaborar o cuando menos tener en mente la evolución del paisaje desde el punto de vista geomorfológico. Es muy importante hacer un estudio minucioso del drenaje para lo cual se preparará un mapa en el cual se muestre la mayor cantidad de detalle del mismo, así como de lineaciones como son las fracturas y fallas. Durante el análisis fotogeológico es importante delimitar cuencas de importancia de tipo secundario así como los límites de la cuenca del río que se está estudiando. Con el análisis geológico, de drenaje y estructural se podrán ver las relaciones entre ellos con el objeto de señalar zonas de permeabilidad de acuerdo con lo observado en esos análisis previos. Una vez que se han delimitado estas grandes áreas estaremos en condiciones de incluir otros datos tales como precipitación

Las fotografías espaciales en este caso solamente podrán ayudar a solucionar algunos problemas de origen geológico en cuanto a tipos de estructuras geológicas y a tener una idea más completa de la regionalidad de la zona en estudio.

-- Tipo Regional Restringido .- En este aspecto podremos considerar aquellos estudios en los cuales la cantidad de área y principalmente el problema que se plantea necesita de soluciones más inmediatas que en el caso del tipo regional amplio. Para el efecto se deberán contar con fotografías esca la aproximada a la misma topografía o cuando menos una esca la aproximada, también se deberá contar con toda la información disponible en cuanto a conductos artificiales de agua, manantiales, arroyos con escurrimientos continuos, obras de capacitación, pozos en la región, etc.

La interpretación fotogeológica tendrá que ser más minuciosa en el sentido de diferenciar la mayor cantidad de rasgos litológicos estructurales y morfológicos. El mapa resultante será lo suficientemente explícito para poder apoyar las observaciones en el campo. El trabajo de campo consistirá en una investigación más amplia midiendo con mayor cuidado el

en rasgos estructurales de pequeñas dimensiones. Consecuentemente la base topográfica tendrá que ser a una escala grande - del orden de 1: 4 000 ó 1: 2 000 en la cual se trasladará todas las observaciones hechas durante la fotointerpretación. - El trabajo de campo implica que sea muy dirigido hacia aquellos lugares en los cuales es posible preveer la acumulación - de cuerpos de agua considerables, precisamente en los materiales no consolidados. También se aconsejan observaciones en - cuanto a la determinación más probable del nivel freático y de la cantidad de agua que pueda traer los arroyos principales en sus máximas avenidas, con los datos de precipitación, evaporación y escurrimiento se llega a tener una idea de la cantidadde agua que puede tenerse a cierta profundidad o bien cuanta - agua puede extraerse. Finalmente se recomendará la solución más adecuada al problema que a todas vistas es más particular que las señaladas para los tipos de investigación antes mencionadas.

## FOTOINTERPRETACIÓN DE SUELOS

Los edafólogos usualmente definen el suelo como la parte de la regolita que sostiene las plantas. El suelo deriva sus propiedades de los efectos combinados del clima y de la materia viviente que actúa en el material parental en ciertas formas del relieve.

La fotointerpretación aplicada al suelo, se necesita comprender que el objeto del estudio de los suelos es ésta principalmente representado en las imágenes fotográficas; aún cuando no este cubierto por vegetación, su superficie está dado por sus imágenes bajo condiciones variables de reflexión de luz, que no pueden ser unas guías completas de las características del suelo. La fotointerpretación en la ciencia del suelo es por lo tanto completamente de la fotointerpretación en campos que estudian objetos total o parcialmente visibles en las fotografías aéreas.

Los suelos puede ser interpretados en las fotografías aéreas por la disposición creada por la naturaleza de la roca parental, el modo de depositación, el clima y las condiciones bióticas y fisiográficas.

Los problemas de fotointerpretación de suelos se resuelven por el estudio de su distribución en relación con las formas terrestres, estructuras geológicas y distribución de la vegetación.

El fotointérprete del suelo debe estar bien informado de la Geología, de la Geografía, de la Ecología y la Edafología, para complementar la información obtenida de la fotointerpretación. .

Los mapas geológicos, topográficos y de suelos, del punto de vista regional ayudan al fotointérprete a entender el aspecto regional de los suelos y obtener un punto de partida para el reconocimiento fotográfico.

- Tener en cuenta el tiempo en que fue tomada la fotografía.

- Tener en cuenta la textura y el contenido de humedad, suelo de textura grueso y bien drenados tiene tonos fotográficos claros, textura fina y suelos con drenaje deficiente tiene tonos fotográficos oscuros.

- Deben tenerse en cuenta las condiciones climatológicas y fisiográficas.

- El método a seguir en la fotointerpretación es de lo general a lo particular y de lo conocido a lo desconocido.
- En el estudio de aspectos regionales.
  - El área a estudiar debe considerarse en conjunto - antes de observarla bajo el estereoscopio.
  - Por este medio se pueden diferenciar aspectos regionales y relacionarlos a factores ambientales, - fisiográficos, geológicos y climatológicos.

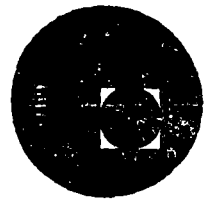
LA FISIOGRAFIA DE UN AREA ES EL RESULTADO DEL TECTONISMO Y DEGRADACION EN UN DETERMINADO AMBIENTE CLIMATICO.

La distribución de montañas, planicies, colinas y cuencas usualmente es conspicuo en las fotografías y es reflejado por el tono, rasgos erosionales, distribución de la vegetación, - forma de los asentamientos y uso del terreno.

Los mapas geológicos muestran la distribución de los materiales de rocas consolidadas o inconsolidadas y ayudan a - identificar los materiales parentales de donde se derivan el suelo; si no es posible tener un maps, se debe recurrir a una interpretación fotogeológica o bien a reconocimientos de campo.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

CARTOGRAFIA

ING. JOSE GONZALO VARGAS  
NOVIEMBRE, 1977



### III. CARTOGRAFIA

#### 3.1 DEFINICION Y GENERALIDADES

Cartografía es la ciencia de elaborar MAPAS, incluyendo Geodesia, Fotogrametría, Compilación y su reproducción.

Los mapas son una proyección reducida y simplificada sobre un plano de parte de la superficie de la tierra. Es la representación gráfica de los rasgos de la superficie, que sirve de herramienta de trabajo para el Ingeniero, Topógrafo, Geólogo, Agrónomo, Geógrafo, etc.

En Cartografía generalmente se distinguen 2 tipos de mapas.

- Mapas Topográficos (incluyendo aquellos producidos con fines catastrales).
- Mapas Temáticos.

Los mapas topográficos muestran los elementos naturales y artificiales que se encuentran sobre la superficie de la tierra. Estos son identificados y mostrados en posición correcta, es decir su localización en términos planimétricos y altimétricos.

Los Mapas Topográficos son entonces "Mapas de Propósito Múltiple" ya que su contenido no se limita a un solo elemento de la superficie de la tierra sino que trata dentro de las limitantes de escala dar una completa representación de todos los elementos de la superficie.

Los mapas temáticos es un grupo de mapas relativamente joven especialmente si éstos los comparamos con los mapas topográficos.

El desarrollo de la Cartografía Temática y su producción esta altamente relacionada con el desarrollo de las ciencias que producen o tratan información susceptible de representarse en forma cartográfica, tal como Geografía, Geología, Suelos y más recientemente toda clase de ciencias socioeconómicas.

Antes de ir a más detalle es conveniente definir lo que es un Mapa Temático.

Los mapas temáticos muestran información cualitativa y/o cuantitativa de elementos o conceptos específicos en relación a los detalles topográficos necesarios.

En su uso convencional, el término Mapa Temático tiende a separarse del otro gran grupo de mapas topográficos. Esta separación tiene primero que todo más valor práctico que teórico ya que desde el punto de vista teórico los Mapas Topográficos también representan información cualitativa y cuantitativa de elementos específicos, sin em-

bargo en la práctica los Mapas Topográficos tienen un significado definido (que al menos en la actualidad) pueden fácilmente separarse del otro grupo de mapas temáticos.

### 3.2 METODOLOGIA PARA LA ELABORACION DE MAPAS.

#### - Necesidades de mapas.

La cantidad y variedad en necesidades de mapas continúan aumentando a medida que la demanda impone en el desarrollo y explotación de los Recursos Naturales. Es obvio que muchos problemas pueden identificarse y muchas tareas pueden ser resueltas solamente si se dispone de mapas precisos y detallados.

#### - Características principales de un mapa.

Las características principales de un mapa son:

1. ESCALA
2. PROYECCION

La escala de un mapa esta en relación directa con la precisión y con el espacio que el cartógrafo requiere para representar los elementos que desee mostrar.

- Es una falta de planeación, el elaborar un mapa más preciso de lo requerido ya que el hacer el mapa a una escala mayor que la que se necesita sería una pérdida de tiempo, material y dinero.

Existe una gran variedad de escalas en uso.

La clasificación varía de acuerdo a los diferentes usuarios pero para la mayoría se agrupan las siguientes.

Pequeñas - 1:100 000 y menores

Medias - 1:100 000 - 1:25 000

Grandes - 1: 25 000 - 1: 1 000

El sistema de proyección es la relación geométrica o analítica entre las coordenadas geográficas (latitud y longitud) y las coordenadas rectangulares adoptadas en el plano de representación.

El estudio de las proyecciones, su clasificación y sus propiedades es un problema matemático complejo. No existe ningún sistema que pueda preservar absoluta uniformidad de escala en todas direcciones para todos los puntos, en otras palabras un mapa no puede representar en forma precisa absoluta la forma y tamaño de los elementos geográficos en todos los puntos del mapa.

Los diferentes sistemas de proyección pueden ser clasificados de acuerdo a sus propiedades en:

- Equidistantes
- Conformes
- Equivalentes

En las proyecciones conocidas como conformes, los ángulos se mantienen inalterados, este tipo de proyecciones es importante pa

ra los marinos, los geodestas, los militares, para personal que trabaja en misiones espaciales, etc.

Las proyecciones Equivalentes son importantes para economistas o geógrafos quienes desean mostrar los resultados estadísticos, para ellos lo más importante es mantener la condición de igualdad en área.

Se les llama proyecciones Equivalentes a aquellas que mantienen igualdad en área de los elementos que se encuentran sobre la superficie al representarlos en un plano.

Las proyecciones Equidistantes son aquellas que mantienen la condición de igualdad en distancias.

Este tipo de proyección es utilizada en la elaboración de cartas para Navegación (aérea o marítima).

Ciertas proyecciones son apropiadas para un propósito y algunas para otros, sin embargo no hay proyección que sea la mejor para cada clase de mapas. Una selección adecuada de un sistema de proyección es un aspecto muy importante ya que esto es fundamental en el inicio de cualquier proyecto cartográfico.

Existe otro método de clasificación de las proyecciones de acuerdo al método de proyección o construcción en:

- Proyecciones Cilíndricas. - La esfera es transformada sobre un cilindro que cubre la tierra.

- Proyecciones Cónicas.- En este sistema la transformación de la superficie de la tierra se hace sobre un cono que cubre la superficie terrestre.
- Proyección Azimutal.- En este caso parte de la superficie se transforma sobre un plano que toca o corta a la tierra.

Estas figuras envolventes de la superficie terrestre pueden colocarse en diferentes á posiciones a fin de minimizar las distorsiones que el objetivo principal de las proyecciones.

En forma general se reconocen 3 posiciones de las figuras envolventes.

- Normal
- Transversa
- Oblicua

y estas envolventes en cualquiera de las posiciones pueden ser tangentes o secantes a la superficie terrestre.

### 3. FORMATO

Para producir una serie de mapas basados en cualquier sistema de proyección, el formato (tamaño) que se escoja deberá ser en forma tal que resulten hojas de tamaño manejable. Los límites de las hojas se basan a menudo en las coordenadas rectangulares del sistema de proyección usado o bien basados en meridianos y paralelos en este úl-

timo caso el tamaño de las hojas varía de acuerdo a su situación geográfica.

#### 4. DISEÑO (Estilo)

Los mapas modernos son policromáticos, ya que esto facilita la lectura y permite mostrar mayor cantidad de detalles.

Cada mapa es explicado por su tabla de signos convencionales y tipografía. El cartógrafo debe tener una habilidad bastante buena para producir un mapa ya que el mapa debe llenar los requerimientos de precisión, cantidad de detalles y además debe ser fácil de interpretar y debe causar una impresión visual agradable.

#### 5. REQUISITOS

Los requerimientos son extremadamente variados, pero todos ellos se originan de la necesidad de información exacta relativa a la tierra sobre la cual vivimos. Es decir sus características físicas (dimensiones, posición relativa, relieve, cuerpos de agua vegetación, etc.) y las características socioeconómicas (edificios, vías de comunicación, cultivos, densidad de población servicios, etc.), para estar en posibilidad, primero, de hacer el mejor uso de lo que existe y segundo coadyuvar en el desarrollo y uso de la tierra.

Los mapas permiten todo esto e intentan reemplazar los enfoques

empíricos de los tomadores de decisiones por estrategias lógicas de acción.

El progreso de la civilización ha aumentado y cada vez la complejidad de las necesidades de mapas es mayor.

Las necesidades actuales son variadas y en ellas podemos incluir lo siguiente.

- Requerimientos administrativos generales.
- Requerimientos para la construcción de nuevos caminos y vías de comunicación.
- Las necesidades para el aprovechamiento de los recursos hidrológicos.
- Las necesidades para el aprovechamiento de los recursos marinos.
- La necesidad para el aprovechamiento de los recursos geológicos y de prospección minera.
- Otras necesidades tales como:
  - Agricultura.
  - Urbanización.
  - Navegación Aérea.
  - Catastro.
  - Enseñanza e investigación.
  - Turismo.
  - Etc.



6. PREPARACION DE UN PROGRAMA QUE LLENE LA MAYORÍA DE LAS NECESIDADES.

En vista de la variedad de las necesidades cartográficas las autoridades responsables deben adoptar un método lógico para satisfacerlas tratando de economizar recursos evitando pérdidas y duplicaciones.

Los problemas cartográficos particulares de cada país están determinados por sus características físicas, sus recursos, y la urgencia en la satisfacción de sus necesidades.

La mejor solución es escoger un conjunto de mapas topográficos que sean lo suficientemente precisos y detallados en planimetría y altimetría en forma tal que satisfaga a la mayoría de usuarios. La elaboración de tales mapas para un país completo es una operación laboriosa que requiere fondos económicos considerables.

Por otra parte mapas que interesen solamente a categorías de usuarios, limitadas, relativas a especialidades específicas, deberán prepararse por servicios técnicamente calificados para tales efectos, los cuales pueden usar los mapas topográficos básicos y limitarán sus actividades al trabajo suplementario esencial.

En el grupo de mapas topográficos se debe hacer una distinción entre los mapas básicos y los mapas derivados, los primeros son aquellos resultados de levantamientos directos de campo y los segundos son el resultado de un proceso de generalización del mapa base hecho en

gabinete.

- Secuencia de Operación.

Una vez identificadas y comprobadas las necesidades de un producto cartográfico y decidido la escala, proyección, formato y estilo del MAPA, el próximo paso es proceder a la ejecución técnica, que en la mayoría de los casos involucra las siguientes operaciones sucesivas y diferentes:

- Toma de fotografías aéreas.
- Establecimiento de la red de apoyo terrestre.
- Extensión del apoyo terrestre por procedimientos fotogramétricos.
- Restitución o compilación.
- Clasificación de campo.
- Edición e impresión.
- Distribución.

La forma en que se desarrollen las 4 primeras operaciones afecta las operaciones subsecuentes y como consecuencia la calidad y economía de los resultados.

Elección del procedimiento más económico.

Los adelantos en los equipos fotogramétricos han sido tan rápidos y efectivos que actualmente no hay requisito que no pueda cumplirse. Por lo que se concentra la atención más en la selección adecuada de metodologías que en los instrumentos teniendo en mente la producción

y la economía en la elaboración del mapa básico.

- Selección de la escala fotográfica.

La selección de la escala de las fotografías aéreas es un factor determinante en el costo de un levantamiento. Los gastos relacionados con las operaciones fotográficas, el surtido fotográfico, el establecimiento de la red de puntos de control para la restitución, su ajuste, son directamente proporcionales al número de pares estereoscópicos. Por lo que es obvio obtener el menor número de fotografías en el área por levantar fotogramétricamente.

La escala fotográfica debe ser tan pequeña como sea posible cumpliendo los requerimientos del mapa por producir, es decir no se debe perder precisión vertical y la imagen de los detalles que deben aparecer en el documento final deben ser identificables ya que de otra manera la investigación de campo sería difícil y absorbería y quizá más, la economía lograda en la obtención de fotografías a escala pequeña.

- Trabajos de Campo.

Los trabajos de campo es una de las etapas más caras en la elaboración de mapas por lo que se debe tender a reducirla al mínimo ya que este trabajo es esencial e indispensable además que requiere para su desarrollo personal altamente calificado cuya preparación requiere de mucho tiempo. La calidad de los mapas depende grandemente de los trabajos de campo (Apoyo Terrestre y Clasificación de Campo).

- Edición del Mapa.

Los originales manuscritos resultado de la restitución y clasificación de campo, se toman como base para la elaboración de los originales de impresión del mapa. La edición de un mapa es una operación difícil y costosa pues involucra técnicas especiales y requiere el servicio de diferentes especialistas de las artes gráficas.

El editar un mapa se debe tener en mente lo siguiente:

- El mapa debe ser legible, fácil de usar aunque contenga mucha información.
- Se debe tratar de preservar la calidad obtenida durante los levantamientos originales esto es, se debe preservar la máxima precisión posible al efectuar los trabajos de grabado manual.
- El estilo del mapa debe ser homogéneo e impersonal para toda la serie.
- Al imprimir un mapa en varios colores se deben registrar todas las placas perfectamente hasta 0.1 mm.

#### COMENTARIOS

En el ciclo de operaciones necesarias para llevar a cabo un levantamiento cartográfico no hay actividad alguna que sea menos importante que las otras, ya que todas contribuyen en el proceso, razón por la que todas estas operaciones deben ser cuidadosamente coordinadas.

De acuerdo a las necesidades por resolver y de acuerdo a los métodos adoptados es posible visualizar un plan efectivo de organización para una Institución Cartográfica. Esta deberá incluir:

- Una Unidad Administrativa.
- Una Unidad Especial para la toma de fotografías aéreas.
- Una División de Geodesia, Astronomía, Nivelación, etc.
- Una División de Fotogrametría que incluya Laboratorio Fotográfico, Areas de Aerotriangulación, Restitución, etc.
- Una División de Edición Cartográfica, responsable de todos los procesos de edición, reproducción e impresión.
- Una División Responsable de investigar la necesidad de las otras divisiones y de realizar estudios, investigaciones de nuevos métodos y equipos.
- Una División de Documentación Técnica y de Entrenamiento.

La preparación de los mapas de un país es un proceso largo que requiere de inversiones bastante fuertes, sin embargo los levantamientos cartográficos son necesarios ya que coadyuvan de una manera directa al conocimiento de los recursos y permiten la planeación del desarrollo de un país. Se ha manifestado cantidad de veces que el desarrollo económico de un país está precedido por el desarrollo cartográfico del mismo.

### 3.3 DESCRIPCION DE PRODUCTOS CARTOGRAFICOS

#### 1. MAPA TOPOGRAFICO 1:50 000

El mapa topográfico es una representación gráfica a escala de los elementos naturales y artificiales de la superficie de la tierra, identificados y mostrados en posición correcta.

Los elementos mostrados se clasifican en cuatro grandes grupos:

Hidrografía: lagos, ríos, presas, pantanos, etc.

Relieve: montañas, valles, pendientes y profundidades.

Cultura: trabajos realizados por el hombre tales como, construcciones, carreteras, ferrocarriles, límites parcelarios, etc.

Vegetación: áreas forestales, matorrales, huertos y cultivos.

La escala 1:50 000 en mapas topográficos, proporciona la información mínima necesaria para la realización de anteproyectos de ingeniería y la información proporcionada es herramienta básica para la planificación racional y organizada a nivel microregional y urbano.

#### 2. FOTOMAPA URBANO 1:10 000

El fotomapa es un documento cartográfico en el que todos los elementos planimétricos (construcciones, vías de comunicación, vegetación, etc.) son representados por una imagen fotográfica al cual se le adiciona información complementaria (curvas de nivel) para facilitar

su uso e interpretación.

Además de la información planimétrica y altimétrica contiene datos relativos al equipamiento, tales como: centros de enseñanza, servicios médicos, comunicaciones y transportes, nomenclatura de calles principales, etc.; se indican los nombres de los rasgos hidrográficos y orográficos.

El fotomapa por ser una copia fiel y precisa del terreno, permite un gran número de aplicaciones, que van desde ser un documento de referencia en estudios parciales hasta la realización de planes y proyectos específicos.

### 3. CARTA GEOLOGICA 1:50 000

La carta geológica elaborada por DETENAL, muestra gráficamente la localización y distribución de las características litológicas y estructurales del Territorio Nacional.

La información que contiene la carta se refiere a: clasificación de rocas y suelos, datos estructurales, forma, deformación o rompimiento en las rocas, como son anticlinales, sinclinales, el rumbo y echado en rocas sedimentarias, dirección del flujo en rocas ígneas, rumbo y echado de foliación, diques, fallas, fracturas, dolinas asimismo datos de geología económica, como son: ubicación y evaluación de minas y catas, los minerales que de ellas se extraen, vetas, la utilización de

las rocas y suelos como materiales para construcción, manantiales fríos o termales, posibilidades de obtención de agua subterránea, localización de pozos, norias y aeromotores.

Por medio de esta carta se pueden localizar los recursos naturales, y sirve para conocer las probabilidades de conseguir rocas útiles para la construcción o yacimientos de minerales, también se puede deducir la existencia de acuíferos que podrían aprovecharse como agua potable o para riego, en general es útil en estudios geológicos con el fin de determinar las potencialidades de una región, así como las restricciones en lugares específicos y es indispensable en la planeación de obras civiles.

#### 4. CARTA EDAFOLOGICA 1:50 000

La carta edafológica de DETENAL es la representación gráfica de la distribución geográfica de los suelos del país de acuerdo con sus características morfológicas, físicas y químicas.

En esta carta se señalan cada una de las unidades de suelos y sus características: vocación y restricciones para el desarrollo de actividades agropecuarias; textura en términos generales, limitantes por profundidad y por presencia de fragmentos que limitan el uso de maquinaria agrícola.

La información contenida en la carta edafológica, junto con la in-



formación contenida en otros estudios hechos en DETENAL o en otras instituciones, es indispensable para programar investigaciones más de talladas que conduzcan a un mejor aprovechamiento de los recursos na turales de una región.

La carta edafológica proporciona información por planeación, investigación y educación, con aplicación práctica principalmente en estudios agropecuarios, forestales y de ingeniería civil.

#### 6. CARTA DE USO DEL SUELO 1:50 000

Es un documento de tipo estadístico que indica la ocupación actual del suelo.

La información contenida se refiere al señalamiento de los diferen tes tipos de agricultura: de riego de temporal y tipo de cultivos: anuales, permanentes y semipermanentes; las zonas de pastizales, bosques, selvas, matorrales y demás tipos de vegetación reconocidas para México. Se indica de igual manera, todas las poblaciones con sus nombres, número de habitantes y servicios con que cuentan.

La carta de uso del suelo sirve de base a estudios ecológicos, a análisis de distribución de plagas y enfermedades tanto agrícolas como de vegetación natural y permite conocer el aprovechamiento y utilización de los recursos naturales en actividades agropecuarias y forestales.

## 6. CARTA DE USO POTENCIAL 1:50 000

La Carta de Uso Potencial define: "Actualmente".

### Definición:

Determina la resultante entre los elementos del medio físico y biótico; buscando definir áreas homogéneas en sus elementos constitutivos; de tal forma que pueda de finirse para esas áreas el mejor uso al que pueden de dicarse.

### Anexo:

Uso Potencial      mejor aprovechamiento, óptimo desarrollo agropecuario - forestal de un punto de vista ecológico - económico - redituable.

### Contenido:

Información en cuanto al uso apropiado (mejor aprovechamiento) de las diferentes áreas representadas en las cartas. Separando con valores del 1 al 8 las diferentes clases; considerando la clase 1, 2, 3, 4, poten cialmente agrícolas, las clases 5, 6, 7, pecuario - fo restales, y la clase 8 nula o de vida silvestre.

Además: representa cuadros de cultivos viables de las diferentes tierras potencialmente agrícolas.

Indica áreas con erosión y el grado de éste.

Indica áreas de temporal que al introducirles riego serían de buen potencial agrícola.

**Aplicaciones:**

- Establecer programas para controlar la erosión.
- Auxiliar en los proyectos de distritos de riego.
- Señala zonas para que puedan utilizarse como centros de población.
- En la planeación y distribución de áreas agrícolas, pecuarias o forestales.
- Auxiliar a trabajos de investigación y enseñanza.

**7. CARTA DE CLIMAS 1:500 000**

La carta de climas, representa gráficamente las características climáticas de las diferentes regiones del país.

Muestra las regiones con climas cálidos, húmedos, templados húmedos, secos y fríos; además se indica por medio de curvas isoyetas las regiones de igual precipitación pluvial y por medio de curvas isotermas las regiones de igual temperatura media. En el reverso de las hojas se encuentran las gráficas de variación de temperatura y precipitación media mensual de cada una de las estaciones hidrométricas.

Con la ayuda de la información contenida en la carta es posible preveer la variabilidad de los elementos que conforman el clima de una región, información muy importante en la planeación de trabajos.

de campo, obras de ingeniería y demás actividades en las que el clima sea factor determinante.

## 8. CARTA DE RECURSOS TURISTICOS ESCALA 1:1 000 000

Es la representación cartográfica del inventario de los atractivos turísticos naturales y culturales del país.

Se localizan los sitios de interés turístico; los servicios de recepción: hospedajes, restaurantes, trailers parps; las vías de comunicación (carreteras pavimentadas, terracerías, brechas) y los lugares de abastecimiento de combustible; la red ferrocarrilera, aeropuertos y transbordadores. Se elabora un croquis de localización de poblaciones, una tabla de distancias y una descripción resumida de los atractivos tu rísticos.

Sirve como guía para el turista nacional y extranjero que pretenda conocer el país; como fundamento de planes y políticas de promoción y desarrollo turístico; como medio de conocimiento, conservación y aprovechamiento de nuestro patrimonio cultural.

### 3.4 ELABORACION DE CARTAS TEMATICAS

El proceso de elaboración de cartas temáticas es diferente al proceso que se sigue en la elaboración de Mapas Topográficos ya que para elaborar las primeras se necesita información topográfica que



sirva de base a la información temática que se desea representar.

El proceso consiste esencialmente en lo siguiente:

1. Preparar la base topográfica.
2. Reunir la información relativa al tema que se desea presentar.
3. Analizar y procesar la información de manera que podamos representarla en forma gráfica.
4. Diseño de la carta.
5. Edición e impresión.
6. Distribución.

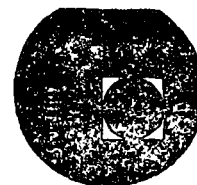
### 3.5 APLICACIONES DE LA CARTOGRAFIA

Como se vio anteriormente las aplicaciones de la Cartografía es multifinalitaria ya que auxilia al usuario en general en el conocimiento de los aspectos físicos y artificiales que forman el panorama de la superficie terrestre y la influencia del hombre en el mismo.

La Cartografía permite el estudio en forma objetiva de cualquier elemento o fenómeno en gabinete, además, la información proporcionada en forma cartográfica esta digerida en forma tal que facilite y economice los trabajos (estudios, investigaciones, planeación ejecución de obras, etc.) por realizar.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

CLASIFICACION BAYESIANA APLICADA A  
PERCEPCION REMOTA

ING. GUILLERMO BAZ  
NOVIEMBRE, 1977

## INDICE

	PAG.
1. Introducción.....	1
2. Sistema PR del IIMAS-UNAM.....	4
3. Reglas de Clasificación.....	7
4. Problemas de Clasificación en PR.....	20
5. Métodos Propuestos.....	37
6. Resultados.....	43
7. Conclusiones.....	53
8. Apéndices.....	57
Bibliografía.....	78



## 1. INTRODUCCION

En el año de 1975 se inició en el IIMAS un proyecto denominado Proyecto PR (Percepción Remota) cuyos objetivos eran la investigación y el desarrollo de técnicas de análisis de fotografías multiespectrales tomadas desde avión o satélite. La utilidad potencial del análisis de este tipo de fotografías para un mejor conocimiento y aprovechamiento de los recursos del país justificó la implementación de un sistema automatizado relativamente complejo. La creación de un sistema propio garantizaba el no depender tecnológicamente de otros países en la rama de percepción remota.

Originalmente se dividió el proyecto en etapas, mismas que se han venido modificando a través del tiempo. La etapa cero consistió en la elaboración y prueba de los programas de cómputo necesarios para que los posibles usuarios pudieran emplear este tipo de técnicas. La etapa uno, en la que actualmente se encuentra el proyecto, tiene como metas el diseño y prueba de algoritmos más eficientes aprovechando la experiencia adquirida en la etapa cero. Asimismo se corrigen defectos del sistema original que pudieron ser detectados en la práctica. También se trabaja en la ampliación de capacidades del sistema. En esta etapa se han elaborado mapas de usos del suelo con el propósito de detectar necesidades reales del sistema. Las etapas dos y tres tienen como metas el diseño y construcción en hardware de algoritmos de clasificación, uso de información temporal, detección de rasgos lineales, etc., metas que quizás variarían dependiendo de recursos y resultados de la etapa actual.

Entre los cambios propuestos en la etapa uno está el de los métodos - de clasificación, motivo de esta tesis. El problema de clasificación, conocido también como de asignación, clasificación supervisada, identificación o discriminación, ocupa un lugar importante en percepción remota. En percepción re mota el problema se presenta con algunas características muy particulares debidas principalmente a la estructura de los datos, lo cual origina nuevos e in teresantes problemas.

Hemos tratado que esta tesis esté escrita en la forma más sencilla po sible para que personas de otras especialidades dentro del proyecto tengan acceso a ella. Uno de los problemas principales inherente al de clasificación - es que los usuarios de los métodos desconocen en gran parte la teoría subyacen te a los mismos. Es por ello que decidimos esta forma de exposición.

En el capítulo 2 explicamos los términos utilizados en PR y algunas - características del sistema para gente no familiarizada con él.

En el capítulo 3 repasamos las reglas de clasificación más usuales, - conservando la terminología del capítulo anterior.

En el capítulo 4 exponemos problemas inherentes al de clasificación - en percepción remota. Discutimos en particular los conceptos de población y - grado de generalidad de poblaciones, conceptos que ayudan a resolver parte de - estos problemas. También incluimos una breve discusión de las diferencias en - tre clasificación supervisada y clasificación no supervisada.

En el capítulos 5 hacemos la proposición de los métodos de clasifica-

ción para percepción remota. La característica de estos métodos es el uso de distribuciones a priori subjetivas. Es de hacer notar que en la literatura es especializada en percepción remota no encontramos propuestas de métodos como los descritos en ese capítulo. Esto puede ser debido al uso de distribuciones a priori subjetivas, uso que muchas veces no es bien visto.

En el capítulo 6 presentamos resultados con los métodos propuestos. Comparamos estos resultados con métodos convencionales. Esperamos que estas comparaciones sirvan para hacer más confiables este tipo de métodos.

En el capítulo 7 resumimos las conclusiones a las que hemos llegado en el transcurso de este trabajo así como las propuestas de algunos caminos a seguir dentro del proyecto.

Finalmente, en el apéndice A discutimos el uso de una técnica de selección de variables (o de bandas, en la terminología de PR), técnica que será implementada en la nueva versión del sistema. En el apéndice B se encuentran los listados de los programas realizados.

## 2. SISTEMA PR DEL IIMAS-UNAM

El sistema PR analiza fotografías tomadas desde un avión o satélite.- Estas fotografías no son fotografías convencionales sino que son fotografías multiespectrales captadas por un barredor multiespectral. Una fotografía multiespectral se obtiene dividiendo en bandas (zonas espectrales) el espectro luminoso y midiendo la luz directamente con detectores electrónicos como es el barredor multiespectral. Las imágenes captadas por el satélite dan lugar a varias imágenes digitalizadas correspondientes a la división en bandas del espectro luminoso. Las fotografías multiespectrales analizadas en el IIMAS constan de cuatro imágenes digitalizadas correspondientes a las siguientes zonas espectrales:

Banda 1:	0.5 - 0.6 micrones	(verde - amarillo)
" 2:	0.6 - 0.7	" (amarillo - rojo)
" 3:	0.7 - 0.8	" (rojo - infrarrojo)
" 4:	0.8 - 1.1	" (infrarrojo cercano)

Un pixel es el elemento menor de una fotografía multiespectral. Caracteriza, con las cuatro (en las fotografías del IIMAS) mediciones de la intensidad de luz, un área de 85 metros de lado. Se le conoce también como el elemento de resolución de la fotografía. Una fotografía del satélite ERTS cubre un área de aproximadamente 185 kilómetros de lado.

Mediante el análisis de estas fotografías es posible conocer diversas

características de la superficie terrestre. Una de las capacidades del sistema PR para este análisis es la de clasificar a los pixels como pertenecientes a una población. Algunas de las aplicaciones posibles de los métodos de clasificación son, entre otras, las siguientes (21):

- Clasificación de cultivos.
- Actualización de mapas de usos del suelo.
- Detección de cuerpos de agua.
- Clasificación de zonas áridas.

Con los métodos de clasificación se intentan contestar diversas preguntas, por ejemplo:

-¿Cuántas hectáreas han sido sembradas con trigo, soya, cártamo, algodón, etc. en la región X?

-¿En dónde hay patizales, cultivos, zonas erosionadas, zonas urbanas, lagunas, etc.? ¿Es pertinente modificar mapas de usos del suelo?

-¿Cuál es la extensión de los cuerpos de agua en determinadas superficies? ¿Qué extensión ha sido afectada por el lirio acuático?

-¿Cuáles regiones son potencialmente cultivables?

Para efectuar estas clasificaciones el sistema PR cuenta con un banco de aprendizajes donde se almacenan las características relevantes de las poblaciones en que han de clasificarse los pixels. Estas características, conocidas como firmas espectrales, son las medias, varianzas y covarianzas de las di

ferentes poblaciones. Para obtener estas firmas espectrales y realizar comparaciones entre las clasificaciones y datos de campo, cuenta el sistema con un banco de información y apoyo terrestre.

Entre los objetivos en la etapa presente del proyecto PR está el de proporcionar al usuario el mayor número posible de herramientas para un análisis adecuado de las fotografías, así como el que estas herramientas sean las mejores posibles. Para una descripción detallada de las capacidades del sistema pueden consultarse los reportes del proyecto; aquí hemos expuesto sólo algunas de sus características para poder abordar el tema de clasificación. Hemos visto que los métodos de clasificación son herramientas muy útiles para el análisis de este tipo de fotografías. En los próximos capítulos describiremos el uso de estos métodos.

### 3. REGLAS DE CLASIFICACION

Comenzamos esta sección con una caracterización del problema de clasificación para de ahí presentar algunas de las soluciones propuestas. Nos concentramos en el caso general de  $K$  poblaciones,  $K \geq 2$ . En la siguiente sección presentamos algunas particularidades del problema de clasificación en percepción remota y a partir de éstas proponemos algunas soluciones.

Una caracterización del problema de clasificación es la siguiente (10):

1. Un pixel puede provenir de una de  $K$  poblaciones.
2. Un pixel se caracteriza por un conjunto de mediciones de variables aleatorias  $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$  ( $\underline{x}$  es un vector columna;  $( )^T$  indica vector o matriz traspuesta).
3. Si el pixel pertenece a la  $i$ -ésima población, entonces el vector aleatorio  $\underline{x}$  se distribuye según  $f_i(\underline{x})$ , donde  $f_i(\underline{x})$  es una función de densidad.
4. Se desea determinar a que población pertenece el pixel.

El problema y su solución variarán de acuerdo a las circunstancias siguientes:

1. Se conoce la probabilidad a priori  $p_i$  de que un pixel pertenezca a la población  $i$ -ésima.

II. Se tiene un costo  $C_{j|i}$  asociado a la asignación de un pixel a la población  $j$  dado que pertenece a la población  $i$ . Es lógico suponer que  $C_{j|i} = 0$  para  $j=1,2,\dots,K$ .

III. Se conocen (o desconocen) los parámetros de las funciones de densidad.

IV. El criterio de pérdida en la asignación de los pixels a las poblaciones.

V. La familia a la que pertenece la función de densidad, por ejemplo normal, multinomial, etc.

Existen, por supuesto otras variantes al problema y a sus soluciones pero las más importantes resultan de combinaciones de los incisos I-V.

La asignación de los pixels a las poblaciones puede hacerse formando una partición  $R = \{R_i\}_{i=1,2,\dots,K}$  del espacio de observaciones  $\mathbb{R}^m$ , que sea óptima de acuerdo a un criterio predeterminado y clasificando al pixel en la población si  $\underline{x} \in R_i$ . Un criterio comúnmente utilizado cuando se tienen costos  $C_{j|i}$  y probabilidades a priori  $p_i$  es el de mínimo costo esperado. Para definir este criterio de pérdida consideremos la probabilidad de clasificar al pixel como perteneciente a la población  $j$ -ésima dado que es de la población  $i$ -ésima y dada la partición  $R^* = \{R_i^*\}_{i=1,\dots,K}$ . Sea esta probabilidad  $P(j|i, R^*)$ . Claramente

$$P(j|i, R^*) = \int_{R_j^*} f_i(\underline{x}) d\underline{x} \quad (3.1)$$



La figura siguiente ilustra lo anterior para el caso  $K = 2, m = 1$ .

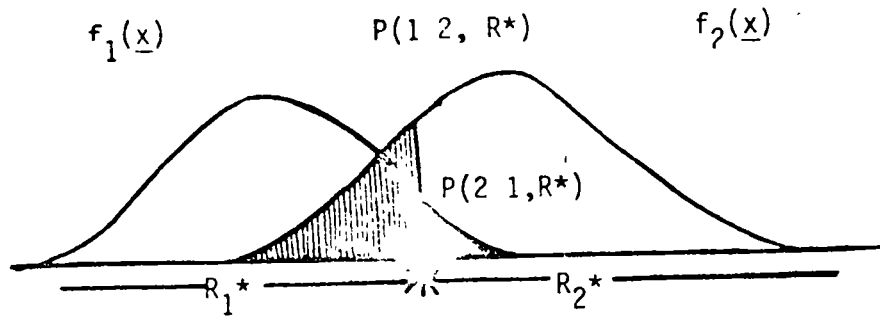


Figura 3.1.

El costo esperado de clasificar a pixels de la población  $i$ -ésima equivocadamente es.

$$C_i = \sum_{j=1}^K C_{j|i} P(j|i, R^*) \quad (3.2)$$

Este costo  $C_i$  es un costo condicional a la población  $i$ -ésima, esto es, considerando que  $\underline{x}$  proviene de la población  $i$ . El costo incondicional para todos los posibles  $\underline{x}$  que provienen de la población  $i$  con probabilidad  $p_i$  es

$$\begin{aligned} C_{R^*} &= \sum_{i=1}^K C_i p_i = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K p_i C_{j|i} P(j|i, R^*) \\ &= \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \int_{R_j^*} p_i C_{j|i} f_i(\underline{x}) d\underline{x} \\ &= \sum_{j=1}^K \int_{R_j^*} \sum_{i=1}^K p_i C_{j|i} f_i(\underline{x}) d\underline{x} = \sum_{j=1}^K \int_{R_j^*} h_j(\underline{x}) d\underline{x} \end{aligned} \quad (3.3)$$

con

$$h_j(\underline{x}) = \sum_{i=1}^K p_i C_{j|i} f_i(\underline{x}) \quad (3.4)$$

El criterio de mínimo costo esperado consiste en encontrar la partición  $R$  que minimiza  $C_{R^*}$ , es decir.

$$C_R = \min_{R^*} C_{R^*} \quad (3.5)$$

Vamos a demostrar que si se elige  $R^*$  tal que

$$\underline{x} \in R_{j^*} \quad j=1, \dots, K$$

implica

$$h_j(\underline{x}) \leq h_i(\underline{x}) \quad (3.6)$$

entonces  $R^* = R$

Una posible demostración es la siguiente (10):

Sea

$$C_{R^*} = \sum_{j=1}^K \int_{R_{j^*}} h_j(\underline{x}) d\underline{x} = \int_{\mathbb{R}^m} h_{j_0}(\underline{x}) d\underline{x} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_0}}^K \int_{R_{j^*}} (h_j(\underline{x}) - h_{j_0}(\underline{x})) d\underline{x}$$

para cualquier  $j_0$ . El primer término del lado derecho de la igualdad es independiente de la partición  $R^*$  y por lo tanto para minimizar  $C_{R^*}$  hay que minimizar el segundo término. Pero de acuerdo con (3.6),  $h_j(\underline{x}) - h_{j_0}(\underline{x}) \leq 0$  para cualquier  $j_0$  que tomemos. En consecuencia, la partición de (3.6) minimiza  $C_{R^*}$ .

Utilizando este resultado tenemos la regla de clasificación (1):

REGLA DE BAYES I

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$ .

$$h_i(\underline{x}) < h_j(\underline{x})$$

con  $h_j(\underline{x})$  definida en (3.4)

Si los costos de clasificación equivocada son los mismos, podemos suponer que  $C_{j|i} = 1$  y tenemos un caso particular de la regla anterior:

REGLA DE BAYES II

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$p_j f_j(\underline{x}) < p_i f_i(\underline{x}) \quad (3.8)$$

Ahora, si las probabilidades a priori son iguales, de la Regla de Bayes II obtenemos la.

REGLA DE MAXIMA VEROSIMILITUD

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$f_j(\underline{x}) < f_i(\underline{x}) \quad (3.9)$$

Esta regla utiliza en la clasificación exclusivamente la información proveniente de  $\underline{x}$  en tanto que las reglas anteriores utilizan las probabilidades a prior, que es información externa a los datos. Si suponemos que las fun-

ciones de densidad  $f_i(\underline{x})$ ,  $i=1, \dots, K$  son discretas, entonces  $f_i(\underline{x}) = P_i(\underline{X}=\underline{x})$ . La regla de máxima verosimilitud nos dice lo siguiente: Clasifique a  $\underline{x}$  en la población que con mayor probabilidad produce ese valor observado, es decir, -- asigne a  $\underline{x}$  a la población de la que puede provenir con máxima probabilidad.

En el caso continuo la interpretación ya no es válida, sin embargo intuitivamente es el sentido de la regla. En la figura 3.2 se ilustra esta regla.

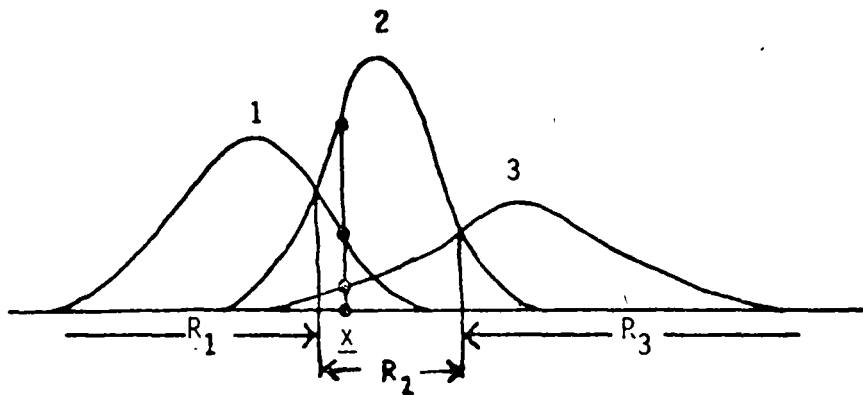


Figura 3.2 La observación  $\underline{x}$  se clasifica en la población 2.

Dada la importancia de las funciones de densidad normales, incluimos algunas reglas para este caso particular.

### Reglas de Clasificación para Funciones de Densidad Normales

Si suponemos que las funciones de densidad son normales multivariadas, es decir, son de la forma

$$f_i(\underline{x}) = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{m/2} \frac{e^{-\frac{1}{2}(\underline{x} - \underline{u}^{(i)})^T \mathbf{V}_i^{-1}(\underline{x} - \underline{u}^{(i)})}}{|\mathbf{V}_i|^{1/2}} \quad (3.10)$$

donde  $\underline{u}^{(i)}$  y  $V_i$  son respectivamente el vector de medias y la matriz de covarianza de la población  $i$ -ésima, se presentan algunos casos de interés que conducen a diferentes reglas de clasificación:

1.- Las matrices de covarianza son diferentes. Como caso particular de la Regla de Bayes II dada en (3.8) tenemos la.

### REGLA DE BAYES CUADRÁTICA

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$p_j \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{m/2} \frac{1}{|V_j|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2} (\underline{x} - \underline{u}^{(j)})^T V_j^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(j)})}$$

$$< p_i \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{m/2} \frac{1}{|V_i|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2} (\underline{x} - \underline{u}^{(i)})^T V_i^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(i)})}$$

Tomando logaritmos y removiendo términos constantes de población a población, la regla queda como:

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$-2\log p_i + \log |V_i| + (\underline{x} - \underline{u}^{(i)})^T V_i^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(i)})$$

$$< -2\log p_j + \log |V_j| + (\underline{x} - \underline{u}^{(j)})^T V_j^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(j)}) \quad (3.11)$$

Las formas cuadráticas  $(\underline{x} - \underline{u}^{(j)})^T V_j^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(j)})$ ,  $j=1, \dots, K$  son distancias ponderadas entre  $\underline{x}$  y  $\underline{u}^{(j)}$ , conocidas como distancias de Mahalanobis. Según esta distancia, todos los vectores que se encuentran a una distancia  $d$  de  $\underline{u}^{(j)}$  pertenecen al elipsoide  $(\underline{x} - \underline{u}^{(j)})^T V_j^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(j)}) = d$ .

Si las probabilidades a priori son iguales, la Regla de Bayes Cuadrática pasa a ser la.

### REGLA DE DECISION CUADRATICA

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$\begin{aligned} & \log |V_i| + (\underline{x} - \underline{u}^{(i)})^T V_i^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(i)}) \\ < & \log |V_j| + (\underline{x} - \underline{u}^{(j)})^T V_j^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(j)}) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Esta regla es la Regla de Máxima Verosimilitud dada en (3.9) para poblaciones normales. Es la regla que más ha sido empleada en percepción remota.

2.- Las matrices de covarianza son iguales, es decir,  $V_1 = V_2 = \dots = V_K = V$ .

Cuando las probabilidades a priori son diferentes, la Regla de Bayes II pasa a ser, eliminando términos que son constantes de población a población, la

### REGLA DE BAYES LINEAL

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$\begin{aligned} & -2 \log p_i + \underline{u}^{(i)T} V^{-1} \underline{u}^{(i)} + 2 \underline{u}^{(i)T} V^{-1} \underline{x} \\ < & -2 \log p_j + \underline{u}^{(j)T} V^{-1} \underline{u}^{(j)} + 2 \underline{u}^{(j)T} V^{-1} \underline{x} \end{aligned} \quad (3.13)$$

Si las probabilidades a priori son iguales, de la Regla de Máxima Verosimilitud en (3.9) o de la regla anterior obtenemos la

REGLA DE DECISION LINEAL (O LINEAL DISCRIMINANTE)

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$\begin{aligned} & \underline{u}^{(i)T} V^{-1} \underline{u}^{(i)} + 2\underline{u}^{(i)T} V^{-1} \underline{x} \\ < & \underline{u}^{(j)T} V^{-1} \underline{u}^{(j)} + 2\underline{u}^{(j)T} V^{-1} \underline{x} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Con las dos reglas últimas es necesario evaluar una función lineal de las observaciones para cada población.

3.- Las covarianzas son iguales a cero. Las matrices de covarianza son entonces matrices diagonales. Igual que en los casos anteriores, con probabilidades a priori iguales se obtiene la

REGLA DE COVARIANZA CERO I

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$\log |V_i| + (\underline{x} - \underline{u}^{(i)})^T V_i^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(i)}) < \log |V_j| + (\underline{x} - \underline{u}^{(j)})^T V_j^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(j)}) \quad (3.15)$$

con  $V_j$ ,  $j = 1, \dots, K$  matrices diagonales.

El sistema PR ha contado con la siguiente regla:

REGLA DE COVARIANZA CERO II

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$(\underline{x} - \underline{u}^{(i)})^T V_i^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(i)}) < (\underline{x} - \underline{u}^{(j)})^T V_j^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(j)}) \quad (3.16)$$

con  $V_j$ ,  $j=1, \dots, K$  matrices diagonales.

La suposición de covarianzas iguales a cero puede ser una suposición demasiado fuerte. Esta suposición ha estado implícita en los métodos de clasificación del sistema PR sin ninguna justificación aparente, excepto la del tiempo reducido de proceso que emplea.

Por último consideramos el siguiente caso:

4.- Las matrices de covarianza son iguales a la matriz idéntica. La Regla de Máxima Verosimilitud dada en (3.9) pasa a ser la

REGLA DEL VECINO MAS CERCANO

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$(\underline{x} - \underline{u}^{(i)})^T (\underline{x} - \underline{u}^{(i)}) < (\underline{x} - \underline{u}^{(j)})^T (\underline{x} - \underline{u}^{(j)}) \quad (3.17)$$

Esta regla toma la distancia Euclidiadana entre  $\underline{x}$  y  $\underline{u}^{(j)}$ ,  $j = 1, \dots, K$  y clasifica en la población con distancia mínima.

Comentarios

En ocasiones el tiempo de proceso necesario para efectuar una clasificación puede ser un factor determinante en la elección de una regla de deci-



sión. Cuando las matrices de covarianza son diferentes la regla óptima es una regla de decisión cuadrática, sin embargo, cuando una matriz de covarianza común resulta ser una buena aproximación a las matrices de covarianza, se puede optar por emplear una regla de decisión lineal. Una gran ventaja de las reglas de decisión lineales es el número reducido de operaciones necesarias para la clasificación, lo cual se traduce a un menor tiempo de proceso (Ver Tabla 1)

TABLA 1\*  
CANTIDAD DE OPERACIONES SEGUN DIFERENTES REGLAS .

REGLA	NUMERO DE SUMAS	NUMERO DE MULTIPLICACIONES
CUADRATICA**	$(m^2 + m)/2$	$(m^2 + 3m)/2$
LINEAL**	m	m - 1
COVARIANZA CERO	3m	2m
VECINO MAS CERCANO***	m	m-1

\*Adaptada de Wheeler e Ingram (43). \*\*Del mismo orden las correspondientes Reglas de Bayes Cuadrática y Lineal. \*\*\* Corrección al artículo de Wheeler e Ingram que trae 2m sumas y 2m multiplicaciones.

Existen otras alternativas para reducir el tiempo de proceso. Una de ellas es suponer que las matrices de covarianza son matrices diagonales y utilizar alguna de las Reglas de Covarianza Cero. Otra alternativa puede ser emplear la Regla del Vecino más Cercano. Pensamos que la Regla del Vecino más Cercano es una aproximación bastante burda cuando las matrices de covarianza son diferentes. La Regla de Covarianza Cero II se ha venido usando en el IIMAS (19), en ocasiones con relativo éxito. Sin embargo, la hipótesis de covarianzas iguales a cero inherente a la utilización de esta regla no ha permitido el

que las clasificaciones sean del todo aceptables para los posibles usuarios -- del sistema (Dirección General de Economía Agrícola, por ejemplo). Comentaremos en el capítulo 4 otras alternativas para reducir el tiempo de proceso.

Geométricamente, las regiones en que se ha particionado el espacio de observaciones están separadas por hiperplanos con las Reglas de Decisión Lineales en tanto que están separadas por hipersuperficies cuadráticas con las Reglas de Decisión Cuadráticas. En la figura 3.3 se ilustran estos casos.

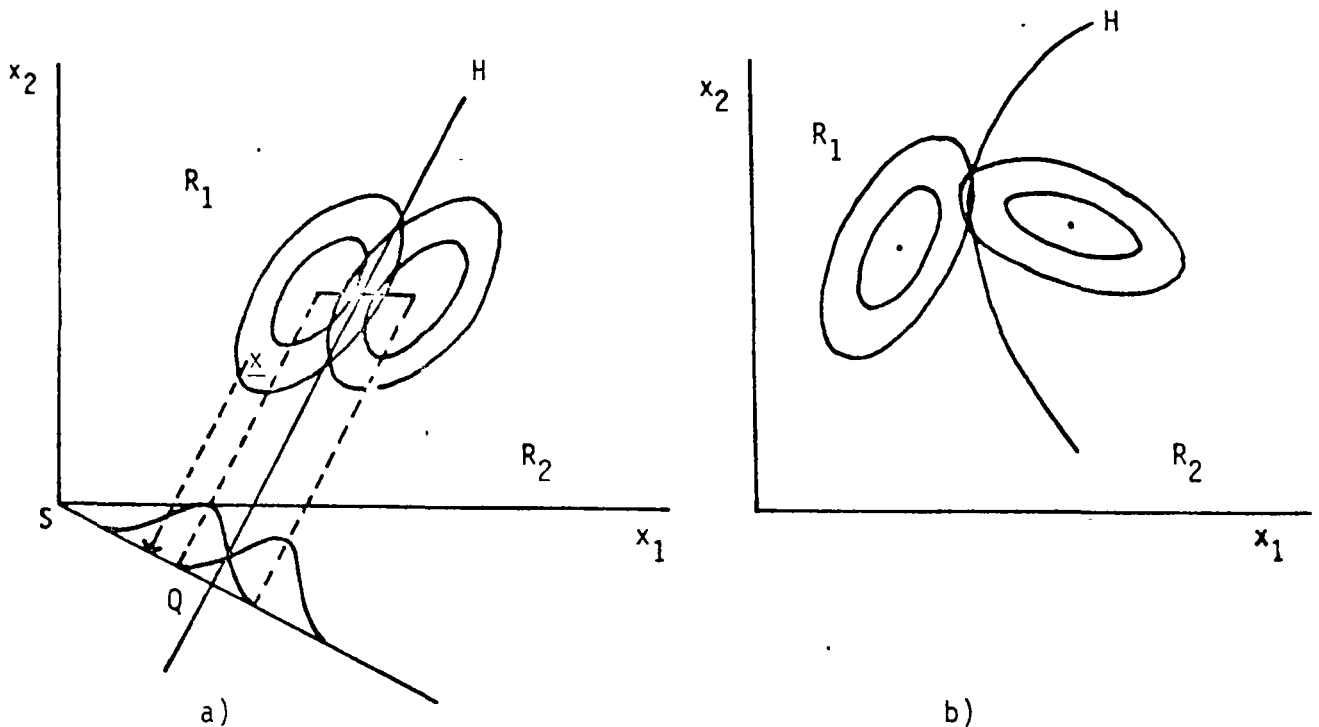


Figura 3.3. En a) Las regiones  $R_1$  y  $R_2$  están separadas por un hiperplano  $H$ , en este caso, una recta. Para ver si  $x$  se clasifica en la población 1 o en la 2-- basta fijarse en la proyección de  $x$  sobre la recta que pasa por  $S$  y  $Q$ . En consecuencia es suficiente evaluar una función lineal. En b) las regiones están separadas por una hipersuperficie cuadrática.

En la figura 3.4 aparecen ejemplificadas algunas de las consecuencias posibles al utilizar aproximaciones como las descritas con anterioridad, cuando la regla óptima es una Regla de Decisión Cuadrática.

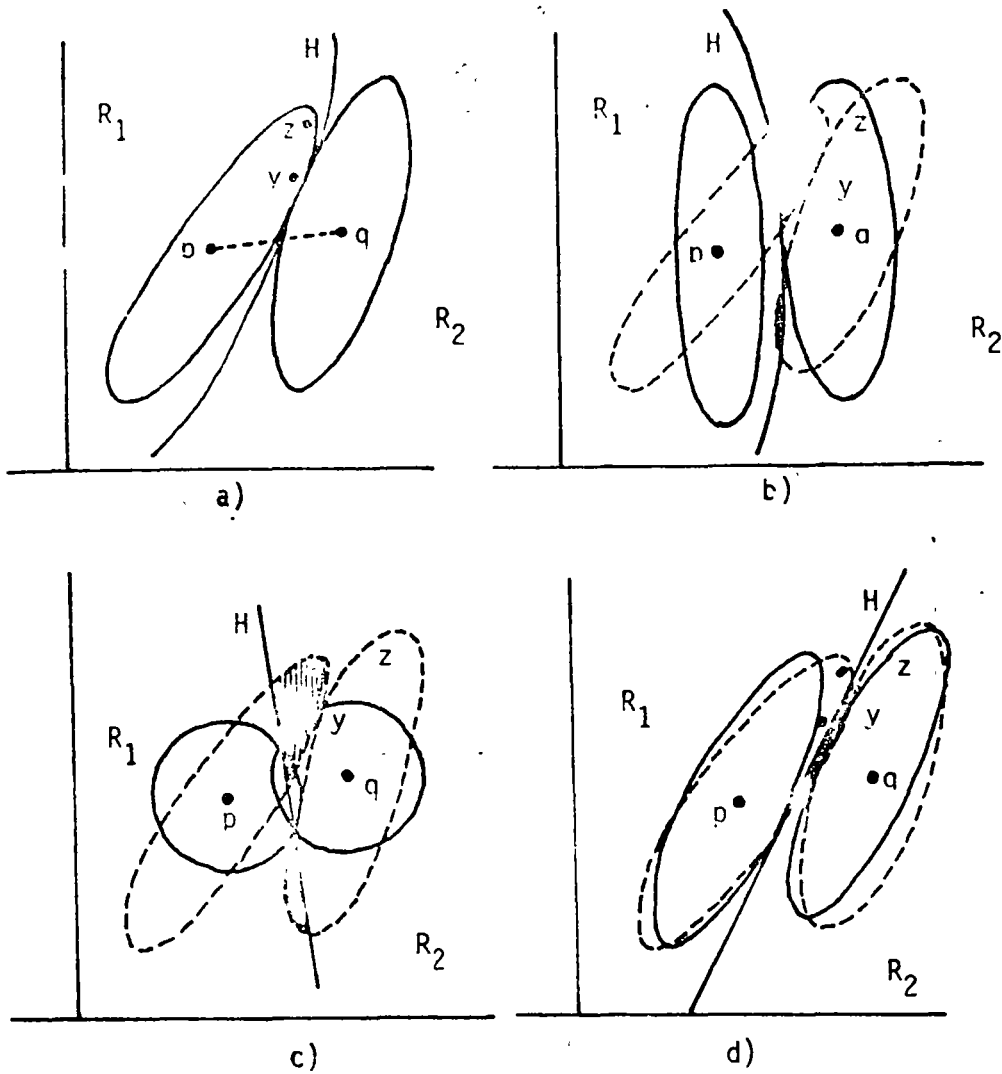


Figura 3.4. En todas las figuras  $H$  indica al hiperplano o hipersuperficie que separa a las regiones  $R_1$  y  $R_2$ . Suponiendo que las matrices de covarianza son diferentes, la partición óptima de  $R^2$  aparece en a). Los elipsoides de concentración aparecen para un mismo nivel de significancia. Es más probable que las observaciones  $z$  y  $y$  pertenezcan a la población 1 que a la población 2. En b) se ilustran las consecuencias de aplicar la Regla de Covarianza Cero. El área sombreada es la porción del elipsoide de concentración que ahora pertenece a la región  $R_2$  ahora  $z$  y  $y$  se clasificarían en la población 2. En c) aparecen las regiones bajo la Regla del Vecino más Cercano. Los resultados bajo esta regla serán peores que en el caso b). En este caso, la aproximación usando la Regla de Decisión Lineal es la que mejores resultados produce, como se ilustra en d).

En el capítulo siguiente discutimos algunas particularidades del problema de clasificación en percepción remota, así como problemas relacionados con el de clasificación, algunos de los cuales pueden ser determinantes para el logro de una buena clasificación.

#### 4. PROBLEMAS DE CLASIFICACION EN PR

En este capítulo discutimos con detalle los rasgos particulares del problema de clasificación en percepción remota así como problemas íntimamente asociados a éste. Comenzamos con una breve discusión de la superficie terrestre para de ahí pasar a examinar los siguientes puntos:

A. Uso de la normal multivariada como aproximación a la distribución real. Presencia de poblaciones no identificadas.

B. Elección de las poblaciones para clasificación. Grado de generalidad de las poblaciones.

C. Clasificación y tiempo de proceso.

D. Clasificación supervisada y clasificación no supervisada.

El último punto lo incluimos para discutir diferencias y puntos de contacto entre ambos tipos de clasificación, para de ahí obviar la necesidad de la implementación de técnicas de clasificación no supervisada en el sistema PR.

Hemos visto que en las imágenes tipo ERTS un pixel representa un área de 85 metros de lado. Como anotan Kettig y Landgrebe (25), "una premisa básica de las técnicas de clasificación es que los objetos de interés son grandes comparados con el tamaño del pixel. De otra manera, una gran cantidad de pi--

pixels serían mezclas de 2 ó más clases, lo que hace que no sea confiable la clasificación estadística de patrones". En consecuencia, la utilidad práctica de percepción remota está restringida por el tamaño de los pixels. En la figura 4.1., se ilustra lo anterior. En algunas regiones de México, el problema del tamaño de los pixels en la clasificación de cultivos es un problema grave ya que los campos de cultivo son relativamente pequeños. Ante este problema se

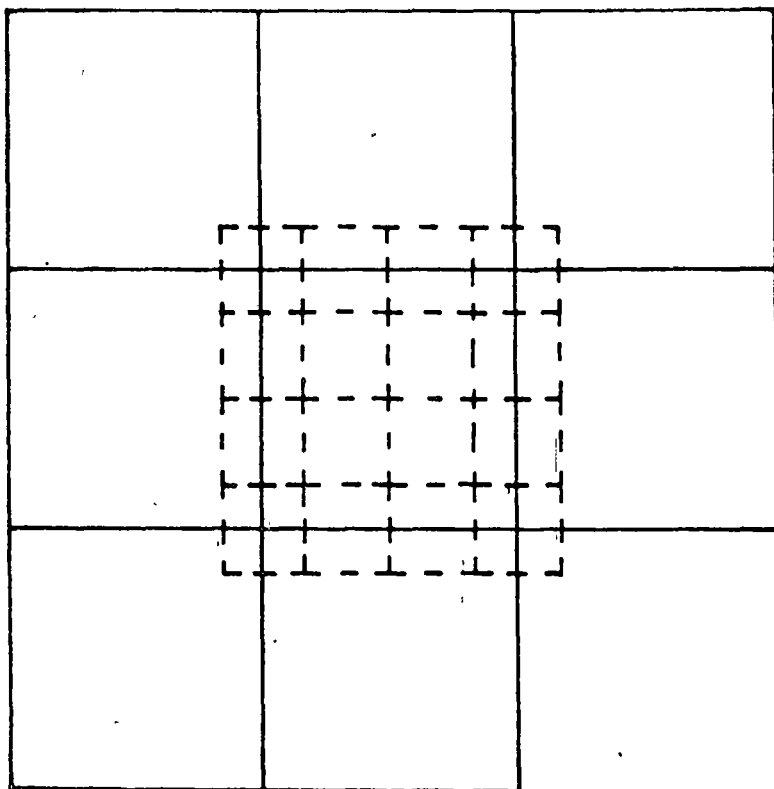


Fig. 4.1. Los cuadrados grandes son los objetos de interés, los chicos son los correspondientes a pixels. 55% del área del cuadrado central aparece en la fotografía multiespectral como una mezcla de poblaciones.

tienen varias alternativas:

- 1.- Desarrollar técnicas especiales para el tratamiento de mezclas -- de pixels. Algunos trabajos relacionados con este problema son el de Nalepka-

y Hyde (32) y el de Max Díaz en el IIMAS.

2.- No emplear la percepción remota para estos problemas sino otros métodos como puede ser el muestreo.

3.- Utilizar imágenes con mayor resolución, es decir, con pixels de tamaño más reducido. Algunos países europeos lanzarán este año un satélite y las imágenes tendrán una resolución de 20 metros de lado.

En este trabajo suponemos que el tamaño de los objetos de interés es grande relativo al tamaño de los pixels, o sea, la aplicación práctica de las técnicas que propondremos estará restringida a regiones donde esto suceda. --  
Pensamos que la aplicabilidad de los métodos justifica la implementación de --  
los mismos.

A. Uso de la normal multivariada en PR. Presencia de poblaciones desconocidas.

Pasamos ahora a discutir el problema del uso de la normal multivariada como aproximación a la distribución real. Hemos visto que la luz se refleja en cada una de las zonas espectrales dando origen a una imagen digitalizada por cada una de las bandas. La digitalización de la imagen se lleva a cabo --  
asociando un número entero 0 y 127 (entre 0 y 255 en otro tipo de imágenes) a la intensidad de la luz reflejada en cada banda. De aquí se desprende que la distribución normal es tan sólo una aproximación a la distribución real. En la práctica se ha visto que esta distribución resulta ser una buena aproximación a la real, si bien algunos autores han objetado su uso en percepción remota debido a que los histogramas de algunos cultivos u objetos de interés pre--

sentan dos o más modas. Veremos adelante como el problema de poblaciones multimodales puede resolverse y explicarse atendiendo a una especificación clara del concepto de población.

Frecuentemente sucede en percepción remota que existen objetos sobre la superficie fotografiada que no son de interés para una investigación particular y por lo tanto la caracterización del problema dada en el capítulo 3 ya no es adecuada y es necesario modificarla. De hecho tenemos que modificar el punto 1 de la caracterización dada en aquel capítulo. Una modificación posible es la siguiente:

1. Un individuo (pixel) puede provenir de una de  $K$  poblaciones identificadas a posiblemente de alguna otra población no identificada.

Esta pequeña modificación del problema que contempla la posibilidad de la presencia de observaciones espurias cambia desde luego la solución del mismo. Este problema se ha solucionado de una manera no formal, aunque intuitivamente parece bastante obvia la solución. La asignación de los individuos a las poblaciones se hace tomando una partición  $\{R_i\}$   $i = 0, 1, \dots, K$  del espacio de observaciones  $\mathbb{R}^m$  y se clasifica al individuo en la población  $i$  si  $\underline{x} \in R_i$ . Si  $\underline{x} \in R_0$ , no se clasifica en ninguna de las  $K$  poblaciones. Que nosotros sepamos, no se ha demostrado que la partición sea óptima de acuerdo a algún criterio predeterminado. Un ejemplo de modificación de las reglas de decisión aplicada a la Regla de Decisión Cuadrática (3.12) es el siguiente:

#### REGLA DE DECISION CUADRATICA MODIFICADA.

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población  $i$  si para toda  $j \neq i$

$$\log |V_i| + (\underline{x} - \underline{u}^{(i)})^T V_i^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(i)}) < \log |V_j| + (\underline{x} - \underline{u}^{(j)})^T V_j^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(j)})$$

y si

$$(\underline{x} - \underline{u}^{(i)})^T V_i^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(i)}) < \chi_{(m)}^2 1-\alpha \quad (4.1)$$

Intuitivamente esto significa que la distancia ponderada por el inverso de las varianzas y covarianzas (distancia de Mahalanobis) entre  $\underline{x}$  y  $\underline{u}^{(i)}$  no debe ser "muy grande". El pixel  $\underline{x}$  se clasifica en la población  $i$ -ésima si además cumple con la condición de estar en el elipsoide de concentración de contenido  $1-\alpha$ . El lado izquierdo de la desigualdad (4.1) se distribuye según -- una  $\chi^2$  con  $m$  grados de libertad si efectivamente  $\underline{x}$  pertenece a la población  $i$ -ésima. Hasta ahora el valor de  $\alpha$  se ha seleccionado en una forma arbitraria basada en la experiencia de los usuarios, a falta de un criterio que permita obtener valores de  $\alpha$  "óptimos". Con esta modificación del problema no es necesario tener 2 ó más poblaciones identificadas puesto que se puede tener una sola población y clasificar a los pixels o dejarlos sin clasificar. Es necesaria una mayor investigación enfocada a resolver este nuevo problema. Es nuestra opinión que si es posible identificar a todas las poblaciones en que han de clasificarse los pixels se obtienen mejores resultados. Esta opinión se -- justifica por el hecho de que si no están identificadas las poblaciones, entonces con probabilidad -- pero mayor que 0 un pixel de la población  $i$ -ésima queda sin clasificarse.

Muchas veces no es posible identificar a todas las poblaciones o el -- procedimiento puede ser muy costoso. Una alternativa que es factible en la -- clasificación de cultivos, por ejemplo, es incorporar al sistema información -- auxiliar, como puede ser la del banco de datos de CETENAL, y suprimir previa-- te (o añadir posteriormente) a la clasificación, pixels que no son de inte-



as en la clasificación de cultivos, como pueden ser carreteras, rancherías, -  
 ablos, zonas rocosas y otro tipo de objetos que tienen la propiedad de no va-  
 riar o variar lentamente con el tiempo.

Hasta el momento de escribir esto, la utilización de una regla modifi-  
 cada sólo podía hacerse dentro del algoritmo de clasificación. Una mejor es-  
 trategia para emplear una regla modificada es clasificar a todos los pixels en  
 alguna de las poblaciones con una regla no modificada y a la hora de compara-  
 ción o impresión de las clasificaciones aplicar la modificación (4.1). Esta -  
 estrategia es muy eficiente pues permite el ensayo de varios valores de  $\alpha$  y -  
 con un costo reducidísimo comparado con el costo de volver a clasificar si se  
 aplica (4.1) dentro del algoritmo de clasificación.

Por otra parte, pensamos que la modificación a las reglas de decisión  
 es una buena alternativa, la mejor que hemos encontrado, cuando definitivamen-  
 te existen objetos que no son de interés y que no pueden reconocerse antes de  
 la clasificación.

#### B. Elección de poblaciones para clasificación.

Pasamos ahora al problema de la elección de las poblaciones para la -  
 clasificación. La solución a este problema es un punto crucial para el logro  
 de una buena clasificación. Por otro lado, este problema es el que mayor con-  
 fusión origina y quizá el mas difícil de resolver. Para ello creemos conve- -  
 niente manejar un concepto de población que nos permita aclarar el problema. -  
 Utilizaremos el siguiente concepto (30):

Población es un conjunto de mediciones que se pueden efectuar sobre -  
 una o varias características comunes de un grupo de individuos u obje-  
 tos.

En el caso que nos preocupa las características comunes serán las intensidades de luz reflejadas en cada una de las bandas. Unos ejemplos de poblaciones pueden ser:

a). El conjunto de vectores de mediciones de intensidad de luz de los pixels de trigo del valle del Yaqui, con mediciones tomadas a las 9 AM del 12 de abril de 1973.

b). El conjunto de vectores de mediciones de intensidad de luz de los pixels de trigo del valle del Yaqui, sembrado entre el 5 y el 10 de marzo de 1973, con mediciones tomadas a las 9 AM del 12 de abril de 1973.

c). El conjunto de vectores de mediciones de intensidad de luz de los pixels de trigo del valle del Yaqui, sembrado entre el 1 y el 7 de marzo de 1973, con mediciones tomadas a las 12 AM del 17 de mayo de 1973.

d). El conjunto de vectores de mediciones de intensidad de luz de los pixels del valle del Yaqui, con mediciones tomadas a las 9 AM del 12 de abril de 1973.

En la definición de las poblaciones a) -d) hemos especificado factores comunes a todos los objetos (pixels) sobre los que se toman las mediciones. En a) , por ejemplo, los factores comunes son: trigo del valle del Yaqui, mediciones tomadas a las 9 AM del 12 de abril de 1973. En b) los factores comunes son: trigo del valle del Yaqui, sembrado entre el 10 y el 30 de marzo de 1973, mediciones tomadas a las 9 AM del 12 de abril de 1973.

En la definición de las poblaciones a) - d) hemos dejado sin especi

afectar una gran cantidad de factores que pueden variar entre los objetos de las poblaciones consideradas. Se considera que la variación entre las mediciones de las características comunes de los objetos de una población es debida a los factores que no han sido definidos. Factores que afectan la variación de las mediciones de la intensidad de luz pueden ser, entre otros, los siguientes:

A. Naturaleza de los objetos fotografiados.

a.1. Propiedades del suelo: contenido de sustancias minerales, humedad, etc.

a.2. Tipo de objetos fotografiados: cultivos, bosques, zonas rocosas, agua, etc.

a.3. Topografía de la superficie estudiada: altura sobre el nivel del mar, montañas, cerros, valles, etc.

a.4. Factores que afectan a los cultivos: Fase de desarrollo, técnica de sembrado, variedad de cultivo dentro de un mismo tipo, etc.

B. Condiciones meteorológicas y condiciones en que fue tomada la fotografía.

b.1. Elevación solar, irradiación solar, ángulo relativo entre el sol y el barredor multiespectral, hora en que se toma la fotografía, día, latitud, estación del año, etc.

b.2. Humedad de la atmósfera, presencia de nubes, temperatura, etc.

Podemos ver que en los ejemplos dados anteriormente han quedado muchos factores sin especificarse. Mientras más factores queden sin especificarse, diremos que la población tiene un mayor grado de generalidad. Así, en los ejemplos, d) es una población con mayor grado de generalidad que a) y a) a-

su vez es de mayor grado de generalidad que b). Esperamos que las poblaciones con un mayor grado de generalidad tengan mayor variabilidad que las de menor grado de generalidad, lo que resulta claro en los ejemplos.

Veamos ahora en qué medida nos puede ser útil el concepto de población. El banco de información y apoyo terrestre es alimentado con información proporcionada generalmente por algunos organismos públicos como la DGEA, CETENAL, etc. La DGEA, por ejemplo, proporciona información acerca de regiones en donde se sabe que está sembrado un cierto cultivo. El banco de información -- tiene almacenadas las coordenadas del cultivo, y el tipo de cultivo y un número para invocar esta información, conocida como "verdad de tierra". En ocasiones también se crea una "verdad de tierra" combinando la información dada por el organismo público y un análisis visual de las fotografías de una o varias bandas. Por ejemplo, si la DGEA afirma que en determinadas coordenadas existe trigo, el fotointérprete puede decir que en realidad existen 2 ó más trigos y etiquetarlos como TRIGO 1, TRIGO 2, etc.

En ocasiones el fotointérprete se ayuda con histogramas de las diferentes bandas para detectar la presencia de modas. De esta manera se crean -- una o más verdades de tierra para una información dada por el organismo público. Una verdad de tierra nos puede servir para la estimación de los parámetros poblacionales o para comparar los resultados del clasificador. Para llevar a cabo una clasificación de cultivos se ha venido haciendo en el IIMAS lo siguiente: Se seleccionan K verdades de tierra correspondientes a los M cultivos de interés,  $K \geq M$ . Se estiman los parámetros poblacionales (se crea un -- aprendizaje) empleando las K verdades de tierra y este aprendizaje se almacena en un banco de aprendizajes (o de firmas espectrales). Con el aprendizaje obtenido se clasifica un subconjunto de la región de interés y se compara la -

clasificación con las verdades de tierra disponibles en el área clasificada. - Si los resultados que arroja la comparación no son aceptables se aumenta el número de verdades de tierra, se crea un nuevo aprendizaje y se repite el procedimiento hasta que los resultados de la comparación resultan aceptables. Una vez logrado esto se pasa a clasificar toda la región modificando ocasionalmente los aprendizajes.

El procedimiento anterior acoolece de varios defectos, aparte del método de clasificación que se ha utilizado, entre ellos están: a). Las K poblaciones tienen un grado de generalidad menor al deseable y esto quiere decir que no son representativas de todas las poblaciones presentes en la región. b). - Las verdades de tierra ocasionalmente contienen muy pocos pixels lo que trae como consecuencia una estimación inadecuada de los parámetros. c). Con el método de comparación empleado hasta ahora (20) los resultados (porcentajes acertados para cada uno de los M cultivos) están sobreestimados ya que se utilizan la mayor parte de las verdades de tierra tanto para la estimación de parámetros como para la comparación de resultados. d) Se aumenta innecesariamente el tiempo de proceso en las clasificaciones.

El punto c). del párrafo anterior es un defecto que de hecho no depende de la metodología empleada para las clasificaciones sino que es un defecto del programa de comparación fácilmente corregible. Ya hemos propuesto las modificaciones necesarias y que consisten en tomar en cuenta si la verdad de tierra se usó en la estimación de parámetros o si solamente se emplea en la comparación. En la nueva versión del programa aparecerán los porcentajes acertados para cada uno de los M cultivos considerando las verdades de tierra que no se emplearon en el aprendizaje, los porcentajes acertados para cada uno de los cultivos tomando las verdades de tierra del aprendizaje y también los porcentajes

acertados sin tomar en cuenta el tipo de verdad de tierra (si se utilizó para el aprendizaje o no). La comparación de resultados según el tipo de aprendizaje puede servir como un indicador de si se han elegido apropiadamente las K poblaciones.

El punto b) es un defecto que se puede deber a varias razones. Por una parte se puede deber a la acción del fotointérprete que crea más verdades de tierra que las posiblemente necesarias. Por otra parte puede ser debido a limitaciones que se tienen en la captación de datos de campo y también a limitaciones en los programas para la creación de aprendizajes. Las limitaciones en la captación de datos de campo se deben a que por algún motivo (metodología empleada en la obtención de datos de campo, costo de obtención, objetivos del organismo que los obtuvo, etc.), no se cuenta con un número razonable de pixels para la estimación de los parámetros. Las limitaciones en los programas son debidas a la falta de flexibilidad de los mismos para utilizar varias verdades de tierra en la estimación de parámetros de una población. Ya hemos propuesto modificaciones a los programas que crean los aprendizajes que permitan manejar con facilidad varias verdades de tierra.

El punto d). es un defecto que se corrige aprovechando las mejoras de los programas que crean los aprendizajes y subsanando el defecto mencionado en el punto a). Este ultimo defecto puede corregirse parcialmente definiendo de manera explícita a las poblaciones consideradas. Tomemos como ejemplo otra vez a los cultivos. Un factor importante y al cual no se le ha dado la importancia debida es la madurez de los cultivos. Si este factor queda debidamente especificado en la definición de las poblaciones, será más fácil saber cuales son las K poblaciones que representen

a los M cultivos de interés. Como la madurez de los cultivos a su vez depende principalmente de la variedad de los cultivos y de las fechas de siembra, es conveniente especificar también estos factores. Con la ayuda de un agrónomo se pueden definir quizás otros factores que pueden ser relevantes en la definición de las poblaciones representativas de los M cultivos. Esta información debe formar parte del banco de información terrestre. Conforme sea más rica la información proveniente de datos de campo, mayor será la posibilidad de descubrir cuáles son los factores que más afectan la reflectancia de los objetos y entonces incluirlos en la definición de las poblaciones. La definición de las poblaciones deberá hacerse preferentemente antes de la elección de las verdades de tierra con las que se efectúa el aprendizaje. Un análisis posterior puede revelar si los factores incluidos realmente definen poblaciones diferentes o si dos o más poblaciones previamente definidas pueden ser tomadas como una sola población. Esto se puede hacer probando la hipótesis de que varias poblaciones normales son idénticas. El procedimiento para probar esta hipótesis es el descrito por Anderson (1, pp. 250-259). Es conveniente que el análisis se pueda efectuar cuando se crean los aprendizajes por lo que en la nueva versión del sistema se incluirá como opción del programa que lo crea. Resulta claro que los resultados obtenidos mediante este análisis serán de utilidad en la medida que se tenga suficiente información proveniente de datos de campo.

Con la metodología superada se evitará en gran parte el utilizar poblaciones con grado de generalidad menor al deseable que son las que ocasionalmente se emplean por la acción del fotointérprete y que impiden lograr buenas clasificaciones.

Otro aspecto que queda por discutir es la presencia de poblaciones multimodales. El que una población sea multimodal es un indicativo de que en-

realidad se trata de una mezcla de varias poblaciones con menor grado de generalidad. Es de esperarse que con el procedimiento propuesto, la presencia de varias modas no sea un problema grave ya que estas distarán poco entre sí, en caso de existir. Esto también resuelve posiblemente, el problema de heterogeneidad de matrices de varianzas y covarianzas, al considerar poblaciones con grado de generalidad semejante.

### C. Clasificación y tiempo de Proceso.

Mencionamos en el capítulo 1 que una de las ventajas de las Reglas de Decisión Lineales, de Covarianza Cero y del Vecino más Cercano sobre las Reglas de Decisión Cuadráticas es el tiempo menor de proceso que emplean en las clasificaciones. En esta sección vemos que en realidad esta ventaja es bastante relativa y que primordialmente lo que debemos investigar en percepción remota son métodos que mejoren los resultados en las clasificaciones.

Si suponemos que el empleo de una Regla de Decisión Cuadrática es el indicado para clasificar los pixels, tenemos algunas alternativas factibles para reducir el costo de las clasificaciones si se pretende aplicar la regla a grandes volúmenes de datos:

1. Diseñar y construir en hardware el algoritmo deseado. Esto aumenta considerablemente la velocidad de proceso reduciendo por lo tanto el costo.
2. Adaptar el sistema PR a una minicomputadora. El costo de proceso de las minicomputadoras es bastante reducido. Esta es una alternativa que algún organismo como CETENAL puede elegir.
3. Reducir el número de bandas en la clasificación. Una técnica para seleccionar bandas adecuadas utiliza una medida de distancia o divergencia-



entre las poblaciones. Es conveniente que el sistema cuente en un corto plazo una técnica de selección de bandas y para ello incluimos en el apéndice A una discusión de estas medidas. Esta técnica será particularmente útil cuando se trabaje con imágenes con un número mayor de bandas que las actuales o cuando se maneje información multitemporal.

4. Adaptar el método sugerido por Eppler, Helmke y Evans (15), a la regla de Decisión Cuadrática seleccionada. La idea básica del método de Eppler es la siguiente (23), (33), (34):

Se ha supuesto al emplear las Reglas de Decisión Cuadráticas que el espacio de observaciones es  $\mathbb{R}^m$  cuando de hecho las observaciones están contenidas en el látice.

$$L^m = \{ 0 \leq x_i \leq a ; i=1, \dots, m; x_i \in \mathbb{N} \}$$

( $a=127$  ó  $a=255$  según el tipo de imagen).

Entonces, la partición  $\{R_i\}$   $i=0,1,\dots,K$  del espacio de observaciones es una partición del látice  $L^m$ . Es posible enumerar cada elemento de  $\{R_i\}$  antes de la clasificación y asignarle una localidad en memoria. La técnica de Eppler consiste en la búsqueda en memoria de la localidad asociada al vector que ha de clasificarse. En consecuencia evita el tener que evaluar  $K$  formas cuadráticas sustituyendo estos cálculos por sencillas operaciones de almacenamiento. Asimismo desarrollan técnicas para reducir los requerimientos de memoria, puesto que si estas técnicas el método requeriría un número excesivamente grande de localidades ( $127^m$  ó  $255^m$ )\*.

---

\*  $127^4 = 260, 144, 641.$

$255^4 = 4, 228, 250, 625.$

El método de Eppler es un método muy ingenioso para reducir el tiempo de proceso y efectuando algunas mejoras y cambios a la propuesta original puede adaptarse a los métodos propuestos en este trabajo.

5. Una segunda técnica de Eppler (16) consiste en representar en forma canónica las inversas de las matrices de covarianza para de ahí expresar cada forma cuadrática como una suma de cuadrados monótonamente creciente. Cuando una suma parcial excede el mínimo valor de la suma de cuadrados de otras poblaciones previamente evaluadas, se pasa a evaluar la suma de cuadrados de la siguiente población. Eppler logra así una precisión de una clasificación de 12-bandas en un tiempo aproximado de clasificación que usa 4 bandas.

Como puede verse, existen varias alternativas para reducir el costo de proceso, siendo las más viables por el momento la adaptación del segundo método de Eppler y la implementación de un algoritmo para la selección de bandas. La adaptación del primer método de Eppler requiere unos cambios más profundos en el sistema PR.

#### D. Clasificación Supervisada y Clasificación no Supervisada.

El propósito de tratar este punto no consiste en exponer cuáles son los métodos más adecuados para clasificación no supervisada en percepción remota sino es el especificar en que casos puede ser útil este tipo de técnicas y el por qué la necesidad de contar con un algoritmo de esta especie.

Las técnicas de clasificación no supervisada (o técnicas de agrupamiento) buscan agrupar observaciones en conjuntos ajenos, de tal manera que los elementos de cada conjunto guardan una relación entre sí, en tanto que ob-

Observaciones de diferentes conjuntos guardan poca o ninguna relación. Cada conjunto define una clase o población. La relación entre las observaciones frecuentemente está dada por alguna medida de distancia entre observaciones. Debe asegurarse que diferentes distancias no midan la misma relación entre observaciones.

Existe una enorme cantidad de estrategias y técnicas de agrupamiento, pero se puede decir que todas buscan descubrir una estructura o patrón inherente a los datos.

Debe enfatizarse la diferencia de esta técnica con las técnicas de clasificación (clasificación supervisada) que hemos discutido con anterioridad. En esta última el problema consiste en la asignación correcta de las observaciones a las poblaciones o clases preestablecidas. En clasificación no supervisada el problema consiste en encontrar y definir las clases que produjeron las observaciones; en este caso no se sabe de antemano cuales clases o poblaciones resultarán.

En percepción remota existe un uso muy importante de estas técnicas de agrupamiento. En ocasiones no es posible contar con verdades de tierra necesarias para estimar los parámetros de las poblaciones para una clasificación supervisada. Una alternativa para clasificar en este caso es emplear este tipo de técnicas. Una vez formadas las clases se puede tomar una muestra al azar de cada uno de las clases formadas y de alguna forma identificar cuales son los objetos que están representando estas clases. Esto puede hacerse empleando algún tipo de información disponible, como mapas de CETENAL, o bien, haciendo visitas al campo, etc.

Haralick (22), Kaveriappa (24), Su y Cumming (38) han implementado -- técnicas de clasificación no supervisada para el caso particular de percepción remota. En los artículos de Duggin (13) y Cipra (7) se reportan algunas experiencias con este tipo de técnicas. Kettig y Landgrebe (25) combinan técnicas de agrupamiento con técnicas de clasificación supervisada. Primero agrupan pa ra de ahí pasar a clasificar. •

Como vemos, hace falta en el proyecto PR iniciar una investigación pa ra analizar una técnica adecuada para el proyecto. La utilidad de esto salta a la vista.

## 5. METODOS PROPUESTOS.

Al iniciar el trabajo de implementar en el IIMAS un nuevo método de clasificación que permitiera obtener mejores resultados que los obtenidos anteriormente, estábamos conscientes de que al utilizar tan sólo las mediciones espectrales para clasificar los datos, desperdiciábamos información muy valiosa inherente a la naturaleza particular de los mismos. Nosotros sabíamos, por ejemplo, que pixels vecinos tienen una alta probabilidad de ser parecidos, es decir, de pertenecer a la misma población. El problema que se nos planteaba era el cómo incorporar esta información a un modelo de decisión. En la revisión de la literatura de percepción remota nos encontramos que si bien varios autores (15), (25), (37) emplean de alguna manera esta información, ninguno de ellos hace uso de la Regla de Bayes para incorporar ésta a un modelo de decisión. Podemos afirmar, al menos, puesto que no tenemos acceso a toda la literatura especializada en el tema, que si alguien ha propuesto hacer uso de estas reglas anteriormente en la forma que nosotros proponemos, no ha tenido el impacto o la difusión necesaria o desable. En la literatura existente en el IIMAS no se encuentra ningún artículo que use Reglas de Bayes para incorporar información relativa a la posición de los pixels en la superficie terrestre. Si se encuentran artículos que utilizan probabilidades a priori (35), pero estas probabilidades añaden información histórica de la proporción del área de interés que en años anteriores estuvo ocupada por cada una de las poblaciones. Creemos que los métodos que proponemos a continuación, una vez vistos pueden parecer demasiado obvios, pero el hecho de que no se empleen hasta ahora indica lo contrario.

### Método A.

En éste y en los demás métodos resolvimos adaptar la Regla de Bayes - Cuadrática (3.11) puesto que generalmente la suposición de igualdad de matrices de covarianza necesaria para las Reglas de Bayes Lineales no es una suposición adecuada. Para dar un valor a las probabilidades a priori seguimos el siguiente razonamiento:

Dado que el pixel  $x_j$  ha sido clasificado en la población  $i$ -ésima, el pixel  $x_{j+1}$  tiene una probabilidad a priori mayor de ser clasificado en la población  $i$ -ésima que la de ser clasificado en cualquiera de las otras poblaciones; además, a no ser por la población  $i$ -ésima no tenemos preferencia por ninguna otra población.

Llegamos a la conclusión que la probabilidad a priori del vecino no puede ser evaluada, sino que tiene que ser dada subjetivamente por el usuario. Para llegar a una elección adecuada de esta probabilidad, el usuario del método se puede basar en características de la superficie, número de poblaciones, forma de tenencia de la tierra, etc. Como vemos en los resultados del siguiente capítulo, la elección de la probabilidad a priori, precisamente por estar dada de manera subjetiva, puede variar bastante de individuo a individuo y sin embargo la sola incorporación de ésta deja como resultado una mejor clasificación que con la Regla de Decisión Cuadrática (3.12), apropiada cuando se carece de probabilidades a priori.

En el programa que utiliza este método modificamos la Regla de Bayes - Cuadrática para permitir la posible presencia de pixels no pertenecientes a ninguna de las  $K$  poblaciones consideradas, como discutimos en el capítulo 4. El usuario da el valor de  $\alpha$  de (4.1.). A esta  $\alpha$  la llamamos probabilidad del -

preclasificado. Esta modificación se incluyó en los demás métodos, así como --  
la opción de usar cualquier subconjunto de las cuatro bandas.

Otra opción que incluimos exclusivamente en este método fue la posibi-  
lidad de emplear la Regla de Bayes Lineal. Esta opción la incluimos con el --  
fir. de efectuar algunas comparaciones y es probable que no permanezca en la --  
nueva versión del sistema PR.

### Método B.

El método A tiene la desventaja de la aplicación de la Regla de Bayes  
Cuadrática pixel por pixel lo cual requiere un mayor tiempo de procesador que  
otros métodos. Como ya vimos con anterioridad, este problema es relativo pues  
to que existe la posibilidad de implementar el método con hardware o bien adap-  
tar las técnicas de los clasificadores que emplean tablas (Table Look Up Algo-  
rithms). Sin embargo, durante algún tiempo es conveniente contar con un méto-  
do que no aplique la Regla de Bayes Cuadrática pixel por pixel sino que elija-  
en qué casos hacer uso de esta regla. Para ello nos basamos en el siguiente -  
resultado:

Si  $\underline{X}_1$  y  $\underline{X}_2$  se distribuyen independientemente según una normal m-varia  
da,  $N_m(\underline{\mu}, \underline{V})$ , entonces  $(1/2) (\underline{X}_1 - \underline{X}_2)^T \underline{V}^{-1} (\underline{X}_1 - \underline{X}_2)$  se distribuye según --  
una "ji" cuadrada con m grados de libertad,  $\chi^2(m)$ .

El resultado anterior nos permite decidir cuando dos pixels vecinos -  
son semejantes. Supongamos que el pixel  $\underline{x}_j$  ha sido clasificado en la población  
i-ésima. Decimos que dos pixels  $\underline{x}_j$  y  $\underline{x}_{j+1}$  son semejantes si

$$(\underline{x}_j - \underline{x}_{j+1})^T \underline{V}_i^{-1} (\underline{x}_j - \underline{x}_{j+1}) < \chi^2_{(m)}^{\alpha} \quad (5.1.)$$

donde  $\chi^2_{(m)}$  es un valor que se puede extraer de tablas de la  $\chi^2$ .

Básicamente, el procedimiento de clasificación es como sigue:

El pixel  $x_j$  ha sido clasificado en la población  $i$ -ésima. Si el pixel  $x_{j+1}$  es semejante al pixel  $x_j$ , se clasifica en la población  $i$ -ésima. Si no es semejante se clasifica de acuerdo a la Regla de Bayes Cuadrática Modificada.

A pesar de que los pixels vecinos no sean semejantes de acuerdo a (5.1), al usar la Regla de Bayes Cuadrática suponemos que a priori es más probable que el pixel  $x_{j+1}$  pertenezca a la misma población que el pixel  $x_j$ , es decir, la no semejanza de pixels vecinos no modifica el valor de las probabilidades a priori. Esta estrategia ha dado buenos resultados como veremos en el próximo capítulo.

Con este método estamos empleando las características de los datos con una doble finalidad: la de mejorar las clasificaciones introduciendo información espacial mediante las probabilidades a priori y la de reducir el tiempo de proceso usando (5.1). En este método podemos considerar al tiempo de procesador como una variable aleatoria pues depende en parte de la disposición de las poblaciones en la superficie terrestre.

El uso de (5.1) para reducir el tiempo se presta a muchas discusiones. No es plenamente justificable la suposición de independencia en la que nos hemos basado, el pixel  $x_j$  puede estar incorrectamente clasificado, el valor de  $\alpha$  se da arbitrariamente, etc. Lo único que esperamos de (5.1) es que nos permita detectar distancias "grandes" de acuerdo a una métrica que intuitivamente parece ser razonable. Los resultados que veremos en el capítulo 6 sugieren que efectivamente (5.1) logra los objetivos deseados, es decir, reduc-



ción en el tiempo de proceso con un elevado porcentaje de clasificación correcta. Además, como ya mencionamos en el capítulo 4, este es un método que se utilizará en tanto no se haya adaptado el método de Eppler o alguna de las otras posibilidades para reducir el tiempo de proceso. Como veremos adelante, este método sacrifica un poco de precisión en las clasificaciones para lograr una reducción en tiempo.

### Método C.

Este método es la consecuencia lógica del Método A. Si el Método A tomaba en cuenta al pixel izquierdo, no hay razón por que no considerar también al pixel de arriba. El razonamiento es entonces el siguiente:

Dado que el pixel  $x_j$  ha sido clasificado en la población  $i$ -ésima y el pixel de arriba  $x_a$  ha sido clasificado en la población  $k$ -ésima, el pixel  $x_{j+1}$  tiene una probabilidad a priori mayor de ser clasificado en la población  $i$ -ésima o en la población  $k$ -ésima que la de ser clasificado en cualquiera de las -- otras poblaciones. Suponemos que la probabilidad a priori de la  $i$ -ésima y la  $k$ -ésima población son iguales. En caso de que  $x_j$  y  $x_a$  sean clasificados en la misma población  $i$ , entonces la probabilidad a priori para la población  $i$ -ésima es la doble que si se hubieran clasificado en poblaciones diferentes.

### Comentarios Adicionales.

En todos los métodos se ha utilizado la Regla de Bayes Cuadrática Modificada. Una mejor estrategia consiste en usar la Regla de Bayes Cuadrática y guardar en el archivo de letras (el que contiene los resultados de la clasificación) el valor calculado de la forma cuadrática. Así, tanto en la impresión de mapas de clasificación como en la comparación de resultados se pueden ensayar varios valores para el preclasificado sin tener que volver a clasificar.

Esta estrategia es la que más se utiliza para poblaciones no identificadas (Ver por ejemplo el manual de LARSYS (44). Para implementar esta estrategia es necesario hacer pequeños cambios en algunos programas. En la nueva versión del sistema aparece esta modificación.

## 6. RESULTADOS

Para comparar resultados trabajamos en la Región del Valle del Yaqui- puesto que contábamos con abundante información proveniente de datos de campo. Para comparar clasificaciones utilizamos la subrutina COMPAR(20) basándonos en el porcentaje total acertado (PTA) de los cultivos de los que disponíamos de información terrestre. El archivo analizado (nombre: TRIGOS, Fecha: Abril 12, 1973), contiene trigo, linaza, sorgo, algodón y cártamo. En total supusimos 11 poblaciones para representar a los cinco tipos de cultivos: 3 de trigo, 3 de sorgo, 2 de linaza, 2 de algodón y 1 de cártamo. La manera como llegamos a decidir que 11 poblaciones eran las adecuadas para representar a los cinco cultivos tuvo que ser desafortunadamente por ensayo y error por varias razones -- que se resumen en la siguiente: El sistema PR carece de la herramienta necesaria para desarrollar una metodología para la elección de poblaciones.

Comparamos cinco métodos: Métodos A, B y C, Método 0 (Regla de Covarianza Cero II) y Método 1 (Regla de Decisión Cuadrática). Del archivo TRIGOS se tenía información de tierra correspondiente al 34.21% del archivo. De este porcentaje, un 21.32% se utilizó para estimar los parámetros de algunas de las poblaciones. Los resultados aparecen en la tabla siguiente.

TABLA 2

METODO	PTA	PORCENTAJE		ACERTADO DE		TIEMPO DE PROCESO		PESO <sup>1</sup>	ALPHA <sup>2</sup>
		TRIGO	LINAZA	SORGO	ALGODON	CARTAMO	(Segundos)		
0	87.5	92.4	97.3	54.5	96.3	93.2	87.7		
1	92.8	95.8	93.2	82.8	89.7	98.1	191.8*		
1 A	93.5	95.9	92.6	86.7	92.5	99.0	182.5	2	
2 A	94.7	96.1	93.7	91.3	93.5	99.0	171.2	4	
3 A	95.3	96.3	95.6	91.5	93.5	99.0	168.1	5	
4 A	95.5	96.3	95.9	91.3	96.3	99.0	162.8	6	
5 A	93.6	96.7	96.2	78.5	97.2	99.0	173.8	7	
6 B	92.4	95.4	92.2	83.5	87.9	99.0	155.0	1	.1
7 B	92.1	95.4	93.1	79.9	89.7	99.0	159.0	1	.25
8 B	92.1	95.1	94.7	79.9	83.2	99.0	126.0	1	.5
9 B	93.0	95.8	92.8	83.8	92.5	99.0	151.8	2	.1
10 B	93.0	95.8	93.7	82.4	92.5	99.0	143.7	2	.25
11 B	92.3	95.4	94.1	80.1	86.9	99.0	129.6	2	.5
12 B	93.6	96.0	94.3	84.0	93.5	99.0	161.7	4	.1
13 B	93.3	96.0	95.2	81.2	93.5	99.0	141.2	4	.25
14 B	92.5	95.8	94.1	79.2	91.6	99.0	119.3	4	.5
15 B	94.1	96.3	95.3	84.9	93.5	99.0	152.4	5	.1
16 B	93.8	96.3	96.2	81.5	93.5	99.0	127.0	5	.25
17 B	92.8	95.8	95.0	79.6	90.7	99.0	111.6	5	.5
18 B	93.9	96.3	95.6	83.1	93.5	99.0	162.7	6	.1
19 B	93.5	96.3	96.2	79.6	93.5	99.0	135.6	6	.25
20 B	92.8	95.8	95.0	79.6	90.7	99.0	111.5	6	.5
21 C	94.1	95.9	94.1	88.1	92.5	99.0	163.3	2	
22 C	95.3	96.4	95.8	89.9	96.3	99.0	173.0	3	
23 C	96.3	97.0	96.5	93.4	96.3	99.0	168.8	3.5	
24 C	96.3	96.9	97.0	92.4	98.1	99.0	171.3	4	
25 C	96.1	97.1	97.7	88.8	100.0	99.0	159.2	5	
NUMERO DE PIXELS		295	666	437	107	103			

1. PESO significa lo siguiente: Si  $p$  es la probabilidad a priori por asignarse a la población en que fue clasificado el pixel vecino, entonces

$$P = \frac{\text{PESO}}{\text{NUMERO DE POBLACIONES}}$$

2. ALPHA: son los valores de  $\alpha$  de la expresión (4.1) para definir la semejanza entre dos pixels vecinos.

\* El tiempo de proceso del Método 1 no es comparable con el de otros métodos puesto que se usó el mismo algoritmo del Método A con PESO=1.

Como era de esperarse, el Método 0 tuvo el PTA menor de todos los métodos y a la vez el mejor tiempo de procesador. El porcentaje acertado de sorgo es de tan sólo 54.5%. Por la época en que fue tomada la fotografía, el sorgo presenta dificultades en ser identificado ya que se confunde principalmente con el algodón. El Método 1, al incluir las covarianzas, logra una mejora del 5.3% sobre el Método 0 incrementando, por supuesto el tiempo de procesador.

El porcentaje acertado de sorgo pasa de 54.5% con el Método 0 a 82.8% con este método. Sin embargo, el porcentaje acertado de algodón baja de 96.3% a 89.3%, es decir, sigue confundiendo algodón y sorgo.

El Método A, a medida que se incrementa la probabilidad a priori, supera al Método 1. Logra la mejor clasificación cuando el peso es igual a 6 con un PTA de 95.5%. Cuatro de los cinco cultivos tienen un porcentaje acertado mayor que el 95.5%. El sorgo, que causa problemas, logra un 91.3%. Sobre el Método 0 logra una mejora de hasta 8% y sobre el Método 1 una mejora de hasta 2.7%. Lo interesante es que la mejora sobre los Métodos 0 y 1 es para un rango considerable de pesos. Al Método 1 lo supera el Método A indiscutiblemente puesto que logra mejores clasificaciones y emplea aproximadamente el

mismo tiempo de procesador. La única ventaja del Método 0 es el reducido tiempo de proceso.

El Método B logra mejores resultados que el Método 1 para  $\alpha = .1$  y  $\alpha = .25$  y mejores que el 0 en todos los casos. Se observa en general que si  $\alpha$  crece el tiempo decrece. Vemos que hay una relación entre los porcentajes-totales acertados de los Métodos A y B. El PTA de los dos aumenta conforme aumenta el peso hasta un peso de 5. Con peso igual a 6 el Método B disminuye en tanto que el Método A aumenta. Para el mismo peso, el Método A supera el B. El Método B con peso 5 y  $\alpha = .25$  obtiene resultados aproximadamente iguales al Método A y con un tiempo más reducido (127.0 contra 182.5). Parece ser que este método se encuentra entre el Método 1 y el A en cuanto a PTA y entre el Método 0 y el A en lo que a tiempo se refiere.

El Método C arroja los resultados mas sorprendentes. Utiliza aproximadamente el mismo tiempo de procesador que el Método 1 y logra una mejoría sobre éste de 1.3% con peso 2 hasta de 3.5% con pesos 3.5 y 4. Para los mismos pesos supera considerablemente al Método A y por lo tanto a los demás métodos. Nótese que con un peso de 5, la probabilidad a priori que se asigna a cualquiera de las 9 de un total de 11 poblaciones es de  $\frac{1}{11 \times 9} = \frac{1}{99}$  comparada con  $\frac{5}{11}$  que se asigna a las poblaciones en que fueron clasificados los vecinos de la izquierda y de arriba. A pesar de la enorme diferencia que hay entre las probabilidades a priori y que quizás intuitivamente puede parecer excesiva, los resultados obtenidos indican que esta diferencia no es tan descabellada.

Las siguientes figuras ilustran los resultados obtenidos.

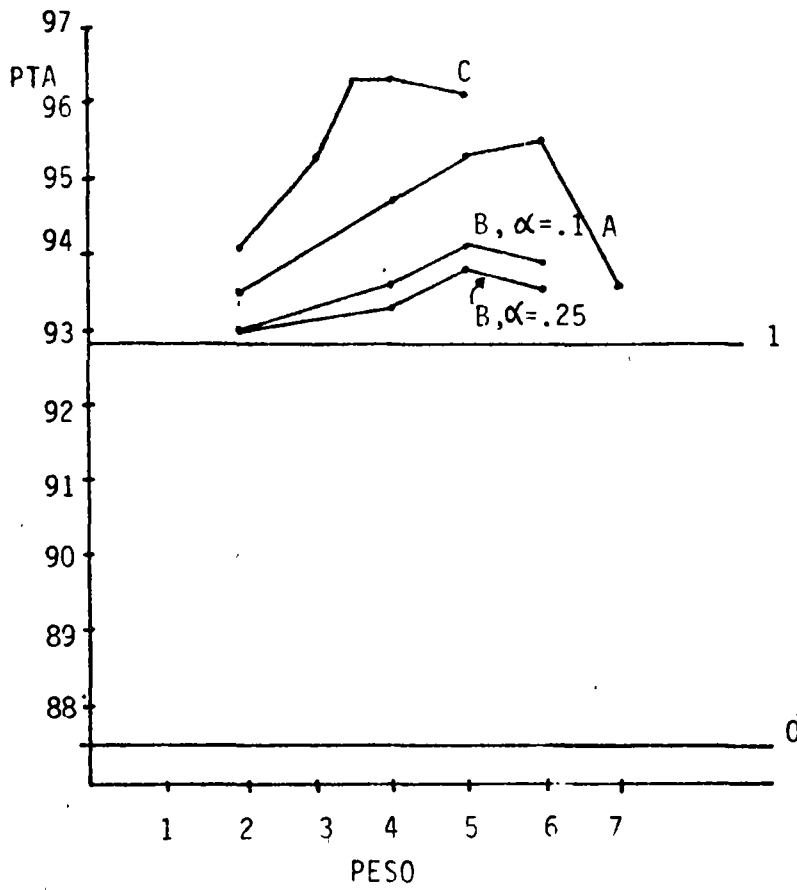


Figura 6.1. Comparación de los PTA obtenidos con los diferentes métodos.

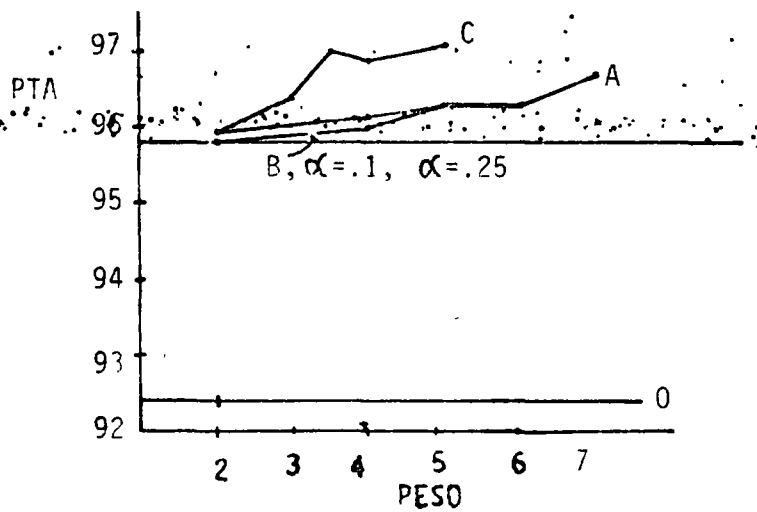


Figura 6.2. Porcentajes abiertos de trino con los diferentes métodos.

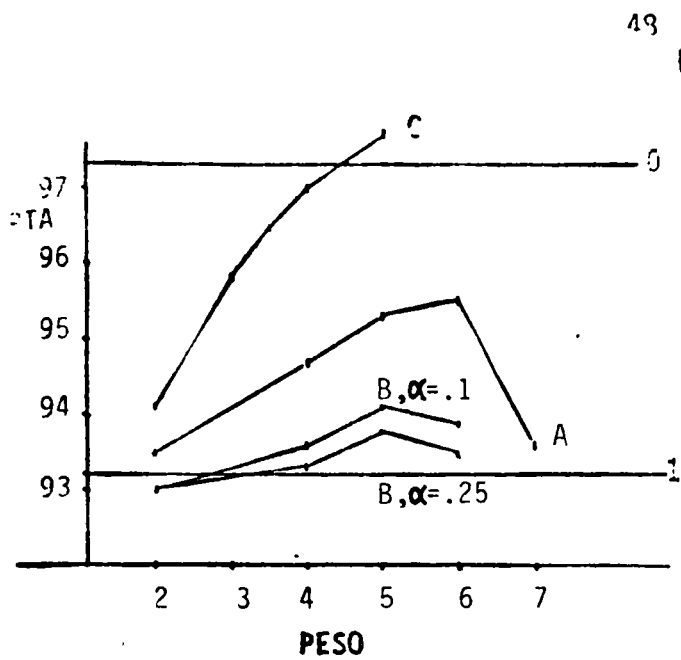


Figura 6.3. Porcentajes acertados de lianza con los diferentes métodos.

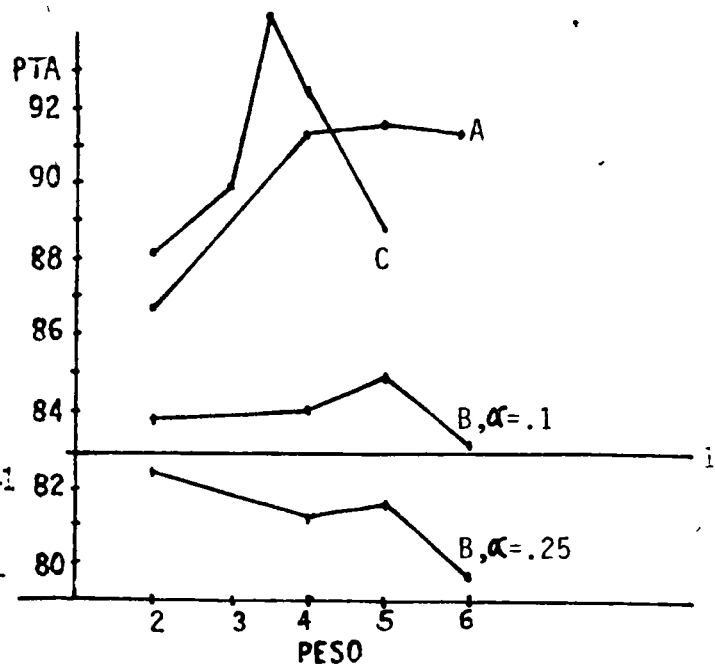


Figura 6.4. Porcentajes acertados de sorgo con los diferentes métodos.

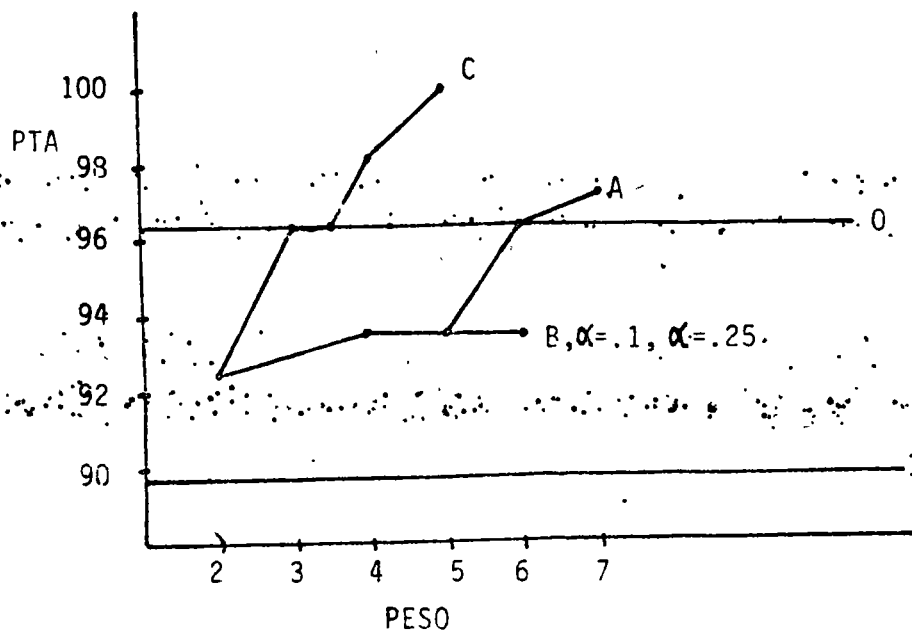


Figura 6.5. Porcentajes acertados de algodón con los diferentes métodos.



Ejemplo de Clasificación.

Para usar alguno de los métodos de clasificación el procedimiento se rfa el siguiente:

```

R PR/BAZ/JUNTA
#RUNNING 1835
#?
#BIENVENIDO AL SISTEMA PR. VERSION 4.3, MAYO 20 1976
#QUIEN ERES???, EN FORMATO A6 P.F. . . . . .GUIBAZ
#IMPRIME DESCRIPTORES? . . . . . .AR
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO.(A6) . . . .TRIGOS
#TRIGOS(1) PRESENTE.
#IMPRIMO LOS DATOS DE CAMPO?. . . . . .CL
#CLASIFICA? . . . . . .SI
#DA APREND. Y CLSIF(EL,MD,C2,B2,BA,BV,BJ). .3,"B2"

DA PESO PARA PROBABILIDAD A PRIORI : 2.0
CUANTAS Y CUALES BANDAS 4,1,2,3,4

ESTOY CLASIFICANDO. ESPERA UN POCO

TERMINO CLASIFICA. PT = 163.3 IOT = 2.0

```

El archivo se llama TRIGOS, los parámetros de las funciones de similitud están guardados en el aprendizaje 3 y el método de clasificación se llama B2, que corresponde al Método C. El Método A se llama BA y el Método B se llama BV.

Ejemplo de Comparación

Una vez clasificado el archivo, el procedimiento de comparación es el siguiente:

ESTOY CLASIFICANDO. ESPERA UN POCO

TERMINO CLASIFICA.PT=171.3 IOT= 1.8  
 #ALMACENO LA CLASIFICACION? . . . . .CO  
 #INDICE DE COMPORTAMIENTO? . . . . .SI  
 #MTODO(O=NRMAL),CUANT Y CUALS DATOS D CAMP1,0,0.

DAR APROZJ USADO EN LA CLASFN, SALIDA (1=TTY)3,1

COMPORTAMIENTO 1 DEL ARCHIVO TRIGOS DEL ADAN YAQUI3 APR= 30

DAT NUM	LETRA	NOMBRE CULTIV	NUM DE PIXELS	% ACE	SIN CLAS	TRIG	LINA	SORG	ALGO	CART
80	111111	LINAZ1	70	97.1	0	0	68	0	0	2
86	1NNNNN	LINAZ1	65	100.0	0	0	65	0	0	0
87	3NNNNN	LINAZ3	84	96.4	0	3	81	0	0	0
88	+++++	CARTA1	30	100.0	0	0	0	0	0	30
89	*****	CARTA2	33	100.0	0	0	0	0	0	33
91	KKKKKK	CARTAO	8	87.5	0	0	1	0	0	7
97	WWWWW	TRIG01	80	100.0	0	80	0	0	0	0
98	E.....	TRIGOE	33	100.0	0	33	0	0	0	0
101	O.....	TRIGOO	135	100.0	0	135	0	0	0	0
108	.....	ALGOD1	24	91.7	0	0	0	2	22	0
109	B.....	ALGODB	32	100.0	0	0	0	0	32	0
110	000000	SORG01	9	66.7	0	2	0	6	1	0
111	2SSSSS	SORG02	32	100.0	0	0	0	32	0	0
116	111111	LINAZ1	70	97.1	0	0	68	0	0	2
117	1NNNNN	LINAZ1	65	100.0	0	0	65	0	0	0
118	333333	LINAZ3	84	96.4	0	3	81	0	0	0
120	A.....	TRIG01	40	100.0	0	40	0	0	0	0
121	1-----	ALGOD1	33	100.0	0	0	0	0	33	0
220	.....	SORG1	33	100.0	0	0	0	0	0	0
221	ANNMNN	LINAZ4	12	91.7	0	0	11	0	0	1
222	4SSSSS	SORG4	9	77.8	0	0	0	7	2	0
224	5SSSSS	SORG5	6	0.0	0	0	0	0	6	0
230	2SSSSS	SORG2	70	97.1	0	0	0	68	2	0
233	2.....	TRIGU2	35	100.0	0	35	0	0	0	0
235	3SSSSS	SORG3	80	100.0	0	0	0	80	0	0
238	9.....	TRIG09	30	100.0	0	30	0	0	0	0
239	A.....	TRIGOA	6	0.0	0	0	4	0	0	2
240	2NNMNN	LINAZ2	20	100.0	0	0	20	0	0	0
241	1NNMNN	LINAZ1	16	100.0	0	0	16	0	0	0
412	2-----	ALGOD2	18	100.0	0	0	0	0	18	0
413	P.....	TRIGOB	42	100.0	0	42	0	0	0	0
414	2*****	CARTA2	16	100.0	0	0	0	0	0	16
417	4*****	CARTA4	9	100.0	0	0	0	0	0	9
720	A.....	CARTA5	7	100.0	0	0	0	0	0	7

721	A.....	TRIGOA	168	96.4	0	162	0	6	0	0
722	D.....	TRIGOD	128	100.0	0	128	0	0	0	0
723	ASSSSS	SORGOA	196	89.8	0	0	0	176	20	0
725	ANNNNN	LINAZA	180	95.0	0	9	171	0	0	0
726	Z.....	TRIGOZ	266	98.1	0	261	3	2	0	0
727	W.....	TRIGOW	276	92.0	0	254	15	0	7	0
732	C.....	TRIGOG	56	98.2	0	55	1	0	0	0
PIXELS BIEN		CLASIF	EN	CADA	COLUM	1255	646	404	105	102
MUN D PIX/COL		PARA	CLASN	PERFCTA		1295	666	437	107	103
PORCENTAJE		ACERTADO	POR	COLUMNA		96.9	97.0	92.4	98.1	99.0
DAT LETRA	NOMBRE NUM	DE	%	SIN	TRIG			SORG		CART
NUM	CULTIV PIXELS	ACE	CLAS		LINA			ALGO		

PORCENTAJE TOTAL ACERTADO = ( 2512/ 2608)= 96.3  
 PORCENTAJE VERIFICADO=( 2608/ 7623)= 34.21

## Comentarios Finales.

Creemos que los resultados presentados son bastante prometedores, sobre todo los del Método C. Quizás una de las razones por las que no se han difundido este tipo de métodos es la subjetividad de las probabilidades a priori. Pensamos que el temor a utilizar este tipo de probabilidades no debe existir, sino que se deben ver como una alternativa de incorporar información difícilmente cuantificable. Hemos visto que las probabilidades a priori pueden variar bastante y sin embargo seguir superando a la Regla de Decisión Cuadrática.

En este trabajo deliberadamente no incluímos probabilidades a priori que incorporan información histórica de la proporción del área de interés ocupada por cada una de las poblaciones, queríamos recalcar el uso de probabilidades a priori subjetivas con información acerca de la posición de los pixels. Es de esperarse que la combinación de ambos tipos de información lleve a mejorar aun más los resultados. En la nueva versión del sistema habrá la posibilidad de incorporar ambos tipos de información.

Otra posibilidad que se contempla es la siguiente. En ocasiones se toman varias poblaciones para describir a un solo objeto, por ejemplo, puede interesar la superficie cosechada de trigo y no importa si para clasificar se emplearon 3 o más poblaciones de trigo. Llamemos a estas 2 o más poblaciones elementos de un grupo. Una vez que el pixel vecino ha sido clasificado en una población que pertenece a un grupo, se incrementa no solo la probabilidad a priori de la población sino la del grupo.

## 7. CONCLUSIONES

Para evaluar correctamente los resultados de este trabajo es conveniente hacer un breve resumen de las actividades desarrolladas. Al plantearse nos el problema de adaptar un método de clasificación al sistema PR, lo primero que saltaba a la vista era la falta de una justificación de no incluir covarianzas con el uso de la Regla de Covarianza Cero II. La sugerencia de incorporarlas ya había sido hecha con anterioridad a los miembros del proyecto. Pero lo que nos parecía más importante al abordar este problema era el hecho de que en general en la literatura especializada en percepción remota no se aprovechaba la estructura de dependencia espacial que tienen los datos. Esta estructura proveía de bastante información para efectuar las clasificaciones y es de aquí que surgió el Método A. Al comparar los tiempos de proceso de este Método contra los tiempos del Método 0 (Covarianza Cero) surgió la preocupación de reducirlo y para ello ideamos el Método B. A lo largo del tiempo hemos visto que esta preocupación era parcialmente infundada puesto que existen alternativas viables sin sacrificar para nada los resultados de las clasificaciones. El análisis de los resultados al usar el Método B y el Método C de esto creemos que la experiencia con este método fue fructífera en el sentido de que nos dimos cuenta que la dependencia espacial puede emplearse para disminuir el tiempo de proceso. Después del éxito obtenido con el Método A y habiendo probado el Método B nació el Método C, que sin duda es el que mayor información espacial incorpora y por tanto el que mejores resultados proporciona. Con la experiencia adquirida en este tiempo podemos anotar las siguientes conclusiones:

1.- El enfoque no convencional de incorporar información acerca de la posición de los pixels utilizando probabilidades a priori subjetivas ha rendido excelentes resultados.

2.- Pueden emplearse probabilidades a priori muy diferentes y sin em bargo los resultados superan a los métodos que no utilizan esta información.

3.- La reserva a emplear estas probabilidades a priori puede y debe desaparecer. El rango de valores tan amplio para elegir éstas da al usuario gran flexibilidad y con poco riesgo de hacer una elección inadecuada.

En cuanto al mejoramiento del sistema PR se han hecho las siguientes propuestas que se incluirán en la nueva versión del sistema:

1.- Una mayor flexibilidad en la creación de aprendizajes. En la versión vieja suele ser muy tardado el proceso de combinar información de dife rentes datos de campo así como la de distintos aprendizajes y distintas foto grafías. Para ello sufrirá el sistema algunos cambios que no viene al caso re reseñar aquí.

2.- Propuesta de un algoritmo de selección de bandas que emplea la distancia de Bhattacharyya.

3.- Para el tratamiento de poblaciones no identificadas aplicar la modificación a las reglas de clasificación después de clasificar.

Entre las propuestas para lograr mejores frutos en la clasificación están las siguientes:

1.- Elección adecuada de poblaciones atendiendo a los conceptos de -

población y de grado de generalidad de las poblaciones.

2.- Para tener éxito en el punto anterior es necesario recabar mayor información de cada dato de campo. Con la información disponible hasta ahora es bastante difícil crear buenos aprendizajes.

3.- Es necesaria una mayor interacción con los especialistas interesados en las clasificaciones. Un especialista en usos del suelo, por ejemplo, tendrá mayores conocimientos para definir adecuadamente las poblaciones.

Entre los aspectos que es necesario investigar se encuentran los siguientes:

1.- Incorporación de información histórica conjuntamente con información espacial empleando para ello probabilidades a priori. Es de esperarse -- que esta información sirva para mejorar aún más los resultados.

2.- Extensión de los aprendizajes obtenidos en una región a otra región distante geográficamente. Existen problemas fuertes como son el cambio de la inclinación solar. Algunos trabajos al respecto son el de Brooner (5) - y el de Kriegler y Marshall (26).

3.- Con los métodos de clasificación se tienen estimaciones de -- áreas cultivadas, no así de la productividad del área.

Es necesario investigar más este aspecto. En el proyecto LACIE (29) - se han hecho algunas investigaciones al respecto que pueden servir como base - para un estudio posterior.

Como puede verse, existen varios temas que es necesario investigar -- para lograr un buen avance en el proyecto.



## 8. APENDICES

APENDICE A

Hasta ahora los usuarios y programadores del sistema PR han trabajado con fotografías tipo ERTS, fotografías que constan de cuatro bandas. En un futuro cercano se utilizarán fotografías con un número mayor de bandas y además se tendrán imágenes multitemporales superponiendo 2 o mas fotografías de la misma región, por ejemplo, se puede considerar que se tienen 8 variables (4 bandas en 2 épocas). Debido a esto ha aflorado un problema que antes no se le había dado la suficiente importancia. Este problema es el de la selección de bandas (o mejor, selección de variables) para propósitos de clasificación. El objetivo de este apéndice es presentar una solución a este problema. Como existen varios métodos de selección de bandas y ninguno ha demostrado ser el "óptimo", describimos un método que ha dado buenos resultados en la práctica (2, 6, 17, 27).

El método que describimos se basa en el concepto de divergencia (o de distancia) entre dos poblaciones o funciones de distribución. Para aclarar algunas ideas comenzamos con un ejemplo.

Ejemplo:

Consideremos el siguiente problema de clasificación: Queremos clasificar a  $\underline{x}$  en una de dos poblaciones. Las funciones de densidad  $f_1(\underline{x})$  y  $f_2(\underline{x})$  son normales con medias  $\underline{u}^{(1)}$  y  $\underline{u}^{(2)}$  y matriz de covarianza común  $V$ . La regla de máxima verosimilitud es:

Clasifique a  $\underline{x}$  en la población 1 si

$$f_1(\underline{x}) \geq f_2(\underline{x}) \iff \frac{f_1(\underline{x})}{f_2(\underline{x})} \geq 1$$

y clasifique a  $\underline{x}$  en la población 2 si

$$\frac{f_1(\underline{x})}{f_2(\underline{x})} < 1$$

Tenemos el logaritmo natural de  $\frac{f_1(\underline{x})}{f_2(\underline{x})}$

$$\begin{aligned} U &= \ln \frac{f_1(\underline{x})}{f_2(\underline{x})} = \frac{1}{2} \left[ (\underline{x} - \underline{u}^{(1)})^T V^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(1)}) - (\underline{x} - \underline{u}^{(2)})^T V^{-1} (\underline{x} - \underline{u}^{(2)}) \right] \\ &= \underline{x}^T V^{-1} (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)}) - \frac{1}{2} (\underline{u}^{(1)} + \underline{u}^{(2)})^T V^{-1} (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)}) \end{aligned}$$

Si  $\underline{x}$  pertenece a la población 1, la esperanza de U es

$$E_1(U) = \int \ln \left( \frac{f_1(\underline{x})}{f_2(\underline{x})} \right) dF_1(\underline{x}) = \int \ln \left( \frac{f_1(\underline{x})}{f_2(\underline{x})} \right) f_1(\underline{x}) d\underline{x} \quad (\text{A.1})$$

que en este caso particular es

$$\begin{aligned} E_1(U) &= (\underline{u}^{(1)})^T V^{-1} (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)}) - \frac{1}{2} (\underline{u}^{(1)} + \underline{u}^{(2)})^T V^{-1} (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)}) \\ &= \frac{1}{2} (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)})^T V^{-1} (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)}) \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

y la varianza es igual a

$$\sigma_1^2(U) = (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)})^T V^{-1} (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)}) = \alpha \quad (\text{A.3})$$

Análogamente, si  $\underline{x}$  pertenece a la población 2,

$$E_2(U) = \int \ln \left( \frac{f_1(\underline{x})}{f_2(\underline{x})} \right) dF_2(\underline{x}) = \int \ln \left( \frac{f_1(\underline{x})}{f_2(\underline{x})} \right) f_2(\underline{x}) d\underline{x} \quad (A.4)$$

Sustituyendo e integrando llegamos a que

$$E_2(U) = -E_1(U)$$

Tenemos también que la varianza  $\sigma_2^2(U)$  es

$$\sigma_2^2(U) = \sigma_1^2(U) = \alpha \quad (A.5)$$

Definimos la divergencia  $J$  entre las dos distribuciones como

$$J = E_1(U) - E_2(U) = (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)})^T V^{-1} (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)}) = \alpha \quad (A.6)$$

A  $E_i(U)$ ,  $i=1, 2$  se les conoce como divergencias dirigidas

Notemos que (A.6) es precisamente la distancia de Mahalanobis. La probabilidad de clasificar a  $\underline{x}$  en la población 2 dado que pertenece a la pobla-

$$P(2|1) = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} e^{-(z - \alpha/2)^2 / 2\alpha} dz$$

$$= \int_{-\infty}^{-\frac{\alpha}{2\sqrt{\alpha}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-y^2/2} dy$$

Análogamente,

$$P(1|2) = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} e^{-(z+\alpha/2)^2/2\alpha} dz$$

$$\frac{\alpha}{2\sqrt{\alpha}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-y^2/2} dy$$

Vemos en este ejemplo que la divergencia  $J$ , en este caso la distancia de Mahalanobis, está íntimamente relacionada con la probabilidad de clasificación equivocada. Ilustramos el ejemplo en la siguiente figura.

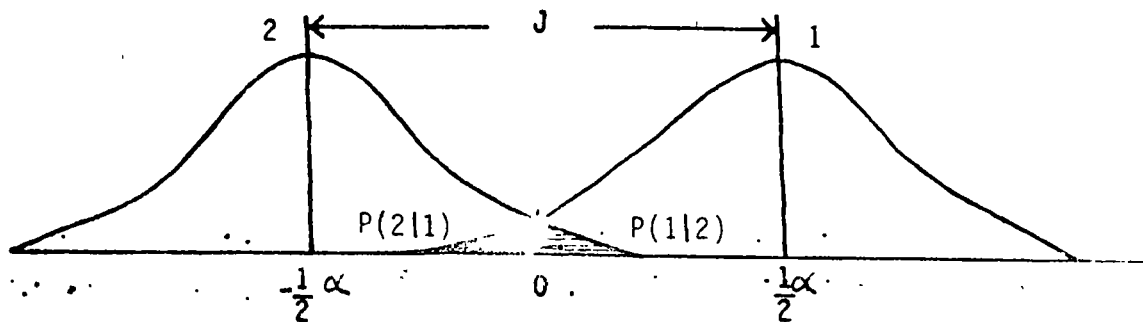


Figura A.1. 1 y 2 indican las funciones de densidad de  $U$  cuando  $\underline{x}$  pertenece a la población 1 y 2, respectivamente.

En general, toda distancia o divergencia entre 2 distribuciones está relacionada con la probabilidad de error. La probabilidad de error se define como sigue:

$$P_E = p_1 \int_{R_2} f_1(\underline{x}) d\underline{x} + p_2 \int_{R_1} f_2(\underline{x}) d\underline{x} = p_1 P(2|1) + p_2 P(1|2) \quad (A.7)$$

( $P_1$  y  $P_2$  son las probabilidades a priori)

Damos a continuación algunas de las distancias mas comunes para de --  
ahi pasar a analizar la relación de ellas con la probabilidad de error, o sea,  
clasificación equivocada.

1) Números de Kullback-Leibler o divergencia dirigida.

$$I(1,2) = \int \ln \left( \frac{f_1(x)}{f_2(x)} \right) f_1(x) dx \quad (A.8)$$

$$I(2,1) = \int \ln \left( \frac{f_2(x)}{f_1(x)} \right) f_2(x) dx$$

En el ejemplo anterior,  $I(1,2) = E_1(U)$  y  $I(2,1) = E_2(U)$ .

2) Divergencia

$$J_{12} = I(1,2) - I(2,1) \quad (A.9)$$

Como caso particular de la divergencia  $J$  esta la distancia de Mahala-  
pobis, como vimos en el ejemplo.

3) Distancia de Bhattacharyya.

$$B = B_{12} = -\log \rho \quad (A.10)$$

donde  $\rho = \int \sqrt{f_1(x) f_2(x)} dx$

4) Distancia variacional de Kolmogorov

$$K = \frac{1}{2} \int |p_1 f_1(x) - p_2 f_2(x)| dx \quad (A.11)$$

Vemos a continuación algunas relaciones de estas distancias con la  $P_E$ .

La distancia variacional de kolmogorov se relaciona con  $P_E$  de la siguiente manera:

$$K = \frac{1}{2} \int |p_1 f_1(x) - p_2 f_2(x)| dx$$

$$= \frac{1}{2} \int_{R_1} |p_1 f_1(x) - p_2 f_2(x)| dx$$

$$+ \frac{1}{2} \int_{R_2} |p_1 f_1(x) - p_2 f_2(x)| dx$$

$$= \frac{1}{2} \int_{R_1} (p_1 f_1(x) - p_2 f_2(x)) dx$$

$$+ \frac{1}{2} \int_{R_2} (p_2 f_2(x) - p_1 f_1(x)) dx$$

$$= \frac{1}{2} p_1 (1 - P(2|1)) - \frac{1}{2} p_2 P(1|2)$$

$$+ \frac{1}{2} p_2 (1 - P(1|2)) - \frac{1}{2} p_1 P(2|1)$$

$$= \frac{1}{2} (p_1 + p_2) - p_1 P(2|1) - p_2 P(1|2)$$

$$= \frac{1}{2} P_E$$

(A.12)

En la próxima figura ilustramos los cálculos anteriores

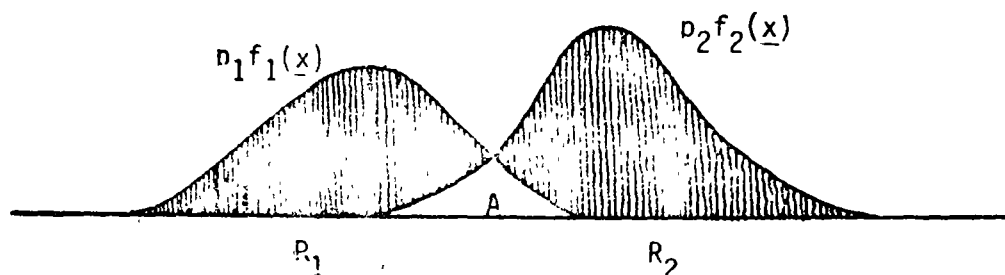


FIGURA A.2. En la región  $R_1$  la diferencia  $p_1 f_1(x) - p_2 f_2(x)$  es positiva y en la región  $R_2$  negativa. Hemos integrado toda el área sombreada. El área bajo  $p_1 f_1(x)$  es  $p_1$  y el área bajo  $p_2 f_2(x)$  es  $p_2$  y el área de las 2 sumas 1. Por lo tanto, el área  $A$  es  $1-K$  y es igual a  $2 P_E$ .

Vemos que existe una relación biunívoca entre  $K$  y la probabilidad de error. En general resulta muy difícil encontrar la distancia de Kolmogorov -- puesto que es necesario conocer las regiones  $R_1$  y  $R_2$ . Sin embargo, es posible encontrar cotas superiores e inferiores para esta distancia y por tanto para la probabilidad de error. Unas de estas cotas dependen de la distancia de -- Bhattacharyya, que en particular en el caso de poblaciones normales es muy sencilla de evaluar. Una cota superior se obtiene empleando la desigualdad de -- Schwarz (b):

$$(2K)^2 = \left[ \int \left| p_1 f_1(x) - p_2 f_2(x) \right| dx \right]^2 \leq$$

$$\int \left| \sqrt{p_1 f_1(x)} - \sqrt{p_2 f_2(x)} \right|^2 dx \int \left| \sqrt{p_1 f_1(x)} + \sqrt{p_2 f_2(x)} \right|^2 dx$$

$$= \left[ 1 - 2 \sqrt{p_1 p_2} \rho \right] \left[ 1 + 2 \sqrt{p_1 p_2} \rho \right] = 1 - 4 p_1 p_2 \rho^2$$

Análogamente se obtiene una cota inferior, de tal manera que

$$\frac{1}{2} \left[ 1 - 2 \sqrt{p_1 p_2} \rho \right] \leq K \leq \frac{1}{2} \sqrt{1 - 4 p_1 p_2 \rho^2}$$

Y en términos de la probabilidad del error,

$$\frac{1}{4} \rho^2 \leq p_1 p_2 \rho^2 \leq \frac{1}{2} (1 - \sqrt{1 - 4 p_1 p_2 \rho^2}) \leq P_E \leq \sqrt{p_1 p_2} \rho \leq \frac{1}{2} \rho \quad (\text{A.13})$$

No se ha encontrado a la fecha una cota superior en general en función de la divergencia  $J$ . Para el caso particular de poblaciones normales se ha encontrado una cota superior en función de  $J$ :

$$P_E \leq \sqrt{p_1 p_2} \rho \leq \sqrt{p_1 p_2} \left( \frac{J}{4} \right)^{-1/4}$$

Volviendo al tema que nos preocupa, vemos que una técnica de selección de bandas puede basarse en la minimización de  $\rho$ , o alternativamente, en la maximización de la distancia de Bhattacharyya. Otro criterio puede ser la minimización de la divergencia  $J$ . En ambos casos se tienen expresiones sencillas de evaluar para poblaciones normales.

#### Poblaciones normales

Si las poblaciones son  $N_m(\underline{u}^{(i)}, V_i)$  entonces la distancia de Bhattacharyya es

$$D = B_{12} = - \ln \rho = \frac{1}{8} (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)})^T V^{-1} (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)}) + \frac{1}{2} \ln \frac{|V|}{\sqrt{|V_1|} \sqrt{|V_2|}}$$

$$\text{donde } V = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

(A.14)



La divergencia  $J$  en este caso es

$$J = J_{12} = \frac{1}{2} \text{tr} (V_1 - V_2) (V_2^{-1} - V_1^{-1}) + \frac{1}{2} \text{tr} \left[ V_1^{-1} + V_2^{-1} \right] (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)}) (\underline{u}^{(1)} - \underline{u}^{(2)})^T \quad (\text{A.16})$$

Además, si  $V_1 = V_2$  entonces  $B = \frac{J}{8}$ .

Los resultados anteriores son para dos poblaciones y falta ver el caso general de  $K$  poblaciones.

#### Selección de variables para $K$ poblaciones

Si bien hemos discutido el uso de algunas medidas de separabilidad de 2 poblaciones como son la divergencia, distancia de Mahalanobis, etc.; con  $K$  poblaciones no hay un criterio único para definir divergencia o "distancia" entre  $K$  poblaciones. Un criterio para definir divergencia entre  $K$  poblaciones puede ser la divergencia promedio  $J$  dada por

$$J = \sum_{i>j}^K \sum_{j=1}^K n_i p_j J_{ij} \quad (\text{A.17})$$

donde, si  $n_i = n_j$  para todo  $i$  y  $j$ ,

$$J = \sum_{i>j}^K \sum_{j=1}^K J_{ij} \quad (\text{A.18})$$

donde  $J_{ij}$  es la divergencia entre la población  $i$  y la  $j$ .

Un método de selección de  $s$  bandas ( $s < m$ ) usando este criterio es:

Encuentre el subconjunto de  $s$  bandas que maximiza  $\bar{J}$ .

Otro criterio es el de mínima divergencia  $J_{\min}$ . La divergencia mínima entre  $K$  poblaciones se define como.

$$J_{\min} = \min_{i \neq j} J_{ij} \quad (\text{A.19})$$

El método de selección de  $s$  bandas correspondiente es:

Encuentre el subconjunto de  $s$  bandas que maximiza la divergencia mínima  $J_{\min}$ .

El sistema LARSYS utiliza los criterios (A.18) y (A.19) aparentemente con éxito (44).

Otros criterios son el de distancia de Bhattacharyya promedio y mínimo,  $\bar{B}$  y  $B_{\min}$  definidos como

$$\bar{B} = \sum_{i>j}^K \sum_{j=1}^K p_i p_j B_{ij} \quad (\text{A.20})$$

$$B_{\min} = \min_{i \neq j} B_{ij} \quad (\text{A.21})$$

donde  $B_{ij}$  es la distancia de Bhattacharyya entre poblaciones  $i$  y  $j$ .

Una ventaja del criterio (A.20) es que provee una cota superior para la probabilidad de error (17). Los métodos de selección de variables con estos criterios son:

Encuentre el subconjunto de  $s$  bandas que maximiza la distancia promedio.

Encuentre el subconjunto de  $s$  bandas que maximiza la distancia mínima.

Creemos que para lograr una selección adecuada de bandas, la decisión debe hacerse tomando en cuenta tanto el criterio (A.21) como el (A.22). Además, es conveniente imprimir otros subconjuntos de  $s$  bandas que con resultados cercanos a los elegidos por ambos criterios. Con base en esta información es posible llegar a una decisión correcta.

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

- (1) ANDERSON, T.W. (1958). An Introduction to Multivariate Statistical--Analysis. Ed. Wiley.
- (2) ARANDA ORDAZ, F.J. (1976). Estado Actual de la Discriminación Estadística. Tesis de Grado, UNAM-México.
- (3) BLACKITH, R.E. y REYMENT, R.A. (1971). Multivariate Morphometrics. - Ed. Academic Press.
- (4) BOCK, R.D. (1975). Multivariate Statistical Methods in Behavioral -- Research. Ed. Mc. Graw-Hill.
- (5) BROONER, W.G. (1971). Spectral Parameters Affecting Automated Image-Interpretation Using Bayesian Probability Techniques. Proceedings of the Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environment, May 17-21, pp. 1929-1950.
- (6) CHEN, C.H. (1973). Statistical Pattern Recognition. Ed. Spartan-Hayden.
- (7) CIPRA, J.E. et al (1972). Definition of Spectrally Separable Classes for Soil Survey Research. Proceedings of the Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Oct. 2-7, pp. 765-770.
- (8) COOLEY, W.W. y LOHNES, P.R. (1971). Multivariate Data Analysis. Ed. Wiley.
- (9) CRANE, R.B. y RICHARDSON, W. (1972). Performance Evaluation of Multispectral Scanner Classification Methods. Proceedings of The Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Oct. 2-6, pp. 815-831.

- (10) DHRYMES, P.J. (1974). *Econometrics, Statistical Foundations and Applications*. Ed. Springer-Verlag.
- (11) DRISCOLL, R.S. y SPENCER, M.M. (1972). Multispectral Scanner Imagery for Plant Community Classification. *Proceedings of the Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Oct. 2-6 pp. - - 1259-1278.
- (12) DUBES, R. y JAIN, A.K. (1976). Clustering Techniques: The User's Dilemma. *Pattern Recognition*, vol. 8, pp. 247-260.
- (13) DUGGIN, M.J. (1974). On The Natural Limitations of Target Differentiation by Means of Spectral Discrimination Techniques. *Proceedings of the Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Apr. 15-19, pp. 499-515.
- (14) DYE, R.M. y CHEN, C.S. (1975). Divergence Analysis of Bendix Feature Extraction and Classification System. *Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Junio 3-5, Purdue University.
- (15) EPPLER, W.G., HELMKE, C.A. y EVANS, R. H. (1971). *Proceedings of the Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environment*, pp. 1415-1425.
- (16) EPPLER, W. y BAKER, K. (1975). Canonical Analysis for Increased Classification Speed and Channel Selection. *Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Junio 3-5, Purdue University.
- (17) FUKINAGA, K. (1972). *Introduction to Statistical Pattern Recognition*. Ed. Academic Press.
- (18) FUKUNAGA, K. y NARENDRA, P. M. (1976). A Graph Theoretic Approach--to Nonparametric Cluster Analysis. *Curso Corto de IBM, México*.
- (19) GUERRA, V. (1975). Clasificación por Computadora de Imágenes de Satélite. Reporte PR-75-4, CIMAS-UNAM, México.

- (20) GUERRA, V. y SECO, R.M. (1975). Comparación de las Clasificaciones-- Obtenidas por la Computadora de Imagenes de Satelite. Reporte PR-75-9 CIMAS-UNAM, México.
- (21) GUZMAN, A. (1975). Informe a Actividades y Logros: Etapa Cero. Reporte PR-75-2A, CIMAS-UNAM, México.
- (22) HARALICK, R.M. y KELLY, G.L. (1969). Pattern Recognition with Measurement Space and Spatial Clustering for Multiple Images. Proceedings - of the IEEE, Vol. 57, No. 4, pp. 654-665.
- (23) JONES, C. (1974). Implementation of an Advanced Table Look-Up Classifier for Large Area Land-Use Classification. Proceedings of the Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Apr. 15-19, pp. 813-824.
- (24) KAVERIAPPA, G.K. y NELSON, G.D. (1973). Unsupervised Iterative Clustering in Pattern Recognition. Interim Technical Report, South Dakota - State University.
- (25) KETTIG, R.L. y LANDGREBE, D.A. (1976). Classification of Multispec--tral Image Data by Extraction and Classification of Homogeneous Objects. IEEE Transactions on Geoscience Electronics, Vol. GE-14, No. 1, - pp. 19-26.
- (26) KRIEGLER, F.J. MARSHALL, R.E. et al (1972). Adaptive Multispectral -Recognition of Agricultural Crops. Proceodings of the Eighth Interna--tional Symposium on Remote Sensing of Environment, Oct. 2-6, pp. 833-849.
- (27) KUMAR, R. y SILVA, L. (1974) Statistical Separability of Agricultural Cover Types in Subsets of One to Twelve Channels. Proceedings of the Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Apr.-15-19, pp. 1891-1904.
- (28) LANDGREBE, D.A. et al (1973). Machine Processing Methods for Earth --Observational Data. L.A.R.S. Print #100773, Purdue.

- (29) MAC DONALD, R.B., ERB, R.B. y HALL, F.G. (1975). The Use of Landsat-Data in a Large Area Crop Inventory Experiment (LACIE). Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Junio 3-5, 1975, Purdue - University.
- (30) MENDEZ, I, (1976). Modelos Estadísticos Lineales, Interpretación y - Aplicación. Ed. Foccavi-Conacyt.
- (31) MORRISON, D.F. (1967). Multivariate Statistical Methods. Ed. Mc - - Graw-Hill.
- (32) NALEPKA, R. F. y HYDE, P.D. (1972). Classifying Unresolved Objects -- from Simulated Space Data. Proceedings of the Eighth International -- Symposium on Remote Sensing of Environment, Oct. 2-6, pp. 935-949.
- (33) ODELL, P.L., DURAN, B.S. y COBERLY, W.A. (1973). On the Table Look-up in Discriminate Analysis. J. Statist. Comput. Vol. 2. pp. 171-188.
- (34) ODELL, P. L. y DIRAN, B.S. (1974). Comparison of Some Classification-Techniques. IEEE Transactions on Computers, Voo. c-23, No. 6, pp. 591 596.
- (35) OVERALL, J.E. y KLETT, C.J. (1972). Applied Multivariate Analysis. - Ed. Mc Graw-Hill.
- (36) RAO, C.R. (1973). Linear Statistical Inference and Its Applications. Ed. Wiley.
- (37) ROMEDER, J.M. (1973). Methodes et Programmes d'Analyse Discriminante Ed. Dunod.
- (38) SU, M.Y. y CUMMINGS, R.E. (1972). An Unsupervised Classification Tech- nique for Multispectral Remote Sensing Data. Proceedings of the Eigh- th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Oct. 2-6 pp. 861-879.

- (39) VON STEEN, D.H. (1973). Crop Identification and Acreage Measurement - Utilizing ERTS Imagery. Type II Progress Report AG 328. Comunicación Interna de SRSRD-ERTS.
- (40) WACKER, A.G. (1972). The Effect of Subclass Numbers on Maximum Likelihood Gaussian Classification. Proceedings of the Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Oct. 2-6, pp. 851-859
- (41) WACKER, A.G. y LANDGREBE, D.A. (1972). Minimum Distance Classification in Remote Sensing. L.A.R.S. Print #030772, Purdue.
- (42) WEBER, F.P. et al (1972). Land Use Classification in the Southeastern Forest Region by Multispectral Scanning and Computerized Mapping. -- Proceedings of the Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Oct. 2-6, pp. 351-373.
- (43) WHEELER, S.G. y INGRAM, D. S. (1976), Approximations for the Probability of Misclassification. Pattern Recognition, Vol. 8, pp. 119-126.
- (44) LARSYS USER'S MANUAL, Vol. 2 (1973) Laboratory for Applications of -- Remote Sensing. Purdue University.





centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

REPORTE PR-75-12

DETECCION POR COMPUTADORA DE CUERPOS  
DE AGUA EN FOTOGRAFIAS DEL VALLE DE  
MEXICO TOMADAS DESDE EL SATELITE  
LANDSAT

ING. ADOLFO GUZMAN  
NOVIEMBRE, 1977

RESUMEN :

El presente reporte muestra el análisis y las consideraciones que se siguieron en la detección por computadora de cuerpos de agua en el Valle de México.

Se utilizó para ello el sistema PR (Percepción Remota) y el objetivo principal de este trabajo fué evaluar la eficacia de dicho sistema.

I N D I C E

I.	INTRODUCCION . . . . .	3
II.	IMAGENES MULTIESPECTRALES Y CARACTERISTICAS DE LOS CUERPOS DE AGUA . . . . .	5
III.	METODO SEGUIDO . . . . .	9
IV.	EJEMPLOS.	
	a)     i)     "GAVIOT" (PRESA CALDERAS) . . . . .	.13
	ii)    "PRESAS" (PRESA VILLA VICTORIA) . . . . .	.26
	iii)   "PIPOTA" (PRESA MEXQUITITLAN) . . . . .	35
	iv)    "MANOTA" (PRESA TAXAIMAY) . . . . .	41
V.	LISTA DE DATOS DE CAMPO Y LISTA DE APRENDIZA- JES. . . . .	47
VI.	CONCLUSIONES Y ALTERNATIVAS . . . . .	50
VII.	BIBLIOGRAFIA. . . . .	53
VIII.	AGRADECIMIENTOS. . . . .	55
IX.	LISTA DE REPORTES DE PR. . . . .	56

I. INTRODUCCION

Dada la importancia que tiene en nuestro país la solución de problemas de planeación urbana, recursos naturales, recursos hidráulicos, agricultura, etc., se ha desarrollado en el CIMAS-UNAM un proyecto de investigación llamado PR que por métodos computacionales analiza fotografías multiespectrales del territorio nacional tomadas desde plataformas de vuelo, (en la primera etapa desde el Satélite LANDSAT) para describir características tales como zonas urbanas, cuerpos de agua, cultivos, etc.

El presente reporte describe las experiencias obtenidas al utilizar el Sistema PR en la detección de cuerpos de agua en el Valle de México.

II. IMAGENES MULTIESPECTRALES

La materia prima con la cual se ha trabajado para detectar cuerpos de agua superficial, son las cintas magnéticas procesables con computadora, suministradas por el Satélite LANDSAT. Estas cintas son obtenidas mediante el sistema rastreador (MSS: "MultiSpectral Scanner") con el que está equipado el Satélite.

Se obtienen cuatro imágenes o "bandas" de una misma área rastreada. Cada imagen corresponde a una diferente banda espectral. Una sola banda proporciona una imagen monocromática; y con las cuatro bandas se obtiene una imagen multiespectral (cromática), equivalente a una fotografía a color.

Las zonas espectrales cubiertas por cada banda son las siguientes:

Banda 1:	5 000 a 6 000 Å.
" 2:	6 000 a 7 000 Å.
" 3:	7 000 a 8 000 Å.
" 4:	8 000 a 11000 Å.

Trabajando con imágenes multiespectrales se obtiene información del área en estudio, información que resulta mucho más amplia y completa que si se emplease una sola imagen monocromática.

En las consultas (ver bibliografía), diferentes resultados, y estudios preliminares que se hicieron para detectar agua mediante el programa de computadora, se encontró lo siguiente:

1.- En la banda 4 (0.8-1.1 mm) es en donde el agua queda mejor tipificada y contrastada; siendo posible distinguir en general todo

tipo de agua superficial, aún cuando en el caso estuarios, agua lodosa y pantanos, puede existir cierta confusión con vegetación.

2.- Las bandas 2 y 1 (0.6-0.7 mm., 0.5-0.6 mm.), y en especial la banda 2, resultan adecuadas para el estudio de las características del agua, y para detectar colindancias o límites de zonas hidrográficas y cuencas.

3.- Se comprobó que en la banda 3 el agua no presenta características bien definidas, que puedan ayudar a detectarla dentro de ciertos márgenes de aceptabilidad. Sin embargo, para ciertos casos especiales, esta banda puede ser incluida en el análisis.

4.- La banda 1, correspondiente a la foto (cintas) disponible para realizar este trabajo de investigación, resultó estar dañada, teniendo que restringir totalmente su uso.

Puede decirse que la utilidad que presenta la banda 4 para detectar cuerpos de agua, se debe a la peculiaridad que posee el agua de tener gran poder de absorción de radiación infraroja, por lo cual, en la imagen correspondiente a la banda 4, los cuerpos de agua han de aparecer 2 y 4, considerando a la banda 4 como fundamental para detectar agua.

(MATERIAL GRAFICO)

Además de las cintas magnéticas de las imágenes multiespectrales, es posible adquirir cierta variedad de material optico (fotográfico) derivado de las mismas cintas; de forma tal que, por ejemplo, se puede observar la escena contenida en las cintas en dispositivos a color o en fotografías en blanco y negro (monocromáticas/una por banda). Estas imágenes pueden



ser cotejadas con mapas disponibles de la misma región: cartas geográficas, topográficas o de uso del suelo.

Para realizar esta investigación se utilizaron fotografías en blanco y negro de las bandas 2 y 4, en las cuales se observó lo siguiente:

1.- En la fotografía correspondiente a la banda 4 las zonas de agua efectivamente presentan un aspecto obscuro, y prácticamente negro en la mayoría de los casos.

2.- En la fotografía de la banda 2 los cuerpos de agua aparecen blancos, o de tono gris muy claro.

La escala de intensidades es del 0 al 127, correspondiendo el calor cero a los puntos más oscuros, y el 127 a la mayor luminosidad (tono más claro).

III. METODO SEGUIDO

Una vez delimitada la región en la que queremos trabajar; por medio de un programa conversacional interactivo desde teletipo, se construye un descriptor de la zona en cuestión. Este descriptor contiene el nombre que el usuario dió a la región, el nombre del propio usuario, coordenadas que lo delimitan, el número de pixels que contiene, el tipo de archivo, etc., o sea toda aquella información general relevante:

Ejemplo de los descriptores: "Presas", "Gaviot", "Pipota", y "Manota".

PRESAS- 09/05/75 09:41 HRS., USUARIO: ROSITA  
ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE ELOROI, ADAN ELOROI (ERTS)  
LONG: 10 REGS., X: 857-1069 Y: 2055-2128, 15762 PIXELS  
ANCHO (PALABRAS): PADRE: 10, PIXELS: 142, LETRAS: 36

GAVIOT- 08/04/75 12:55 HRS., USUARIO: JENNIE  
ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE LERMAS, ADAN ELOROI (ERTS)  
LONG: 10 REGS., X: 500-640 Y: 1475-1515, 1681 PIXELS  
ANCHO (PALABRAS): PADRE: 241, PIXELS: 28, LETRAS: 7  
TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).

PIPOTA- 09/11/75 11:03 HRS., USUARIO: ROSITA  
ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE LERMAS, ADAN ELOROI (ERTS)  
LONG: 10 REGS., X: 558-600 Y: 1275-1326, 2236 PIXELS  
ANCHO (PALABRAS): PADRE: 89, PIXELS: 29, LETRAS: 8  
TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).

MANOTA- 09/25/75 09:38 HRS., USUARIO: ROSITA  
ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE ELOROI, ADAN ELOROI (ERTS)  
LONG: 10 REGS., X: 1800-1905 Y: 1435-1510, 8056 PIXELS  
ANCHO (PALABRAS): PADRE: 10, PIXELS: 71, LETRAS: 18  
TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).

Hecho esto, el usuario debe dar el (los) dato(s) de apoyo de campo para que el programa "aprenda".

En "Aprende" (ver"Como se usan..." Reporte PR-75-6) se genera un aprendizaje con los promedios y varianzas que presenta cada dato de campo en las 4 bandas. Desde luego, el programa supervisor tiene muchas más alternativas y sofisticaciones que las descritas aquí. (ver"Supervisor Interactivo..." Reporte PR-75-8).

En el caso de detección de agua en el Valle de México, se localizaron visualmente en las fotografías cuerpos de agua y se siguió el método anterior obteniendo los resultados que se explican en la parte IV.

NOTA.- Como se dijo anteriormente la banda 1 no se tomó en cuenta en las clasificaciones, pues presenta irregularidades cada 6 renglones.

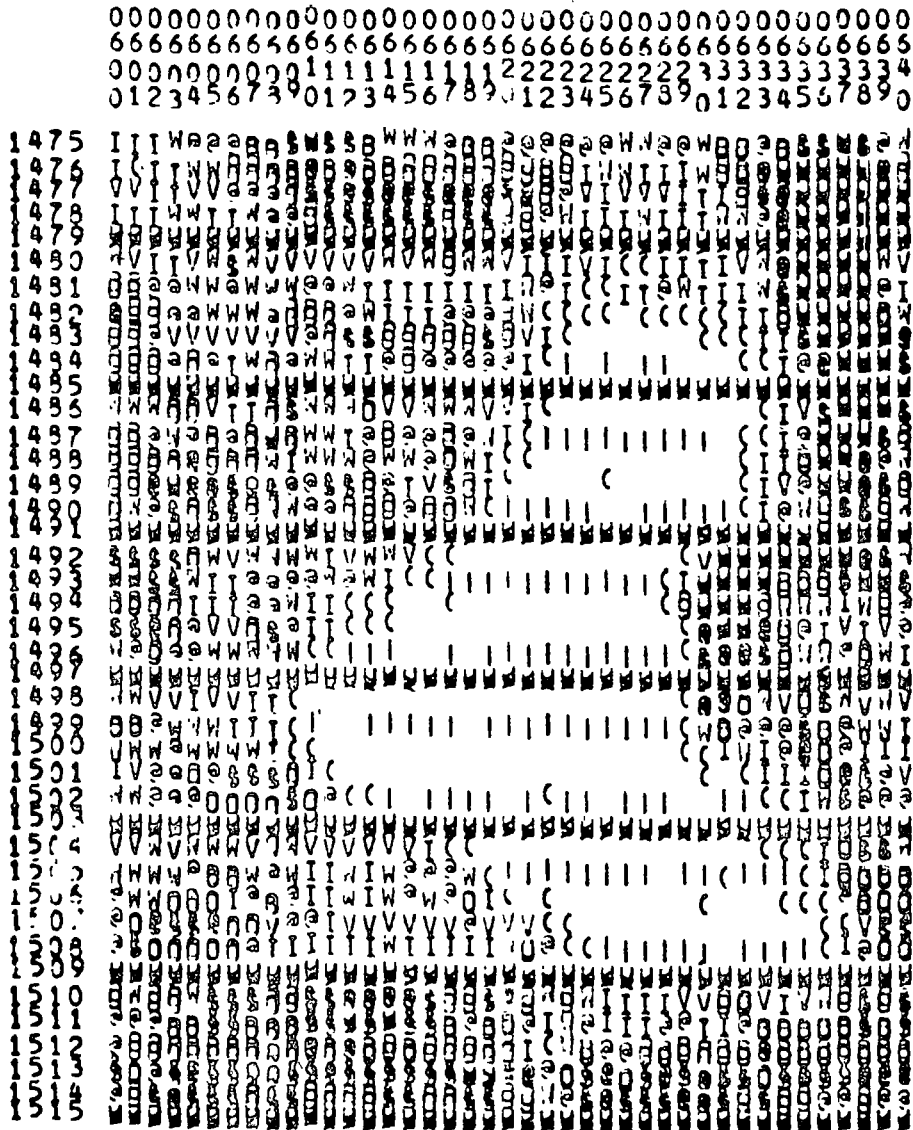
**IV. EJEMPLOS**

1) "GAVIOT" (PRESA CALDERAS).

IMPRESIONES :

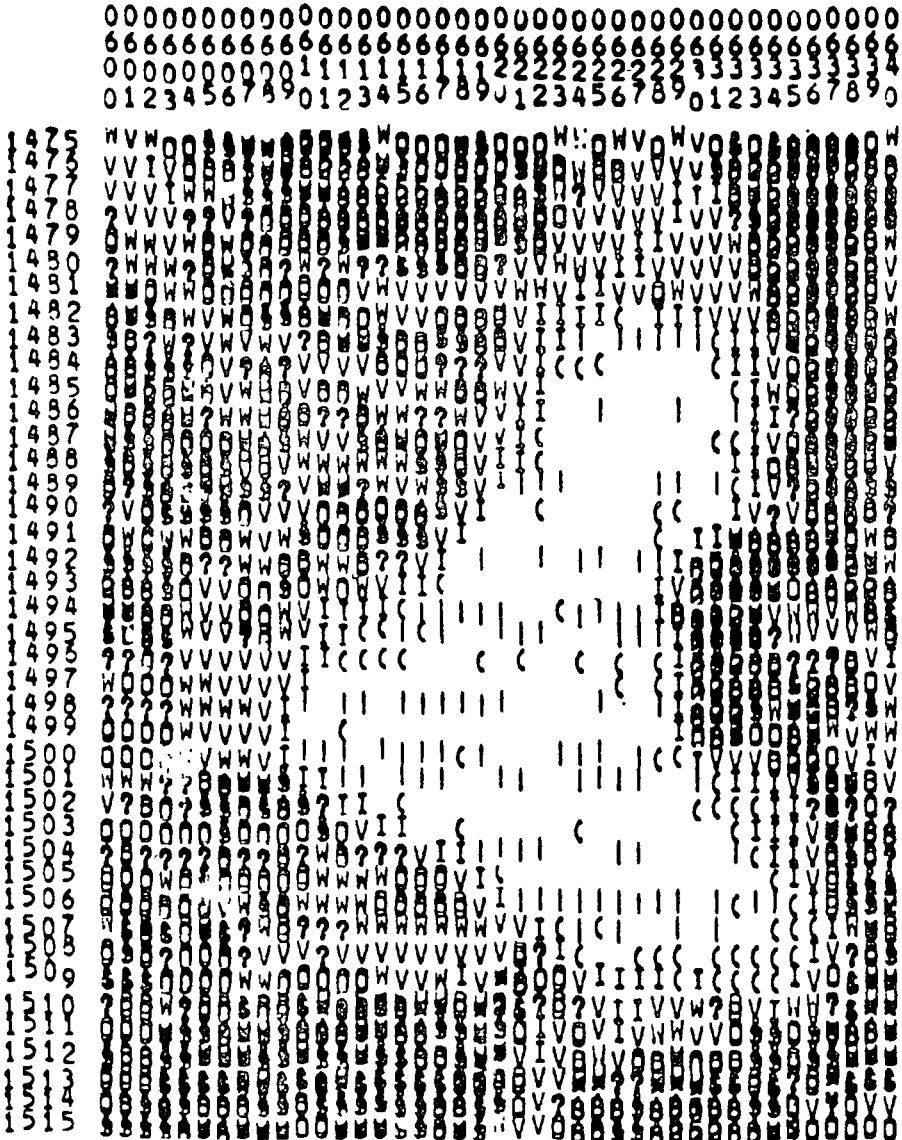
BANDA 1.

GAVIUT(1) HISTOGRAMA 1.1

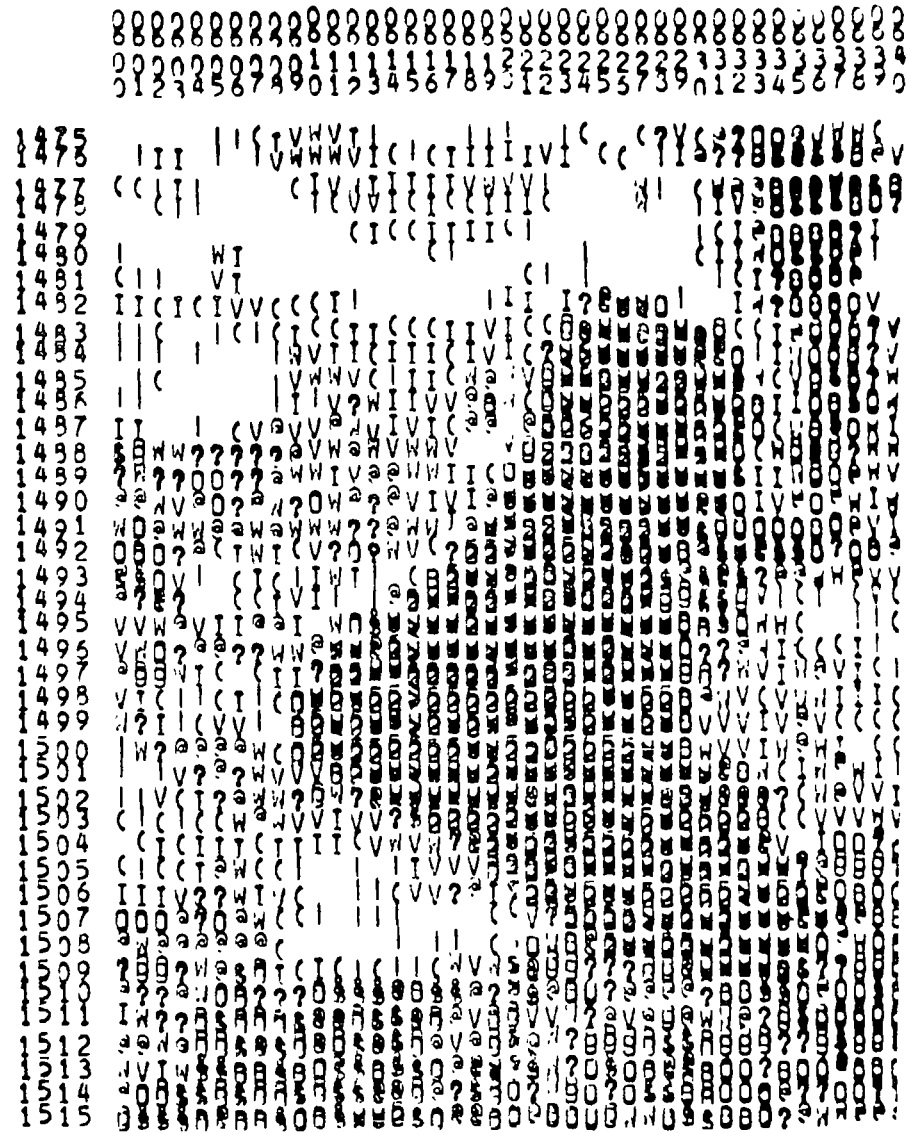


Nótese las irregularidades cada 6 renglones.

GAVIOT(2) HISTOGRAMA 1+1



GAVIOT(4) HISTOGRAMA 1+1



Los cuerpos de agua se ven "blancos" en la impresión de la banda 2 y "negros" en la impresión de la banda 4.



IMPRESION REDUCIDA.

- a). Reducción a la mitad.
- b). Reducción a la tercera parte

GAVIOT(4) HISTOGRAMA 1,1

```

00000000000000000000
66666666666666666666
000001111122222333334
024680246802468024680

```

a)

```

1475 IWI !! ( ?(?Ow
1477 (!! IWIIVV! !(@C880
1479 ((II( !100?
1481 !! I !! (?0%
1483 !{ ((I((II(0x08{IO0V
1485 { !wv!Iww0x8888(00w
1487 I !(@vWII0 0x3x08{00I
1489 ??0?@wv0wI0x888888I00V
1491 w@w00w?@w0x8888880000I
1493 80!((II 0x88888888@w0V
1495 vWVI0 0x88888888C0w !{
1497 @OI I?0x888888880wI@I!
1499 wI(V 8888888888VwV((
1501 !!??Vv88888888880(wv!
1503 ((IwVv?8888888888(VwV
1505 {Iw( !!Vv88888888880?
1507 00?@{!!! (?888888880
1509 ?0w$II!! (V80??8888?06
1511 I?088800$0V8V?V0w00888
1513 wI80$08$08$0w0088008080
1515 0$08$8880w080w8888?w@e

```

```

#COMPARA? . . . . .IM
#IMPRIME? . . . . .S1
#COMPARA? . . . . .IM
#IMPRIME? . . . . .SI
#CUANTAS IMPRESIONES VAS A HACER? . . . . .1
#DAME BANDA,INTENS,METODO,PASO Y SALIDA. .4,16,0,3,1
#DAME XMIN,YMIN,XMAX,YMAX. . . . .0,0,0,0.

```

GAVIOT(4) HISTOGRAMA 1,1

```

0000000000000000
6666666666666666
000011112223333
03692581470369

```

b)

```

1475 IVI ! ((Ox(
1478 ! V((I wI050
1481 ( I . (! IC
1484 ! wII(888!0?
1487 I (Vwv0288C00.
1490 @v??@vI8888I0I
1493 &V(!I(88888?w.V
1496 v??v.888888?w(!.
1499 w!V88888829VIV(
1502 !(@??88888888wV
1505 ((wI!IV8888880
1508 000 00888800
1511 I?0508Vv?@w?00
1514 88888888?0880??

```



ASI SE GENERARON LOS SIGUIENTES VALORES;

PROMEDIOS.

No.	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4
1.	37.600	62.320	45.950	9.56
2.	31.417	62.330	46.00	9.41
3.	26.075	33.100	42.800	21.100
4.	47.41	61.75	46.45	9.5
5.	18.97	17.54	29.11	16,024
6.	33.700	53.200	42.20	10.72
7.	10.89	19.03	35.14	14.42

VARIANZAS

1.	354.96	1.09	0.67	0.246
2.	495.07	0.222	2.5	0.243
3.	193.86	81.390	10.51	15.690
4.	132.6	1.71	1.41	0.250
5.	69.68	20.64	27.87	6.71
6.	341.76	177.81	28.51	4.399
7.	96.59	5.46	9.76	2.602

Cada dato de campo genera nubes o firmas espectrales, las cuales son histogramas en dos dimensiones.

En este ejemplo las nubes 1, 2 y 4 son muy parecidas y se consideraron como una sola nube. Así, se puede apreciar en la impresión de la clasificación que únicamente aparece el número 4, habiéndose eliminado el 2 y el 1.

Al hacer la clasificación con estas verdades de tierra se aprecia que el "6" está bordeado al "4" y por ello lo llamamos "agua de orilla" con promedios.

B2	B4
53.200	10.72

A la nube "4" la llamamos "agua profunda" con promedios:

B2	B4
61.7	9.5

El "agua de orilla" no se aprecia en las fotografías pero el "agua profunda" aparece con tonalidad gris en la fotografía de la banda 4 y con tonalidad blanca en banda 2.

### CLASIFICACION DE LA PRESA CALDERES

GAVIOT (L)

1,1

```

0000000000000000000000000000000000000000000000000
6666666666666666666666666666666666666666666666666
0000000000001111111111222222222233333333333333333334
012345678901234567890123456789012345678901234567890
  
```

1475	3333377775557733337733333335335555555533
1476	33333333355555773373375733333335555 555
1477	3333333337557555755557333333333555 5
1478	33333333333333355777777777733333333355555555
1479	3333333333333337777777777333333333355555573
1480	333333573333333337733333333333355555533
1481	77333333333333333333333333333333335555533
1482	777733333777333333337333 6666333355555533
1483	73333333333377773377573366666666333555555
1484	777737333733337333333336666666666633555555
1485	37733333375355333335336664664466663355555
1486	7333333373335533333 3366666666666666355555
1487	773333335553335753753336466466646663555557
1488	5555555553333335333644444464666355 5553
1489	5355555553333337736666666666666633355555
1490	335555553335555575336666666666666633355573
1491	5353355333355555336646646646666355555537
1492	55555333335335333 666666566666665 55553
1493	555333333333333666664464664635 55555555
1494	555533333333333 666666666666665 553333357
1495	55553333333333666666666666665553333333
1496	33553333336666666666666666666355557333733
1497	3553333333466644444644464666355557555733
1498	33333333666666666666666666666655573557373
1499	3573333364666664646664666666635533553333
1500	355333336666666666666666666666663335553333
1501	333355555366666666666666666666666633355573
1502	33335555533666666666666666666666666666663335333
1503	333355553333644664666666646446663335555
1504	3333337337333333336666666666666666666666663335553
1505	333355333333333333666646666464666 35555
1506	3775553333333355553666666666666666665555
1507	35555533333333333336666666666666666666666355
1508	5555553333333333333333536666666666666666663355
1509	55555 333333333335555333666666666666635555
1510	35533555555555555555 535533333 566 35555
1511	335555555555555555555533353333335555555555
1512	5555555 55 55 555555 3335 355555555555555
1513	55755555555555555555 5533555 5555555 555
1514	5555555555555 55555553 555555555555535533
1515	55555 555555 555 533 5555555555555553555

a) Aquí se clasificó con el método de mínimas distancias (ver Reporte "clasificación T.R. 75-4," y se tomaron todos los datos de campo.

GAVIOT (L)

1,1

```

0000000000000000000000000000000000000000000000000
6666666666666666666666666666666666666666666666666
00000000000111111111222222222233333333333333333334
01234567890123456789012345678901234567890
  
```


1475	333333 33 3 333333333 33 33
1476	33333333 333333 33333333 33
1477	33333333 3 3333333333 33
1478	333333333333 333333333333 33
1479	33 3333 3333 3333333333333333333333 33
1480	333 3 33333333333333333333333333333 33
1481	33333333 33333333333333333333333 3
1482	3333333333 33 3333333333 666 333333 3
1483	33333333333333 333 333 66666666 333
1484	3333333 33333333333333 6666666666 33
1485	3 333 3 33333 33 664664666 33
1486	33 333 33 3333 336666666666666633
1487	3333 33 3 3 3 64664666466 3
1488	33 333 333 333 644444464663 3
1489	3 33 33 3 6666666666666333 33
1490	3 3 3 3 6666666666666 33
1491	33 33 3 3 6646646464666
1492	333333 333 66666666 666
1493	333333333333666664466466663
1494	33333333333 6666666666666666 333333 3
1495	333 333 666666666666666666 33333333
1496	33 336666666666666666666 33333333
1497	3333333 466644444644464666 3 333
1498	3333333333 66666666666666666666 33 333
1499	33333336466666646666466666666333 3333
1500	3 33 666666666666666666666663333 33
1501	3333 3666666666666666666666666333 333
1502	33 33 3 6666666666666666666666 33 333
1503	3333333 33 33 644664666666464466633 3
1504	333333333333333333 6666666666666666 33
1505	333333 333333333333666646666464666666 33
1506	333 33 3333333 3666666666666666666
1507	333333333333333333 6666666666666666 3
1508	33333333333333 3 66666666666666
1509	33333333333333 66666666
1510	3 333 33 33
1511	3 33 33
1512	3 3
1513	3 3
1514	
1515	

b) Aquí la clasificación fué por el mismo método pero solo se tomaron los mues - tras 3,6,4.



NUBE DE 8PTOS, 24 PIXS, MIN PIX X PTO=  
VERDAD DE TIERRA NO.35  
BANDAS 4 Y 2  
CULTIVO CUATRO LETRA 4

20  
19  
18  
17  
16  
15  
14,  
13  
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
0

  
! W(( (  
O((

000  
00000000001111111112222222223333333333444444444555555555666666666  
012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678

Como ya anteriormente se hizo notar las nubes 1, 2 y 4 son muy parecidas y se tomaron como la misma.

Nótese también, que se trata en cada caso de una sola nube. Esto nos sugiere que se trata de un solo cultivo bien definido (en este caso el cultivo es agua).





Se utilizaron también en el análisis, histogramas para cada banda y así pudimos darnos cuenta de la distribución de los pixels y afinar más nuestros resultados.

HISTOGRAMA DE LAS BANDAS 2, 3 Y 4 DE "AGUA PROFUNDA" (DATO "1") DEL EJEMPLO "GAVIOT"

HISTOGRAMAS DEL CULTIVO UNO LETRA 1 NO. DE PIXELS= 25  
 HISTOGRAMA DE LA BANDA 2 FECHA=17/10/75

NO.	PIX	INT.
2	60	! **
1	61	! *
12	62	! *****
8	63	! *****
1	64	! *
1	65	! *

HISTOGRAMAS DEL CULTIVO UNO LETRA 1 NO. DE PIXELS= 25  
 HISTOGRAMA DE LA BANDA 3 FECHA=17/10/75

NO.	PIX	INT.
1	44	! *
5	45	! *****
14	46	! *****
4	47	! *****
1	48	! *

HISTOGRAMAS DEL CULTIVO UNO LETRA 1 NO. DE PIXELS= 25  
 HISTOGRAMA DE LA BANDA 4 FECHA=17/10/75

NO.	PIX	INT.
11	9	! *****
14	10	! *****

Con estos histogramas unimodales corroboramos que se trata de un solo cultivo.

Se hizo una prueba con un aprendizaje artificial, es decir se tomaron datos de campo de otra zona junto con los promedios y varianzas obtenidos en dicha zona y se clasificó así "GAVIOT"

La letra A tiene promedios muy parecidos a los de "1",

"2" y "4".

TABLAS DE CG Y VAR						
1	A	62.300	9.560	1.000	1.000	0.500
2	S	43.580	21.000	2.000	8.000	2.000
3	U	32.200	11.930	3.000	5.640	1.630
4	P	31.500	21.540	4.000	8.700	5.120

CLASIFICANDO POR MINIMAS DISTANCIAS, UMBRAL= 3.0

TERMINO CLASIFICA. PT= 4.8 IOT= 1.5  
 #ALMACENO LA CLASIFICACION?. . . . .  
 #QUIERES APLICAR? . . . . .  
 #IMPRIME? . . . . .SI  
 #DAME BANDA, INTENS, METODO, PASO Y SALIDA. .5,16,0,1,1  
 #DAME XMIN, XMAX, YMIN, YMAX. . . . .0,0,0,0,

GAVIOT(L) 1,1

```
00000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
66666666666666666666666666666666666666666666666666666666666666
000000000011111111112222222222333333333333333333333333333333333333
0123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

```
1475 P P
1476 PPPP PPP
1477 PPPP P PPP
1478 PPP PP PPP
1479 P P P P P P P P
1480 P P P P P P P P P
1481 P P P P P P P P P P
1482 P A S P P P
1483 P P AA AA SP
1484 P PPP P AAAA PP
1485 P AAAA AAAA
1486 P AAAAAAAAAA P
1487 P AA AAAA P
1488 PP AAAAAAAAAA P
1489 P AAAAAAAAAA P
1490 AA AAAA A P
1491 P AAA A AA A U
1492 P AAAAAAAAAA AA
1493 P P AA AAAAAA
1494 PP P P P P AAAAAA AAAAA P P
1495 P A AAAAAAAAAA PPP
1496 AA A AA A A P P
1497 PP P A AAAAAAAAAA A P
1498 P AAAAAAAAAA AAAAAA
1499 PP AA A A AA AA A P
1500 P AAA AAA A AA A P P P
1501 P AAAAAAAAAA AAAAAA PP P
1502 P A AAAA AAAAA A P
1503 AA AA AAAAAA P
1504 AAAAAAAAAA PP
1505 AAAAAAAAAA
1506 P AAAAAAAAAA A AA
1507 P A AAAAAA
1508 PPP PPPPPP AA A
1509 PP P
1510 UU
1511 P P
```

ii) "PRESAS", (PRESA VILLA VICTORIA )



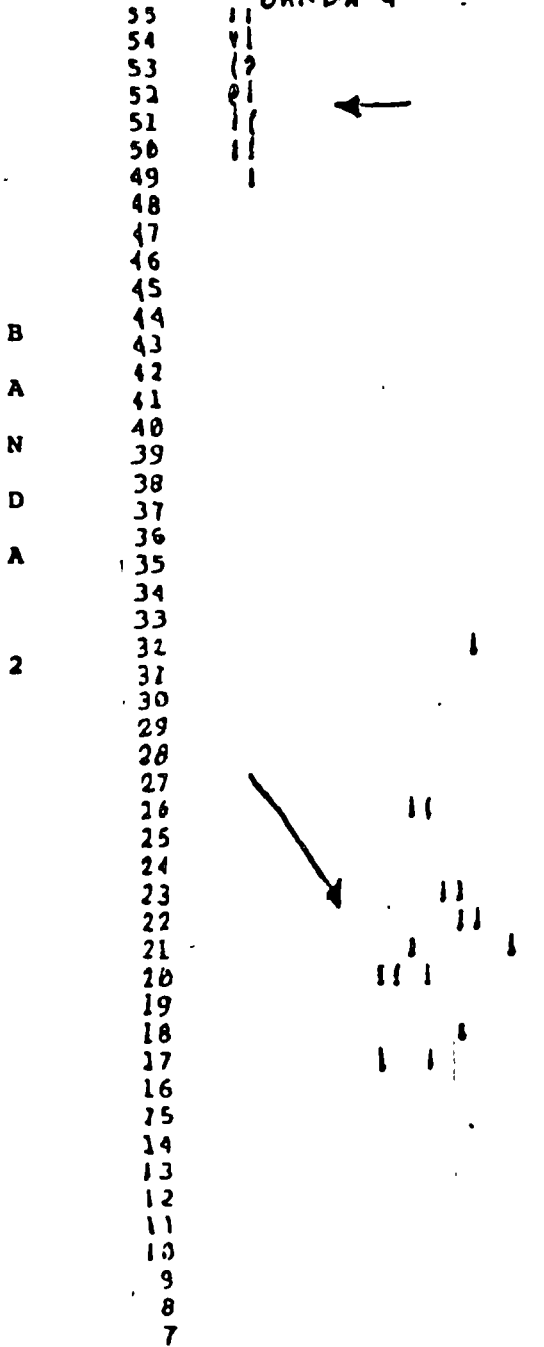


En las NUBES de los datos 15 y 16, las cuales son similares, se observa que cada una de ellas consta de dos nubes a su vez, las cuales una altera a la otra. En este caso, como las varianzas en banda 2 y 4 son muy pequeñas, la elipse que se forma solo toma puntos de la nube superior y sus promedios casi no se alteran

NUBES

NUBE DEL DATO DE CAMPO 15

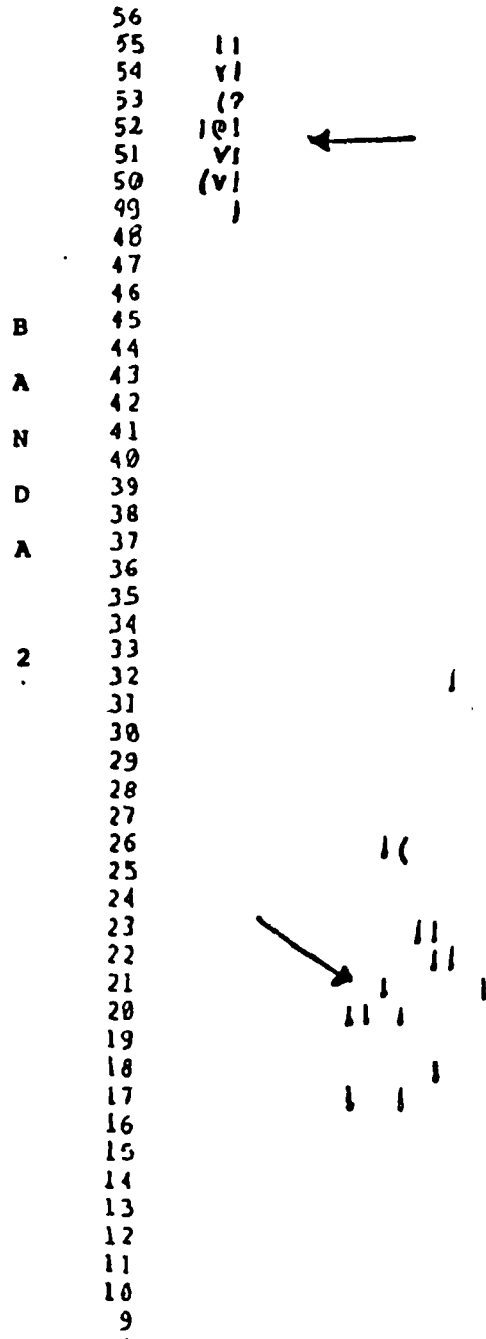
CULTIVO AGUA 45 PIXELS  
BANDA 4



00000000000000000000  
000000000111111111122  
0123456789012345678901

NUBE DEL DATO DE CAMPO 16

CULTIVO AGUA 55 PIXELS  
BANDA 4

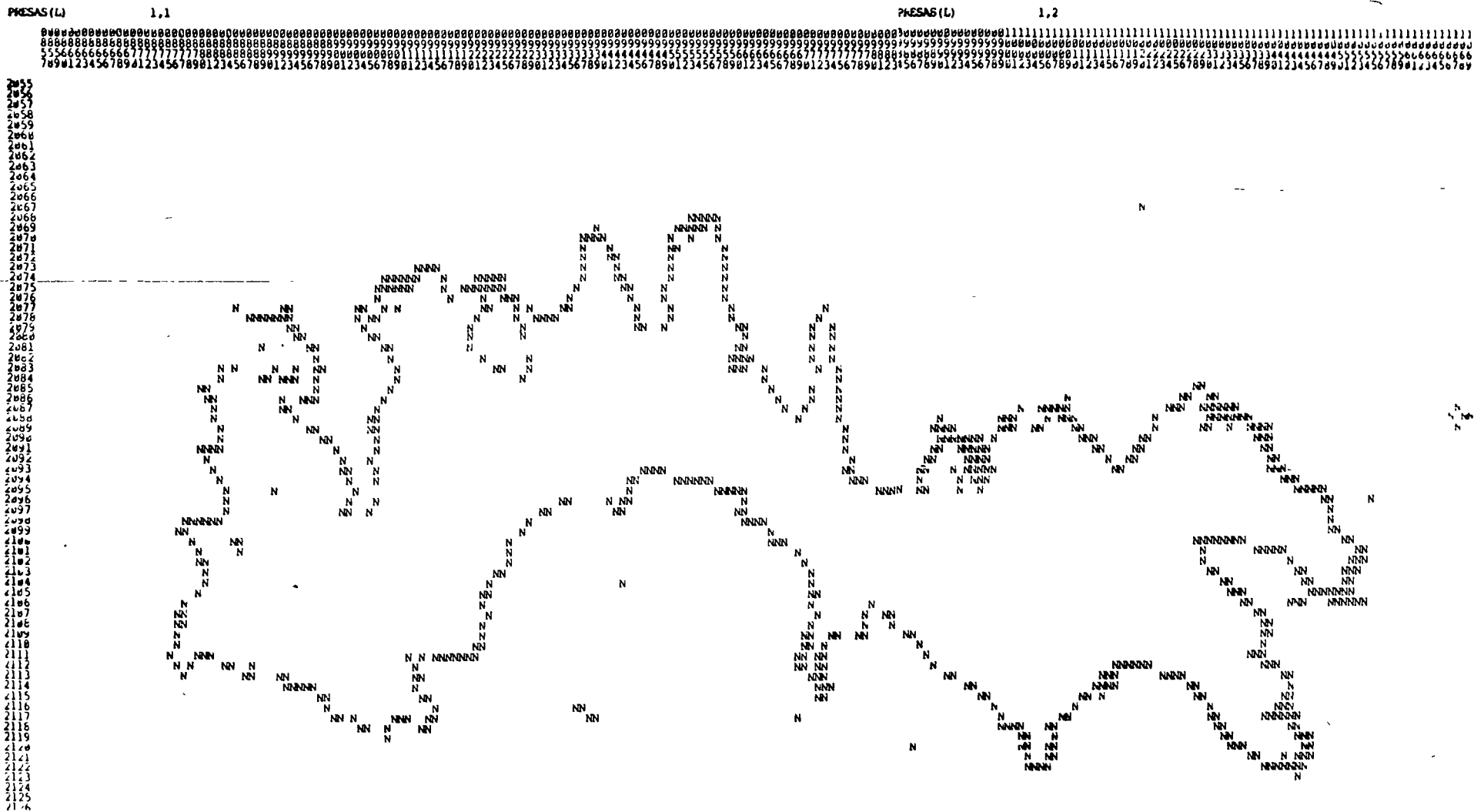


00000000000000000000  
00000000011111111122222  
012345678901234567890123456

Se hizo también otra clasificación con el dato de campo 66, con promedios y varianzas de:

PROMEDIOS  
NEGRAS 30.66, 40.12, 31.51, 10.30 280.00, 196.57, 13.06, 43.36

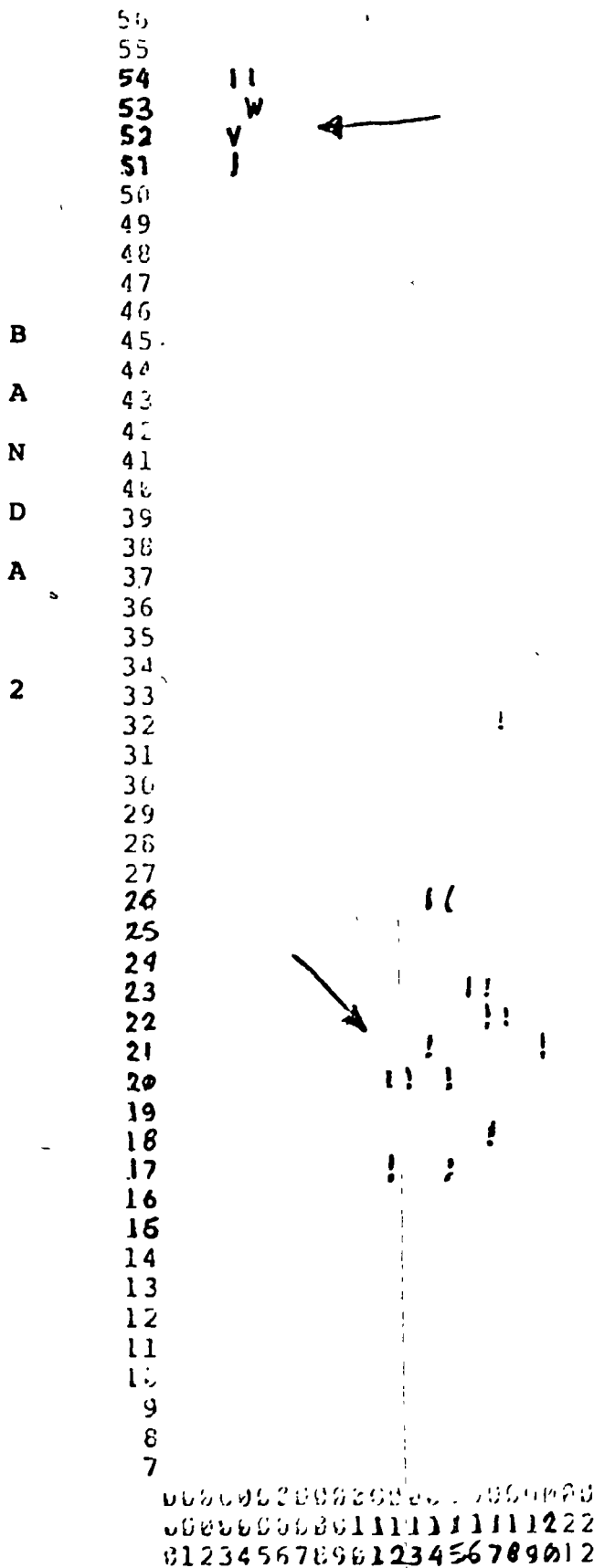
En la impresión de esta clasificación se vió claramente que era exactamente la zona que bordeaba la presa.



NUBE DEL DATO DE CAMPO 66

28 PIXELS CULTIVO NEGRAS LETRA N

BANDA 4



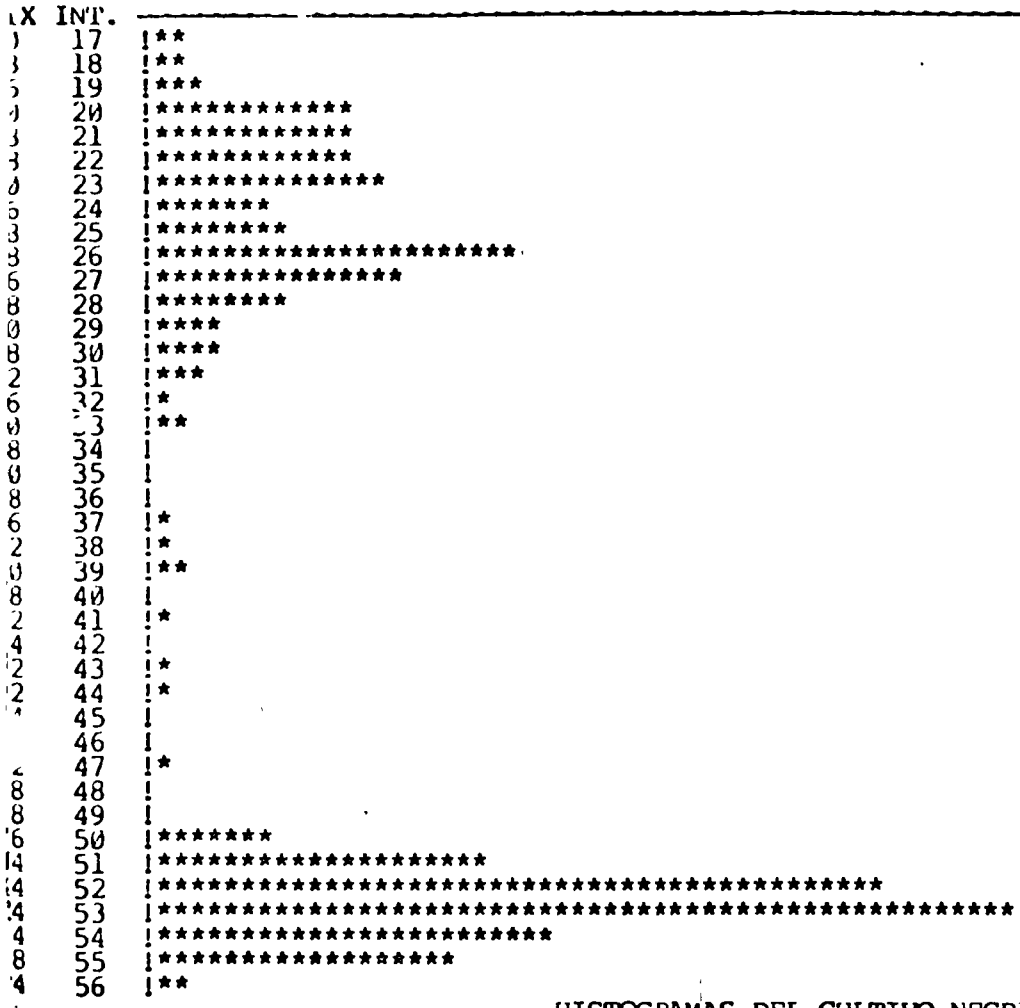
Tanto las nubes como los siguientes histogramas muestran que el cultivo NEGRAS es bi-modal lo cual nos sugiere que se trata también de dos cultivos diferentes.



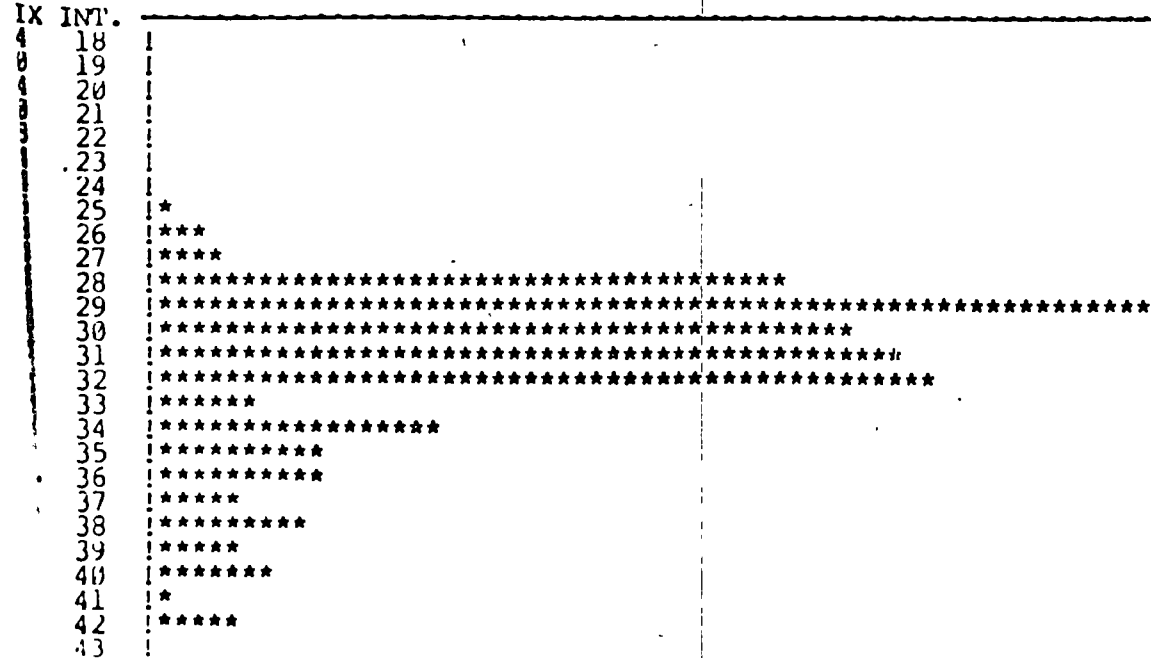
HISTOGRAMAS EN BANDAS 2 Y 3 DEL CULTIVO

"NEGRAS" DATO DE CAMPO No. 63

HISTOGRAMAS DEL CULTIVO NEGRAS LETRA N NO. DE PIXELS=3248  
HISTOGRAMA DE LA BANDA 2 FECHA=30/10/7



HISTOGRAMAS DEL CULTIVO NEGRAS LETRA N NO. DE PIXELS=3248  
HISTOGRAMA DE LA BANDA 3 FECHA=30/10/7



HISTOGRAMA DEL CULTIVO NEGRAS LETRA N DATO DE CAMPO No. 63

BANDA 4

HISTOGRAMAS DEL CULTIVO NEGRAS LETRA N NO. DE PIXELS=3248  
 HISTOGRAMA DE LA BANDA 4 FECHA=30/10/7

NO.	PIX	INT.	
	16	3	!*
	744	4	!*****
	876	5	!*****
	116	6	!*****
	32	7	!***
	24	8	!**
	12	9	!*
	28	10	!**
	12	11	!*
	28	12	!**
	36	13	!***
	92	14	!*****
	136	15	!*****
	244	16	!*****
	200	17	!*****
	148	18	!*****
	124	19	!*****
	148	20	!*****
	136	21	!*****
	68	22	!*****
	20	23	!**

Se hizo, además, otro aprendizaje, esta vez artificial, con el tipo de agua presentado en "GAVIOT" (es decir con la verdad 32). En este caso se vió que no se encontró un solo pixel con ese tipo de agua, tal y como era de esperarse.

#CLASIFICA? : : : : : .SI  
#DAR NUMERO DE APRENDIZAJE : : : : : .5

NUEVAS TABLAS DE CG Y VAR  
1 A 37.600 62.320 45.960 9.560 1.000 354.960 1.100 0.680 0.250  
SE RECOMIENDA ELIMINAR BANDA 1 MEDIA DE VAR=354.96  
#CLASIFICA: DAME NUMERO DE BANDAS FACTOR Y FACI  
3, 5, 1  
#CUALES BANDAS CLASIFICO?  
2, 3, 4

NUEVAS TABLAS DE CG Y VAR  
1 A 62.320 45.960 9.560 1.000 1.100 0.680 0.250

TERMINO CLASIFICA. PT= 17.8 IOT= 3.0  
#IMPRIME?  
#CUANTAS IMPRESIONES VAS A HACER? : : : : .2  
#DAME BANDA, INTENSIDADES, METODO Y SALIDA : 5, 16, 0, 1  
#DAME XMIN, YMIN, XMAX, YMAX. . . . . 860, 2100, 905, 2125

PRESAS (L)

1,1

00  
88  
666666666667777777777788  
012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345

- 2100
- 2101
- 2102
- 2103
- 2104
- 2105
- 2106
- 2107
- 2108
- 2109
- 2110
- 2111
- 2112
- 2113
- 2114
- 2115
- 2116
- 2117
- 2118
- 2119
- 2120
- 2121
- 2122
- 2123
- 2124
- 2125

111) "PIPOTA" (PRESA MEXQUITITLAN).





Dentro del programa interactivo supervisor se hacen una serie de evaluaciones para indicar al usuario que tan correctamente ha sido su clasificación (Ver "Algoritmos", PR-75-9).

Así en este ejemplo, se encontraron 8 pixels que no correspondían a la clasificación de agua y el % de aciertos fué de 83.33

#COMPARA? . . . . . :S1  
#CUANTAS Y CUALES VERDADES DE T.?: : : : :1,63

RESUMEN DE COMPORTAMIENTO DEL ARCHIVO PIPOTA, DEL ADAN ELORO1

LA COMPARACION ESTA HECHA CON LAS VERDADES DE TIERRA LISTADAS EN LA SIGUIENTE TABLA:

IDENTIFICACION DEL CULTIVO	LETRA	NOMBRE CULTIVO	XMIN	YMIN	XMAX	YMAX
63	A	AAGUAA	573	1310	580	1315

	LETRA CULTIVO	N.PIXELS	% ACERTADO	SIN-CLAS	AAGUAA
63	A AAGUAA	48	83.33	8	40
	TOTALES	48	83.33	8	40

PORCENTAJE TOTAL ACERTADO= ( 40)/( 48) = 83.3

PROCENTAJE VERIFICADO = ( 48)/( 2236) = 2.1

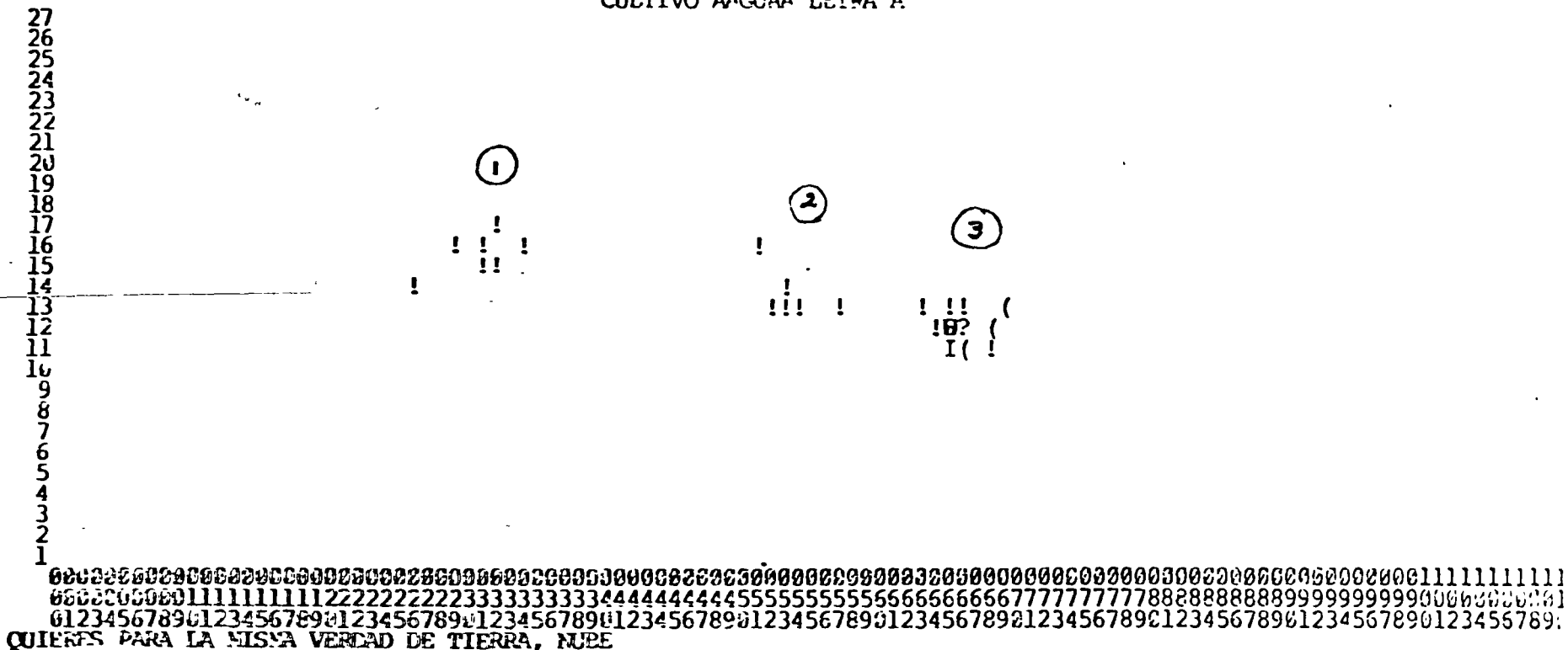
AREAS CLASIFICADAS

CULTIVO IDENT	HECTAREAS
1 AAGUAA A	28.90

LA NUBE DE AGUA DE ESTE DATO DE CAMPO ES LA SIGUIENTE

NUBE DE 48 PIXS  
VERDAD DE TIERRA NO. 63  
BANDAS 4 Y 2  
CULTIVO AGUAA LETRA A

FECHA 23/10/75



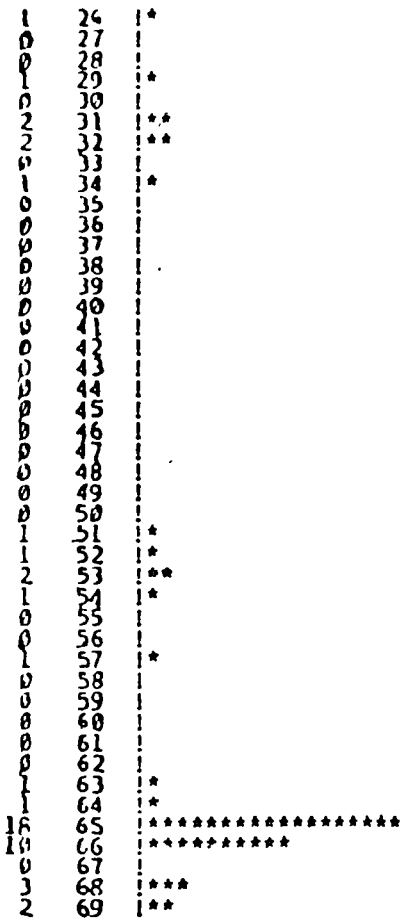
Aquí también encontramos que no se trata de una sola nube, sino que es la composición de tres de ellas. Esto mismo puede verificarse en el siguiente esquema de histogramas, aunque la mayor concentración de pixels está en la nube 3.



HISTOGRAMAS DEL CULTIVO AGUA LETRA A

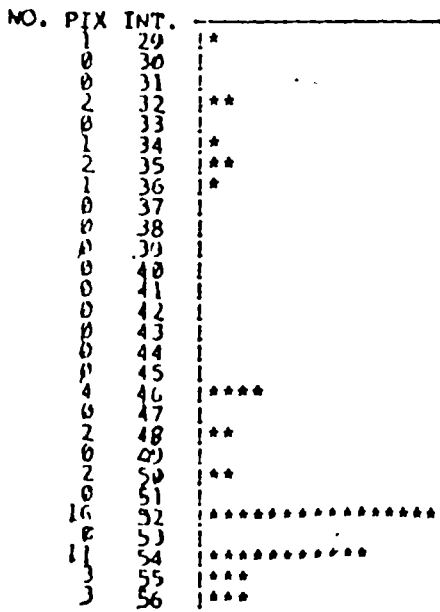
DATO DE CAMPO 63.

"HISTOGRAMA BANDA 2"



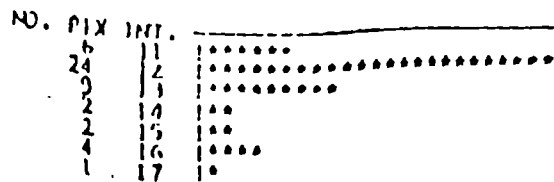
HISTOGRAMAS DEL CULTIVO AGUA LETRA A  
HISTOGRAMA DE LA BANDA 2

NO. DE PIXELS= 48  
FECHA=09/12/75



HISTOGRAMAS DEL CULTIVO AGUA LETRA A  
HISTOGRAMA DE LA BANDA 3

NO. DE PIXELS= 48  
FECHA=09/12/75



iv) "MANOTA" (PRESA TAXHIMAY).



Se tomaron 3 datos de campo de esta presa y se obtuvo el siguiente aprendizaje:

CABEZA DE APRENDIZAJE	49	ES IDENT=	49	FECHA=101775	CREADOR=EDUARD	METODO=	1	FOTO=MANOTA		
LAS 3 VERDADES SON:	80	81	82							
	PROMEDIOS			VARIANZAS				NUM PIXELS		
1 A AAGUAA	43.55	57.60	31.53	5.15	-	318.46	62.12	7.84	1.54	194

Ejemplo de todo el proceso que se siguió para obtener la clasificación de la -

siguiente página.

```
BIENVENIDO AL SISTEMA PR.
QUIEN ERES???, EN FORMATO A6 P.F. . . . .EDUARD
IMPRIME DESCRIPTORES? . . . . .
QUIERES HACER UN ADAM? . . . . .
QUIERES REMOVE? . . . . .
QUIERES CREAR? . . . . .
DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6). . . .MANOTA
MANOTA(1) PRESENTE,
IMPRIMO LAS VERDADES DE TIERRA? . . . . .
AGREGAR O MODIFICAR VERDADES DE TIERRA? .
IMPRIMO LOS APRENDIZAJES? . . . . .
APRENDE? . . . . .
QUIERES BORRAR APRENDIZAJE? . . . . .
CLASIFICA? . . . . .-BA
QUIERES BORRAR APRENDIZAJE? . . . . .-S
CUANTOS, CUALES DE MAYOR A MENOR? P.EJ. 2,16,15
1,50
HAY AHORA 49 APRENDIZAJES
-CLASIFICA? . . . . .-61
DAR NUMERO DE APRENDIZAJE . . . . .-49
SE RECOMIENDA ELIMINAR BANDA 1 MEDIA DE VAR=318,46
-CLASIFICA: DAME NUMERO DE BANDAS FACTOR .
2,10
CUALES BANDAS CLASIFICO?
2,4
NUEVAS TABLAS DE CG Y VAR
I A 57.603 5.255 1.000 62.116 1.543
CONTENZO A CLASIFICAR. TEN UN POCO DE PACIENCIA
?..P
-13:57 EI=4:48.0 ET=6.2 IO=4.3
TERMINO CLASIFICA. PT= 6.1 TOT= 3.9
QUIERES APLICAR? . . . . .
IMPRIME? . . . . .-S1
CUANTAS IMPRESIONES VAS A HACER? . . . .-1
DAME BANDA, INTENSIDADES, METODO Y SALIDA .5,16,0,1
```

HISTOGRAMA DE LAS BANDAS 2, 3 Y 4 DEL DATO DE CAMPO 80.

HISTOGRAMA DE LA BANDA 2

PIX	INT.	
2	41	! **
0	42	
0	43	
0	44	
0	45	
2	46	! **
0	47	
0	48	
4	49	! ****
0	50	
0	51	
2	52	! **
0	53	
0	54	!
6	55	! *****
4	56	! ****
8	57	! *****
34	58	! *****
12	59	! *****
30	60	! *****
34	61	! *****
36	62	! *****
4	63	! ****
2	64	! **

HISTOGRAMAS DEL CULTIVO AGUAA LETRA A

HISTOGRAMA DE LA BANDA 3

PIX	INT.	
2	27	! **
2	28	! **
2	29	! **
8	30	! *****
42	31	! *****
72	32	! *****
46	33	! *****
6	34	! *****

HISTOGRAMAS DEL CULTIVO AGUAA LETRA A

HISTOGRAMA DE LA BANDA 4

PIX	INT.	
58	4	! *****
106	5	! *****
12	6	! **
0	7	
2	8	
0	9	

Tanto en las nubes como en los histogramas se vió que en la banda 2 existen hasta 4 picos.



NUBES DE LOS DATOS DE CAMPO OBTENIDAS DE "MANOTA".

NUBE DEL DATO DE CAMPO 81  
CULTIVO AGUA LETRA A  
BANDA 4

64  
63 IWI  
62 W  
61 IWI  
60 III  
59 V  
58  
57  
56  
55  
54  
B 53  
A 52  
N 51  
D 50  
A 49  
2 48  
47  
46  
45  
44  
43  
42  
41  
40  
39  
38  
37  
36  
35  
34  
33  
32  
31  
30  
29  
28  
27  
26  
25  
24  
23  
22  
21  
20  
19  
18  
17  
16  
15  
14

NUBE DEL DATO DE CAMPO 80  
CULTIVO AGUA LETRA A  
BANDA 4

65  
64 I  
63 (   
62 Ae  
61 70  
60 VO(  
59 (I!  
58 IWI  
57 V  
56 (   
55 III  
54  
53  
N 52  
D 51  
A 50  
2 49  
48  
47  
46  
45  
44  
43  
42  
41 I  
40  
39  
38  
37  
36  
35  
34  
33  
32  
31

000000000000000000000000000000  
000000000011111111111122  
0123456789012345678901

000000000000000000000000000000  
000000000011111111111122  
0123456789012345678901

V. DATOS DE CAMPO Y APRENDIZAJES



EJEMPLO DE LISTA DE DATOS DE CAMPO

AGUA

VERIDAD																	
VERIDAD	1	FUENTE=JENNIE	FECHA=073175	USUARIO=ROSITA	COORD	2613	2627	1973	1979	ADAN=ELOHO	LETRA=V	CULTIVO=VEHIC					
VERIDAD	2	FUENTE=JENNIE	FECHA=073175	USUARIO=ROSITA	COORD	2600	2614	1960	1971	ADAN=ELOHO	LETRA=U	CULTIVO=UNHANA					
VERIDAD	3	FUENTE=JENNIE	FECHA=073175	USUARIO=ROSITA	COORD	2658	2659	1923	1930	ADAN=ELOHO	LETRA=S	CULTIVO=SALADA					
VERIDAD	4	FUENTE=ROSITA	FECHA=073175	USUARIO=ROSITA	COORD	617	630	1494	1504	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	5	FUENTE=ROSITA	FECHA=073175	USUARIO=ROSITA	COORD	575	588	1315	1324	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	6	FUENTE=ROSITA	FECHA=073175	USUARIO=ROSITA	COORD	430	432	1398	1310	ADAN=ELOHO	LETRA=K	CULTIVO=ARKUC					
VERIDAD	7	FUENTE=ADOLFO	FECHA=071875	USUARIO=ROSITA	COORD	565	574	1529	1532	ADAN=ELOHO	LETRA=R	CULTIVO=ARRICA					
VERIDAD	8	FUENTE=SECCO	FECHA=072275	USUARIO=ROSITA	COORD	937	951	1837	1862	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	9	FUENTE=SECCO	FECHA=072275	USUARIO=ROSITA	COORD	909	917	1648	1853	ADAN=ELOHO	LETRA=T	CULTIVO=ITLPA					
VERIDAD	10	FUENTE=CHAPUL	FECHA=101375	USUARIO=PATY	COORD	2395	2466	1985	2000	ADAN=ELOHO	LETRA=V	CULTIVO=VEHIC					
VERIDAD	11	FUENTE=CHAPUL	FECHA=101375	USUARIO=PATY	COORD	2450	2465	1975	1995	ADAN=ELOHO	LETRA=U	CULTIVO=UNHANA					
VERIDAD	12	FUENTE=CHAPUL	FECHA=101375	USUARIO=PATY	COORD	2486	2500	1961	1972	ADAN=ELOHO	LETRA=G	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	13	FUENTE=CHAPUL	FECHA=101375	USUARIO=PATY	COORD	2380	2500	1970	2005	ADAN=ELOHO	LETRA=T	CULTIVO=TULITO					
VERIDAD	14	FUENTE=FECHA=072275	USUARIO=ROSITA	COORD	2685	2715	1712	1722	ADAN=ELOHO	LETRA=L	CULTIVO=LICHO						
VERIDAD	15	FUENTE=LUJAN	FECHA=072275	USUARIO=LUJAN	COORD	989	1026	2004	2110	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	16	FUENTE=LUJAN	FECHA=072275	USUARIO=LUJAN	COORD	882	900	2099	2168	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	17	FUENTE=VICTOR	FECHA=072375	USUARIO=VICTOR	COORD	2726	2734	1716	1720	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	18	FUENTE=VICTOR	FECHA=072375	USUARIO=VICTOR	COORD	2681	2691	1738	1742	ADAN=ELOHO	LETRA=R	CULTIVO=RRICA					
VERIDAD	19	FUENTE=VICTOR	FECHA=072575	USUARIO=GUERRA	COORD	2624	2627	1971	1982	ADAN=ELOHO	LETRA=C	CULTIVO=CEPDR					
VERIDAD	20	FUENTE=DISFED	FECHA=093075	USUARIO=GUERRA	COORD	2614	2623	2012	2017	ADAN=ELOHO	LETRA=C	CULTIVO=CEPDR					
VERIDAD	21	FUENTE=DISFED	FECHA=093075	USUARIO=GUERRA	COORD	2659	2668	1923	1930	ADAN=ELOHO	LETRA=S	CULTIVO=SALADA					
VERIDAD	22	FUENTE=VICTOR	FECHA=072575	USUARIO=GUERRA	COORD	2600	2606	1925	1931	ADAN=ELOHO	LETRA=L	CULTIVO=LICHO					
VERIDAD	23	FUENTE=VICTOR	FECHA=072575	USUARIO=GUERRA	COORD	2600	2600	1921	1931	ADAN=ELOHO	LETRA=D	CULTIVO=DEL SOL					
VERIDAD	24	FUENTE=DISFED	FECHA=093075	USUARIO=GUERRA	COORD	2630	2638	2000	2009	ADAN=ELOHO	LETRA=T	CULTIVO=TULITO					
VERIDAD	25	FUENTE=VICTOR	FECHA=072575	USUARIO=GUERRA	COORD	2636	2637	1928	1929	ADAN=ELOHO	LETRA=P	CULTIVO=PISTAL					
VERIDAD	26	FUENTE=VICTOR	FECHA=072575	USUARIO=GUERRA	COORD	2628	2630	1932	1933	ADAN=ELOHO	LETRA=P	CULTIVO=PISTAL					
VERIDAD	27	FUENTE=DISFED	FECHA=093075	USUARIO=GUERRA	COORD	2600	2606	1962	1968	ADAN=ELOHO	LETRA=U	CULTIVO=UNHANA					
VERIDAD	28	FUENTE=ROSITA	FECHA=080175	USUARIO=ROSITA	COORD	439	443	1314	1317	ADAN=ELOHO	LETRA=R	CULTIVO=RRICA					
VERIDAD	29	FUENTE=ROSITA	FECHA=080175	USUARIO=ROSITA	COORD	387	391	1293	1296	ADAN=ELOHO	LETRA=R	CULTIVO=RRICA					
VERIDAD	30	FUENTE=ROSITA	FECHA=080175	USUARIO=ROSITA	COORD	570	576	1290	1294	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	31	FUENTE=GAVIOT	FECHA=080475	USUARIO=JENNIE	COORD	624	628	1487	1491	ADAN=ELOHO	LETRA=1	CULTIVO=UNO					
VERIDAD	32	FUENTE=GAVIOT	FECHA=080475	USUARIO=JENNIE	COORD	628	631	1503	1505	ADAN=ELOHO	LETRA=2	CULTIVO=DOS					
VERIDAD	33	FUENTE=GAVIOT	FECHA=080475	USUARIO=JENNIE	COORD	624	631	1478	1482	ADAN=ELOHO	LETRA=3	CULTIVO=TRES					
VERIDAD	34	FUENTE=GAVIOT	FECHA=080475	USUARIO=JENNIE	COORD	614	619	1498	1501	ADAN=ELOHO	LETRA=4	CULTIVO=CUATRO					
VERIDAD	35	FUENTE=GAVIOT	FECHA=080475	USUARIO=JENNIE	COORD	630	634	1493	1499	ADAN=ELOHO	LETRA=5	CULTIVO=CINCO					
VERIDAD	36	FUENTE=GAVIOT	FECHA=080475	USUARIO=JENNIE	COORD	627	634	1506	1510	ADAN=ELOHO	LETRA=6	CULTIVO=SEIS					
VERIDAD	37	FUENTE=GAVIOT	FECHA=080475	USUARIO=JENNIE	COORD	609	615	1476	1479	ADAN=ELOHO	LETRA=7	CULTIVO=SIETE					
VERIDAD	38	FUENTE=CARAUC	FECHA=080475	USUARIO=GAVIOT	COORD	2650	2657	1728	1735	ADAN=ELOHO	LETRA=L	CULTIVO=LICHO					
VERIDAD	39	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	187	190	678	681	ADAN=ELOHO	LETRA=L	CULTIVO=LLLLL					
VERIDAD	40	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	187	191	638	642	ADAN=ELOHO	LETRA=L	CULTIVO=AAAAA					
VERIDAD	41	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	219	226	628	632	ADAN=ELOHO	LETRA=B	CULTIVO=BBB					
VERIDAD	42	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	245	253	644	647	ADAN=ELOHO	LETRA=C	CULTIVO=CCCCC					
VERIDAD	43	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	213	215	631	634	ADAN=ELOHO	LETRA=D	CULTIVO=DDDDD					
VERIDAD	44	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	246	253	636	639	ADAN=ELOHO	LETRA=E	CULTIVO=EEEEEE					
VERIDAD	45	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	222	226	644	649	ADAN=ELOHO	LETRA=F	CULTIVO=FFFFFFF					
VERIDAD	46	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	227	230	660	667	ADAN=ELOHO	LETRA=G	CULTIVO=GGGGGGG					
VERIDAD	47	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	247	249	692	694	ADAN=ELOHO	LETRA=H	CULTIVO=HHHHHHH					
VERIDAD	48	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	241	243	706	709	ADAN=ELOHO	LETRA=I	CULTIVO=IIIIII					
VERIDAD	49	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	222	227	707	709	ADAN=ELOHO	LETRA=J	CULTIVO=JJJJJJ					
VERIDAD	50	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	195	198	713	716	ADAN=ELOHO	LETRA=K	CULTIVO=KKKKKK					
VERIDAD	51	FUENTE=PEDROE	FECHA=082275	USUARIO=GUERRA	COORD	2616	2622	1979	1987	ADAN=ELOHO	LETRA=O	CULTIVO=OOOOO					
VERIDAD	52	FUENTE=DISFED	FECHA=093075	USUARIO=GUERRA	COORD	2611	2624	1974	1978	ADAN=ELOHO	LETRA=Q	CULTIVO=PAQCQ					
VERIDAD	53	FUENTE=FECHA=093075	USUARIO=GERMAN	COORD	600	602	1513	1515	ADAN=ELOHO	LETRA=Z	CULTIVO=ZZZZZ						
VERIDAD	54	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=GERMAN	COORD	602	636	1496	1497	ADAN=ELOHO	LETRA=XX	CULTIVO=XXXXXX					
VERIDAD	55	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=GERMAN	COORD	605	637	1509	1519	ADAN=ELOHO	LETRA=XX	CULTIVO=XXXXXX					
VERIDAD	56	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=GERMAN	COORD	621	624	1502	1503	ADAN=ELOHO	LETRA=W	CULTIVO=WWWWWW					
VERIDAD	57	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=GERMAN	COORD	600	602	1513	1515	ADAN=ELOHO	LETRA=Z	CULTIVO=ZZZZZ					
VERIDAD	58	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=GERMAN	COORD	602	636	1496	1497	ADAN=ELOHO	LETRA=W	CULTIVO=WWWWWW					
VERIDAD	59	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=GERMAN	COORD	605	637	1509	1510	ADAN=ELOHO	LETRA=X	CULTIVO=XXXXXX					
VERIDAD	60	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=GERMAN	COORD	621	624	1502	1503	ADAN=ELOHO	LETRA=W	CULTIVO=WWWWWW					
VERIDAD	61	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=GERMAN	COORD	600	640	1490	1520	ADAN=ELOHO	LETRA=O	CULTIVO=OOOOO					
VERIDAD	62	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=GERMAN	COORD	573	580	1310	1315	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	63	FUENTE=PISTAL	FECHA=091275	USUARIO=ROSITA	COORD	600	602	1513	1515	ADAN=ELOHO	LETRA=N	CULTIVO=NNNNN					
VERIDAD	64	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=HELMAN	COORD	600	602	1513	1510	ADAN=ELOHO	LETRA=Z	CULTIVO=ZZZZZ					
VERIDAD	65	FUENTE=GERMAN	FECHA=090475	USUARIO=GAVIOT	COORD	604	633	1507	1510	ADAN=ELOHO	LETRA=N	CULTIVO=NNNNN					
VERIDAD	66	FUENTE=PISTAL	FECHA=091275	USUARIO=ROSITA	COORD	990	1018	2101	2128	ADAN=ELOHO	LETRA=N	CULTIVO=NNNNN					
VERIDAD	67	FUENTE=FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1894	1456	1461	1467	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA						
VERIDAD	68	FUENTE=FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1892	1454	1467	1467	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA						
VERIDAD	69	FUENTE=FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1866	1459	1467	1467	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA						
VERIDAD	70	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1587	1894	1456	1461	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	71	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1857	1866	1459	1467	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	72	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1068	1275	1473	1479	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	73	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1887	1894	1456	1461	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	74	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1857	1866	1459	1467	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	75	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1868	1875	1473	1479	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	76	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1887	1894	1456	1461	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	77	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1868	1875	1473	1479	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	78	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1857	1866	1459	1467	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	79	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1868	1875	1473	1479	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	80	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1887	1894	1456	1461	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	81	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1857	1866	1459	1467	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	82	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1857	1866	1459	1467	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	83	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	1868	1875	1473	1479	ADAN=ELOHO	LETRA=A	CULTIVO=AGUA					
VERIDAD	84	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	8	23	75	82	ADAN=EDUARDO	LETRA=C	CULTIVO=CCCCC					
VERIDAD	85	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	11	21	98	105	ADAN=EDUARDO	LETRA=C	CULTIVO=CCCCC					
VERIDAD	86	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	59	80	69	62	ADAN=EDUARDO	LETRA=C	CULTIVO=CCCCC					
VERIDAD	87	FUENTE=EDUARDO	FECHA=100975	USUARIO=EDUARDO	COORD	64	84	100	113	ADAN=EDUARDO	LETRA=C	CULTIVO=CCCCC					

V. APRENDIZAJES HECHOS CON DATOS DE CAMPO QUE CONTIENEN AGUA

TIPO	DESCRIPCIÓN	ES IDENT	FECHA	CREADOR	METODO	FOTO	NUM DE NUBES	PROMEDIOS	VARIANZAS	NUM PIXELS	
1	CABEZA DE APRENDIZAJE LAS 1 VERDADES SON:	32	081975	ROSITA		GAVIOT		5			
	1 A AAGUAA	37.60	62.32	45.96	9.56	354.96	1.10	0.68	0.25	25	
1	CABEZA DE APRENDIZAJE LAS 1 VERDADES SON:	63	091775	ROSITA		PIPOTA		47			
	1 A AAGUAA	36.23	59.04	49.42	12.71	296.88	155.75	51.45	2.21	48	
2	CABEZA DE APRENDIZAJE LAS 2 VERDADES SON:	15 16	090975	ROSITA		PRESAS		28			
	1 A AAGUAA	38.65	52.38	29.28	4.41	284.28	3.63	3.83	0.66	836	
2	CABEZA DE APRENDIZAJE LAS 1 VERDADES SON:	16	092575	GUZMAN		PRESAS		48			
	1 A AAGUAA	41.44	51.32	26.70	3.90	192.97	4.67	1.45	1.46	190	
2	CABEZA DE APRENDIZAJE LAS 3 VERDADES SON:	80 81 82	101075	EDUARD		MANOTA		49			
	1 A AAGUAA	43.55	57.60	31.53	5.15	318.46	62.12	7.84	1.54	194	
3	CABEZA DE APRENDIZAJE LAS 1 VERDADES SON:	68	090575	ROSITA		PRESAS		23			
	1 N NEGRAS	30.66	40.12	31.51	10.30	280.00	196.57	13.06	43.36	812	
3	<p>CABEZA DE APRENDIZAJE 7 ES IDENT FECHA = 081975 CREADOR = ROSITA METODO = 1</p> <p>FOTO = GAVIOT LAS 1 VERDADES SON: 37</p>										
PROMEDIOS			VARIANZAS								
16 SEIS 33.700 53.200, 42.200, 10.720 - 341.76, 177.81, 28.51, 4.399											

## VI. CONCLUSIONES Y ALTERNATIVAS

Como se mencionó anteriormente, en esta etapa hemos utilizado el Sistema PR en la detección de cuerpos de agua sin interesarnos por el momento, la composición o contenido de dicha agua. Así, en las diferentes pruebas hemos encontrado tres grandes grupos:

1o.) Tipo de Agua que en la fotografía de la banda 2 aparece un color blanco, en la de la banda 4 en tonalidades de gris y presenta promedios de

B2: entre 59 x 61;                      B4: entre 9 y 13

2o.) Tipo de agua que en la fotografía de la banda 2 aparece en color blanco, en la de la banda 4 en negro y con promedios de

B2: entre 51 y 58                      B4: entre 3 y 6

3i.) Tipo de agua no visible en las fotografías de las bandas pero que aparece como borde en la clasificación de algunos de los ejemplos. Presenta promedios de

B2: entre 40 y 54                      B4: entre 10 y 11.

En el análisis de las nubes que originan estos tipos de agua encontramos que en el primer grupo se presenta una sola nube muy bien definida como en "GAVIOT" o aparece esta misma nube pero alterada por otras dos más pequeñas como en "PIPOTA". Esto nos sugiere que aunque se trata del mismo tipo de agua, en el segundo caso esta se vé alterada quizá por li- rios acuáticos o, por algas, o por contaminación, etc. En el siguiente grupo en ningún caso nos dió una sola nube bién de- finida, nos dieron a dos nubes como en "PRESAS" o una nube se guida de una "cola" como en "MANOTA". En ambos casos una de las nubes tiene más peso, (más concentración de pixels en el histograma) alterando un poco los promedios. Así quedan en cier to rango dentro del mismo grupo pero, como en el primer caso, esta agua tiene algas o quizá contaminación que altera su "pu- reza" con respecto a los promedios.

En el último grupo el que hemos llamado agua borde u orilla, presenta también 2 nubes. En el ejemplo de "PRESAS" encontramos que la nube que consideramos agua aparece también aquí, con promedios similares pero con menor concentración de pixels. La otra nube, sin embargo, es exactamente igual a la que aparecía alterando promedios en el grupo 2.

Esto nos indica, que hay mayor concentración del otro factor (que quizá sea simplemente tierra) y menos cantidad de agua originando este otro tipo de agua que aparece en las ori- llas.

El agua orilla de "GAVIOT" presenta también una nube de agua similar a la presentada en el interior de la presa pero también aparece otra nube con promedios similares a la que esta alterando en "PRESAS".

Se hicieron extensas pruebas sobre otros cuerpos de agua encontrándose resultados similares, sin embargo, en esta primera etapa no se tomaron en cuenta dos factores que pueden ayudar a una mejor detección:

- a) Posición del Sol (Baja elevación del Sol en Invierno).
- b) Precipitación (Clima seco poco usual o muy húmedo en los meses anteriores a la foto).

Asímismo, no se contó con un apoyo terrestre municioso, el cual podría haber sido determinante en algunas conclusiones.

En etapas posteriores se hará hincapié sobre todo esto para obtener mejores resultados.

VII. BIBLIOGRAFIA

a) BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

1.- Earth Resources Program.

"Procedures Manual for Detection and Location of Surface Water Using ERTS-1 Multispectral Scanner Data".

- Earth Observations Division Science and Applications Directorate/N.A.S.A. L.B. Johnson Space Center, Volúmenes I, II, III, IV y V. Houston, Texas. Noviembre de 1973.

2.- Third Earth Resources Technology Satellite Symposium. Volumen III: "Discipline Summary Reports: Water Resources"

(Pág. 52) por Vicent V. Salomonson/Goddard Space Flight Center; Greenbelt, Maryland. Mayo de 1974.

3.- Reportes del Proyecto PR.

b) Bibliografía Cartográfica.

1.- Cartas topográficas editadas por la Comisión Nacional de Estudios del Territorio Nacional (1973), (Escala 1:50 000):

+ "Amealco". F-14-C-86.

+ "Presa Solís" F-14-C-85.

+ "Tepeji del Río" E-H-A-18.

2.- Carta "Maravatio" 14 Q-g(3) de la Secretaría de la Defensa.

Depto. Cartográfico Militar, bajo la dirección del C. Gral. de Brig. Miguel A. Sánchez Zamego (1959); Escala 1:100 000.



## VII. AGRADECIMIENTOS

A nuestro Director del CIMAS, Dr. TOMAS GARZA, por su apoyo constante y decidido, así como a los doctores FEDERICO O'REILLY y ROBERT YATES por su cotidiano respaldo.

A los miembros de PR, y sobre todo a nuestros estudiantes y becarios, quienes hicieron posible la Epata Cero que aquí se ha descrito.

Al Lic. Enrique Molina, por sus magníficos servicios de biblioteca y por la catalogación especial de material para PR.

A los operadores del CSC, y en especial al . Sergio Castro, por su paciencia y colaboración.

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

A los ingenieros Juan Pui de la Parra, Héctor Alonso y Angel García Ameró, 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 doctores Robert McDonald y Edward Frutkin, del - Earth Observation Program, NASA, EE.UU, por su colaboración.

A Elizabeth Derbez y Nelly Alexandre por su eficiente ayuda secretarial.

Al Ing. Jorge Gil, del CIMAS, por su interés en la construcción de hardware para este proyecto.

IX. REPORTES TECNICOS DEL PROYECTO PR.

PR-75-1. Ludlow Juan y Jinich, Armando.

Sistema PR: Manual del Usuario.

Septiembre 1975.

PR-75-2. Guzmán Adolfo.

PR-75-2A. Guzmán Adolfo.

*Percepción remota por computadora: equipos, programas  
y aplicaciones*

Proyecto PR: Informe de Objetivos y Logros. Etapa Cero.

Octubre 1975.

PR-73-3. Ludlow, Juan y Jinich, Armando.

Sistema PR: Manual de Referencia.

Satélite ERTS.

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 obtenidos 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, y Llera, Eduardo

Detección por computadora de cuerpos de agua

Valle de México, tomadas desde el Satélite  
LANDSAT del

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.

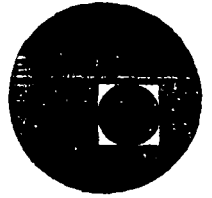
Superposición de imágenes digitales obtenidas por Satélite, de la misma área pero de fechas distintas.

PR-75-16. Becerra, Jennie.

Detección de rasgos lineales en fotografías de Satélite.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

PROYECTO PR. 75-2A  
INFORME DE ACTIVIDADES Y LOGROS  
ETAPA CERO.

ING. ADOLFO GUZMAN  
NOVIEMBRE, 1977

## RESUMEN.

La etapa cero del Proyecto PR consistió en la elaboración de todos los programas de cómputo necesarios para que un usuario (Ingeniero forestal, geólogo, técnico marino, cartógrafo, agrónomo, etc) pueda desarrollar investigaciones en el área de percepción remota por computadora e identificación automática de temas de interés que aparecen en imágenes multiespectrales. Las imágenes pueden ser de cualquier tipo y formato; el sistema de cómputo engendrado por la etapa cero, denominado Sistema PR, ha sido probado con imágenes del Valle de México captadas por el Satélite LANDSAT, y con imágenes del Estado de Nebraska (EEUU) tomadas desde avión con un barredor multiespectral de la Universidad de Michigan.

El Sistema PR es interactivo, puede servir a múltiples usuarios simultáneamente, y ha sido implementado en la computadora Burroughs B6700 del CSC-UNAM. Tiene el poder para formar sub-cuadros (sub-imágenes) de tamaño arbitrario, que pueden guardarse permanentemente en disco o en cinta o destruirse, así como crear nuevas imágenes a partir de anteriores; elaborar una base de datos de la información de apoyo y verificación terrestre; asimismo automáticamente puede formar un banco de datos conteniendo los temas (cultivos, zonas urbanas, cuerpos de agua, etc) importantes para el investigador y sus firmas espectrales. El Sistema PR es capaz de hacer una clasificación supervisada y heurística, con todas o algunas de las bandas de cada imagen. Sugiere, si es

necesario, la inconsistencia de la información terrestre; usa, si se requiere, métodos de agrupación para aprender sin supervisión; puede detectar el porcentaje de errores en su clasificación, y es resistente (detecta y sugiere correcciones) a la mayoría de los errores del usuario.

La salida de resultados es por multi-impresión con intervalos uniformes o autoadaptables; este método se complementará con una impresora de tonos grises y con una pantalla de televisión a colores.

El paso siguiente (etapa 1) es usar el Sistema PR con los siguientes usuarios: Dirección General de Economía Agrícola, S. A. G. (detección de trigo en el Valle del Yaqui); Comisión de Estudios del Territorio Nacional, S. de la P. - (actualización de cartas temáticas y topográficas), Instituto de Biología UNAM (cubiertas vegetales en el Estado de Veracruz); y probablemente en la detección de fallas geológicas y lugares metalogenéticos en el Gran Geosinclinal Mexicano.

En las próximas semanas el Sistema PR contará con capacidad para hacer el análisis multiespectral con varias fotos tomadas en fechas distintas. Se está planeando la construcción en CIMAS de hardware para la paralelización de los algoritmos.

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 .

	Pág.
APLICACIONES DE UN SISTEMA DE ANALISIS POR COMPUTADORA DE IMAGENES MULTIESPECTRALES . . . . .	5
SISTEMAS ACTUALES DE ANALISIS DE IMAGENES POR - - - - COMPUTADORA . . . . .	6
EL SISTEMA PR, . . . . .	11
PROXIMOS PROGRAMAS CON QUE CONTARA PR, . . . . .	75
PROXIMOS USOS DE PR, . . . . .	75
PROXIMO EQUIPO CON QUE CONTARA PR, . . . . .	77
¿QUIERE USTED PARTICIPAR? . . . . .	77
COLABORADORES DE PR, . . . . .	78
AGRADECIMIENTO . . . . .	80
BIBLIOGRAFIA . . . . .	81
LISTA DE INFORMES TECNICOS . . . . .	83



**APLICACIONES DE UN SISTEMA DE ANALISIS POR COMPUTADORA DE  
IMAGENES MULTIESPECTRALES.**

Si introducimos la computadora en la percepción remota, para analizar con ella el contenido de imágenes de nuestro país tomadas desde plataformas de vuelo elevadas (satélites artificiales y aviones), es posible distinguir en ellas, en una interacción hombre-máquina, diversos temas de la superficie escudriñada. Este proceso automático o semiautomático se puede usar en diversas aplicaciones, algunas de las cuales son:

- Detección de cultivos. ¿Cuántas hectáreas de trigo hay sembradas en México en este momento? ¿Dónde? ¿Cuándo se cosecharán? ¿Cuántas toneladas serán?
- Plagas en cultivos.
- Detección de cuerpos de agua. ¿Cuál es la extensión actual de los cuerpos de agua en nuestra superficie? ¿Cuál es la calidad de esa agua?
- Contaminación del agua.
- Mapas del uso del suelo, diciéndonos dónde hay pastizales, cultivos, zonas urbanas, lagunas litorales, zonas erosionadas, etc.
- Estudios de vegetación.
- Zonas forestales. ¿Dónde? ¿Cuánto?
- Zonas urbanas y semiurbanas.
- Zonas costeras, estuarios, azolve de puertos, corrientes marinas, franja litoral, etc.
- El cambio a través del tiempo de todo lo anterior: predicción de cosechas en cada ciclo agrícola; cómo crece una ciudad; cómo se deforesta una zona, etc.
- Producción de ortofotos, mapas, etc.

## SISTEMAS ACTUALES DE ANALISIS DE IMAGENES POR COMPUTADORA.

Dado el vasto campo de aplicación de un sistema automatizado que analice estas imágenes, uno esperaría una proliferación de ellos. Lo complejo de su construcción y lo interdisciplinario de su investigación hacen que, a pesar de su atractivo, sólo existan pocos sistemas "reales" ya probados, y que muchos de los otros nunca demuestren resultados concretos de aplicación a problemas reales, sino que degeneren o bien en proyectos teóricos y de elucubración, o bien en proyectos fantasmas cuyos resultados siempre "están próximos a publicarse" y cuyos programas de cómputo" necesitan permiso oficial para ser conocidos". Inclusive, los pocos sistemas -- "reales" también tratan de ser "confidenciales" o "reservados".

El CIMAS ha adoptado la siguiente actitud al respecto:

- 1) Debemos tratar de obtener los programas ya hechos.
- 2) Si esto no resulta, debemos hacer los nuestros propios.
- 3) Debemos difundir ampliamente su uso y cómo se han construido, para que esta tecnología deje de ser "secreto de los países avanzados" y se convierta del dominio común.
- 4) Debemos aplicarlos a problemas reales, publicar los resultados y dejarlos, ya en proceso de producción rutinaria, en manos de las agencias (Secretaría de Agricultura, CETENAL, etc) idóneas interesadas en explotarlos.
- 5) Debemos exportarlos a otros países en desarrollo.

A continuación se exponen los principales sistemas actuales. Todos tienen las capacidades de analizar imágenes multi-espectrales, detectar, clasificar, etc.

PROYECTO PAIS.- Dentro de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en la Comisión Nacional del Espacio Exterior, en el Centro de Investigación en Estadística y Computación Electrónica y en la Dirección General de Planeación, un grupo de investigadores encabezados por el Doctor Jorge Valerdi, realizó el proyecto PAIS (Procesamiento Automático de Imágenes de Satélite), basado en Técnicas de reconocimiento de formas y análisis digital de imágenes. Véase (4) y (3).

El proyecto PAIS ha sido catalizador e inspirador de las actividades del Proyecto PR., y nuestras discusiones con Valerdi y sus colaboradores han sido interesantes e instructivas, y ha servido asimismo para incrementar el acercamiento entre la Comisión Nacional del Espacio Exterior y el Proyecto PR.

GRUPO en S. R. H. Existe en la Secretaría de Recursos Hidráulicos un grupo encabezado por el Licenciado Don Armando Díez Pérez, que ha desarrollado programas de Cómputo para el estudio del suelo patrio con imágenes aéreas. Algunos resultados pueden verse en una reciente ponencia (2).

Entre otros aspectos interesantes, el Proyecto de S. R.H. usa para su clasificación no supervisada una variante de ISODATA (6) e ISOCLS (7).

SISTEMA LARSYS. Hecho en la Universidad de Purdue, West Laffayette, Indiana, EEUU. Este sistema está escrito en Fortran IV y es de uso muy extenso. La NASA lo usa en sus investigaciones agrícolas. Cuesta \$25,000.00 una versión vieja <sup>m.x.</sup>

(Versión 1). La versión que actualmente trabaja en NASA es, por ejemplo, la Versión 3. Trabaja con tarjetas perforadas. Necesita de una máquina grande.

SISTEMA ERIPS. Hecho por IBM-Federal Systems Division para la NASA, (EEUU), es un sistema interactivo en PL-I y lenguaje ensamblador, y por tanto solo corre en máquinas IBM. Necesita para su uso efectivo de una máquina IBM grande (360/50 ó 360/65, por ejemplo), y de una pantalla especial de televisión a colores que cuesta cerca de \$750,000.00. Es propiedad de la NASA. IBM tiene derecho de usarlo dentro de sus sucursales en los distintos países. Es un programa experimental, y no un programa producto.

SISTEMA GE IMAGE 100. (Véase Sistema Lockheed).

SISTEMA BENDIX. (Véase Sistema Lockheed).

SISTEMA LOCKHEED.

Estos tres sistemas trabajan en una minicomputadora PDP-11, y el fabricante los vende como un paquete conjunto, software y hardware. El costo típico es de 3 millones de pesos. Estos sistemas han destruido el mito de que la percepción remota por computadora necesita grandes máquinas de cómputo con grandes memorias como se podía pensar al ver el gran tamaño de los sistemas Larsys y Erips. Actualmente es posible usar pequeñas máquinas.

El problema con estos sistemas es el mismo que con ERIPS, aunque más severo: se trata de sistemas completamente experimentales, en los que el usuario puede hacer algo de experimentación con la esperanza de que su problema sea resuelto. Si la buena suerte lo socorre, el sistema es capaz de resolver el problema, y el usuario podrá estar satisfecho de su inversión. Si no, el usuario sólo tiene que esperar a que el proveedor saque la próxima versión, la que "ahora sí" satisfará sus necesidades. Estos paquetes generalmente se venden como cajas negras, sin listados fuente y/o sin explicación de

cómo fue construido el sistema, o cómo modificarlo.

DADO EL ESTADO ACTUAL DE LA IDENTIFICACION CON COMPUTADORA DE IMAGENES MULTIESPECTRALES, CUALQUIER SISTEMA NO PROBADO ES "ALTAMENTE EXPERIMENTAL" E INSEGURO. INVERTIR (EN ESTE MOMENTO) DINERO EN ELLOS PARA TENER UN SISTEMA YA DE PRODUCCION ES ALGO ARRIESGADO.

Por lo general no existe proveedor de ellos en México, y/o<sup>no</sup> hay personal local del proveedor capaz de modificarlo, en caso de que no se adapte exactamente a las necesidades del usuario (lo cual siempre sucede). El usuario generalmente no tiene personal de computación que conozca ese sistema, para hacerle las modificaciones que con seguridad se requerirán. Estos sistemas tienen cabida en centros de computación interesados en hacer investigación en electrónica, sistemas operativos y con gente que guste de arreglar y modificar cosas oscuramente explicadas.

Algunos de estos sistemas vienen con opciones de "hardware" que los "aceleran" y provocan que la clasificación se haga más rápida.

Estas opciones electrónicas son aún más difíciles de reparar, y aun más temerario suponer que el proceso que tal hardware desarrolla sea el que efectivamente resolverá el problema del usuario.

EN ESTA ETAPA DE CONOCIMIENTO SOBRE ANALISIS DE FOTOGRAFIAS POR COMPUTADORA, Y POR LO INTERDISCIPLINARIO DE LA PERCEPCION REMOTA, TODO PROGRAMA EN ESTA AREA DEBE PROBARSE, AJUSTARSE Y ADAPTARSE A UN CONJUNTO PEQUEÑO DE PROBLEMAS REALES. ESTE TRABAJO DEBE EFECTUARSE POR UN GRUPO COMPUESTO POR GENTE DE COMPUTACION (PREFERENTEMENTE LOS QUE DESARROLLARON EL PROGRAMA) Y DEL AREA DE APLICACION.

Solo después de este trabajo en equipo se podrá contar con sistemas con los que se oprima un botón y se detecten en una fotografía las fallas geológicas; se apriete otro y se obtenga el número de toneladas de trigo a cosecharse, y al tocar otro más pequeño se nos dé el área cubierta por pastizal en Veracruz, etc. Comparto con el Maestro e Ingeniero Don Felipe Guerra Peña (1) su escepticismo sobre tal grado de automatización.

Analizados los sistemas actuales, se decidió hacer el nuestro. Esto nos permitiría dominar la tecnología.

Se usó la computadora B6700 del CSC, por ser la única disponible; se piensa trasladar el sistema nuestro (llamado Sistema PR) a una computadora más chica, cuando ésta se tenga.

El Sistema PR, en el momento de escribir el reporte, ha sido probado en algunos problemas sencillos (Véase sección "Pruebas al Sistema PR"). La fase siguiente, la etapa 1, consiste en su modificación y adecuación a problemas prácticos reales (Véase sección "Próximos usos de PR"), y solo después de esta etapa de investigación tendremos (quizá) un sistema de producción, y no de experimentación, de interés académico o de relaciones públicas.

## EL SISTEMA PR.

Para poder desarrollar investigaciones sobre temas de interés en las áreas de percepción remota por computadora e identificación automática, usando información contenida en imágenes multiespectrales, es necesario contar con un conjunto de programas adecuados, convenientemente organizados, de tal forma que su uso sea fácil, interactivo y natural. Particularmente, si se tiene en cuenta que los usuarios de estos programas (ingeniero agrónomo, técnico marino, geólogo, ingeniero forestal, geofísico, cartógrafo, etc), no tendrán paciencia para aprender complejas formas de programar la computadora, el sistema debe estar orientado a su uso fluido, y ser resistente a errores.

En este informe se describe el trabajo efectuado en la Etapa Cero, en la que se hizo el diseño y prueba de los programas de cómputo.

La descripción se efectúa a un nivel no técnico, coloquial, salpicada de ejemplos. Puede encontrarse información más técnica y más completa en los Informes Técnicos del Proyecto PR., los que aparecen tanto en la bibliografía como en una lista al final de esta publicación.

COMO USAR EL SISTEMA. El Sistema PR es conversacional, interactivo, usable desde una consola o teletipo. Está implantado en la computadora B6700 del CSC-UNAM. Los usuarios socios (investigadores, con un problema real de aplicación que resolver) utilizan la clave VG80; en tanto que los usuarios que modifican el sistema usan la clave PR81, donde las versiones experimentales existen, y donde se confeccionan las mejoras programáticas.

En el Laboratorio PR existen dos terminales de computadora, propias del proyecto, que pueden emplear los usuarios socios (investigadores).

Un número grande de investigadores puede usar el Sistema PR al mismo tiempo, cada uno trabajando en su problema particular sin interferencia con los otros.

El Sistema responde "al instante" e interacciona con el investigador, preguntando datos y llevando la conversación entre la máquina y el hombre.

No se necesita saber lenguaje de programación alguno, ni comandos a CANDE, ni siquiera inglés. Una sesión de diez minutos basta para que el usuario socio pueda trabajar solo.

#### DOCUMENTACION.

El Sistema se presta para trabajar sin manuales. Empero, existirá una documentación completa y extensa del sistema, tanto en los Reportes Técnicos del Proyecto PR (Ver lista al final de este reporte) como en el Manual de Usuario del Sistema PR (8).

Elizabeth Derbez, Secretaria del Proyecto (2o. Piso) posee copia de toda la documentación necesaria. En la Biblioteca del CIMAS (2o. Piso) se consiguen estos reportes y manuales a precio de costo. Se pueden hacer pedidos por correo: CIMAS-UNAM (Biblioteca), Apdo. 20-726, México 20, D. F. Haga sus cheques a favor de :CIMAS-UNAM.

En el Laboratorio PR (6 en el cubículo de Víctor Guerra) existe una Bitácora de Uso del Sistema PR. En ella se reportan sus comentarios, y las fallas o problemas observados. Las fallas de teletipo o consola se comunican directamente al Ing. Sergio Castro, del CSC. Las fallas de computadora se registran en la Bitácora, y para ráfagas severas de fallas se informa a Víctor Guerra, del Comité de Usuarios del CSC. (Teléfonos: 548-48-07; o 548-54-65). o al Ingeniero Francisco Martínez Palomo, actual Director del CSC.



Las fallas de energía eléctrica, como las de agua, al Sr. Arroyo (CIMAS, 1er. Piso). Si falta papel en el teletipo o ya está muy gastada la cinta de su impresor, esto se le dice al Ing. Sergio Castro del CSC.

#### MAPAS, FOTOS Y CINTAS.

Se espera que cada usuario traiga consigo el material necesario para desarrollar su trabajo; en el Laboratorio PR hay espacio para colgarlos o guardarlos. También el Proyecto PR posee algunas cintas conteniendo imágenes de zonas de México y de EEUU, así como unos pocos mapas de CeTeNal, de la -- Defensa Nacional y las fotografías correspondientes.

#### BANCO DE INFORMACION TERRESTRE.

La información de verificación y apoyo terrestre que cada usuario socio emplea para su investigación se guarda en un banco de datos asociado al sistema PR; alternativamente, el usuario puede tener su propio banco de información terrestre. Véase el Manual del Usuario (8). Este banco puede usarse según (9).

Los usuarios que carecen de información terrestre pueden usar la información del Banco de Información Terrestre de PR.

#### FIRMAS ESPECTRALES.

El Sistema PR posee un (pequeño) banco de firmas espectrales que el investigador puede usar para sus clasificaciones, y agregarle firmas adicionales automáticamente mediante aprendizaje supervisado, no supervisado o artificial, según se requiera.

CLASIFICACION HEURISTICA.

El Sistema PR no clasifica únicamente por los métodos convencionales de distancias a nubes en un espacio espectral; cualquier otra técnica susceptible de expresarse en un programa de cómputo puede emplearse dentro del Sistema PR. Para esto, sin embargo, el usuario socio deberá fabricar una función "FUNPR", en Fortran, Cobol o Algol. Véase el manual del usuario (8).

Esto es mucho más fácil de lo que parece. Por ejemplo, si nosotros queremos clasificar como "AGUA" todo lo que está en la banda 2 (o sea la 5 del LANDSAT) con reflectividad entre 35 y 41, y en la banda 4 (o sea la 7 del LANDSAT) con reflectividad entre 0 y 6, debemos decir en un lugar apropiado

```
IF (ENTRE2 (35,41) .AND. ENTRE4 (0,6))FUNPR=100
```

Véase la función "FUNPR" en el Manual del usuario (8). Técnicamente, puede decirse que la función FUNPR es local de diámetro 3, pues ve a un pixel e y a sus ocho vecinos (5).

a b c

d e f.

g h i

PRODUCCION DE FOTOS ARBITRARIAS A PARTIR DE FOTOS. También puede computarse una función arbitraria de una banda o de una fotografía multiespectral, por ejemplo

- Diferencia de dos bandas.
- Cociente de dos bandas.
- Bandas normalizadas.

- Puntos que son más brillantes o más oscuros que sus vecinos.
- Etc.

Y con los resultados crear una nueva banda (una nueva foto), la cual puede imprimirse, clasificarse o modificarse a su vez por otra función arbitraria, etc. Esta capacidad esta descrita en el Manual del Usuario (8) también bajo la función FUNPR. Algo parecido ocurre en (9).

Ejemplo del uso de una función arbitraria.

a) Sáquese el gradiente de la fotografía:

FUNPR= GRAD (ha, hb, hc, hd, he, hf, hg, hh, hi)

b) Si el gradiente es grande, escríbase un 1, si no, un 0:

FUNPR= 0

IF (he (1). GT. 20) FUNPR=1

Así obtenemos una nueva fotografía, con 1's donde el gradiente es grande (útil por ejemplo para ríos, fallas geológicas, etc.)

#### CAPACIDADES GENERALES DEL SISTEMA.

El Sistema PR interpela a su usuario; y una forma fácil de saber lo que es capaz de hacer el Sistema es dejarlo que pregunte, y contestar con NO a c/u de sus preguntas (cualquier respuesta diferente de "SI" se considera como "NO"); por ejemplo, una respuesta nula (o sea no escribir algo) es "NO"; ni más ni menos esto es lo que se ha hecho en la siguiente conversación.

```
#RUNNING 7043
#?
#BIENVENIDO AL SISTEMA PR.
#QUIEN ERES???, EN FORMATO A6 P.F. . . . .Guzman
#IMPRIME DESCRIPTORES? . . . . .NO
#QUIERES HACER UN ADAN? . . . . .NO
#QUIERES REMOVER?. . . . .NO
#QUIERES CREAR?. . . . .NO
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6). . . .GAVIOT
#GAVIOT(1) PRESENTE.
#IMPRIMO LAS VERDADES DE TIERRA? . . . . .NO
#AGREGAR O MODIFICAR VERDADES DE TIERRA? .NO
#IMPRIMO LOS APRENDIZAJES? . . . . .N
#APRENDE? . . . . .
#QUIERES BORRAR APRENDIZAJE? . . . . .
#CLASIFICA? . . . . .
#QUIERES APLICAR? . . . . .
#IMPRIME? . . . . .
#COMPARA?. . . . .
#LE DOY LOCK?. . . . .
#QUIERES SEGUIR? . . . . .
#PR TERMINO.....ADIOS
#ET=1:53.4 PT=0.9 IO=0.7
```

Si hubiésemos dicho "SI" a cualquiera de las preguntas anteriores, empezaríamos a explorar las capacidades del Sistema PR, mismas que a continuación se exponen.

CREACION DE ADANES. Un Adán es un conjunto de 4 cintas, en el caso de imágenes ERTS, que cubren un cuadrado de aprox. 185 Km. de lado (normalmente éstas son las cintas que vienen del Eros Data Center de Sioux Falls, S. D. (EEUU)). En el caso de imágenes LARSYS, un Adán es una cinta. En el caso de otros formatos de imágenes, es un conjunto de 1 a 4 cintas. Estas son cintas sin aro (sólo de lectura), de 7Tk 800 bpi ó 9 Tk 1600 bpi. Deben ya estar dadas de alta en la cintoteca del CSC (Ver Manual del Usuario (8) ).

Supongamos que rápidamente el EROS Data Center nos envía un juego de cuatro cintas LANDSAT del Valle de Tehuacán (Puebla), y queremos hacer un ADAN denominado TUACAN. El procedimiento es el siguiente:

R PR/SUP

#RUNNING 7054

#?

#BIENVENIDO AL SISTEMA PR.

#QUIEN ERES???, EN FORMATO A6 P.F. . . . .GUZMAN

#IMPRIME DESCRIPTORES? . . . . .

#QUIERES HACER UN ADAN? . . . . .SI

#TIPO ERTS? . . . . .SI

#DAME NOMBRE,CINTA1,CINTA2,CINTA3,CINTA4 ."TUACAN",223,224,225,226

#CREANDO TUACAN(DESCRIPTOR DE FOTO).

#SI LA CINTA 223 ESTA ETIQUETADA POR FAVOR ESCRIBE LA ETIQUETA TERMINANDO CON PUNTO.

#SI NO LO ESTA,DA RETURN. GRACIAS.

PR81223.

#UN MOMENTO EL OPERADOR VA A MONTAR LA CINTA 223

#7054 ACCEPT: CINTA 0223 SIN ARO PF..

↑  
etc  
↓

#ET=2:53.4 PT=1.0 IO=0.8

#12:08 FROM SPO: YA PODEMOS DESMONTAR LA CINTA 575 ???

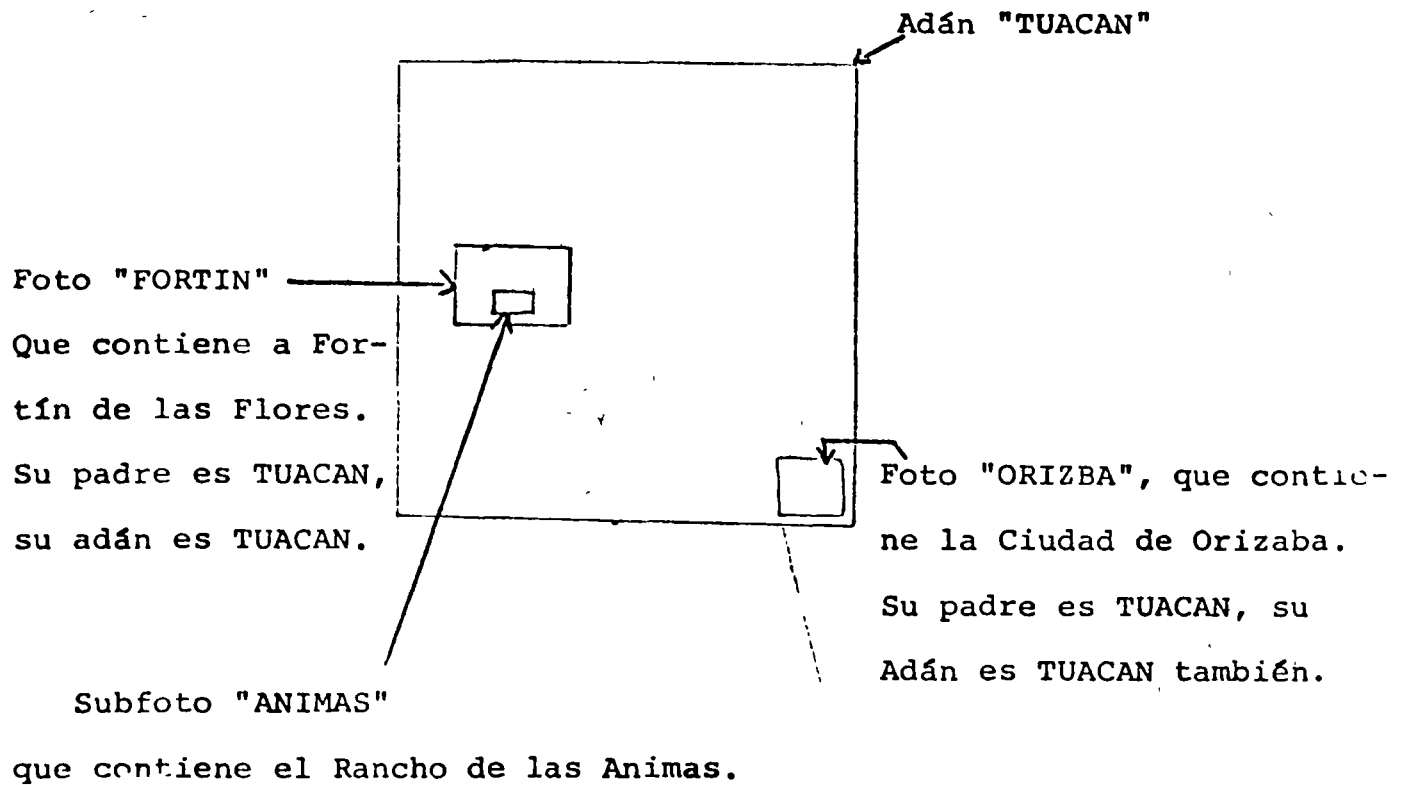
?SS SPO SI,GRACIAS

#

### PROCEDIMIENTO PARA CREAR UN ADAN TIPO E R T S

En este ejemplo, se juntan cuatro cintas para crear el adán "TUACAN."

Con este nuevo Adán TUACAN podemos ahora crear fotos de cualquier tamaño de la región de Tehuacán. Este es el objeto de los Adanes: ser primogénitos que engendren fotos, subfotos, etc.: toda una estirpe multiespectral.



Su padre es FORTIN, su Adán es TUACAN.

EJEMPLO. CREACION DE FOTOS A PARTIR DE ADANES.

Para crear una foto a partir de una adán tipo LANDSAT, el procedimiento es sencillo:

#QUIERES CREAR? . . . . .SI  
#DAR PADRE Y NOMBRE.(A6-A6). . . . .ELOR01-BRISAS  
#DAR: XMIN,YMIN,XMAX,YMAX,REAL(=1) . . . .1600,1500,1710,1610, 1  
#ELOR01(1) PRESENTE.  
#CREANDO BRISAS  
#CINTA 2 NUMERO 572  
#SI LA CINTA 572 ESTA ETIQUETADA POR FAVOR ESCRIBE LA ETIQUETA TERMINANDO CON PUNTO.  
#SI NO LO ESTA,DA RETURN. GRACIAS.  
COPIA1DE4  
#FALTO EL PUNTO.  
#SI LA CINTA 572 ESTA ETIQUETADA POR FAVOR ESCRIBE LA ETIQUETA TERMINANDO CON PUNTO.  
#SI NO LO ESTA,DA RETURN. GRACIAS.  
COPIA2DE4.

#UN MOMENTO EL OPERADOR VA A MONTAR LA CINTA 572  
#7508 ACCEPT: CINTA 0572 SIN ARO PF..  
#CINTA MONTADA.  
#7508 GOING  
#CINTA 3 NUMERO 573  
#SI LA CINTA 573 ESTA ETIQUETADA POR FAVOR ESCRIBE LA ETIQUETA TERMINANDO CON PUNTO.  
#SI NO LO ESTA,DA RETURN. GRACIAS.  
COPIA3DE4.  
#ARCHIVO BRISAS(0) CREADO.  
PADRE: ELOR01 X: 1600-1710, Y: 1500-1610 REAL  
#ARCHIVO BRISAS(0)CERRADO.  
BRISAS- 10/17/75 13:36 HRS., USUARIO: GUZMAN  
ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE ELOR01, ADAN ELOR01(ERTS)  
LONG: 10 REGS:, X: 1600-1710 Y: 1500-1610, 12321 PIXELS  
ANCHO(PALABRAS): PADRE: 10, PIXELS: 74, LETRAS: 19  
TIENE: LETRAS(NO), HISTOGRAMA(SI).  
#IMPRIME DESCRIPTORES? . . . . .

CREANDO UNA FOTO A PARTIR DE UN ADAN TIPO E R T S (LANDSAT)

El adán se llama "ELOR01," y ha engendrado la foto "BRISAS."

Para crear una fotografía a partir de un adán tipo LARSYS, solo hay que tener cuidado de especificar cuáles 4 de las 12 bandas 1,2,..., 12 del adán hay que pasar como bandas 1,2,3 y 4 de la foto: por ejemplo,

1,8,11,12	así:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		↓							↓			↓	↓
		1							2			3	4

en el ejemplo siguiente vemos esto en el acto de la creación:



```

#QUIERES CREAR? . . . . .SI
#DAR PADRE Y NOMBRE.(A6-A6) . . . . .FLT/C1-PRUEBA
#DAR: XMIN,YMIN,XMAX,YMAX,REAL(=1) . . . .20,30,120,160, 1
#FLT/C1(1) PRESENTE.
#CUALES CUATRO BANDAS?
  1, 8, 11, 12
#CREANDO PRUEBA
#SI LA CINTA 932 ESTA ETIQUETADA POR FAVOR ESCRIBE LA ETIQUETA TERMINANDO CON PUNTO.
#SI NO LO ESTA,DA RETURN. GRACIAS.
PURDUEC1.
#UN MOMENTO EL OPERADOR VA A MONTAR LA CINTA 932
#7079 ACCEPT: CINTA 0932 SIN ARO PF..
#CINTA MONTADA.
#7079 GOING
#7079 ACCEPT:PF ASIGNAME LA CINTA 0932.
#7079 GOING
#7079 NO FILE PURDUEC1 (MT) #1
#7079 GOING
#ARCHIVO PRUEBA(0) CREADO.
  PADRE: FLT/C1  X:  20- 120,  Y:  30- 160  REAL
  BANDAS USADAS  1  8  11  12
#ARCHIVO PRUEBA(0)CERRADO.
PRUEBA-  10/17/75  12:14 HRS.,  USUARIO: GUZMAN
  ARCHIVO REAL,TIPO HIJO,PADRE FLT/C1, ADAN FLT/C1(LARS)
  LONG: 10 REGS:, X:  20- 120 Y:  30- 160,  13231 PIXELS.
  ANCHO(PALABRAS): PADRE:  10 , PIXELS:  68 , LETRAS:  17
  TIENE: LETRAS(NO), HISTOGRAMA(SI).
  BANDAS USADAS:  1  8  11  12
#IMPRIME DESCRIPTORES? . . . . .

```

PROCEDIMIENTO PARA CREAR UNA SUBFOTO.  
A PARTIR DE UN ADAN LARSYS

CREACION DE FOTOS.

Una fotografía, foto, imagen, subfoto o archivo es un subconjunto (una parte) rectangular de algún adán o de otra foto. Todas las bandas se copian. Una foto tiene cuatro bandas de pixels, 1,2,3,4; una banda de letras: la banda 5, y una banda ficticia: la banda 0. Para crear la foto ( o archivo) BROTES a partir de la foto MANOTA, el procedimiento es:

```

#QUIERES CREAR? . . . . .SI
#DAR PADRE Y NOMBRE. (A6-A6) . . . . .MANOTA-BROTES
#DAR: XMIN, YMIN, XMAX, YMAX, REAL (=1) . . . .1800, 1440, 1860, 1510, 1
#MANOTA(1) PRESENTE.
#CREANDO BROTES
#ARCHIVO BROTES(0) CREADO.
      PADRE: MANOTA X: 1800-1860, Y: 1440-1510 REAL
#ARCHIVO BROTES(0) CERRADO.
BROTES- 11/20/75 14:54 HRS., USUARIO: GUZMAN
      ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE MANOTA, ADAN ELOROI (ERTS)
      LONG: 10 REGS: X: 1800-1860 Y: 1440-1510, 4331 PIXELS
      ANCHO (PALABRAS): PADRE: 71, PIXELS: 41, LETRAS: 11
      TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).
#IMPRIME DESCRIPTORES? . . . . .

```

CREACION DE LA FOTO "BROTES" A PARTIR DE LA FOTO "MANOTA."  
BROTES tiene en este ejemplo un tamaño igual al de MANOTA.  
Ambos provienen del mismo adán ELOROI.

Nuestra unidad de trabajo es la foto o archivo. Una foto se puede imprimir, clasificar, etc. En una foto se pueden obtener formas espectrales, proporcionar información de apoyo terrestre, etc. La creación de una foto no implica la destrucción de su padre: ambas coexisten. Una foto se refiere a un determinado lugar y a una fecha determinada: aquella en que su adán fue fotografiado o creado.









PEDROE- 08/22/75 11:08 HRS., USUARIO: GUERRA  
 ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE SNUJAN, ADAN ELOROI (ERTS)  
 LONG: 10 REGS., X: 180-265 Y: 626-725, 8600 PIXELS  
 ANCHO (PALABRAS): PADRE: 531, PIXELS: 58, LETRAS: 15  
 TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).

BAJAMI- 08/25/75 11:33 HRS., USUARIO: LUDLOW  
 ARCHIVO TIPO ADAN (ERTS), X: 1-3240 Y: 1-2340  
 PROTECCION CINTAS: 852 853 854 855  
 REGISTRO DE IDENTIFICACION DE LA CINTA:  
 ERTS-1 DIA 122 17/40.3  
 BANDA ESPECTRAL 0 SUB-CUADRO 0  
 CINTA 1 DE 4  
 LONGITUD DEL REGISTRO DE DATOS (BYTES) 3296  
 IDENTIFICADOR BINARIO DE CUADRO 1 122 17403 00  
 IDENTIFICADOR BINARIO DE LA TIRA 0  
 IDENTIFICADOR DE LA CINTA (IAT) SI131312  
 CODIGO DE CORRECCION 0 0 1 0 0 1 1 1  
 LONGITUD CORREGIDA DE LAS LINEAS 3240

PRESAS- 09/05/75 09:41 HRS., USUARIO: ROSITA  
 ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE ELOROI, ADAN ELOROI (ERTS)  
 LONG: 10 REGS., X: 857-1069 Y: 2055-2128, 15762 PIXELS  
 ANCHO (PALABRAS): PADRE: 10, PIXELS: 142, LETRAS: 36  
 TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).

LERMAS- 09/10/75 12:58 HRS., USUARIO: LUDLOW  
 ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE ELOROI, ADAN ELOROI (ERTS)  
 LONG: 10 REGS., X: 506-638 Y: 1230-1358, 17157 PIXELS  
 ANCHO (PALABRAS): PADRE: 10, PIXELS: 89, LETRAS: 23  
 TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).

PIPOTA- 09/11/75 11:03 HRS., USUARIO: ROSITA  
 ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE LERMAS, ADAN ELOROI (ERTS)  
 LONG: 10 REGS., X: 558-600 Y: 1275-1326, 2236 PIXELS  
 ANCHO (PALABRAS): PADRE: 89, PIXELS: 29, LETRAS: 8  
 TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).

MANOTA- 09/25/75 09:38 HRS., USUARIO: ROSITA  
 ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE ELOROI, ADAN ELOROI (ERTS)  
 LONG: 10 REGS., X: 1800-1905 Y: 1435-1510, 8056 PIXELS  
 ANCHO (PALABRAS): PADRE: 10, PIXELS: 71, LETRAS: 18  
 TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).

FLT/C1- 10/01/75 10:58 HRS., USUARIO: MAX:MAX  
 ARCHIVO TIPO ADAN (LARS), X: 1-222 Y: 1-950  
 PROTECCION CINTAS: 932 0 0 0  
 REGISTRO DE IDENTIFICACION DE LA CINTA:  
 PURDUE FLT LN C1 # 1000 SN=66003600 6/28/66 @ 1229  
 NO. DE CANALES 12 NO. DE PIXELS/LINEA 222 NO. DE LINEAS 950  
 ALTITUD 2600FT., GND. HEADING 180GR.

CHAPUL- 10/13/75 17:37 HRS., USUARIO: PATY  
 ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE ELOROI, ADAN ELOROI (ERTS)  
 LONG: 10 REGS., X: 2380-2500 Y: 1900-2005, 12826 PIXELS  
 ANCHO (PALABRAS): PADRE: 10, PIXELS: 81, LETRAS: 21  
 TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).

DISFE2- 10/14/75 17:36 HRS., USUARIO: PATRIC  
 ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE ELOROI, ADAN ELOROI (ERTS)  
 LONG: 10 REGS., X: 2260-2379 Y: 1900-2005, 12720 PIXELS  
 ANCHO (PALABRAS): PADRE: 10, PIXELS: 80, LETRAS: 20  
 TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).

ZGNA01- 10/14/75 18:23 HRS., USUARIO: PATRIC  
 ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE VUELCL, ADAN FLT/C1 (LARS)  
 LONG: 10 REGS., X: 1-100 Y: 55-155, 10100 PIXELS  
 ANCHO (PALABRAS): PADRE: 148, PIXELS: 67, LETRAS: 17  
 TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).  
 BANDAS USADAS: 7 9 11 12

VUELCL- 10/15/75 13:00 HRS., USUARIO: MAX:MAX  
 ARCHIVO REAL, TIPO HIJO, PADRE FLT/C1, ADAN FLT/C1 (LARS)  
 LONG: 10 REGS., X: 1-222 Y: 1-950, 210900 PIXELS  
 ANCHO (PALABRAS): PADRE: 10, PIXELS: 148, LETRAS: 37  
 TIENE: LETRAS (NO), HISTOGRAMA (SI).  
 BANDAS USADAS: 7 9 11 12

QUIERES HACER UN ADAN? . . . . .

Ocasionalmente, un descriptor estará presente pero el archivo no. Esta es una anomalía fácil de corregir, pues se produce el mensaje de error "PIXELS NO ESTA PRESENTE." Ver Manual del Usuario (8).

DESTRUCCION DE FOTOGRAFIAS

Para destruir o remover una fotografía, se contesta "SI" a "¿REMUEVE?:"

```
#QUIERES REMOVER? . . . . .SI
#DAME NOMBRE (FORMATO A6) . . . . .BROTOS
#BROTOS ELIMINADO.
#QUIERES CREAR? . . . . .
```

La destrucción de una foto no implica la desaparición de su padre, adán, hijo, etc. Solo la foto en sí desaparece.

El sistema detecta algunos errores en la remoción:

```
#QUIERES REMOVER? . . . . .SI
#DAME NOMBRE (FORMATO A6) . . . . .CEFIRO
DESCRIPTOR INEXISTENTE
#QUIERES REMOVER? . . . . .SI
#DAME NOMBRE (FORMATO A6) . . . . .GAVIOT
#EL ARCHIVO DE PIXELS DE GAVIOT NO ESTA PRESENTE
#GAVIOT ELIMINADO.
#QUIERES CREAR? . . . . .
```

```
#QUIERES REMOVER? . . . . .SI
#DAME NOMBRE (FORMATO A6) . . . . .PRUEBA
ILEGAL ELIMINAR ARCHIVOS DE TRABAJO
#QUIERES REMOVER? . . . . .NO
```

EL ARCHIVO DE TRABAJO.

La unidad de trabajo es la foto o archivo de trabajo: es el área bajo estudio en este momento. Por lo general se trabaja con una foto a la vez; a veces (en la creación de nuevas fotos, por ejemplo) hay dos archivos "presentes". Una foto nos indica el estado multiespectral o color de una zona geográfica determinada, en cierta fecha (aquella cuando su adán se creó o fotografió; aquél día en que se sobrevoló la región que hoy se estudia).



El Sistema PR pregunta en un lugar adecuado por el archivo de trabajo:

```
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6) . . . .MANOTA
#MANOTA(0) PRESENTE.
#IMPRIMO LAS VERDADES DE TIERRA? . . . . .
```

De ahora en adelante, hasta que cambiemos de archivo, todos nuestros cálculos y trabajos se harán sobre este archivo de trabajo. Para cambiar de archivo de trabajo, hay que seguir hasta el final de la conversación y contestar "SI" a la pregunta ¿QUIERES SEGUIR?

```
#COMPARA? . . . . .
#LE DOY LOCK? . . . . .
#QUIERES SEGUIR? . . . . .SI
#ARCHIVO MANOTA(1) REMOVIDO.
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6) . . . .BROTOS
#BROTOS(1) PRESENTE.
#IMPRIMO LAS VERDADES DE TIERRA? . . . . .
```

```
#COMPARA? . . . . .
#LE DOY LOCK? . . . . .
#QUIERES SEGUIR? . . . . .SI
#ARCHIVO GAVIOT(0) REMOVIDO.
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6) . . . .TRESOL
DESCRIPTOR INEXISTENTE
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6) . . . .MANOTA
#MANOTA(0) PRESENTE.
#IMPRIMO LAS VERDADES DE TIERRA? . . . . .
```

EJEMPLOS DE CAMBIO DE ARCHIVO DE TRABAJO

He aquí otro ejemplo.

```
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6) . . . .GAVIOG
DESCRIPTOR INEXISTENTE
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6) . . . .GAVOIT
DESCRIPTOR INEXISTENTE
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6) . . . .GAVIOT
#GAVIOT(0) PRESENTE.
#IMPRIMO LAS VERDADES DE TIERRA? . . . . .
```

He aquí otro ejemplo.

```
#QUIERES SEGUIR? . . . . .SI
#ARCHIVO GAVIOT(0) REMOVIDO.
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6) . . . .GAVIOT
#GAVIOT(0) PRESENTE.
#IMPRIMO LAS VERDADES DE TIERRA? . . . . .
```

BANCO DE DATOS DE INFORMACION DE APOYO TERRESTRE.

Existió dentro del Sistema PR un banco de datos que contiene información que fue recabada en el campo, sobre el terreno. Para agregar más o modificar la ya existente, los procedimientos son sencillos, como todo en el Sistema PR:

PARA AGREGAR INFORMACION DE APOYO TERRESTRE.

Supongamos que ha regresado una cuadrilla de muestreadores del área de Tepeji del Río, con datos frescos sobre las gramíneas que en este momento ahí crecen; ellos han marcado en una fotografía o en un mapa algunos campos que han censado, y han obtenido de ellos datos como: cultivo, variedad, vigor, uso de fertilizantes, etc. Para introducir tal información a nuestro sistema, se procede a hacer con la computadora una multi-impresión del área general visitada (en el futu-

ro, para aumentar en muchos la rapidez de trabajo, esta "impresión" será en una pantalla, a colores); impresión que debe contener los campos visitados. Se procede a localizar estos campos (visualmente, a ojo) en la multi-impresión, comparándola con la fotografía de nuestros muestreadores. Una vez hallado el campo de interés en la multi-impresión, sus coordenadas (números a la izquierda y arriba de la multi-impresión) servirán para introducir esta verdad a la máquina. Esto se hace así:

```
#AGREGAR O MODIFICAR VERDADES DE TIERRA? .SI
#DAR NOMBRE ORIGEN VERDADES DE TIERRA. POR EJ "PEREZ3"
"CENAL"
#DAR NUMERO Y NOMBRE ADAN DE VERDADES DE TIERRA QUE SE
QUIEREN AGREGAR A VERDAD. (USE FORMATO LIBRE)
Y "ELOR01"
DAR LAS COORDENADAS DE LAS VERDADES DE TIERRA,
LETRA Y NOMBRE DEL CULTIVO QUE LAS IDENTIFICAN
DE LA SIGUIENTE FORMA:
IXMIN, IYMIN, XMAX, YMAX, "L", "CULTIVO", NUEVA(0)?
#DAR VERDAD DE TIERRA
2988, 600, 2988, 607, "A", "ALFAFA", 0
#REGISTRO. K= 88
#IMPRIMO LOS APRENDIZAJES? . . . . .
```

La letra asociada al cultivo servirá para clasificarlo. En el ejemplo a "ALFAFA" se lo asoció "A".

Esta información en nuestro banco de datos nos dice: "CETENAL afirma que en el rectángulo X X Y Y del adán "ELOR01" hay alfalfa. Si después otro encuestador en la misma fecha o época (o sea en el mismo ADAN) halla en esa región (o parte de ella) un cultivo distinto, la máquina señala esta inconsistencia, pero puede admitir la nueva información (y destruir o no la vieja), a juicio del usuario socio:

```

#AGREGAR O MODIFICAR VERDADES DE TIERRA? .SI
#DAR NOMBRE ORIGEN VERDADES DE TIERRA. POR EJ "PEREZ3"
"ADOLFO"
#DAR NUMERO Y NOMBRE ADAN DE VERDADES DE TIERRA QUE SE
QUIEREN AGREGAR A VERDAD. (USE FORMATO LIBRE)
2, "ELORO1"
DAR LAS COORDENADAS DE LAS VERDADES DE TIERRA,
LETRA Y NOMBRE DEL CULTIVO QUE LAS IDENTIFICAN
DE LA SIGUIENTE FORMA:
IXMIN,IYMIN,XMAX,YMAX,"L","CULTIVO",NUEVA(0)?
#DAR VERDAD DE TIERRA
2901,600,2909,607,"A","ALFAFA",0
#REGISTRO. K= 88
#DAR VERDAD DE TIERRA
618, 1494, 629, 1504, "A", "AAGUAA", 4
ESTA VERDAD=A AAGUAA SE ENCIMA CON LA 4 617 1494 630 1504
=A AAGUAA METER 0=IGNORAR,1=TRATR D INCLUIR
1
ESTA VERDAD=A AAGUAA SE ENCIMA CON LA 33 628 1503 631 1505
=2 DOS METER 0=IGNORAR,1=TRATR D INCLUIR
1
ESTA VERDAD=A AAGUAA SE ENCIMA CON LA 35 614 1498 619 1501
=4 CUATRO METER 0=IGNORAR,1=TRATR D INCLUIR
1
ESTA VERDAD=A AAGUAA SE ENCIMA CON LA 55 602 1496 636 1497
=W WWWWWW METER 0=IGNORAR,1=TRATR D INCLUIR
1
ESTA VERDAD=A AAGUAA SE ENCIMA CON LA 57 621 1502 624 1503
=W WWWWWW METER 0=IGNORAR,1=TRATR D INCLUIR
1
ESTA VERDAD=A AAGUAA SE ENCIMA CON LA 59 602 1496 636 1497
=W WWWWWW METER 0=IGNORAR,1=TRATR D INCLUIR
1
ESTA VERDAD=A AAGUAA SE ENCIMA CON LA 61 621 1502 624 1503
=W WWWWWW METER 0=IGNORAR,1=TRATR D INCLUIR
1
ESTA VERDAD=A AAGUAA SE ENCIMA CON LA 62 600 1490 640 1520
=Q OOOQQQ METER 0=IGNORAR,1=TRATR D INCLUIR
1
#REGISTRO. K= 4
#IMPRIMO LOS APRENDIZAJES? . . . . .

```

FORMA DE INTRODUCIR INFORMACION OBTENIDA EN EL CAMPO.

En esta interacción, se meten dos informaciones obtenidas en el campo sobre el adán "ELORO1." "ADOLFO" fue el recolector o encuestador de tal información. La primera información asevera que en el rectángulo 2901, 600, 2909, 607 existe "ALFAFA." (se escribió "ALFAFA" por usarse solamente seis caracteres). Esta información se registró como la número 88. La segunda información afirma que en el rectángulo 618, 1494, 629, 1504 existe "AAGUAA." El sistema protesta porque ya ha habido datos contradictorios sobre esa zona de ELORO1, y nos da a conocer las verdades 4, 33, 35, 55, 57, 59, 61 y 62 que contienen información parcialmente contradictoria o redundante con ésta. El usuario en este ejemplo trata siempre de incluirla (contestando con 1), y finalmente lo logra, como eran sus deseos. Esta nueva información quedó registrada con el número 4, porque el usuario así lo pidió, obliterando la vieja información 4,

PARA MODIFICAR INFORMACION DE APOYO TERRESTRE.

Si queremos cambiar alguna información terrestre, la número 88 digamos, lo que tenemos que hacer es, en vez de decir que es nuevo (=0), decir que lo nuevo que queremos crear deberá reemplazar la verdad 88, con lo cual la vieja información quedará obliterada, ocupando la nueva 88 su lugar:

```
#AGREGAR O MODIFICAR VERDADES DE TIERRA? .SI
#DAR NOMBRE ORIGEN VERDADES DE TIERRA. POR EJ "PEREZ3"
"ADOLEC"
#DAR NOMBRE Y NOMBRE ADAN DE VERDADES DE TIERRA QUE SE
QUIEREN AGREGAR A VERTE. (USE FORMATO LIBRE)
1, "ELOROI"
DAR LAS COORDENADAS DE LAS VERDADES DE TIERRA,
LETRA Y NOMBRE DEL CULTIVO QUE LAS IDENTIFICAN
DE LA SIGUIENTE FORMA:
IXMIN, IYMIN, IZMIN, "L", "CULTIVO", NUEVA(0)?
#DAR VERDAD DE TIERRA
#17:21 FROM SPO: FUNCIONANDO TODO CORRECTAMENTE????
29JZ, 6EJ, 2911, 667, "A", "ALFAFA", 88
ESTA VERDAD=A ALFAFA SE ENCIENDE CON LA 88 2901 600 2909 607
=A ALFAFA METER 0=IGNORAR,1=TRATR D INCLUIR
1
#REGISTRO. K= 86
```

PARA BORRAR INFORMACION DE APOYO TERRESTRE.

No existe forma de borrar la verdad 88 y dejar vacío su lugar. Lo único que se puede hacer es crear una nueva verdad 88 en vez de la antigua 88.

PARA IMPRIMIR INFORMACION DE APOYO TERRESTRE.

Es posible averiguar qué información tiene la verdad 4, o todas, y obtener esta información por teletipo o por la impresora (úsase ésta si se van a imprimir muchas).

IMPRIMO LAS VERDADES DE TIERRA? 178124  
 CUAL O TODAS (=0) (DISPOSITIVO) 178124  
 VERDADES VERDADES DE TIERRA? 178124  
 CUAL OTRA (-1=NINGUNA)? 178124  
 VERDADES 87 87 FUENTE=POSITA FOCUS=102075 (SUPIO=PTTY COORD= 617 630 1494 1584 ADAN=ELORDI LETRA=A CULTIVO=AQUAA  
 CUAL OTRA (-1=NINGUNA)? 87 87 FUENTE=POSITA FOCUS=102075 (SUPIO=PTTY COORD= 64 84 100 113 ADAN=FLT/C1 LETRA=B CULTIVO=BAREST  
 QUIERES NUBE (=0) O SIGMA (=1) O WGA (=2)?

LISTADOS DE INFORMACION DE APOYO TERRESTRE.  
 Agur pueden apreciarse las informaciones 4  
 y la 87. Hay en este momento 87 informaciones  
 distintas.  
 La fecha (102075) y la hora (17h 13m)  
 nos dice cuando se hizo esta impresion.

IMPRESION DE NUBES E HISTOGRAMAS DE CIERTOS CULTIVOS.

Supongamos que quiero saber qué tan homogéneo es el campo definido en la información 17, con el fin de, por ejemplo, no usar esa información para clasificar, en el caso de que sea muy heterogéneo. Para esto puedo pedir la impresión de su nube o de su histograma. Un histograma es la proyección de la nube (de 4 dimensiones) en una sola dimensión, y nos dice la frecuencia relativa en cada intensidad: nos dice cuántos pixels cayeron en  $\lambda_1=0$ , cuántos tienen intensidad  $\lambda_1=1$ , cuantas tienen  $\lambda_1=2, \dots$ , cuántos tienen  $\lambda_1=127$ . Y lo mismo para las otras bandas  $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ .

Una nube es un "histograma" en 4 dimensiones: nos dice cuántos pixels tienen intensidades  $\lambda_1=0, \lambda_2=0, \lambda_3=0, \lambda_4=0$  (o sea  $(0, 0, 0, 0)$ ); cuántos tienen intensidades  $(0,0,0,1)$ ; cuántos tienen  $(0, 0, 0, 127)$ ; ..., cuántos tienen  $(127, 127, 127,127)$ .

Las nubes que el sistema PR imprime sólo son en dos dimensiones, y nos dicen, por ejemplo, la frecuencia relativa de pixels en las bandas 1 y 3; es decir, cuántos pixels hay con  $\lambda_1=0$  y  $\lambda_3=0$ , (o sea  $(0,0)$ ); cuántos hay con  $(0,1)$ , con  $(0,2)$ , con  $(0,3), \dots$ , con  $(0,127)$ , con  $(1,1)$ ,  $(1,2), \dots$ , con  $(127,127)$ .

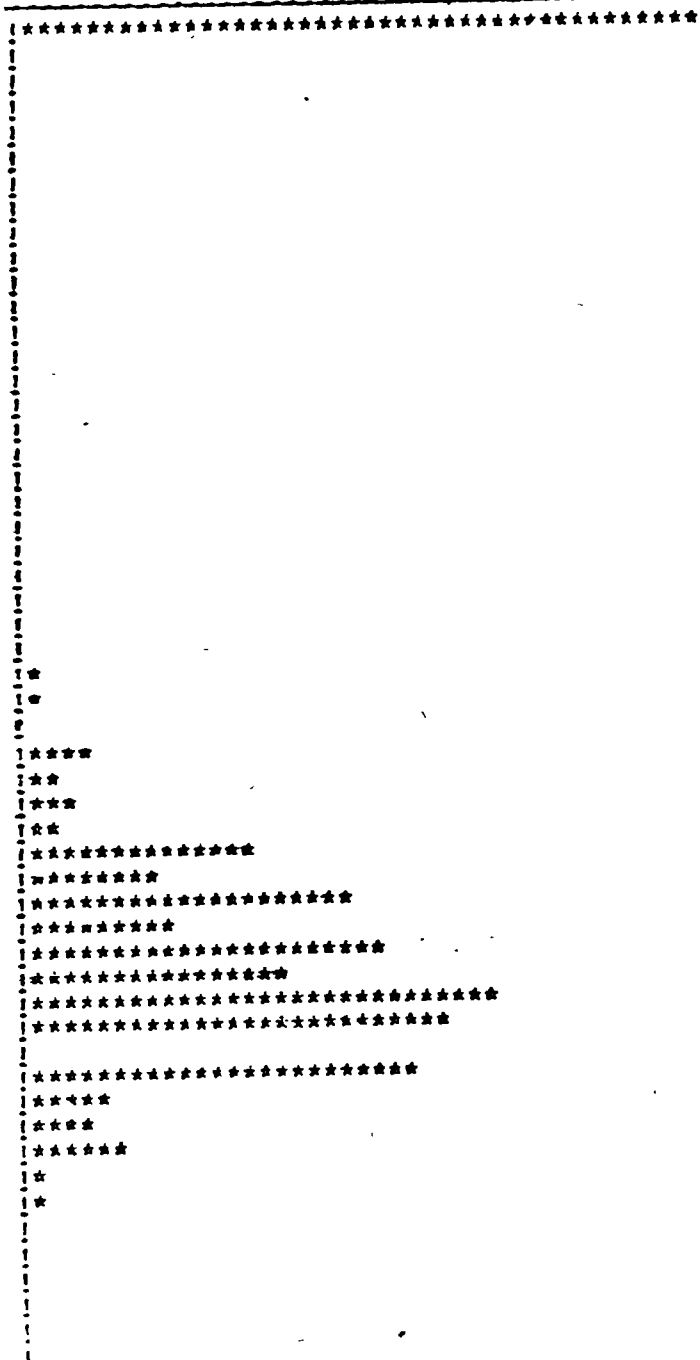
Ejemplos:

```
#?
#BIENVENIDO AL SISTEMA PR.
#(QUIEN ERÉS???, EN FORMATO A6 P.F. . . . .AAA
#¿PÍDEME DESCRIPTORES?
#DAK NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO. (A6) . . . .CHAPUL
?SIA
#CHAPUL(1) PRESENTE.
#¿PÍDEME LAS VERDADES DE TIERRA? . . . . .SI
#19:18 ET=33.4 PT=0.5 IO=0.6
#CUAL O TODAS (=0), DISPOSITIVO(N=IMPRESORA)
```

```
13,1
SACA15.VERDADES DE TIE 90, HOY ES 102175 19H18M
VERDAD= 13 13 FUENTE=CHAPUL, FECHA=1013/5 USUARIO= COORD= 2380 25. 1900
CUAL OTRA (-1=NINGUNA)? 2005 ADAN=ELOROI LETTA=T CULTIVO=CULTIVO
-1
#QUIERES NUBE (=0) O HSTGRMA (=1) O NADA (=2) 1
(VE VERDAD DE TIERRA Y SALIDA(1=TELEFONO))EJ:4,1
13,1
```

15:22 LI=2:13.1 MI=12.8 IO=2.8

NO. PIX	INT.
2107	0
0	1
6	2
1	3
6	4
6	5
0	6
0	7
6	8
6	9
0	10
6	11
6	12
6	13
6	14
6	15
6	16
6	17
6	18
1	19
4	20
4	21
12	22
14	23
31	24
27	25
55	26
65	27
27	28
209	29
147	30
190	31
115	32
721	33
482	34
1030	35
485	36
1121	37
840	38
1473	39
1346	40
0	41
1246	42
282	43
225	44
346	45
83	46
81	47
29	48
35	49
19	50
2	51
2	52

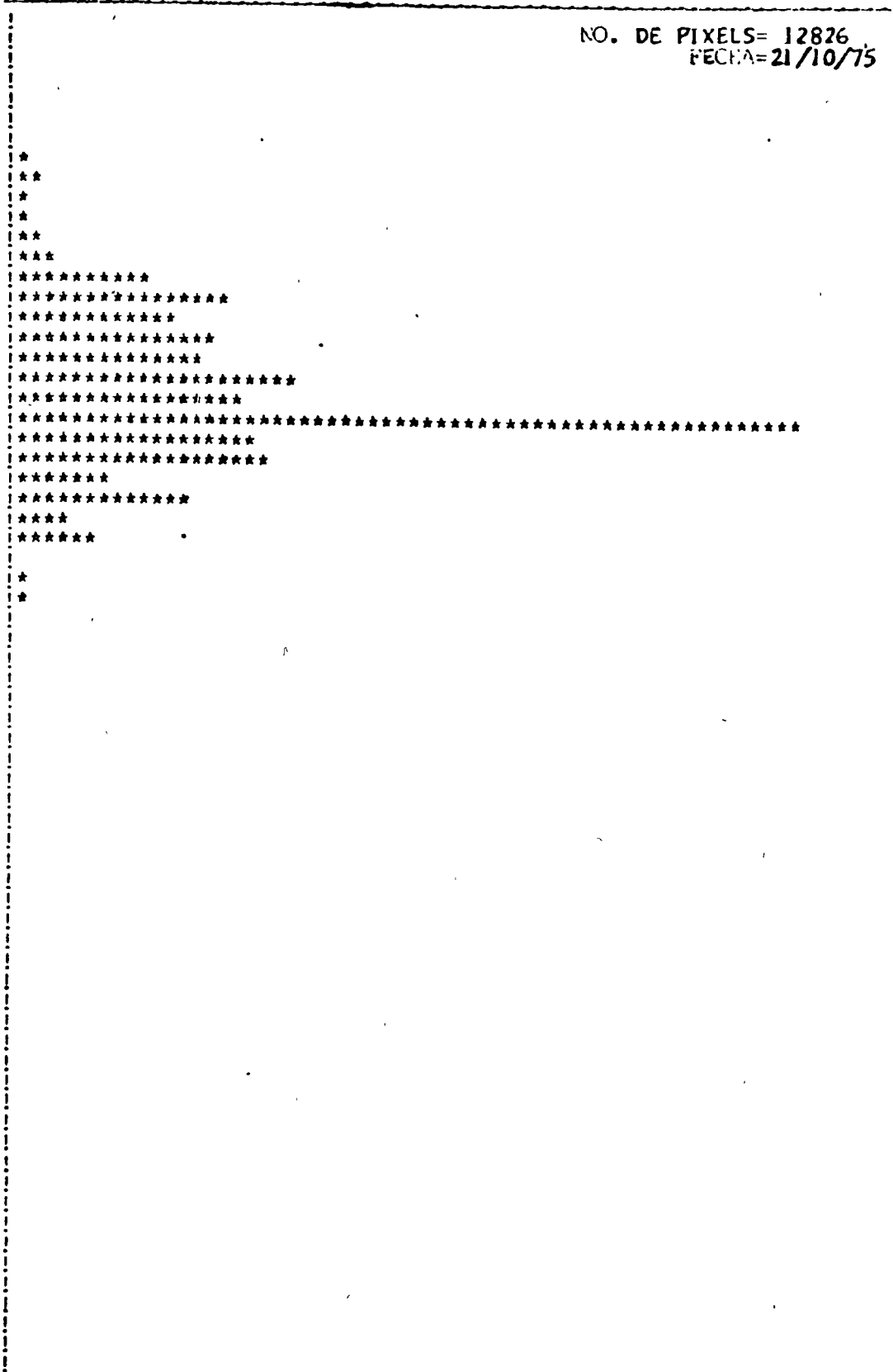




HISTOGRAMAS DEL CULTIVO TODITO LETRA T  
HISTOGRAMA DE LA BANDA 2

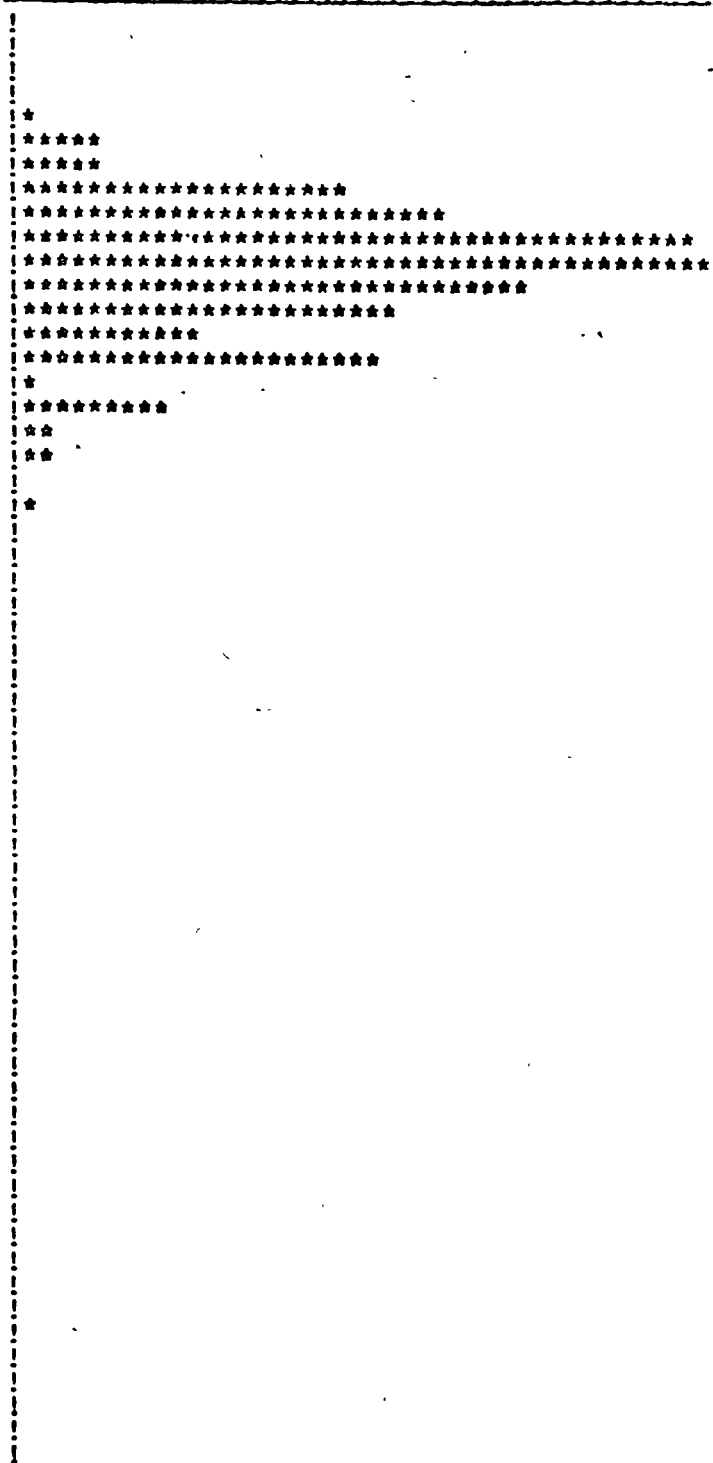
NO.	PIX	INT.
	1	13
	7	14
	8	15
	18	16
	18	17
	16	18
	25	19
	61	20
	107	21
	99	22
	98	23
	125	24
	196	25
	500	26
	811	27
	648	28
	781	29
	708	30
	1063	31
	872	32
	2915	33
	901	34
	977	35
	369	36
	667	37
	238	38
	314	39
	39	40
	58	41
	75	42
	29	43
	35	44
	5	45
	11	46
	5	47
	1	48
	5	49
	6	50
	0	51
	2	52
	2	53
	2	54
	2	55
	0	56
	1	57
	0	58
	0	59
	0	60
	0	61
	2	62
	0	63
	0	64
	1	65
	0	66
	0	67
	0	68
	0	69
	0	70
	1	71
	0	72
	0	73
	0	74
	0	75
	0	76
	0	77
	0	78
	1	79
	1	80

NO. DE PIXELS= 12826  
FECHA= 21/10/75



HISTOGRAMAS DEL CULTIVO TODITO LETRA T  
HISTOGRAMA DE LA BANDA 3

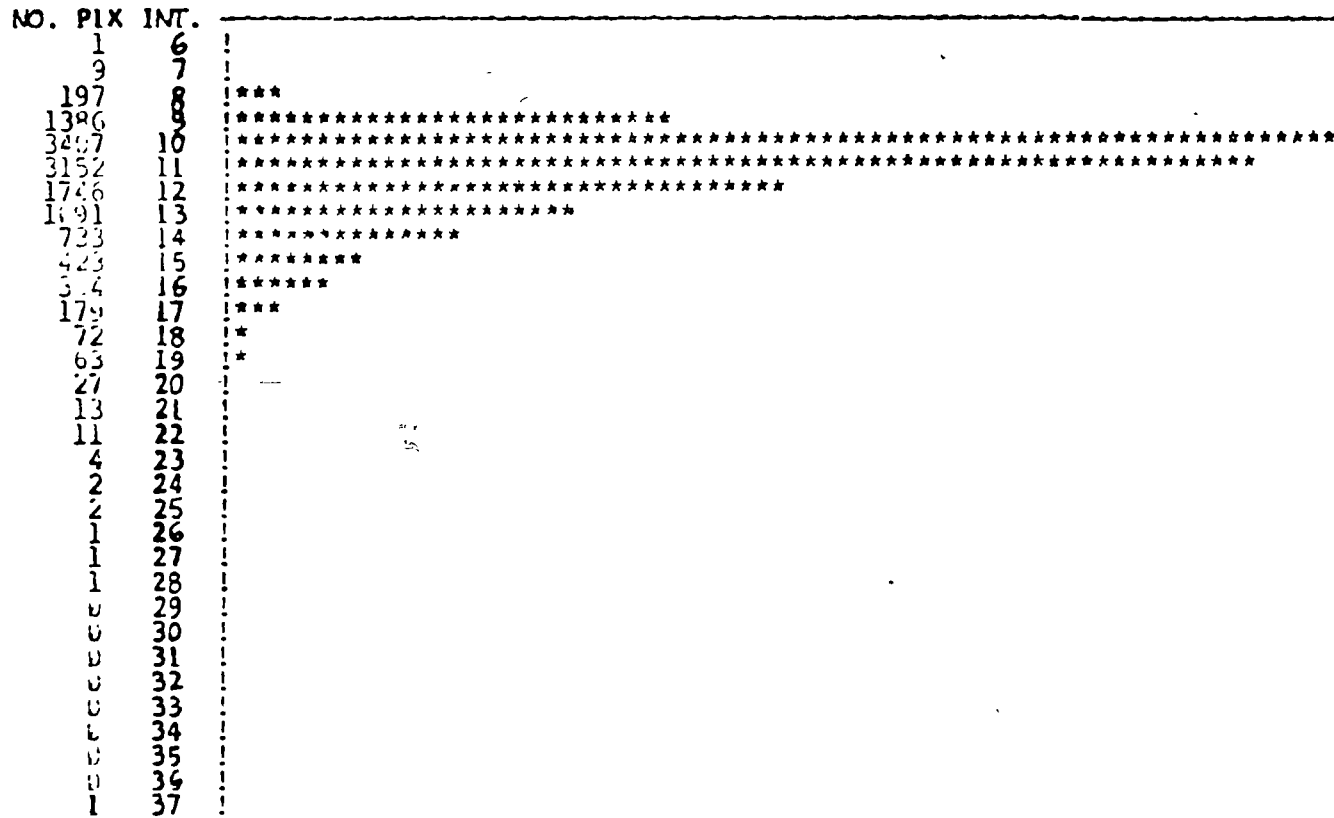
NO. PIX INT.  
1 18  
3 19  
26 20  
36 21  
75 22  
270 23  
270 24  
1044 25  
1321 26  
2097 27  
2112 28  
1594 29  
1196 30  
579 31  
1135 32  
94 33  
453 34  
112 35  
146 36  
48 37  
73 38  
18 39  
49 40  
10 41  
22 42  
7 43  
6 44  
9 45  
6 46  
0 47  
2 48  
1 49  
3 50  
1 51  
0 52  
1 53  
1 54  
2 55  
2 56  
0 57  
0 58  
0 59  
0 60  
1 61  
0 62  
0 63  
0 64  
0 65  
0 66  
0 67  
0 68  
0 69  
0 70  
0 71  
0 72  
0 73  
0 74  
0 75  
1 76  
1 77



NO. DE PIXELS= 12826  
FECHA=21/10/75

HISTOGRAMAS DEL CULTIVO TODITO LETRA T  
 HISTOGRAMA DE LA BANDA 4

NO. DE PIXELS= 12826  
 FECHA=21/10/75



QUIERES PARA LA MISMA VERDAD DE TIERRA, NUBE  
 SI.  
 DAR BANDAS PARA GRAF NUBE;EJ.:4,2





CUENTAS PARA LA MISMA VERDAD DE TIERRA, NUPC

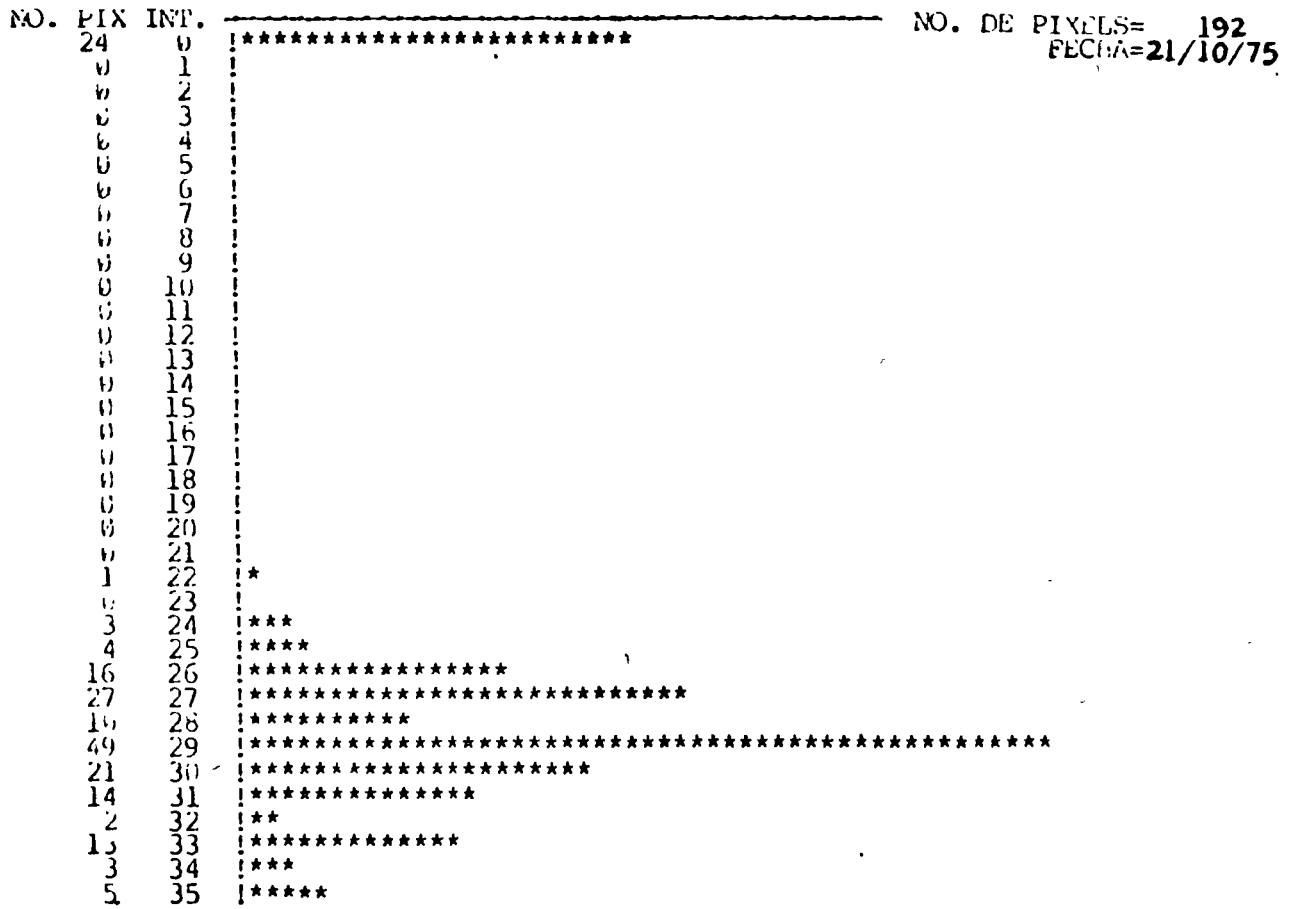
CUENTAS POR HISTOR DE OTRA VERD D TIERRA

SI  
DUPL(0) O HISTOGRAMA(1)

1  
QUE VERDAD DE TIERRA Y SALIDA(1=TELETIPO);PJ:4,1  
10,1

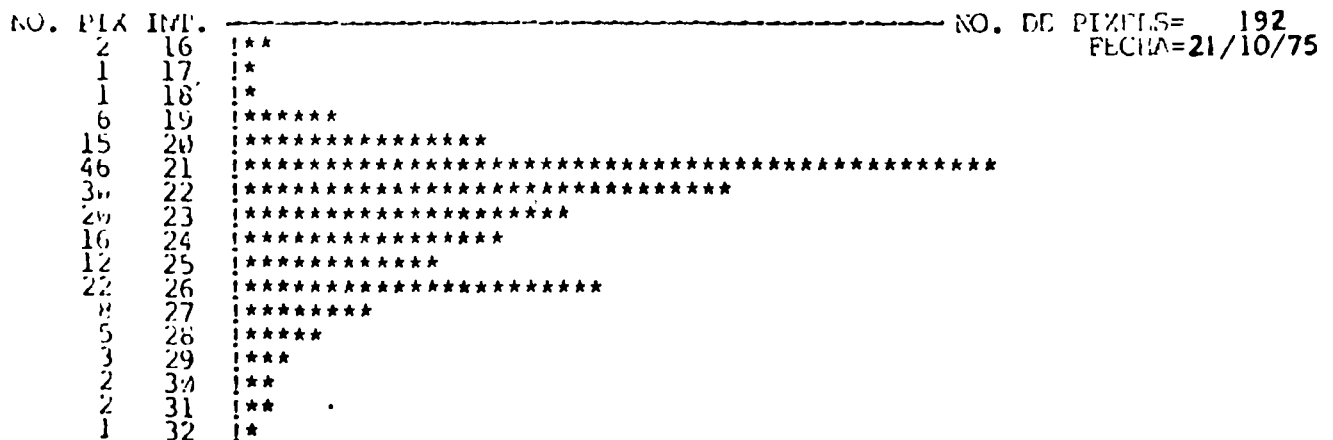
HISTOGRAMAS DEL CULTIVO VERDEC LETRA V

HISTOGRAMA DE LA BANDA 1



HISTOGRAMAS DEL CULTIVO VERDEC LETRA V

HISTOGRAMA DE LA BANDA 2





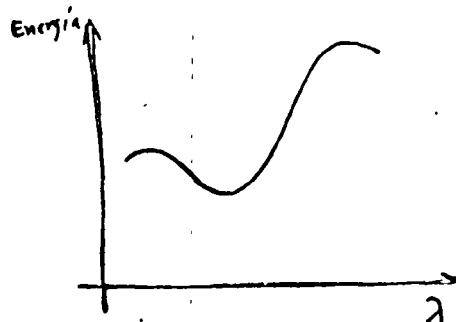
En la próxima etapa del Proyecto PR, la pantalla a colores nos permitirá imprimir nubes en 3 dimensiones.

Estos histogramas y nubes son útiles, pues nos permiten saber la forma de la nube: elipsoidal, esférica, como cacahuete, etc.

Técnicamente, una nube en 2-dimensiones es un diagrama de dispersión de una banda con respecto de la otra, y un histograma puede ser unimodal (un pico) o multimodal (tener varios picos).

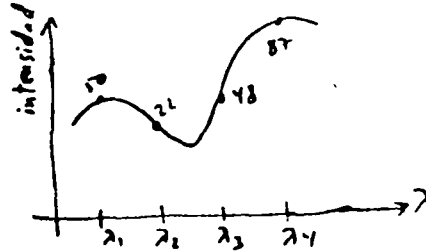
BANCO DE INFORMACION DE FIRMAS ESPECTRALES.

En el Sistema PR, los objetos son clasificados según su firma espectral. Esta es una curva que nos dice la distribución de la energía reflejada en distintas longitudes de onda.





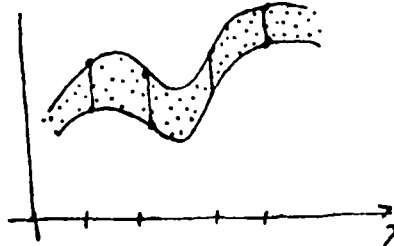
En nuestro caso, una firma está dada por 4 números: las intensidades de energía reflejadas en las bandas 1,2,3 y 4:



de manera que el cultivo anterior tiene como firma

$$\begin{bmatrix} 50 \\ 22 \\ 48 \\ 67 \end{bmatrix}$$

En la realidad, hay diferencias entre dos plantaciones de trigo, de manera que las firmas representadas en las curvas anteriores se convierten en bandas



y el vector

(firma)

$$\begin{bmatrix} 50 \\ 22 \\ 48 \\ 67 \end{bmatrix}$$

se convierte en

$$\begin{bmatrix} \text{de } 46 \text{ a } 61 \\ \text{de } 19 \text{ a } 25 \\ \text{de } 46 \text{ a } 60 \\ \text{de } 60 \text{ a } 72 \end{bmatrix}$$

el cual se puede representar por un promedio y una varianza. El Sistema "PR" puede aprender a calcular el valor de estas firmas para cada cultivo o tema de interés:

trigo, zona urbana, carretera, etc. Un aprendizaje es un conjunto de firmas espectrales.

Hay varias formas de que la computadora aprenda:

- Aprendizaje Artificial.
- Olvido (borrar aprendizaje o firma).
- Aprendizaje supervisado.
- Aprendizaje no supervisado.
- Aprendizaje heurístico.

APRENDIZAJE ARTIFICIAL.

Por ejemplo, si nuestros amigos de la Secretaria de Recursos Hidráulicos nos dicen que la firma espectral de un cierto cultivo o tema "wwwwww" es

$$\begin{bmatrix} 16 \\ 21 \\ 18 \\ 15 \end{bmatrix} \text{ y su varianza } \begin{bmatrix} 130 \\ .5 \\ 6 \\ 18 \end{bmatrix}, \text{ yo puedo}$$

hacer que el Sistema PR domine esta información, como sigue

```

#APRENDE?
#APRENDO ARTIFICIALMENTE? . . . . .SI
DAR NUM D APNDZJ,"USUARI",METODO,"FFOTOO".NUM D NUB     ES,
 48,"GUZMAN",1,"GAVIOT",2
 1DAR "L","CULTIV",PROMS, VARS, NUM D PIXELS,
"W" "WWWWWW" 16, 21, 28, 15, 130, .5, 18, 6, 18
 2DAR "L","CULTIV",PROMS, VARS, NUM D PIXELS,
"Z" "ZZZZZZ" 23, 33, 36, 15, 221, 248, 44, 18, 120
METER CUANTAS Y CUALES VERTIE
 3, 64.65.66
SACA16.NUM DE APRENDIZAJES 47, HOY ES 102175 21H35M

```

O sea, se ha afirmado o introducido "a fuerza " una firma espectral; de hecho, dos en el ejemplo anterior: una que corresponde al cultivo "WWWWW" y otra al "ZZZZZZ."

BORRAR APRENDIZAJE

Supongamos que de los cincuenta aprendizajes que tengo deseo borrar dos, el 42 y el 19. A continuación vemos ésto. Nos quedarán 48 aprendizajes. El que era aprendizaje 50 pasó a ocupar el lugar del 42, y el que era 49 pasó a ocupar el lugar del viejo 19. Entonces, los viejos aprendizajes 42 y 19 han sido sustituidos por dos nuevos, pero "siguen existiendo" los nombres 42 y 19.

Los aprendizajes se borran cuando carecen de interés o cuando se han hallado otros aprendizajes mejores y más exactos.

```
#IMPRIMO LOS APRENDIZAJES? . . . . .SI
#CUAL O TODOS(=0), DISPOSITIVO(1=TELETIPO) 19,1
SACA16.NUM DE APRNDIZAJES 50, HOY ES 102175 20H 6M
CABEZA DE APRENDIZAJE 19 ES IDENT= 19 FECHA=090475 CREADOR=GERMAN METODO= 1
LAS 1 VERDADES SON: 55
          PROMEDIOS          VARIANZAS
1 W WWWWW 18.26 43.33 39.41 13.13 - 387.53 367.36 51.90 15.31
CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
23,
CABEZA DE APRENDIZAJE 23 ES IDENT= 23 FECHA=090575 CREADOR=KOSITA METODO= 1
LAS 1 VERDADES SON: 63
          PROMEDIOS          VARIANZAS
1 N NEGRAS 30.66 40.12 31.51 10.30 - 280.00 196.57 13.06 43.36
CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
49
CABEZA DE APRENDIZAJE 49 ES IDENT= 49 FECHA=101075 CREADOR=EDUARD METODO= 1
LAS 3 VERDADES SON: 80 81 82
          PROMEDIOS          VARIANZAS
1 A AGUAA 43.55 57.60 31.53 5.15 - 318.46 62.12 7.84 1.54
CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
32
CABEZA DE APRENDIZAJE 32 ES IDENT= 32 FECHA=090975 CREADOR=GERMAN METODO= 1
LAS 3 VERDADES SON: 64 64 65
          PROMEDIOS          VARIANZAS
1 W WWWWW 16.22 21.67 28.56 15.00 - 133.51 0.44 18.25 6.00
2 Z ZZZZZZ 23.27 33.22 36.04 15.28 - 241.41 228.29 44.26 18.72
CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
6
CABEZA DE APRENDIZAJE 6 ES IDENT= 6 FECHA=082275 CREADOR= METODO= 1
LAS 2 VERDADES SON: 19 22
          PROMEDIOS          VARIANZAS
1 C CDEPOR 29.88 31.63 42.13 21.54 - 181.07 8.73 10.48 5.12
2 U URBANA 31.73 32.29 28.73 11.80 - 170.64 5.39 2.97 0.90
CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
7
CABEZA DE APRENDIZAJE 7 ES IDENT= 7 FECHA=082275 CREADOR=FIRMAS METODO= 2
LAS 4 VERDADES SON: 32 19 22 49
          PROMEDIOS          VARIANZAS
1 A AGUA32 37.60 62.30 45.96 9.56 - 300.00 1.00 1.00 0.50
2 S SUBURB 41.17 43.58 44.80 21.00 - 4.40 8.00 6.00 2.00
3 U URBANA 0.00 32.20 28.84 11.93 - 1.00 5.64 3.45 1.60
4 P PARQUE 29.88 31.50 42.13 21.54 - 181.00 8.70 10.50 5.12
CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
-1
#APRENDE? . . . . .
#QUIERES BORRAR APRENDIZAJE? . . . . .SI
CUANTOS. CUALES DE MAYOR A MENOR? P.EJ. 2,16,15
2, 42, 19
HAY AHORA 48 APRENDIZAJES
#CLASIFICA? . . . . .
```

APRENDIZAJE SUPERVISADO.

Supongamos que tengo información terrestre de cierta ciudad sobre: zona urbana, y pistas (calles) (una zona urbana es un "cultivo", al igual que un bosque o un pastizal. Quiero ahora, a partir de esa información, obtener las firmas espectrales de esos cultivos. La información (que ya metí previamente al banco de datos sobre información terrestre) es:

```

#INFORMACION VERDADERA DE TIPO Y COORDENADAS
#CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)? 22,1
#FECHA=102275
#USUARIO=GUZMAN
#METODO=1
#VERDAD=2 2 PISTAS-VICTOR FECHA=J72575 USUARIO=GUZMAN COORD= 2600 2606 1925 1931 ADAS=ELIOTI LETRA=U CULTIVO=PISTAS
#CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
#VERDAD=25 25 URBANA-VICTOR FECHA=J72575 USUARIO=GUZMAN COORD= 2636 2637 1928 1929 ADAS=ELIOTI LETRA=P CULTIVO=PISTAS
#CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
#VERDAD=26 26 URBANA-VICTOR FECHA=J72575 USUARIO=GUZMAN COORD= 2628 2630 1932 1933 ADAS=ELIOTI LETRA=P CULTIVO=PISTAS
#CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
#VERDAD=2 2 PISTAS-JERNE FECHA=J73175 USUARIO=GUZMAN COORD= 2600 2614 1960 1971 ADAS=ELIOTI LETRA=U CULTIVO=URBANA
#CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
-1
    
```

El protocolo para hallar las formas espectrales de "zona urbana" y "PISTAS", a partir de las verdades anteriores y por medio del aprendizaje supervisado, es:

```

#APRENDE? .SI
#APRENDO ARTIFICIALMENTE? .NO
#CUANTAS VERDADES Y CUALES EJ:2, 5,6, . 2, 22, 25,
#DAR NUM D APRENDIZAJE(0=NUEVO) .0
ENTRO A APRENDER
SACA16.NUM DE APRENDIZAJES 49, HOY ES 102275 12H51M FOTO=DISFED NUM DE NUBES= 2
CABEZA DE APRENDIZAJE 49 ES IDENT= 49 FECHA=102275 CREADOR=GUZMAN METODO= 1
LAS 2 VERDADES SON: 22 25
PROMEDIOS
1 U URBANA 31.73 32.29 28.73 11.80 - 170.64 5.39 2.97 0.90 49
2 P PISTAS 17.00 29.50 28.25 12.25 - 289.50 4.25 3.69 2.69 4
CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
-1
#HAGO CLUSTER?
NO
#TERMINA APRENDIZAJE
    
```

APRENDIZAJE SUPERVISADO.

Supongamos que tengo información terrestre de cierta ciudad sobre: zona urbana, y pistas (calles) (una zona urbana es un "cultivo", al igual que un bosque o un pastizal. Quiero ahora, a partir de esa información, obtener las firmas espectrales de esos cultivos. La información (que ya metí previamente al banco de datos sobre información terrestre) es:

```

#ENTRADA AL BANCO DE DATOS DE INFORMACIÓN TERRESTRE
#USUARIO=GUZMAN METODO=1
#FECHA=102275
#CUAL OTRO (-1=NINGUNO)?
#VECTORES= 25 25 FUENTE=VICTOR FECHA=072575 USUARIO=GUZMAN COORD= 2600 2606 1925 1931 AREA=ELCRO1 LETRA=U CULTIVO=URBANA
CUAL OTRO (-1=NINGUNO)?
#VECTORES= 25 25 FUENTE=VICTOR FECHA=072575 USUARIO=GUZMAN COORD= 2636 2637 1928 1929 AREA=ELCRO1 LETRA=P CULTIVO=PISTAL
CUAL OTRO (-1=NINGUNO)?
#VECTORES= 26 26 FUENTE=VICTOR FECHA=072575 USUARIO=GUZMAN COORD= 2628 2630 1932 1933 AREA=ELCRO1 LETRA=P CULTIVO=PISTAL
CUAL OTRO (-1=NINGUNO)?
#VECTORES= 2 2 FUENTE=JEROME FECHA=073175 USUARIO=PENATO COORD= 2600 2614 1960 1971 AREA=ELCRO1 LETRA=U CULTIVO=URBANA
CUAL OTRO (-1=NINGUNO)?
-1
    
```

El protocolo para hallar las formas espectrales de "zona urbana" y "PISTAS", a partir de las verdades anteriores y por medio del aprendizaje supervisado, es:

```

#APRENDE? . . . . .SI
#APRENDO ARTIFICIALMENTE? . . . . .NO
#CUANTAS VERDADES Y CUALES.EJ:2, 5,6, . . . . .2, 22, 25,
#DAR NUM D APRENDIZAJE(0=NUEVO) . . . . .0
ENTRO A APRENDER
SACA16.NUM DE APRENDIZAJES 49, HOY ES 102275 12H51M FOTO=DISFED NUM DE NUBES= 2
CABEZA DE APRENDIZAJE 49 ES IDENT= 49 FECHA=102275 CREADOR=GUZMAN METODO= 1
LAS 2 VERDADES SON: 22 25
          PROMEDIOS
          1 U URBANA 31.73 32.29 28.73 11.80 - 170.64 5.39 2.97 0.90 49
          2 P PISTAL 17.00 29.50 28.25 12.25 - 289.50 4.25 3.69 2.69 4
CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
-1
#HAGO CLUSTER?
NO
TERMINA APRENDIZAJE
    
```

El aprendizaje que acabamos de crear nos da las formas espectrales de "ZONA URBANA"  $\begin{bmatrix} 31 \\ 32 \\ 28 \\ 11 \end{bmatrix}$  y "PISTAS"  $\begin{bmatrix} 17 \\ 29 \\ 28 \\ 12 \end{bmatrix}$

Ahora podemos usar estas firmas para clasificar regiones extensas de nuestro territorio (Véase "Clasificación" más adelante).

#### APRENDIZAJE NO SUPERVISADO.

Es posible que el programa detecte que una nube no tiene forma elipsoidal o esférica, o bien que un cultivo sea muy distinto en color de otro del mismo nombre. En estos casos el programa sugiere eliminar alguna banda o reagrupar las firmas en otra forma, mediante un aprendizaje no supervisado, mismo que sólo se efectuará si el usuario lo desea.

También dos firmas espectrales muy cercanas entre sí son soldadas en una sola. Un ejemplo de la interacción se muestra en la página siguiente. Las referencias a Guzmán y Ludlow (11), Guerra (12) y Guzmán (13) describen con detalle las posibilidades.

#### APRENDIZAJE HEURISTICO.

Por medio de la función FUNPR (13) es posible en forma arbitraria. Se dio un ejemplo en este reporte, más arriba. Véase también el Manual del Usuario (8), y "FUNCIONES HEURISTICAS" más adelante.

#### IMPRESION DE APRENDIZAJES.

Cualquiera o todos los aprendizajes pueden ser obtenidos por el teletipo de trabajo o por la impresora fuera de línea. Esclárese en la página siguiente este proceso de obtención.

\*APRENDE? . . . . . SI  
 \*APRENDO ARTIFICIALMENTE? . . . . . NO  
 #CUANTAS VERDADES Y CUALES.EJ:2, 5,6, . . . . . 4, 22, 25, 26, 2,  
 #CAR NUM D APRENZJE(U=NUEVO) . . . . . 0  
 ENTRO A APRENDER  
 VERDAD 26 CON CENTR D GRVDAD= 36.9 32.2 29.7 12.7'DISTA MAS DE 15  
 DEL C.G. DLL APRENDIZAJE 0= 17.0 29.5 28.3 12.3DE LA NUBE PISTAL  
 MEIER UN 0 P IGNORAR TAL VERDD, UN 1 PARA INCLUIRLA UN 2 P HSTOGRMA DE 6 PUNTOS ,UN 3 PARA NUBE  
 Y LA SALIDA (TELETIPO=1) EJ;3,1  
 0,0

SACA16.NUM DE APRENDIZAJES 50, HOY ES 102275 13H42M  
 CABEZA DE APRENDIZAJE 50 ES IDENT= 50 FECHA=102275 CREADOR=G8UZMA METODO= 1 FOTO=DISFED NUM DE NUBES= 2  
 LAS 3 VERDADES SON: 22 25 2

	PROMEDIOS						VARIANZAS			NUM PIXELS
1 U URBANA	31.20	32.49	28.75	11.67	-	190.42	5.94	4.46	1.88	229
2 P PISTAL	17.00	29.50	28.25	12.25	-	289.50	4.25	3.69	2.69	4

CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?  
 -1  
 HAGO CLUSTER?  
 SI  
 #CUANTAS Y CUALES BANDAS? 3, 1, 2,4,  
 #DAME MIN DIST DE SEPARACION DE LOS CG.S: 0.4

#TABLA DE DISTANCIAS DE MAHALANOBIS ENTRE CG.S  
 LETRA U  
 1 P 1.52

TABLA DE NUBES

0 U URBANA	PROV=	37.18	32.73	0.00	11.55	VAR=	3.51	4.15	0.00	1.34	194
1 P PISTAL	PROM=	0.00	31.00	0.00	12.36	VAR=	0.00	13.13	0.00	4.13	39

#HAGO OTRO CLUSTER? . . . . . NO  
 #GUARDO EL APRENIZAJE? . . . . . SI  
 CLUSTERING= 22  
 TERMINA APRENDIZAJE  
 APRENDIZAJE= 50

EJEMPLOS DE APRENDIZAJE NO SUPERVISADO  
 Y DE IMPRESION DE APRENDIZAJES

#IMPRIMO LOS APRENDIZAJES? . . . . . SI  
 #CUAL O TODOS(=0), DISPOSITIVO(1=TELETIPO):47,1  
 SACA16.NUM DE APRENDIZAJES 47, HOY ES 102175 21H37M  
 CABEZA DE APRENDIZAJE 47 ES IDENT= 47 FECHA=091975 CREADOR= METODO= 1 FOTO=PEDROE NUM DE NUBES= 8  
 LAS 8 VERDADES SON: 40 41 44 45 47 48 49 50

	PROMEDIOS						VARIANZAS			NUM PIXELS
1 L LLLLLL	19.63	17.13	54.13	31.56	-	129.11	4.23	48.86	30.12	16
2 A AAAAAA	20.84	18.32	59.76	35.36	-	110.53	11.50	95.22	41.99	25
3 D DDDDDD	20.58	24.08	27.25	13.42	-	142.08	13.08	40.52	11.08	12
4 E EEEEE	19.34	21.50	20.38	9.38	-	125.29	0.88	3.42	1.48	32
5 G GGGGGG	25.63	27.88	32.03	16.25	-	94.92	2.11	6.22	1.38	32
6 H HHHHHH	18.00	21.11	42.78	23.78	-	162.22	3.88	7.73	1.51	9
7 I IIIIII	41.17	43.58	44.83	21.00	-	8.47	23.24	12.81	2.17	12
8 J JJJJJJ	27.06	25.39	31.11	16.11	-	1.50	2.35	0.65	0.54	18

CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?

CLASIFICACION.

Con las firmas espectrales contenidas en el banco de datos de firmas espectrales (banco de aprendizajes) es posible hacer clasificaciones de vastas zonas de interés, es decir, asignarle a cada pixel o elemento de la foto una letra: T si es TRIGO, A si es AGUA, U si es zona urbana, C si es carretera, etc., según el aprendizaje en cuestión.

He aquí un ejemplo

```

FIBERNO LOS ANGELES 1977 51
CUALQUIER TIPO DE FOTO (1-18) 51
SACARON UN MUESTRO 8, 10Y ES 102275 139524
CUALQUIER TIPO DE FOTO 5 ES INSTA 5 TECNIA=03075 CREADOR=GUERRA MEXICO= 1 FOTO=DISFED NUM DE BUNDAS= 6
LAS B VARIANZAS S: 19 20 21 22 23 24 25 27
FIRMS DICIS
VARIANZAS
NUM PIXELS
1 C CARRER 28.43 29.05 41.66 21.50 - 167.02 14.34 8.82 3.94 108
2 S SMOZA 18.53 16.29 17.46 4.18 - 115.15 1.15 1.50 0.19 83
3 U URBANA 32.47 31.21 28.87 11.43 - 178.67 4.64 3.24 0.76 98
4 D DISTR 39.93 51.59 46.96 19.91 - 357.04 4.37 3.59 1.12 121
5 T TRIGO 30.77 35.19 34.88 15.69 - 238.98 5.69 3.93 0.93 90
6 P PASTO 17.00 29.50 28.25 12.25 - 289.50 4.25 3.69 2.69 4
CUALQUIER TIPO (1-18) 51
-1
APRENDIZAJE
CUALQUIER TIPO DE APRENDIZAJE
CLASIFICACION
CLASIFICACION DE APRENDIZAJE
SE PUEDE CLASIFICAR UN MUESTRO DE VA=224.39
CUALQUIER TIPO DE BUNDAS FACTOR
3
NUMEROS BUNDAS CLASIFICADO
2, 3, 4
MUESTRO DE BUNDAS NORMALIZADAS POR LA VARIANZA
C S U D T
2 S 12.510
3 U 0.773 13.122
4 D 0.205 27.375 15.069
5 T 4.033 16.870 5.287 18.014
6 P 0.442 9.844 1.016 15.128 4.612
MUESTRO TABLA DE CU Y VAR
C S U D T
1 C 11.857 41.501 1.000 14.160 8.618 3.335
2 S 10.208 17.363 4.175 2.000 1.155 1.499 0.194
3 U 31.334 25.167 31.460 1.000 4.634 3.718 0.769
4 D 51.592 46.981 19.911 4.000 4.375 3.563 1.124
5 T 19.110 34.678 15.689 5.000 5.687 3.910 0.925
6 P 29.500 12.250 6.000 4.250 3.660 2.688
CONTIENE A CLASIFICAR. TEN UN POCO DE PACIENCIA
MUESTRO CLASIFICA. PT=109.6 IOT= 10.0
    
```

El aprendizaje que se usó en la clasificación anterior fué

```

FIBERNO LOS ANGELES 1977 51
CUALQUIER TIPO DE FOTO (1-18) 51
SACARON UN MUESTRO 8, 10Y ES 102275 139524
CUALQUIER TIPO DE FOTO 5 ES INSTA 5 TECNIA=03075 CREADOR=GUERRA MEXICO= 1 FOTO=DISFED NUM DE BUNDAS= 6
LAS B VARIANZAS S: 19 20 21 22 23 24 25 27
FIRMS DICIS
VARIANZAS
NUM PIXELS
1 C CARRER 28.43 29.05 41.66 21.50 - 167.02 14.34 8.82 3.94 108
2 S SMOZA 18.53 16.29 17.46 4.18 - 115.15 1.15 1.50 0.19 83
3 U URBANA 32.47 31.21 28.87 11.43 - 178.67 4.64 3.24 0.76 98
4 D DISTR 39.93 51.59 46.96 19.91 - 357.04 4.37 3.59 1.12 121
5 T TRIGO 30.77 35.19 34.88 15.69 - 238.98 5.69 3.93 0.93 90
6 P PASTO 17.00 29.50 28.25 12.25 - 289.50 4.25 3.69 2.69 4
CUALQUIER TIPO (1-18) 51
-1
    
```

La interacción completa se muestra en la siguiente página, y también una porción de la banda dos del archivo DISFED, que contiene una parte del Distrito Federal que incluye a la Ciudad de México; fué DISFED la fotografía clasificada.



```

#BIENVENIDO AL SISTEMA PR.
#QUIEN ERES???, EN FORMATO A6 P.F. . . . .GUZMAN
#IMPRIME DESCRIPTORES?
#DAR NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO.(A6) . . . .DISFED
#DISFLD(1) PRESENTE.
#IMPRIMO LAS VERDADES DE TIERRA?
#AGREGAR O MODIFICAR VERDADES DE TIERRA? :
#IMPRIMO LOS APRENDIZAJES?
#CUAL O TODOS(=0) DISPOSITIVO(1=TELETIPO) . . . .SI
SACA16.NUM DE APRENDIZAJES      8, HOY ES 102275 13H52M
CABEZA DE APRENDIZAJE      5 ES IDENT=      5 FECHA=093075 CREADOR=GUERRA METODO= 1 FOTO=DISFED NUM DE NUBES= 6
LAS      8 VERDADES SON: 19 20 21 22 23 24 25 27

```

PROMEDIOS								VARIANZAS			NUM PIXELS	
1	C	CDEPOR	28.43	29.05	41.66	21.50	-	167.02	14.34	8.82	3.94	108
2	S	SALADA	18.53	16.29	17.46	4.18	--	115.15	1.15	1.50	0.19	80
3	U	URBANA	32.47	33.21	28.87	11.48	--	178.62	4.64	3.24	0.76	98
4	D	DELSOL	39.93	51.59	46.96	19.91	--	357.04	4.37	3.59	1.12	121
5	T	SUBURB	30.77	35.19	34.88	15.69	--	238.98	5.69	3.93	0.93	90
6	P	PISTAL	17.00	29.50	28.75	12.25	-	289.50	4.25	3.69	2.69	4

```

CUAL OTRO IMPRIMO (-1=NINGUNO)?
-1
#APRENDE?
#QUIERES BORRAR APRENDIZAJE? . . . . .
#CLASIFICA?
#DAR NUMERO DE APRENDIZAJE . . . . .SI
SE RECOMIENDA ELIMINAR BANDA 1 MEDIA DE VAR=224.39
#CLASIFICA: DANIE NUMERO DE BANDAS FACTOR
3,2
#CUALES BANDAS CLASIFICO?
2, 3, 4

```

MATRIZ DE DISTANCIAS NORMALIZADAS POR LA VARIANZA

		C	S	U	D	T
2	S	12.410				
3	U	6.729	13.122			
4	D	6.266	27.335	15.069		
5	T	4.053	16.830	5.387	10.014	
6	P	6.492	9.844	1.816	15.108	4.612

NUEVAS TABLAS DE CG Y VAR

1	C	29.046	41.657	21.500	1.000	14.340	8.818	3.935
2	S	16.288	17.463	4.175	2.000	1.155	1.499	0.194
3	U	33.214	28.867	11.480	3.000	4.638	3.238	0.760
4	D	51.587	46.959	19.909	4.000	4.375	3.593	1.124
5	T	35.189	34.878	15.689	5.000	5.687	3.930	0.925
6	P	29.500	28.250	12.250	6.000	4.250	3.688	2.688

COMIENZO A CLASIFICAR. TEN UN POCO DE PACIENCIA  
TERMINO CLASIFICA. PT=109.6 IOT= 10.0

DISFED(2) HISTOGRAMA 1,1

222222222?22222222222222222222  
66666555666666666666666666667  
00011222334445556677888990  
0482604826048260482604826048260

1900 W09900?! W V(00006W000  
1904 W V088VV !!VI09500000  
1908 WW090(IWI (! !?660000000  
1912 ?W0(V090V(! VW 00500000  
1916 WWWI066?W6W??W!0?0W00000!?  
1920 @00I?0?0(666??0!00I  
1924 0500W(?00050050000  
1928 ?W6WV 06I0Iw!00000  
1932 0?0 00600!600!!(0  
1936 WV60W?(W? VV0?!(?  
1940 WV?!?!IWV!!!IV!!! I!!!!  
1944 0IV(I?!I 0V(VI(II(( (I(  
1948 0((VwW! !!!!?(WV(!!! (!!!  
1952 VVV!?!W IVV !II! I !!!!!  
1956 @00??(000I(IIV! ((I(!!(!!  
1960 0050?6?WVWWW0 (( !((!!(!!  
1964 ???7??06W00??!IVV!IV!!I II  
1968 @00??7??I0?0V(?(!I( !!(I(  
1972 0?00?600( ! W0!WV V!!!!  
1976 ?W00I0?6IVIV?II!WVIW!I! !  
1980 ?0W50000W(IWV(WW0?II6W(II  
1984 V?(V000?W!0VW?WVW(( !W??  
1988 ?60?!0??WIIWV!II!WII!!!I  
1992 ?????V(II!!!I0(VIVV V !!(00  
1996 ??0W??7?W0VWWWV?W?( (V?W?  
2000 6?V06??V600?W?WWWV!VWVIV  
2004 V?0??0006000??!IVIV?IVV0?  
2008 ?0??700000000?W!VV?W?060?0  
2012 60I6000000000WV00SV!0IW?  
2016 60W00000000 II060Iw0 ???  
2020 00050000000( !! !W6W00?00  
2024 60?00000000 !!WV!6I !  
2028 6?060000?000!W00WI  
2032 00006600V0000000VWWW0  
2036 Iw6?W??V6666W660?VI!!  
2040 I0?066?6000?W?06W00W I!(  
2044 Ww0:00000000000000V!( V!0  
2048 6WV!WVW?V0006W00IwV!WV!!!0  
2052 ?6?I0W0000000000?IwV!I?I0  
2056 6000V000000000000WV!WVW0000  
2060 60?W!W000000000?WVW00000?  
2064 00000000000000000000000000  
2068 05060W60\$0005650005500000  
2072 ?60600V6VVI?006600!665W5W  
2076 0500I?W0IwV6000000??6?0000  
2080 00000000V606600 00000000  
2084 0000000000000000W0W?6??600  
2088 000000000000??0I0??0606000  
2092 00000000000000V60000000000  
2096 60000000000V60000000000000  
2100 000000000000000000000000000

EL DISTRITO FEDERAL (parte). ARCHIVO  
DISFED.  
Muéstrase aquí su banda dos. Esta  
banda, junto con la 3 y la 4, se han  
usado en la clasificación que de --  
DISFED se hizo en la página anterior.



```

#CLASIFICA? . . . . .SI
#DAR NUMERO DE APRENDIZAJE . . . . . 7
SE RECOMIENDA ELIMINAR BANDA 1 MEDIA DE VAR=121.60
#CUANTAS Y CUALES BANDAS
      2,      2,4

```

MATRIZ DE DISTANCIAS NORMALIZADAS POR LA VARIANZA

```

      A      S      U
2 S 10.452
3 U 12.810  7.571
4 P 11.708  4.102  4.254
#DAR FACTOR (SUGERENCIA= 2.05).
  1.

```

NUEVAS TABLAS DE CG Y VAR

```

1 A 62.300  9.560  1.000  1.000  0.500
2 S 43.580 21.000  2.000  8.000  2.000
3 U 32.200 11.930  3.000  5.640  1.630
4 P 31.500 21.540  4.000  8.700  5.120

```

COMIENZO A CLASIFICAR. TEN UN POCO DE PACIENCIA

```

TERMINO CLASIFICA. PT= 4.8 IOT= 1.9
#LE DOY LOCK? . . . . .
#QUIERES APLICAR? . . . . .
#IMPRIME? . . . . .SI
#CUANTAS IMPRESIONES VAS A HACER? . . . . .2
#DAME BANDA, INTENS, METODO, PASO Y SALIDA. . . . .5,16,0,1,1
#DAME XMIN, YMIN, XMAX, YMAX. . . . .:600,1475,640,1515,

```

CLASIFICACION DEL ARCHIVO "GAVIOT".

El programa recomienda eliminar la banda 1, debido a su gran varianza.

Se optó por usar solo las bandas 2 y 4. El programa sugiere usar un factor de 2.05 para la clasificación.

Los resultados de esta clasificación aparecen en la página siguiente.





El lector es referido al trabajo de Guerra (15) para otros detalles y casos.

COMPARACION.

Nos interesa saber qué tan bien fue clasificada una cierta área.

Para esto procedemos así (después de la clasificación):

#COMPARA? . . . . .SI  
#CUANTAS Y CUALES VERDADES DE T.? : : : .11, 2,3,4,5,16,30,63,21,22,25,  
15,

RESUMEN DE COMPORTAMIENTO DEL ARCHIVO GAVIOT, DEL ADAN ELOROI

LA COMPARACION ESTA HECHA CON LAS VERDADES DE TIERRA LISTADAS EN LA SIGUIENTE TABLA:

IDENTIFICACION DEL CULTIVO	LETRA	NOMBRE CULTIVO	XMIN	YMIN	XMAX	YMAX
4	A	AAGUAA	617	1494	630	1504

	LETRA	CULTIVO	N.PIXELS	% ACERTADO	SIN-CLAS	AAGUAA
4	A	AAGUAA	154	87.01	20	134
	TOTALES		154	87.01	20	134

PORCENTAJE TOTAL ACERTADO= ( 134)/( 154) = 87.0

PROCENTAJE VERIFICADO = ( 154)/( 1681) = 9.2

A R E A S C L A S I F I C A D A S

CULTIVO	IDENT	HECTAREAS
1 AAGUAA	A	96.82

En este ejemplo, el programa acertó en un 87% (tuvo un 13% de error). Estos resultados son típicos para el agua.

Para mayores detalles, véase el trabajo de Seco (14).

FUNCIONES HEURISTICAS Y FOTOGRAFIAS ARBITRARIAS.

Contestar "SI" a la pregunta "¿Quieres aplicar?" nos transporta al mundo de las funciones heurísticas. Daremos un ejemplo sencillo.

Vamos a crear una nueva banda 2 que es el promedio de las bandas 1,2 y 4 del archivo GAVIOT, para después imprimirla.

Primero creamos un archivo "SALIDA" de igual tamaño que GAVIOT.

ESTOS RESULTADOS SE REFIEREN A LA CLASIFICACION Y FIGURA DE LA PAGINA ANTERIOR.





Ver el Manual del Usuario del Sistema PR (8) para más detalles.

IMPRESION.

Cualquiera de las bandas de cualquier archivo, por grande que éste sea, pueden imprimirse, con sobreimpresión, en el tele tipo de trabajo o en la impresora (útese ésta si el archivo es grande) mediante el método UNIFORME (1) o por el de intervalos autoadaptables (0).

Para imprimir por el TTY se aconseja poner su paso en 12 carac/pulg. En la pantalla de caracteres la impresión es infame.

La nueva impresora de tonos grises nos dará un mejor contraste y definición, y la terminal de salida por pantalla a colores vendrá a llenar una necesidad real de una manera definitiva.

Los pasos para imprimir son:

#IMPRIME?	.SI	Salida por Impresora.
#CUANTAS IMPRESIONES VAS A HACER?	.3	
#DAME BANDA, INTENS, METODO, PASO Y SALIDA.	.2,16,0,2,0,	
#DAME XMIN, YMIN, XMAX, YMAX.	.0,0,0,0,	
#DAME BANDA, INTENS, METODO, PASO Y SALIDA.	.2,16,0,4,1	
#DAME XMIN, YMIN, XMAX, YMAX.	.0,0,0,0,	
#DAME BANDA, INTENS, METODO, PASO Y SALIDA.	.3,16,0,1,1,	
#DAME XMIN, YMIN, XMAX, YMAX.	.2600,1900,2700,2000,	

Ver impresión en la página siguiente.

También pueden imprimirse los valores (de 0 a 127) de los pixels, dando INTENS=0.

Para imprimir la banda de letras (clasificación), se usa BANDA=5.

Cuando se manda generar multi-impresiones por la impresora, automáticamente el Sistema PR pide papel blanco, 8 líneas por pulgada; si sus listados no salen así, o si no aparecen, presente sus quejas al Ing. Guillermo Durán del CSC.



Para que las impresiones que mandó salir por la impresora sean efectuadas, es menester dar "STPR/IMPRIM" al final de la sesión, antes de dar BYE y apagar su teletipo. Obsérvese:

```
ST PR/IMPRIM
#RUNNING 7596
#JOB 7598 IN Q 02
#
BYE
#END SESSION 7593  FI=32.8  PI=0.8  IO=1.0
#USER = PR81  14:17:00  10/23/75
```



PRECIPITACION DE  
LAS IMPRESIONES  
DIFERIDAS A LA  
IMPRESORA GRANDE

Esperar hasta que  
este mensaje salga.

Las rutinas de impresión aparecen descritas en detalle por Jinich (10).

## PRUEBAS AL SISTEMA PR.

El Sistema PR ha sido probado en algunos problemas sencillos.

Actualmente se ha usado el Sistema PR para:

- a) Hallazgo de cuerpos de agua en el Valle de México.  
Véase referencia (14).
- b) Identificación de zonas urbanas. Véase (13).

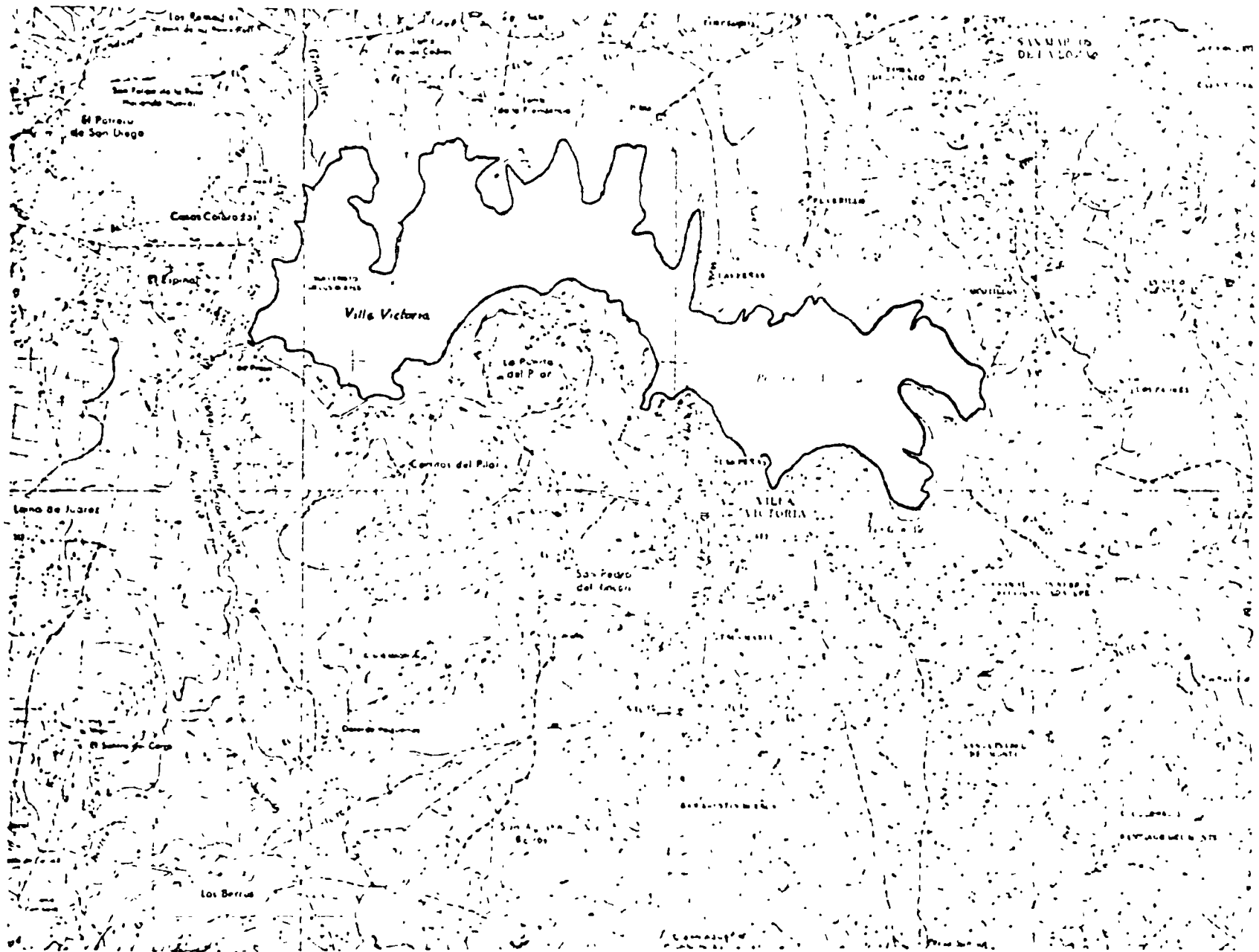
Algunos ejemplos aparecen a continuación.

En el primero de ellos, la presa de Villa Victoria ha sido localizada en los planos de Cetenal, y sus bandas 2 y 4 también se muestran. En la siguiente página aparece una clasificación de la misma presa, hecha por nuestro Sistema PR.

En un segundo ejemplo ilustrativo aparecen dos clasificaciones de una zona donde también hay agua, denominada "LPRESA."

Finalmente presentamos dos clasificaciones de prueba de "El Caracol" de Texcoco.

Estas pruebas indican que el Sistema PR probablemente puede servir para trabajos "de producción", después de una etapa de afinamiento y adecuación; tal como está actualmente, PR necesita de más pruebas y ajustes, para su adaptación a un problema real. Este es el próximo paso a seguir. Véase "PROXIMOS USOS DE PR".





100



















## PROXIMOS PROGRAMAS CON QUE CONTARA PR.

En las próximas semanas, el Sistema PR será enriquecido con los siguientes programas:

### HALLAZGO DE RASGOS LINEALES.

Un programa que usa contexto junto con la información local permitirá detectar rasgos "lineales", por ejemplo, carreteras, ríos, etc., en fotografías del satélite LANDSAT.

### PIXELS PARCIALES.

A menudo pequeños campos no quedan clasificados propiamente. Las técnicas matemáticas plasmadas en un programa de cómputo disminuyen el error que provocan a estos campos, y también a pixels que contienen mezclas de dos o más cultivos. Esto es importante en México, donde hay muchos minifundios y parcelas pequeñas.

### SUPERPOSICION DE IMAGENES TOMADAS EN FECHAS DISTINTAS.

Fotos de una misma área, pero de fechas distintas, nos pueden ser muy útiles para detectar cambios, crecimientos, etc., así como para mejor diferenciar dos cultivos que en una sola foto quizá estén casi del mismo color.

### MULTI-IMPRESION CON COMPENSACION AUTOMATICA DE LUZ.

Para distinguir mejor las características del terreno, se está diseñando un método para contrastar mejor la multi-impresión resultante, aprovechando la información del gradiente de las cuatro bandas.

## PROXIMOS USOS DE PR.

Los creadores de PR vemos en él una herramienta de cierto potencial, pero que necesita el crisol de la aplicación a problemas reales, para que se convierta en un sistema de cómputo "verdaderamente útil", de producción. Parece una herramienta de buen acero, pero en la forja de la aplicación a un problema real, o se temple y convierte en instrumento útil, o se rompe y despedaza. Tenemos delante de nosotros una etapa excitante de investigación interdisciplinaria ( y yo podría decir, multidisciplinaria) en las siguientes áreas:

DETECCION DE TRIGO EN EL VALLE DEL YAQUI. (Conjuntamente con la Dirección General de Economía Agrícola, S.A.G.). ¿Cuántas hectáreas de trigo hay sembradas en un cierto momento?

Si tiene éxito, podemos extender esto a otros cereales, y aun a otras gramíneas. El usuario socio aquí es la Secretaría de Agricultura y Ganadería. CETENAL colaborará con un vuelo sobre el Valle del Yaqui, y con información terrestre. La S. A. G. conseguirá la mayor parte de la información terrestre.

ACTUALIZACION DE CARTAS TEMATICAS Y TOPOGRAFICAS. (Conjuntamente con el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Secretaría de la Presidencia). Detección de carreteras, zonas urbanas y cuerpos de agua, para la actualización de cartas de CeTeNal. El usuario socio en este proyecto es CeTeNal.

CUBIERTAS VEGETALES EN EL ESTADO DE VERACRUZ. (Conjuntamente con el Instituto de Biología, UNAM). Flora veracruzana. Detección de zonas de agostadero, cultivo, bosques. Uso del suelo.

FALLAS GEOLOGICAS Y LUGARES METALOGENETICOS. Detección de fallas, lineamientos y otros accidentes geológicos, con ayuda de la - - computadora. Por métodos indirectos, sitios con alta probabilidad de metalogénesis. Problema difícil. (Investigación probable; varias instituciones han mostrado interés en resolver este problema con ayuda de la computadora).



PROXIMO EQUIPO CON QUE CONTARA PR.

- Una impresora de tonos grises. Para hacer multi-impresiones de mejor calidad.
- Una pantalla terminal de colores (no de caracteres). Para hacer despliegues a colores.

ACTIVIDADES RELACIONADAS.

Se planea en el CIMAS la construcción de equipo digital que permita paralelizar labores de clasificación supervisada.

QUE OTRO EQUIPO SE NECESITA.

¿Sabe usted de alguien en México que tenga un fotodensitómetro, micro-densitómetro o cámara de televisión que pueda explorar una imagen y convertirla a señales digitales susceptibles de pasar a una cinta magnética o a una computadora digital?

¿QUIERE USTED PARTICIPAR?

El Proyecto PR necesita aún de la participación de toda clase de personas: investigadores en Computación, programadores, investigadores en otras áreas (agrónomos, geólogos, fitotécnicos, etc), de la UNAM, del IPN o de donde sea; foto-intérpretes, estudiantes, pasantes en busca de tesis interesantes, entretenidas y útiles; y organismos con problemas reales que tal vez puedan ser resueltos mediante la computación y la percepción remota. Comuníquense por favor con el autor al teléfono: 548-65-00 ext 420.

En particular, necesitamos experiencia en las siguientes áreas: construcción de hardware digital rendimiento de cultivos y su relación a humedad, temperatura, fertilizantes y variedad y programación en lenguajes simbólicos (LISP, APL, etc).

COLABORADORES DE P R.

RENATO BARRERA RIVERA. Actualmente en el Instituto de Ingeniería, UNAM, especializado en Teoría de Control y Matemáticas Aplicadas; tiene un grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica del M. I. T.

JENNIE BECERRA DE BARQUET. Matemática de profesión (UNAM), se encuentra en el CIMAS, donde ha desarrollado labores en sistemas de información y estructuras de datos.

MAX DIAZ. Matemático (UNAM) con interés en el Análisis funcional y en la Computación. Se irá en enero de 1976 a hacer estudios de posgrado a la Universidad de Berkeley, EEUU.

GILBERTO HERNANDEZ. Maestro en Ciencias ( ) en Geología, trabaja en el Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la UNAM. Se interesa en el uso de las computadoras para resolver problemas de su especialidad.

VICTOR GUERRA. Matemático (UNAM) con intereses profesionales en el Análisis Numérico y en Computación; obtuvo el grado de Doctor en ciencias en la Universidad Rice, EEUU.

ADOLFO GUZMAN ARENAS. Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica (I. P. N.) con interés en Computación y en Reconocimiento de Formas; obtuvo el grado de Doctor en M. I. T. (Computación).

ARMANDO JINICH. Físico (UNAM) con interés en Computación y sus aplicaciones, fué Diplomado por la Universidad de Edinburgo, Gran Bretaña, en el área de Inteligencia Artificial.

ROBERTO LOPEZ. Estudiante de Física (UNAM), interesado en el análisis de fotografías por medio de la computadora.

JOSE MANUEL LOPEZ ACEVEDO. Ingeniero Químico (UNAM) con interés en Computación y en sus aplicaciones a problemas útiles. Estudia la Maestría en Computación en el CIMAS-CCH.

JUAN LUDLOW. Matemático (UNAM); se encuentra haciendo estudios de posgrado en la Universidad de Stanford, sobre Computación.

EDUARDO LLERA LOMELI. Estudiante de la Facultad de Ciencias, (UNAM) Se interesa por aplicar las computadoras a problemas agropecuarios

VICTOR GERMAN SANCHEZ. Físico (UNAM), estudia la Maestría de Computación del CIMAS-CCH.

ROSA SECO. Matemática de la UNAM, en 1970 estudió cursos de posgrado en la Universidad de Oxford en el área de Biomatemáticas. Sus intereses actuales también abarcan el estudio y traducción de lenguajes naturales por computadora.

AGRADECIMIENTOS.

A nuestro Director del CIMAS, Dr. TOMAS GARZA, por su apoyo constante y decidido, así como a los doctores FEDERICO O'REILLY y ROBERTO YATES por su cotidiano respaldo.

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

Al Lic. Enrique Molina, por sus magníficos servicios de biblioteca y por la catalogación especial de material para PR.

A los operadores del CSC, y en especial al Act. Sergio Castro, por su paciencia y colaboración.

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. Jorge Valerdi, Dirección General de Planeación, S.C.T., por las interesantes discusiones técnicas.

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

A Elizabeth Derbez, por su eficiente ayuda secretarial.

Al Ing. Jorge Gil, del CIMAS, por su interés en la construcción de hardware para este proyecto.

BIBLIOGRAFIA.

- (1) Guerra Peña, Felipe. Los Rasgos Tectónicos en las Imágenes del ERTS I. Memorias de la Primera Reunión sobre el aprovechamiento de los datos derivados de los Satélites Tecnológicos para el Estudio de los Recursos Naturales. Octubre 1975. Comisión Nacional del Espacio Exterior, S. C. T. Zempoala 197 esq. Eugenia, piso 10, México, D. F.
- (2) Díaz Pérez, Armando, Percepción Remota en la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Memorias de la Primera Reunión sobre el Aprovechamiento de los datos derivados de los Satélites Tecnológicos para el Estudio de los Recursos Naturales. Octubre de 1975. Comisión Nacional del Espacio Exterior, S. C. T. Zempoala 197 esq. Eugenia, piso 10, México, D.F.
- (3) Valerdi Caram, Jorge. Algunas Aplicaciones de Algoritmos para el Procesamiento Automático de Imágenes de Satélites. Memorias de la Primera Reunión sobre el Aprovechamiento de los datos derivados de los Satélites Tecnológicos para el Estudio de los Recursos Naturales. Octubre 1975. Comisión Nacional del Espacio Exterior, S. C. T. Zempoala 197 esq. Eugenia, piso 10, México, D. F.
- (4) Villagómez, Margarita. Procesamiento de imágenes de Satélite utilizando una técnica de agrupamiento (clustering). Tesis de Matemático, Fac. de Ciencias, UNAM. México, D.F. 1974.
- (5) Minsky, M. Perceptrons. M. I. T. Press. 1969.
- (6) Ball, J. ISODATA: data analysis in the social sciences, what about the details. Proc. of the Fall Joint Computer

Conference, pp 533-559, 1965.

- (7) The JSC Clustering Program ISOCLS and its applications. NASA Johnson Space Center, Houston, Tex. July 1973. Publication LEC-0483.
- (8) Ludlow, Juan y Jinich, Armando. Manual del Usuario del Sistema PR. Reporte PR-75-1, CIMAS-UNAM. 1975.
- (9) Guzmán, Adolfo, y Bribiesca, Ernesto. Manual del Usuario para la explotación de un banco de datos geográficos. Reporte CCAL-74-17, IBM de México. Dic. 1974.
- (10) Jinich, Armando, y Ludlow, Juan. Métodos de impresión digital de imágenes. Reporte PR-75-5. CIMAS-UNAM, México, 1975.
- (11) Ludlow, Juan y Adolfo, Guzmán. Reporte PR-75-7, CIMAS-UNAM, México. 1975.
- (12) Guerra, Víctor. Reporte PR-75-4, CIMAS-UNAM, México. 1975.
- (13) Guzmán, Adolfo. Reporte PR-75-6, CIMAS-UNAM, México. 1975.
- (14) Seco, Rosa. Reporte PR-75-12, CIMAS-UNAM, México. 1975.
- (15) Guerra, Víctor. Reporte PR-75-13, CIMAS-UNAM, México. 1975.

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 de 1975.
- PR-75-2A. Guzmán, Adolfo.  
Proyecto PR: Informe de Actividades 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: aprendi-  
zaje supervisado.
- PR-75-7. Ludlow, Juan y Guzmán, Adolfo.  
Métodos de Agrupamiento ("clustering") por computadora  
de muestras multiespectrales: aprendizaje no supervi-  
sado.

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 del 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 carreteras en fotografías de Satélite.

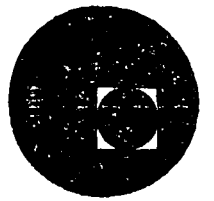
Los reportes anteriores pueden adquirirse en:  
CIMAS-UNAM, Biblioteca  
Adpo. 20-726. México 20, D. F. México.

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.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

REGISTRO DE IMAGENES

PROF. R. BARRERA  
NOVIEMBRE, 1977.

## REGISTRO DE IMAGENES

### 1.- Introducción.

Muchas veces es conveniente utilizar conjuntamente la información de varias imágenes. Por ejemplo, para detectar el avance de la erosión en una zona árida es necesario sobreponer imágenes obtenidas en diferentes fechas; asimismo, cultivos diferentes que no pueden ser discriminados en etapas aisladas de su crecimiento, pueden diferenciarse si se concentra la información de todas las épocas de su desarrollo en una sola imagen. También existen otros casos en los que es necesario sobreponer imágenes con la información digitalizada de las diferentes bandas espectrales, para hacer concordar los elementos de resolución correspondientes. Esto sucede cuando se digitaliza una imagen multiespectral en varios pasos, utilizando diferentes filtros.

Cabe hacer notar que si se quiere contar con una herramienta que sobreponga imágenes, es importante que ésta pueda, además, considerar imágenes provenientes de varios tipos de sensores.

El problema de sobreponer dos imágenes, modificando la geometría de la primera hasta hacerla coincidir con la de la segunda se llama "Registro" y éste se encuentra íntimamente ligado con otros dos problemas: el de reticulado (en que la primera imagen es una rejilla geodésica) y el de cartografía (en el que la segunda imagen es un mapa).

La diferencia geométrica entre ambas imágenes se puede deber tanto a los sensores (que una imagen sea fotográfica,

y la otra de MSS), a que el sensor tome cierta perspectiva, a la plataforma (inexactitud en los datos de altura o actitud), o al proceso de digitalización.

En la práctica, y debido a la incertidumbre en sus parámetros característicos, pocos modelos de distorsión geométrica son lo suficientemente exactos para corregir adecuadamente la imagen, por lo que es preciso auxiliarse con puntos de control identificables en ambas imágenes. Por otra parte, de no haber ningún modelo de distorsión previo, es difícil encontrar equivalencias entre los puntos de control, (por ejemplo, no es fácil hallar las correspondencias si no se tiene una idea aproximada de la zona en que hay que buscarlas, o de la escala, la rotación, etc.) Además, el tener un modelo previo de distorsión con parámetros aproximados permite ya sea hacer una corrección más eficiente en dos pasos (primero, aplicando el modelo aproximado de distorsión y refinándolo luego con los puntos) o bien, que los puntos de control ajusten los parámetros del modelo de distorsión y mejorar así su desempeño.

Es conveniente, pues, conjugar ambos enfoques.

Cuando las imágenes consideradas han de procesarse digitalmente, el estado actual de la tecnología hace conveniente que la desdistorsión geométrica necesaria para el registro de imágenes se haga también en forma digital.

## 2.- Etapas del proceso.

Supongamos que tenemos dos imágenes digitalizadas A y B, y que A se quiere sobreponer sobre B para obtener una nueva imagen C. Las etapas típicas del proceso se muestran en la Figura I.

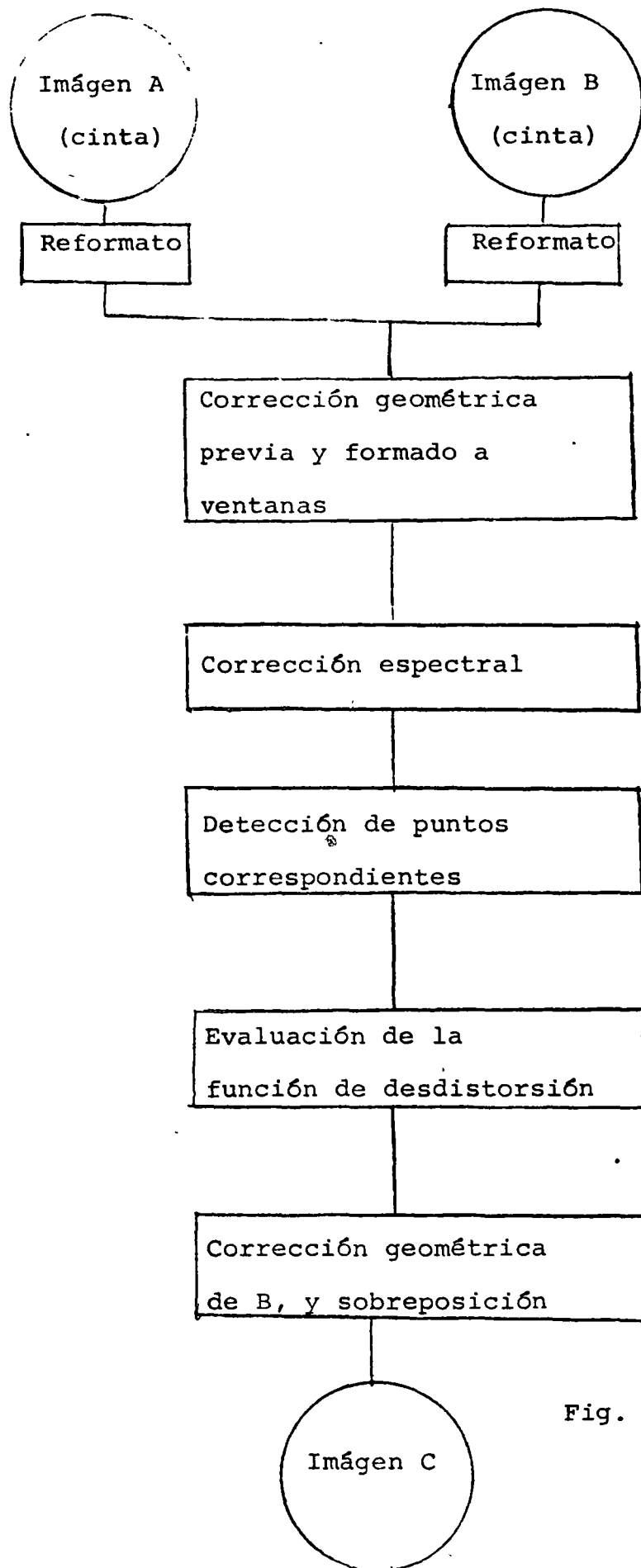


Fig. 1 Secuencia de operaciones en el proceso de registro

A continuación se explican brevemente los procesos:

a) *Reformato*. Se pasan ambas imágenes a un formato que haga más fácil su acceso. En esta etapa se puede hacer cierto tipo de corrección geométrica, por ejemplo, para que la rotación de A con respecto a B disminuya.

b) *Corrección geométrica previa*. Con los parámetros conocidos del modelo de distorsión se localiza, para un punto en A, la localización aproximada de su correspondiente en B.

Tras ello, se forma una ventana con datos de A, (esto es, un arreglo de datos que contenga un entorno del punto de control), y, utilizando el modelo de distorsión, se construye una ventana con datos de B, tentativamente con la misma geometría que la de A, conteniendo (también tentativamente) al punto de control, y de mayores dimensiones que su correspondencia en A.

c) *Corrección espectral*. Se preprocesan ambas ventanas para hacerlas lo más similares posible, mediante algún método que resalte los rasgos invariantes en ambas imágenes. (Son particularmente útiles las operaciones de tomar gradiente, y la de hacer cero aquellos gradientes que estén abajo de cierto umbral).

d) *Detección de puntos correspondientes*. La ventana en A se sobrepone sobre la de B, y la primera se mueve sobre la segunda hasta encontrar una similitud máxima entre la ventana de A, y la parte en B que ella cubre.

e) *Evaluación de la función de distorsión*. Con los datos obtenidos en d), y siendo  $(x,y)$  las coordenadas de un punto en A

y  $(w, z)$  las de su punto correspondiente en  $B$ , se obtienen funciones  $\delta_1(w, z)$  y  $\delta_2(w, z)$  tales que

$$x = \delta_1(w, z)$$

$$y = \delta_2(w, z)$$

f) *Corrección geométrica de  $B$ , y sobreposición.* Se aplican  $\delta_1(\dots)$  y  $\delta_2(\dots)$  a cada uno de los puntos en  $B$ , interpolando si es necesario (ya que estas funciones no transforman necesariamente números enteros en enteros). Se forma la imagen deseada, añadiendo los datos de ambas imágenes.

### 3. Métodos de detección de puntos correspondientes.

Supongamos que tenemos dos subimágenes cuadradas (ventanas), una de  $A$ , en cuyo centro está un punto de control, y otra de  $B$ , en la que de algún modo sabemos que está incluido el equivalente de la subimagen de  $A$ . Las dimensiones de la primera subimagen son de  $M \times M$  elementos de resolución (píxels), y las de la segunda son  $N \times N$  píxels.

Supongamos además, por simplicidad, que las escalas y rotaciones de ambas subimágenes son las mismas, y que las únicas diferencias geométricas entre ellas son desplazamientos a lo largo de los ejes de coordenadas. Ambas ventanas contienen información de una sola banda.

Llamemos  $W$  a una matriz de  $M \times M$  que contiene como elementos las intensidades de los píxels correspondientes de la ventana de  $A$ , y  $S$  a una matriz de  $N \times N$  correspondiente a las intensidades de la ventana de  $B$ , y  $S^{ij}$  a la matriz de  $M \times M$

tal que  $S^{ij}(k, \ell) = S(i+k, j+\ell)$  ( $1 \leq i, j \leq N-M+1$ )

El problema es encontrar el par  $i^*, j^*$  tal que  $w$  y  $S^{ij}$  sean "lo mas similares posible". (Esto es, que  $w - S^{ij}$  sea lo mas pequeña posible).

¿Cómo medimos similaridad? ¿Cómo asignamos un valor a la matriz  $w - S^{ij}$  tal que nos diga el parecido entre ambas subimágenes?

Citaremos las tres medidas de similaridad más usadas:

a) Coeficiente de correlación. Este se define como:

$$\rho(i, j) = \frac{\left| \sum_{\ell=1}^M \sum_{k=1}^M w(k, \ell) S^{ij}(k, \ell) \right|}{\sqrt{\sum_{\ell=1}^M \sum_{k=1}^M w^2(k, \ell)} \sqrt{\sum_{\ell=1}^M \sum_{k=1}^M (S^{ij}(k, \ell))^2}} \quad (1)$$

El coeficiente de correlación entre dos vectores  $a$ , y  $b$ , de " $\bar{n}$ " dimensiones se define como

$$\rho = \frac{\left| \sum_{i=1}^{\bar{n}} a_i b_i \right|}{\sqrt{\sum_{i=1}^{\bar{n}} a_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{\bar{n}} b_i^2}}$$

NOTA: Para el caso de vectores bidimensionales  $\rho$  es el valor absoluto del coseno del ángulo que forman ambos vectores.

Hay un resultado interesante:

$$10) 0 \leq \rho \leq 1$$

siendo  $\rho = 1$  si y solamente si  $a = k b$  donde  $k$  es una constante diferente de cero; esto es,  $\rho = 1$



si y sólo si los vectores son colineales.

El coeficiente de correlación  $\rho(i, j)$  entre dos subimágenes citado arriba, se logra formando dos grandes vectores en cuyas  $M^2$  elementos se encuentran los de las matrices  $S^{ij}$ ,  $w$ .

Así pues, una manera de encontrar la coincidencia entre dos imágenes es encontrar los puntos  $(i^*, j^*)$  tales que  $\rho(i, j)$  sea máximo.

Una ventaja de esta medida es que da información sobre el grado de similaridad entre las imágenes. Generalmente, coeficientes de correlación menores que .7 o .6 son sospechosos, y dan mala confiabilidad en el registro.

b) *Medida de correlación.*

Esta medida es simplemente el numerador de (1). Se usa porque su obtención involucra menos operaciones que la de  $\rho$ .

Así pues, la medida de correlación es igual

$$R(i, j) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M w(k, l) S^{ij}(k, l) \quad (2)$$

Aunque en teoría los puntos  $(i^*, j^*)$  que maximizan  $\rho(i, j)$  y a  $R(i, j)$  no tiene porque coincidir, en la práctica lo hacen.

c) *Medida de valores absolutos.*

Esta medida, cuyo mínimo localizado en  $(i^*, j^*)$  se utiliza para encontrar el punto de coincidencia es:

$$\epsilon(i, j) = \sum_{l=1}^M \sum_{k=1}^M |S^{ij}(k, l) - w(k, l)| \quad (3)$$

Esta medida tiene como ventaja utilizar solamente sumas y valores absolutos, más rápidos de computar que las multiplicaciones. Se logra más exactitud si para las tres medidas anteriores, en lugar de  $w(k,l)$  y  $S^{ij}(k,l)$ , se utilizan  $\tilde{w}(k,l)$  y  $\tilde{S}^{ij}(k,l)$ , las desviaciones sobre el valor promedio.

Estos valores se obtienen así: Sean  $\hat{w}$ ,  $\hat{S}^{ij}$  los promedios de intensidad en las subimágenes (esto es

$$\hat{w} = \frac{1}{M^2} \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M w(k,l), \quad \hat{S}^{ij} = \frac{1}{M^2} \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M S^{ij}(k,l)$$

Entonces  $\tilde{w}(k,l)$ ,  $\tilde{S}^{ij}(k,l)$  se definen como

$$\tilde{w}(k,l) = w(k,l) - \hat{w}$$

$$\tilde{S}^{ij}(k,l) = S^{ij}(k,l) - \hat{S}^{ij}$$

Se pueden lograr así tres medidas más:  $\tilde{\rho}(i,j)$ ,  $\tilde{R}(i,j)$ ,  $\tilde{\epsilon}(i,j)$  sustituyendo  $w$  y  $S^{ij}$  por  $\tilde{w}$  y  $\tilde{S}^{ij}$  en las definiciones de  $\rho$ ,  $R$ , y  $\epsilon$ .

#### 4.- Trucos para rebajar el tiempo de computación.

Las operaciones aritméticas para computar (1), (2), o (3) son proporcionales a  $M^2$ . Si se quiere explorar todas las posibles combinaciones de  $(i,j)$  hay que computar las medidas de similitud  $(N-M+1)^2$  veces. Así pues, como típicamente se tiene  $M \gg 1$ ,

$N \approx 2M$ , el número de operaciones es proporcional a  $M^4$ . Como  $M$  es del orden de 30, el tiempo invertido en la detección puede ser enorme.

Dos atajos pueden usarse:

- a) Haciendo más rápido el tiempo de obtención de  $\rho, R$  o  $\epsilon$
- b) Haciendo más rápida la búsqueda del par  $(i, j)$  adecuado.

#### 4.a. COMO BAJAR EL TIEMPO DE $\rho, R, \epsilon$

##### 4.a.1. Cómo bajar el tiempo de $\rho, R$

La premura del tiempo impide dar una exposición detallada de los métodos de transformada rápida de Fourier. El lector interesado en más información puede analizar el artículo de Anuta que acompaña a estas notas, o bien el libro, "The fast Fourier Transform". O.E. Brigham. (Prentice Hall, 1974)

##### 4.a.1.1. Definición y propiedades de la transformada de Fourier.

Sean  $f(k), g(k)$  dos funciones definidas sobre los enteros  $0, 1, \dots, N-1$ . Sus transformadas de Fourier, denotadas ya sea como  $\mathcal{A}(f(k))$  o  $(\hat{f}(\omega))$ , y  $\mathcal{A}(g(k))$  o  $(\hat{g}(\omega))$  son dos funciones complejas en  $\omega$ , definidas para valores de  $\omega = \frac{2\pi k}{N}$   $k = 0, 1, \dots, (N-1)$

y dadas por:

$$\mathcal{A}(f(k)) = \hat{f}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \sum_{K=0}^{N-1} f(k) (\cos k\omega + i \operatorname{sen}(k\omega))$$

$$\mathcal{A}(g(k)) = \hat{g}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \sum_{K=0}^{N-1} g(k) (\cos k\omega + i \operatorname{sen}(k\omega))$$

donde  $i = \sqrt{-1}$

La transformada inversa de Fourier (lograr  $f(k)$  a partir de  $\hat{f}(\omega)$ ) se hace así.

$$f(k) = \mathcal{F}^{-1}(\hat{f}(\omega)) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{\ell=0}^{N-1} \hat{f}(\omega) (\cos \omega k - i \sin \omega k)$$

$$\text{donde } \omega = \frac{2\pi\ell}{N}$$

Las fórmulas de arriba realmente son usadas sólo para la definición de la transformada de Fourier; para obtenerlas es necesario llevar a cabo  $N^2$  operaciones. Sin embargo hay algoritmos (que hacen las sumatorias en forma distinta) llamados de transformada rápida de Fourier, que las pueden hacer con  $N \log_2(N)$  operaciones.

De la misma forma en que se define la transformada del Fourier para vectores se puede hacer para matrices. No se hablará sobre este tema.

¿Qué ventajas tiene la transformada de Fourier? Esta tiene 2 propiedades.

$$1^\circ \quad \sum_{\omega=0}^{N-1} \hat{f}(\omega) \hat{f}(-\omega) = \sum_{k=0}^{N-1} f^2(k)$$

$(\omega = \frac{2\pi\ell}{N})$

$$2^\circ \quad R(i, j) = \mathcal{F}^{-1}(\mathcal{F}(S^{ij}) * \mathcal{F}(w))$$

O sea que  $R(i, j)$  es la transformada inversa del producto de las transformadas de las imágenes. (Nota: para que tengan la misma dimensión, se rellena  $w$  de ceros). Esto hace que las

operaciones sean del orden de  $N^2 \log_2 (N^2)$ , que es mucho menor que el orden anterior,  $M^4$

4.a.2.

¿Cómo bajar el tiempo de  $R$  y  $\epsilon$ ? (ver el artículo de Silverman y Barnea)

Hay dos ideas básicas:

i) Nos interesa minimizar  $\epsilon$  (Maximizar  $R$ ) para todo  $1 < i, j < N - M + 1$

¿Por qué continuar evaluando  $\epsilon_{ij}$  si sabemos que "la cosa va mal," esto es, que el par  $i, j$ , no es el que maximiza la similaridad?

ii) ¿Por qué no acercarnos rápido al óptimo  $i^* j^*$  en vez de buscar en todos los posibles puntos.

Primera idea.

La primera idea puede explotarse utilizando una prueba secuencial estadística. Suponemos que, al tener la óptima coincidencia entre ambas imágenes  $i^*, j^*$ , la probabilidad de que, para todo  $(k, l)$  el error en un pixel  $(k, l)$  sea mayor que  $\delta$ , está dada por  $e^{-\delta/\lambda}$ ; esto es:

$$P\{ |S^{i^* j^*}(k, l) - W(k, l)| > \delta \} = e^{-\delta/\lambda}$$

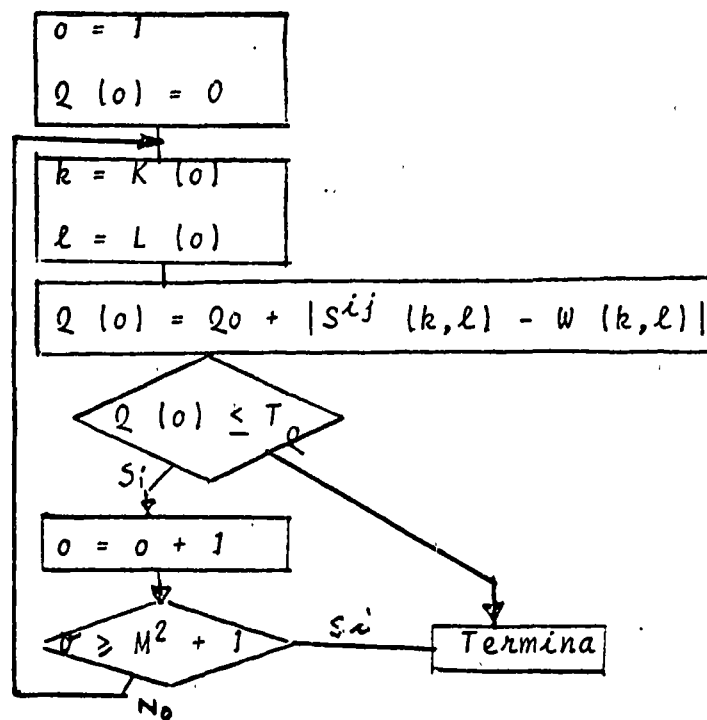
Sean  $X_1, \dots, X_{M^2}$  una serie de  $M^2$  variables independientes, exponencialmente distribuidos con media " $\lambda$ ". Definamos otra serie de variables,  $g_i$ , dadas por

$$g_i = \sum_{k=1}^i x_k$$

Podemos computar, para cada nivel de confianza  $p_i$ , y para cada "i" un umbral  $T_i$  dado por

$$p \left\{ g_i \leq T_i \mid (g_1 \leq T_1, \dots, g_{i-1} \leq T_{i-1}) \right\} = p_i$$

Nuestro algoritmo acelerado estará dado por el siguiente diagrama de flujo:



$K(o)$  y  $L(o)$  son funciones tales que la imagen de los números  $(o=1, \dots, M^2)$  bajo  $(K(o), L(o))$  es el rectángulo  $(1 \leq k, \ell \leq M)$ . De acuerdo con nuestra experiencia, es conveniente dar a  $\lambda$  valores entre una y dos veces la desviación estandar de  $W$ . Tomando  $N=60$ ,  $M=30$ , se tienen  $(60-30+1)^2 = 961$  parejas  $(i, j)$  para efectuar el cálculo de  $\epsilon(i, j)$ . Con los valores citados de  $\lambda$ , sólo 5 o 10 parejas  $(i, j)$  terminan el cálculo completo de  $\epsilon(i, j)$ . Las restantes parejas se abandonan como candidatos, típicamente antes de efectuar 15 sumas (de las  $M \times M = 900$  necesarias para computar  $\epsilon(i, j)$ )

Segunda idea. (no explorar todos los puntos  $(i, j)$ ). Una manera es la de colorear el cuadrado de  $(N-M+1) \times (N-M+1)$  puntos como un tablero de ajedrez, y avanzar "por las negras". De esta forma se exploran inicialmente sólo la cuarta parte de los puntos  $(i, j)$ . De este conjunto de puntos examinados se toma el mejor, y ahora sí, se examina todo un rectángulo (mucho más pequeño, digamos de unos  $5 \times 5$  elementos de resolución) alrededor de ese punto.

Refinamiento de  $(i^*, j^*)$ :

Los algoritmos para detectar los puntos de control anteriormente citados detectan pares de  $(i^*, j^*)$  enteros. ¿Cómo estimar  $(i^*, j^*)$  fraccionarios? Una forma es tomar un pequeño cuadrado en torno al par de enteros  $(i^*, j^*)$ , computar sus coeficientes de correlación en la retícula y hacer pasar una superficie suave (p. ej, aproximación con polinomios de Langrange) por los puntos de la retícula. Posteriormente, se halla el máximo de esta superficie. (Figura 2)

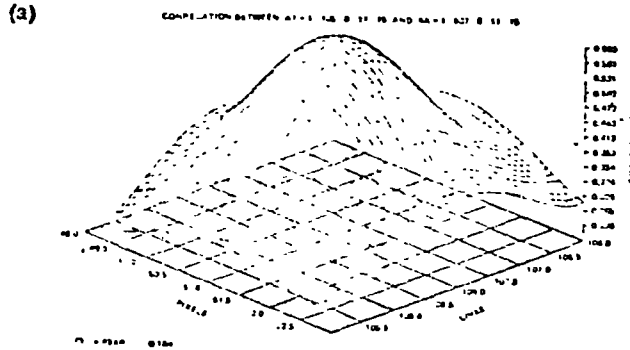


Figura 2. Interpolación de una función a través de los puntos de correlación.

4. Corrección Geométrica.

Una vez encontrada la correspondencia entre puntos de control, se logra la siguiente tabla:

Punto de control #	Imagen A coordenadas		Imagen B coordenadas	
	x	y	w	z
	1	x(1)	y(1)	w(1)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
k <sub>j</sub>	x(k <sub>j</sub> )	y(k <sub>j</sub> )	w(k <sub>j</sub> )	z(k <sub>j</sub> )

Entonces se deben encontrar funciones de mapeo  $X(w, z)$ ,  $Y(w, z)$  tales que, si se obtienen los errores en los ejes  $x, y$  para cada punto de control:



$$\epsilon_x(k) = |x(k) - X[w(k), z(k)]|$$

$$k = 1, \dots, k_1$$

$$\epsilon_y(k) = |y(k) - Y[w(k), z(k)]|$$

se minimice una función adecuada de esos errores (por ejemplo

$$\sum_{k=1}^{k_1} \epsilon_x^2(k) + \sum_{k=1}^{k_1} \epsilon_y^2(k), \text{ o } \max_{1 \leq k \leq k_1} \left\{ \max \left\{ \epsilon_x(k), \epsilon_y(k) \right\} \right\}$$

$$\text{o } \sum_{k=1}^k (|\epsilon_x(k)| + |\epsilon_y(k)|) \text{ etc.}$$

Existen, entre otros, tres métodos para obtener estas funciones:

a) Triangulación

Se obtiene cada  $(w, z)$  de  $B$  como una suma de 3 elementos, esto es, para cada  $w, z$  se obtienen 3 puntos de control  $a, b, \gamma$  con coordenadas  $(w_\alpha, z_\alpha), (w_\beta, z_\beta), (w_\gamma, z_\gamma)$  cuyas imágenes en  $A$  son  $(x_\alpha, y_\alpha), (x_\beta, y_\beta), (x_\gamma, y_\gamma)$ . Se obtienen  $\gamma_1, \gamma_2$  tales que

$$\begin{bmatrix} (w_\alpha - w_\gamma) & (w_\beta - w_\gamma) \\ (z_\alpha - z_\gamma) & (z_\beta - z_\gamma) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w - w_\gamma \\ z - z_\gamma \end{bmatrix}$$

Entonces las funciones de mapeo  $X, Y$  estarán dadas por:

$$x = \gamma_1 (x_\alpha - x_\gamma) + \gamma_2 (x_\beta - x_\gamma) + x_\gamma$$

$$y = \gamma_1 (y_\alpha - y_\gamma) + \gamma_2 (y_\beta - y_\gamma) + y_\gamma$$

b) Polinomios de orden "n". Se hace

$$x(w, z) = \sum_{l=0}^n \sum_{m=0}^l \alpha_{m, l-m} w^m z^{l-m}$$

$$y(w, z) = \sum_{l=0}^n \sum_{m=0}^l \beta_{m, l-m} w^m z^{l-m}$$

y posteriormente se encuentran

$$\alpha_{j_1, j_2}, \beta_{j_1, j_2} \quad (0 \leq j_1 \leq l-j_2) \quad (0 \leq l \leq n), \\ (0 \leq j_2 \leq l)$$

tales que se minimicen

$$\sum_{k=1}^K (\epsilon_x^2(k) + \epsilon_y^2(k))$$

c) Modelos de actitud del sensor y plataforma.

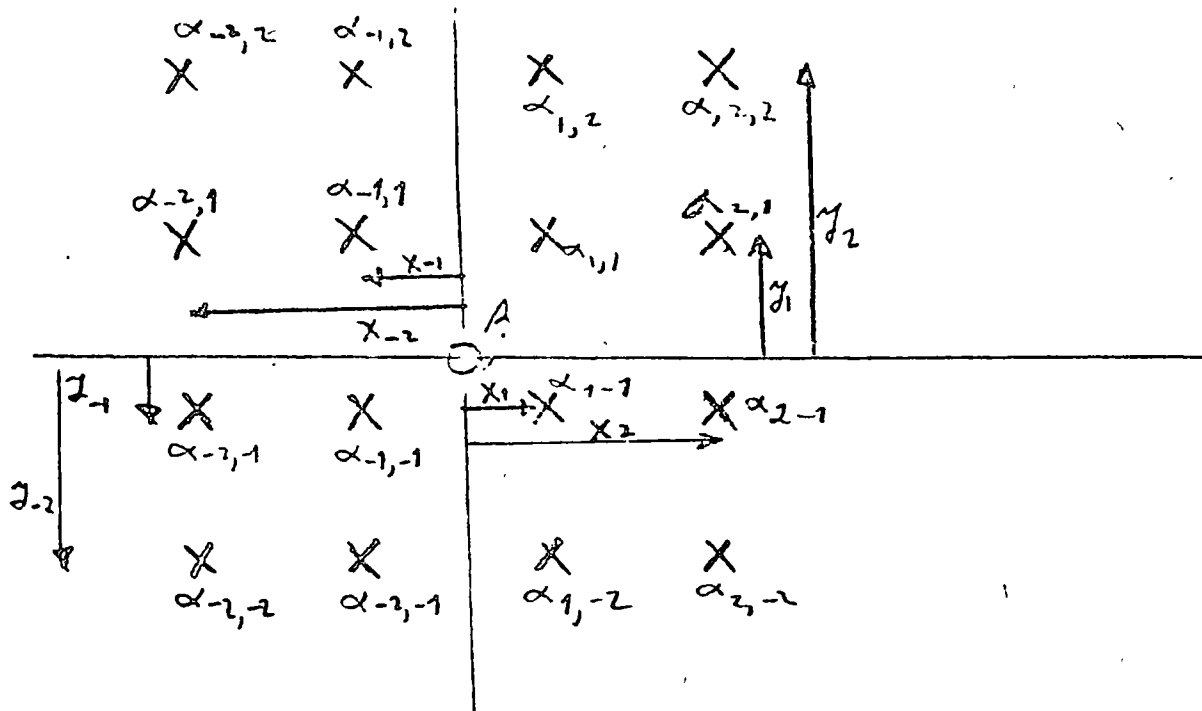
Se obtiene, a partir de los puntos de control, un modelo refinado de distorsión.

## 5. Mapeo y sobreposición.

### 5.1. Cuadrículado de la imagen.

Una vez obtenidas las funciones de mapeo  $X(.,.)$  y  $Y(.,.)$  se hace una cuadrícula en  $\beta$ , y se obtienen las funciones de mapeo exactas sobre los vértices de la cuadrícula. Para ahorrar tiempo de máquina, las funciones de mapeo de los puntos de interés a los rectángulos se obtienen como interpolación lineal de los puntos del rectángulo (ver figura 3).

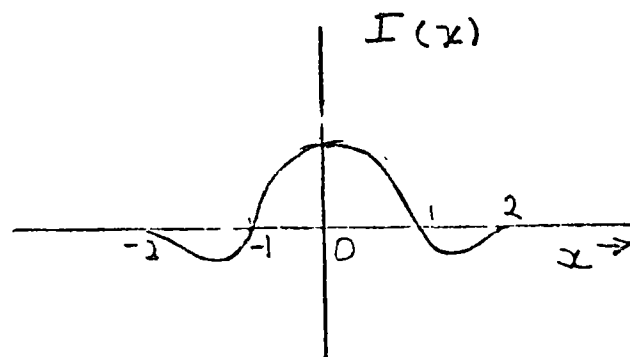
Esta suma se logra así:

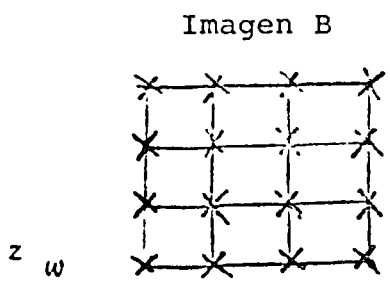


$$\text{Intensidad en } \beta = \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} \alpha_{ij} I(x_i) I(y_j)$$

donde S es el conjunto  $\{-2, -1, 1, 2\}$  e  $I(x)$  está dada por

$$I(x) = \begin{cases} 1 - 2|x|^2 + |x|^3 & 0 \leq x \leq 1 \\ 4 - 8|x| + 5|x|^2 & |x| \leq 2 \\ 0 & |x| > 2 \end{cases}$$





Cuadrícula en B

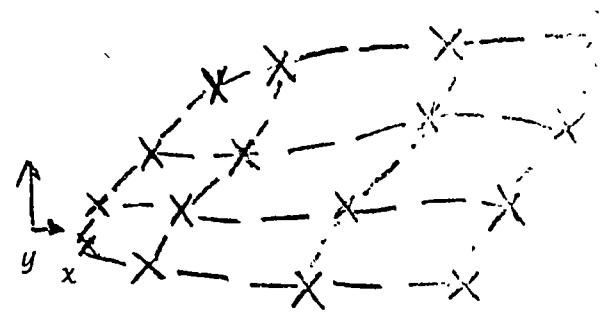


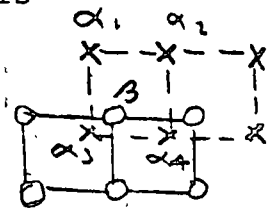
Imagen correspondiente en A

Figura 3.

5.2. "Pixels", parciales.

Al aplicar el mapeo  $X(w, z)$ ,  $Y(w, z)$  sobre los enteros, no siempre obtendremos números enteros.

Hay varios métodos para hacer corresponder "pixels" con "pixels"



- 0 - puntos en A
- X - imágenes de puntos en B

a) "Vecino más cercano". En este caso se sobrepone sobre "beta" el pixel  $\alpha_3$ .

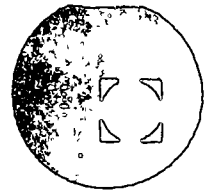
b) Interpolación. Se sobrepone sobre beta una suma pesada de  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ .

c) Filtro de pasa banda.

Se sobrepone sobre "beta" una suma de sus 16 vecinos más cercanos.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

COMPUTER TECHNIQUES FOR GEOLOGICAL  
APPLICATIONS

JAMES M. SOHA, ALAN R. GILLESPIE  
J. M. ABRAHAMS, MICHAEL MADURA.  
NOVIEMBRE, 1977

## COMPUTER TECHNIQUES FOR GEOLOGICAL APPLICATIONS

James M. Soha  
Alan R. Gillespie  
Michael J. Abrams  
Daryl P. Madura

Jet Propulsion Laboratory  
Pasadena, California

### ABSTRACT

Remote sensing imagery has proven to be an important new data source for investigations in geology. Digital image processing is in turn a powerful tool for analyzing and extracting information from this image data. This paper describes several of the basic image processing techniques now being used in geologic work at JPL. Particular emphasis is placed on the processing and display of Landsat multispectral data.

### INTRODUCTION

The recent widespread availability of remote sensing data has opened new horizons for investigators in the earth sciences. Pictures such as those returned by NASA's Landsat I and II satellites are beneficial to geologists in two principal ways. First, the overall, synoptic view provided by these images presents large as well as small scale structural elements within their contextual and relational framework. A second important attribute of these images is the multispectral information they contain, allowing differentiation of surface materials according to variations in spectral reflectivity.

The quantity of data returned by Landsat is enormous: each Landsat scene contains over six million picture elements in each of four spectrally different, spatially registered images. The fact that this data is digitally encoded makes computer handling and manipulation of the data particularly convenient. Sheer volume of data is not the only reason for employing digital image processing in the analysis of Landsat data. Much of the geologically interesting information in a scene is subtle in nature and is simply not visible in the photographic products which can be ordered from the EROS Data Center of the USGS. Careful computer processing and controlled display of the data is necessary to extract this information. As in any other science, geologists want to press the diagnostic and informational capability of their data to the practical limit. For remote sensing, this objective makes digital image processing a virtual necessity.

This paper describes several of the computer techniques that are commonly used at the Image Processing Laboratory (IPL) of the Jet Propulsion Laboratory in support of research in geology involving Landsat and other remote sensing data. First, several of the basic operations with single (black and white) images are discussed. Preliminary cosmetic processing to remote distracting noise and artifacts is an important aid to further analysis. Geometric transformation of images is useful in producing a standardized cartographic display format for comparison with existing maps, or to register multiple images for combined analysis. Careful contrast enhancement is vital

for successful display. Filtering is particularly helpful in enhancing structural information. Next, extension of these techniques to multispectral image analysis is described. Finally, the problem of information extraction from multispectral images is discussed. Little attempt is made to present the actual application of these techniques to current geologic investigations at JPL; this subject is addressed by two other papers in these proceedings (Refs. 1 and 2).

### COSMETIC PROCESSING

The Landsat MSS (multi-spectral scanner) is composed of six sets of four different sensors, so that six scan lines are acquired simultaneously in each spectral band. Because the six physically different sensors in any given band possess slightly differing response characteristics, it is not surprising that residual striping with a six line pattern remains in the images even after the radiometric correction performed by Goddard. This stripe noise can be distracting, so that some effort to reduce it is worthwhile. While it is not feasible to model it precisely and then remove it, practical procedures do exist for reducing the impact of striping.

The most practical of these approaches is to accumulate separate frequency of occurrence histograms of brightness for each of the six different sensors (these histograms count the number of picture elements having each possible brightness value). Then a different intensity transformation is applied to the sets of lines acquired by each of the sensors. The basic idea is that on the average over an image, each sensor should observe about the same distribution of scene brightnesses. The simplest approach is to force the mean and standard deviation of each sensor distribution to match the mean and standard deviation of the image as a whole. An additional refinement of this method consists of forcing the envelope of each sensor histogram to match the shape of the envelope of the entire image histogram. Figure 1 shows this technique applied to a segment of a Landsat scene including Goldfield, Nevada.

Filtering can also be used to reduce Landsat striping, but is generally less suitable (filtering techniques are discussed in more detail later). One line horizontal "box" filtering will certainly remove striping, but it also removes other desirable vertical frequencies. Vertical convolutional notch filtering is another possibility (primary noise frequencies are 0.166, 0.33 and 0.5 cycles per sample), but a large weight matrix is required to achieve sharp bandpass response. Ringing off sharp brightness boundaries (e.g., clouds) can also be a problem with each of these two methods. Either one or two dimensional Fourier domain notch filtering is also a possibility, although computation time can be a problem.

Striping can also exist in other scanner images (particularly aircraft scanners) acquired with a single sensor (per spectral band) and hence not exhibiting "coherent" six line character. In many cases this striping can also be reduced by using frame average behavior. One technique operates as follows. First, the average brightness value of each line in the image is computed, and the results stored as a new one-column average image. Subtractive box filtering is then used to determine the difference between each element in this one column image and the average of many (perhaps several hundred) values surrounding it. The resulting values represent the variation in average behavior between a given line and those lines surrounding it and can be thought of as additive approximations to the stripe noise. These values are then subtracted from each picture element of the corresponding scan line to reduce the noise. Where the striping is too erratic, sometimes a nearby spectral band can be used to define the average brightness trend. Figure 2 illustrates an application of this technique.

### GEOMETRIC TRANSFORMATION

There are several reasons for performing geometric transformations of images. One common reason is to remove relative distortions in a scene, caused by sensor characteristics or scene geometry, which can produce a confusing non-uniformity in an image. One example of this problem (called panorama distortion) is the variation in both pixel spacing and footprint size across a scan line in a scanner image caused by uniform angular sampling and variation in slant range. Sometimes it is desirable to transform an image to a standard cartographic mapping projection to permit comparison with existing maps or to produce a display more meaningful to other individuals. Or, it may be necessary to register two or more images acquired at different times or by different sensors to permit common analysis.

The computer technique used at IPL to perform geometric transformations first requires definition of the transformation in terms of its effect on each pixel. One method of defining a geometric transformation is by a function which specifies displacement and can be evaluated at each picture element. This approach is used for dealing with panorama distortion (a method for removing panorama distortion is described in detail in Ref. 3). Another procedure is to define the transformation by providing specific displacements for a subset of the pixels in the image (usually some sort of regular grid). Displacements for all other pixels can then be obtained by interpolation.

In either case, since the output (transformed) image must consist of a regular square pixel grid whose elements in most cases do not correspond exactly to any pixel in the original image, resampling must be performed. Resampling is the process of selecting a plausible brightness value corresponding to a non-integral pixel location by examining the brightness at nearby elements. Several resampling techniques are available (Refs. 4 and 5). When the original scene is sufficiently bandlimited (containing no power at frequencies greater than 0.5 cycles per sample in the sampled image), perfect resampling is theoretically possible using sinc functions. Even when the sinc

function is truncated at reasonable limits, however, this approach requires far too much computation time to be realistic in any but special circumstances. Practical alternatives in common use include the nearest neighbor algorithm (the brightness value of the nearest pixel is used), bilinear interpolation, and cubic convolution (using the nearest 16 neighbors). At IPL, bilinear interpolation is most frequently used, although a cubic spline interpolating function is sometimes employed in one-dimensional cases (where only four input samples are required to compute each output value).

Removal of geometric distortion from Landsat images has been described elsewhere (e.g., Refs. 4 and 6). The distortions which are generally removed at IPL are earth rotation (introducing a skew into the image), panorama, roll, aspect ratio, mirror scan velocity non-uniformity and "synthetic pixels" (the latter two can be handled using information in Ref. 7). In all cases, the distortions are modelled, a mapping is defined, and resampling is performed. All of these corrections are particularly convenient to perform since they can all be handled with one-dimensional resampling. In fact, at IPL, these corrections are performed concurrent with initial reformatting of the data, before the destriping operations described previously.

The software used at IPL to transform planetary image data acquired with perspective camera systems to cartographic mapping projections (Ref. 8) is not currently applicable to scanner images taken by Landsat, NOAA, or aircraft scanners. At present, visual inspection of these images is used to determine points in common with existing topographic maps. Relative displacements are obtained for a grid of points sufficient to define the transformation. When a sufficiently regular grid cannot be found readily, polynomials are fit to the displacements of the points which are found, and these polynomials are then evaluated at a set of grid points. Figure 3 shows an aircraft scanner image of Goldfield, Nevada, before and after transformation to a Universal Transverse Mercator projection.

Occasionally it is necessary to register two or more images taken at different times. For example, to produce a thermal inertia image (Ref. 2), it is necessary to register a daytime and a nighttime thermal image to obtain a difference picture. In such cases, correlation between the two images can be computed for local areas surrounding hand selected tie points. At IPL, selection of tie points and the computer correlation are performed interactively, and visual feedback is used to assess the success of the correlation. Once a set of displacements is obtained, a geometric transformation is performed on one of the images, using the techniques described previously.

### CONTRAST ENHANCEMENT

By far the most commonly applied image enhancement procedure is contrast modification. Sensors typically must be designed to handle a wide range of brightnesses without saturating, so that individual scenes often do not utilize the full available range of pixel DN values. Or, a user may be primarily interested in only portions of a scene and wish to emphasize those features. In either case, it is important to fully utilize the available

dynamic brightness range in the display medium. While this contrast adjustment could be performed by varying the transfer function of the display device, it is generally preferable to leave the parameters of the playback device fixed and alter the contrast of the image while it is in digital form.

Contrast enhancement consists of an intensity transformation applied to the image which maps brightness values in the input picture to other values in the output picture, usually according to some formula. A useful analytic device for understanding the effects of contrast enhancement is the intensity frequency histogram. Figure 4a illustrates the histogram of a section of a Landsat frame of a portion of the Chile-Bolivia border with no contrast enhancement. Clearly, only a fraction of the available range is utilized. If this digital image is converted to a film transparency using a fixed transfer function to produce a product with a density range suitable for color reconstruction (e.g., 0 DN = 1.3, 255 DN = 0.15), then a picture similar to that of Fig. 5a results, which is clearly unsatisfactory.

Several contrast enhancement techniques (i.e., methods of specifying the intensity transformation) are in common use. The simplest of these is a linear contrast enhancement in which some value L is mapped to 0 DN, some value H is mapped to the maximum output value (usually 255), and intermediate values are scaled proportionately. Input values extreme of L and H are saturated to black and white respectively. The two stretch limits L and H can be chosen after inspecting the input histogram. Alternatively, a program can accumulate and scan a histogram to determine the two limits defining the stretch. Often this is done by specifying what percentages of the picture are to be saturated black and white. The program then integrates inward from the extremes of the histogram until those percentages have been reached to determine L and H. Another approach is to assign the two input values specified by percentages of the histogram to output values other than extreme black or white. Figure 5b illustrates the results of an automatic linear contrast enhancement in which 4 percent of the histogram was saturated to 0 and 255. The resulting histogram is shown in Fig. 4b.

Non-linear intensity transformation can also be used. Piecewise linear transformations (often called "table stretches"), in which the transfer function is specified for certain values and interpolated linearly between these values, is one convenient method. Carrying this approach to its logical extreme yields the most general form of contrast stretch in which a particular output value is assigned for each possible input value. Contrast modification programs can be designed to produce these tabular transfer functions according to some user specified function, such as logarithmic or power law. Alternatively, after scanning the input histogram, a program can specify a tabular transformation which will produce an output histogram of a certain character, such as a uniform or a Gaussian distribution. Forcing a uniform distribution in the output picture results in the greatest contrast enhancement being applied to the most populated range of brightnesses in the input image. This property makes the uniform distribution stretch particularly useful as a quick look method for evaluating the results of a previous

processing step. The principal difficulties with this approach are that it is sometimes too harsh and that it can result in severe compression of the histogram and a resulting loss of brightness in less populated areas of the input distribution (such as the bright and dark "tails") which are sometimes of particular interest. Figure 5c shows the result of a uniform distribution stretch applied to the Chile-Bolivia test frame. Notice that structural detail of the volcano near the center has been virtually saturated dark. Definition of detail within the extremes of the histogram tends to be preserved or increased more effectively with a contrast enhancement which forces the output histogram to be a Gaussian of a user specified width (standard deviation). There will be correspondingly less emphasis in the central (usually most populated) brightness zone. To the extent that the input distribution is normal, a Gaussian contrast enhancement resembles an automatic percentage saturation linear stretch. A Gaussian stretch can be particularly useful in dealing with a biased, non-symmetric input histogram, such as a log normal distribution. Figure 5d illustrates a Gaussian stretch applied to the test image.

The most effective contrast enhancement in any particular case depends of course on the character of the input histogram and which features in the scene are of greatest interest to the user. For this reason, best results are usually obtained by an experienced human analyst inspecting the image histogram and devising a stretch to meet his needs. The automatic contrast enhancement algorithms are of greatest value when time or sheer volume of work precludes careful human analysis of each input histogram.

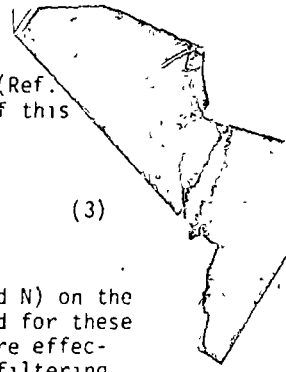
## FILTERING

Filtering can be thought of as any process which differentially modifies image content, tending to emphasize desirable features while suppressing less desirable ones. Most often, filtering is visualized in terms of spatial frequencies, as expressed by the Fourier transform. In these terms, filtering is accomplished by modifying the modulus and/or phase of some or all frequency components.

Linear filters can be implemented either by multiplication in the frequency domain or by the mathematically equivalent procedure of convolution in the spatial domain (Ref. 9). Pratt calculates (Ref. 10) that whenever the convolution weight matrix exceeds about 10 pixels square, frequency domain filtering, including the necessary Fourier transforms, is faster, assuming the transform program is efficiently coded. At the IPL, the existence of a special high speed convolution hardware unit raises this threshold, so that convolution filtering is utilized much more often. Also, Fourier transforms of large images such as Landsat (which also lack a convenient power of two in their dimension), pose logistical problems under the IPL software system.

Notch filtering, i.e., the reduction or removal of specific frequency components, can be helpful in removing coherent noise from an image. Such noise can be introduced by electronic defects in the sensor. Figure 6a shows an image acquired by an aircraft scanner in which coherent noise is a problem. A one-dimensional vertical power





spectrum (Fig. 6b) illustrates the noise spikes. One dimensional vertical notch filtering was then applied to remove these noise frequencies, with the result shown in Fig. 6c (actually for ease in processing, the image was rotated 90 degrees and horizontal filtering performed).

Filtering can also be used to boost high frequency content, thus improving definition of edges in an image. This is particularly useful when analysis is aimed at obtaining structural information from the picture. Sensors are generally less responsive at higher spatial frequencies. For Landsat I, this fall off in response has been measured (Ref. 4) by differentiating across a sharp boundary and obtaining the Fourier transform of this measured point spread function. Response was found to be about 30 percent at the highest spatial frequencies. Where this frequency response is precisely known, e.g., via a Modulation Transfer Function (MTF), restoration filtering can be performed. For a noise free picture, this would be done by multiplying the image transform by the reciprocal of the MTF. In practice, there is noise present, so Wiener filtering, designed to minimize mean square error (Ref. 11), is generally used, so that

$$R(\omega_x, \omega_y) = \frac{M(\omega_x, \omega_y) I(\omega_x, \omega_y)}{M^2(\omega_x, \omega_y) + \left(\frac{1}{S_n}\right)} \quad (1)$$

where R is the reconstructed transform, I is the transform of the input image, M is the MTF, and  $S_n$  is a measure of the system signal-to-noise ratio. At IPL,  $S_n$  is generally approximated by a constant. A typical value for  $S_n$  in Landsat images, measured by principal component analysis (described later) is 8.5. Often precise reconstruction is less important than merely achieving reasonable edge enhancement, and in this circumstance, good judgement is sufficient in designing a high frequency boost filter.

Low frequency (large scale) intensity variations can sometimes tend to obscure the more interesting local detail in an image. When this occurs, low frequency notch filtering can be useful in obtaining a more uniform display of image detail. While Fourier domain notch filtering can be used, a much faster convolution approach is available. This technique, sometimes called subtractive box filtering or simply box filtering, involves computation of the local average brightness in an  $M \times N$  rectangular area centered at each pixel. This average, or low pass, value is then subtracted from the corresponding input pixel to yield the output high pass value, according to

$$y_{ij} = s(1-f)(x_{ij} - \bar{x}_{ij}) + sfx_{ij} + C \quad (2)$$

where  $y_{ij}$  is the output filtered value,  $x_{ij}$  is the input, and  $\bar{x}_{ij}$  is the local average value corresponding to line i and sample j. A scaling factor s is used to reduce integer roundoff effects, while C is an offset (bias) value which permits display of both positive and negative variations. A fraction f of the original image can be optionally retained in the filtered output. A recursive implementation, involving only about six add/subtracts and a divide for each pixel, can

be used to determine the low pass value (Ref. 12). The frequency characteristics  $H(\omega_x, \omega_y)$  of this filter look like

$$H(\omega_x, \omega_y) = 1 - \left(\frac{\sin M\omega_x}{M\omega_x}\right) \left(\frac{\sin N\omega_y}{N\omega_y}\right) \quad (3)$$

Large filter sizes (i.e., values of M and N) on the order of 51 to 201 are commonly used, and for these sizes, only the few lowest frequencies are effectively notched out. Figure 7 shows box filtering applied to remove shading from the noise removed image of Fig. 6. A box size of 151 pixels was used. The problem of applying this technique to multispectral images destined for color compositing is described later.

The box filtering technique can also be used for edge enhancement. If a small filter size (e.g., 5x5) is run and then appropriate percentages of the high pass filtered and the original image are combined, a "pseudo-MTF" filtering operation results. Figure 8 illustrates the technique applied to a segment of a Landsat frame of Iceland.

Caution must be exercised in applying the box filtering procedure, and particularly in interpreting the results, since artifacts can be introduced (Ref. 13). Perhaps the most offensive of these is a preferred directional enhancement, which is particularly noticeable in smaller one-dimensional filters. Figure 9 illustrates the problem, which apparently is caused by the side lobes in the  $(\sin \omega)/\omega$  frequency character of the filter. When larger, square filters are used, the problem is minimized.

Figure 10, showing the Altyn Tagh fault zone in China, illustrates the improvement which can be obtained when filtering is performed carefully. Here, low frequency notch filtering and high frequency enhancement were combined.

#### MULTISPECTRAL ENHANCEMENT AND COLOR DISPLAY

The use of color provides a dramatic increase in the amount of information that can be displayed in an image. Color compositing is also a convenient way to display multispectral images (assuming spatial registration). A different spectral band can be displayed in each of the primaries (blue, green and red) in an additive compositing system, or their complements (yellow, magenta and cyan) in a subtractive system. Variations in spectral response of various materials in the scene then show up as color differences in the composite image, even though colors in the image may bear no similarity to the actual colors of these materials.

Functions of several spectral bands can also be displayed as color composites. Ratios of two spectral bands have proven useful in geologic analysis (Ref. 14) largely because intensity variations due to topography are suppressed so that subtle spectral variations are more apparent. Three different ratio images can be composited in the same manner as three raw spectral bands. Ratio color composites are particularly convenient for displaying Landsat data since all four bands can contribute to the display (e.g., blue = 4/5, green = 5/6, red = 6/7).

Producing an effective display in a color composite image involves several problems which parallel those of black and white image enhancement, but are more complex since more than one component is involved. Contrast enhancement is almost always required. Occasionally filtering is needed. And a problem unique to color is the selection of appropriate functions of the original data which will produce the most informative display. Before discussing these problems, it will be helpful to discuss some color coordinate systems and methods of analyzing color.

### Color Coordinate Systems

When three images are used to modulate light in primary colors to produce a color additive composite, the brightness values in each of the component images are called tristimulus values. When two different display devices are employed and use a slightly different set of primaries, then somewhat different tristimulus values are required to obtain equivalent colors. Given the nature of the primaries, it is possible to find transformations (Refs. 15 and 10) relating the two sets of tristimulus values. When an image is displayed temporarily on one device, e.g., a television monitor, but a final product is produced on another device, such a transformation can be useful in maintaining visual consistency.

Another useful set of coordinates is the chromaticity coordinate system. If B, G and R are the tristimulus coordinates (i.e., the original component image brightness values), then

$$\begin{aligned} b &= \frac{B}{B+G+R} = \frac{B}{I} \\ g &= \frac{G}{B+G+R} = \frac{G}{I} \\ r &= \frac{R}{B+G+R} = \frac{R}{I} \\ I &= B + G + R \end{aligned} \quad (4)$$

are chromaticity coordinates. Since  $b+g+r = 1$ , these three values are not independent. Usually  $g$ ,  $r$ , and  $I$  are used as an independent set. In this system, perceived color has been relegated to only two dimensions, with intensity ( $I$ ) being the third.

A chromaticity diagram or distribution is a useful device for assessing image color characteristics, much as a histogram is helpful in analyzing black and white pictures. Figure 11 illustrates the format of a chromaticity diagram. The two color components  $g$  and  $r$  are plotted in a cartesian system. Points within the triangle represent colors which are realizable with the three primaries. A color composite image can be scanned and the frequency of occurrence of the various ( $g,r$ ) combinations counted and stored as a brightness value at the corresponding point in the chromaticity diagram. This chromaticity distribution can then be displayed as an image and used to evaluate color content.

Many other color coordinate systems have been defined and used for a variety of applications (again see Refs. 15 and 10). One other system which has proven useful at IPL is a form of hue, saturation and intensity (H,S,I) system (Ref. 4). Perceptually, hue defines the basic color (e.g., blue or yellow), while saturation measures the degree of whiteness (low saturation indicates pastel colors). If the tristimulus coordinates (B,G,R) are viewed as occupying the positive octant of a three-dimensional cartesian space, then hue and saturation are best visualized by imagining a superimposed cylindrical coordinate system with the origin coincident with the tristimulus origin and with a north polar axis that is identical to the achromatic ( $B = G = R$ ) axis. In this cylindrical system, hue is the longitude of the point in the color space, while saturation is the colatitude (angle away from the achromatic axis subtended at the origin), normalized by the maximum saturation possible at that intensity (this varies since each tristimulus coordinate has a maximum value). Intensity is ideally the Euclidean distance of the point from the origin, but for computational reasons, is defined essentially the same as for chromaticity coordinates (i.e.,  $I = (B+G+R)/3$ ). An H,S,I system can be convenient to work with since these quantities are all important parameters in human visual perception. Manipulating colors in this space can thus produce results which are more predictable in appearance.

### Contrast Enhancement for Color Display

As for black and white, images must be contrast enhanced to produce a good color display. To obtain a good balance and range of colors in the image, it is desirable to center the chromaticity distribution about the achromatic point and attain a reasonable spread or variation in saturation. Best results are also usually obtained when the basic shape of the chromaticity distribution is not distorted too severely. A non-uniform shape in this distribution often results naturally from the prevalence of a certain material or vegetation regime, and distorting the distribution can obscure this natural differentiation. Thus the apparently obvious procedure of forcing a uniform distribution of points on the chromaticity diagram is often not productive. As well as obtaining spread in the color coordinates, contrast should also be increased in the intensity component, usually in a monotonic relationship to the intensity in the raw scene (although an exception will be described).

It is not necessary to transform color images to chromaticity coordinates to obtain successful contrast enhancement. Contrast stretching of the individual tristimulus component images (i.e., blue, green and red) can produce good results, especially when certain helpful rules of thumb are followed. Generally, good results are obtained by stretching the three component images so that the shapes of the three histograms look similar (to produce good color variation) and each individual image has appropriate contrast when viewed as a black and white image (to insure adequate intensity variation). This can be accomplished either by hand selected stretches for each band (once again, manual selection by an experienced analyst usually produces superior results) or by use of one of the histogram normalization stretches. Use of the uniform

distribution stretch tends to produce high saturation (due to the wide dispersion this technique introduces into each component), which can be favorable or not depending on the scene. The major disadvantages are the same as for black and white, namely a tendency toward excessive contrast and a potential for loss near the tails of the distribution. The Gaussian stretch generally produces a more equal treatment of each section of the histogram, with consequently less saturation. The mean of each component image should be assigned to mid-gray or higher. Figure 12 presents chromaticity diagrams before and after stretching of a color composite Landsat scene. A uniform distribution stretch was used.

Occasionally, more exotic techniques are useful; sinusoidal stretching (Ref. 16) is an example. This technique applies an intensity transformation defined by a multicycle sine function (so that for increasing input values, output brightnesses rise to maximum, fall off, rise again, and so forth). For color compositing, usually a different number of cycles is used for stretching each color component. This method can be useful whenever contouring (resembling that produced by left bit shifting for black and white images) is desired, or the user is interested in emphasizing subtle differences. Major drawbacks are that large scale feature boundaries tend to be lost in the maze of color, and the same color in two areas of the output image can result from different combinations of the input components, so that analogies cannot be drawn easily.

In some cases, a more controlled form of zonal stretching produces good results. For certain Landsat scenes of Iceland, Abrams (Ref. 17) has observed that the histogram of each spectral band is trimodal, thus providing effective separation between water, open ground, and areas of snow and ice cover. By carefully spreading each of these histogram zones to encompass the full brightness range in the output for each of the three color components, good color differentiation with color consistency is obtained within each zone (Ref. 13).

### Color Filtering

Some filtering processes, such as MTF restoration filtering, can be conducted on the individual component images of a color composite with good results. In other cases, however, color filtering presents problems. Large scale brightness variations which mask local detail can be a problem in color pictures just as with black and white. The standard monochromatic solution, i.e., low frequency notch filtering, in particular subtractive box filtering, cannot be applied separately to the three components without encountering two major problems: loss of color information and a new artifact, color ringing.

The reason for loss of color is easy to visualize in the case of box filtering. After box filtering, the average brightness of any region of the image whose size is on the order of the filter size will be the midgray DC bias value. Thus any region of color in a composite of filtered images will be restricted in scale to less than the filter size. For smaller filter sizes, the resulting image can appear gray overall, with small local flecks of color. Many of these small color zones are due to the second problem, color ringing. This

artifact occurs when, due to a color boundary, there is a strong brightness transition in one or two but not all of the components. After filtering, ringing becomes evident in these components, but not in those without the transition. The appearance of the artifact is a zone of heightened saturation bordered by an induced area of the complementary color.

Both of these problems can be solved by observing that only the intensity constituent of the image requires filtering; it would be best to preserve color as much as possible. This objective can be attained (Ref. 18) by transforming the color image to either the chromaticity coordinates or the hue, saturation and intensity coordinates described earlier. Color information is isolated from intensity information, which is then filtered separately. A reverse transformation is then performed before display.

The principal advantage of the H,S,I system is that the two color components are important perceptually. Thus operations can be performed on the hue and saturation images during the same step, with reasonably predictable results. The chief advantage of the chromaticity approach is that it is computationally faster, since the actual transformation can in fact be avoided. Letting the subscript D represent a processed component ready for display and the subscript F represent a filtered component, then from Eq. (4):

$$\begin{aligned} B_D &= bI_F = \left(\frac{B}{I}\right)I_F = B\left(\frac{I_F}{I}\right) \\ G_D &= G\left(\frac{I_F}{I}\right) \\ R_D &= R\left(\frac{I_F}{I}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

(where image operations are performed pixel by pixel). Thus each of the original tristimulus components need only be multiplied by the coefficient image ( $I_F/I$ ). In practice at IPL, where there exists a picture ratioing program capable of automatic scaling, the operations are usually performed in the order

$$\begin{aligned} I_R &= \frac{I}{I_F} \\ B_D &= \frac{B}{I_R} \\ G_D &= \frac{G}{I_R} \\ R_D &= \frac{R}{I_R} \end{aligned} \quad (6)$$

Another advantage of the chromaticity approach is that it can conveniently be extended to an arbitrary number of multispectral components, according to

$$\begin{aligned} M_D^{(1)} &= M^{(1)}\left(\frac{I_F}{I}\right) \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned}$$

$$M^{(n)} = M^{(n)} \begin{pmatrix} I \\ F \\ I \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M^{(i)}$$

After filtering, the individual components can then be displayed in any desired combination.

#### CLASSIFICATION AND MULTISPECTRAL TRANSFORMATIONS

The preceding sections have all dealt with processing techniques designed to solve certain classes of image analysis and display problems. The most important criterion in evaluating any image processing effort, however, is its success in better defining that information in the scene which is most important and meaningful to the user. Thus, considerable study has been devoted at JPL to determining which methods are most effective in extracting and displaying information of geologic significance from multispectral images, particularly with regard to lithologic mapping.

The techniques of mathematical pattern recognition naturally come to mind as a potential approach to categorizing surface materials based upon multispectral observations. Actual classification is one possible application of pattern recognition methodology. This can be implemented either by searching for naturally occurring groupings (i.e., cluster analysis) or by differentiating among different units based upon statistical properties observed within a known subset of the data (i.e., training). An alternative approach is to use pattern recognition or feature selection techniques to determine which subset of the multispectral data (including combinations of the original spectral bands) is most useful in isolating the groups of interest. These most significant component images can then be color composited for analysis.

#### Classification

The objective of automated classification as applied to multispectral images is to group observed materials into meaningful categories based on similarities in their spectral response characteristics. The  $n$  spectral bands comprising the data can be thought of as defining an  $n$ -dimensional cartesian space. Each element in the scene then corresponds to the point in the  $n$ -space whose coordinates are given by the brightness values at that pixel in each of the component spectral images. Thus the Landsat MSS, which acquires four spectral images, defines a four-dimensional pattern space. Classification is accomplished by partitioning this  $n$ -space into several disjoint regions, one for each class. Unknown points are classified by determining which region they occupy.

One approach to classification is to use the unknown data itself (actually usually a subset of the data) to define the naturally occurring groupings within the data. This approach is termed unsupervised classification, since predefined differences in certain specified characteristics do not govern the grouping. A variety of tech-

niques are available (Ref. 19) to find the naturally occurring clusters of data points in  $n$ -dimensional pattern space.

A different approach, called supervised classification, consists of using a set of "prototype" points, whose correct classification is known, to define decision boundaries for classifying other unknown points. A variety of supervised techniques are available (Ref. 20). One technique used at JPL is the Bayesian maximum likelihood algorithm, which classifies an unknown point  $\underline{x}$  in that class  $S_K$  such that

$$h_K P(\underline{x}/S_K) P(S_K) \quad (8)$$

is maximized, where  $P(S_K)$  is a known a priori probability for the occurrence of class  $S_K$ , and  $h_K$  is a weighting factor allowing correct classification in certain classes to be emphasized relative to others. The probability  $P(\underline{x}/S_K)$  that the unknown point is in class  $S_K$  is usually assigned a Gaussian distribution

$$P(\underline{x}/S_K) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\phi_K|^{\frac{1}{2}}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\underline{x} - \underline{\mu}_K)^t \phi_K^{-1} (\underline{x} - \underline{\mu}_K) \right] \quad (9)$$

where the class means  $\underline{\mu}_K$  and covariance matrices  $\phi_K$  are determined by training using the known prototype points. In a variation of this approach, Addington (Ref. 21) has devised a hybrid classifier which combines a parallelepiped partitioning algorithm with the Bayesian decision rule. The parallelepiped algorithm is applied first, and its results actually used to eliminate unlikely alternatives. Many applications of the Bayes algorithm are thus eliminated, with an appreciable savings in computer time.

These classification techniques have been applied to a test site in Northern Arizona, using Landsat multispectral images, to assess their value in lithologic mapping (Ref. 19). Results were unsatisfactory: only about 50 percent of the study area was mapped correctly. The primary reasons for this failure are the gradational and non-homogeneous nature of geologic units, and the presence of vegetation. Another important reason is that, for the geologic units involved, there simply is not much variation in that part of their spectral response characteristics detected by the Landsat bands.

#### Feature Selection

A somewhat different approach to information extraction is to use the methods of pattern recognition and feature selection to determine which spectral bands, or which functions of spectral bands provide the best separation of classes. These bands or functions can then be enhanced and color composited for display. The trained eye of the geologist can then still be used to take advantage of spatial correlation and contextual relationships.

One useful set of procedures is described by Siegal (Refs. 19 and 22). One of these techniques

employs a multiple group discriminant analysis procedure to determine, in a stepwise manner, which dimensions in pattern space are the most effective in promoting separability. Each added dimension is evaluated in terms of the ratio of between group and within group dispersion (variances) in the resulting subspace with the objective of maximizing this ratio. This technique can be applied, for example, to indicate which three of the six Landsat ratio bands (4/5, 4/6, 4/7, 5/6, 5/7, 6/7) would be best for discriminating between certain classes of material. The method has also been applied to field acquired spectral reflectance data in the wavelength region 0.45 to 2.4 microns to determine which spectral bands within this region would be most effective in geologic mapping (Ref. 23), and, in fact, bands substantially superior to the Landsat bands have been found. Another of the procedures first normalizes each dimension in pattern space to equalize observed dispersion, then performs a canonical transformation (principal component transformation) to find which linear combinations of the original coordinates produce the greatest separation of the groups. The first three principal components can then be displayed as a color composite.

Principal component analysis has also been applied to images without using training areas. In this case, the entire image is treated as belonging to a single class and a covariance matrix  $C = [c_{ij}]$  describing the second order multivariate statistics is computed according to

$$c_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_i^{(k)} - \bar{x}_i) (x_j^{(k)} - \bar{x}_j) \quad (10)$$

where  $x_i^{(k)}$  is the  $k^{\text{th}}$  pixel of the  $i^{\text{th}}$  component image, and  $\bar{x}_i$  is the mean of the  $i^{\text{th}}$  component. Then the equation

$$KC = \lambda K \quad (11)$$

is solved to obtain the eigenvectors  $K_i$  and eigenvalues  $\lambda_i$  of  $C$  (where  $i$  ranges over the  $n$  spectral components). The resulting eigenvector matrix  $K$  is then used to transform pattern space, this transformation is also known as a Karhunen-Loeve transformation (Ref. 24). Effectively the processes  $KK^T$  diagonalizes the covariance matrix, thus removing the correlation which existed among the original spectral bands. Intuitively, it seems reasonable to expect (Ref. 25) that being uncorrelated, the first three principal components (those with the largest  $\lambda_i$  and hence the greatest variance) should contain more information than any three of the  $n$  original components. Since the process is not supervised by use of known prototypes from different classes, there is no guarantee that better separation between materials of interest will be present in a principal component color display. In one interesting variation, Fontanel, et al. (Ref. 26) have performed a classification, then a principal component analysis applied separately (in a zonal fashion) to that spatial region defined by each class, to achieve an enhancement of information within that class.

An additional application of principal component analysis is in evaluation of signal-to-noise ratios. Since the Karhunen-Loeve transformation

is unitary, total variance is preserved (Ref. 27). Visual analysis suggests that the last principal component (component 4 in the case of Landsat) is often almost entirely noise. Thus the variance of one of the original components can be divided by the eigenvalue of the last principal component to give a measure of the signal-to-noise ratio in the original band. The square root of such a value was quoted earlier in this paper.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The efforts of many individuals have been devoted to developing and applying the processing techniques described in this paper. Alex Goetz and Fred Billingsley initiated JPL's efforts in computer analysis of remote sensing imagery for geological applications. Richard Blackwell and John Addington defined the coherent noise removal procedure. Ron Alley, Michael Morrill, Peter Paluzzi, Bill Parkyn, Arnold Schwartz, and Gary Yagi have all contributed programming or processing effort.

This paper presents the results of one phase of research conducted at the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, under Contract No. NAS 7-100, sponsored by the National Aeronautics and Space Administration.

#### REFERENCES

1. Goetz, A.F.H., "Use of Landsat Imagery for Geological Analysis," in these Proceedings
2. Kahle, A. B., "Thermal Inertia Mapping Using Remote Sensing," in these Proceedings.
3. Gillespie, A. R., and Kahle, A. B., "The Construction and Interpretation of a Digital Thermal Inertia Image," submitted for publication.
4. Goetz, A.F.H., Billingsley, F. C., Gillespie, A. R., Abrams, M. J., Squires, R. L., Shoemaker, E. M., Lucchitta, I., and Elston, D. P., "Application of ERTS Images and Image Processing to Regional Geologic Problems and Geologic Mapping in Northern Arizona," Jet Propulsion Laboratory Technical Report 32-1597, 1975.
5. Bernstein, R., "Digital Image Processing of Earth Observation Sensor Data," IBM Journal of Research and Development, Vol. 20, No. 1, pp. 40-57, January 1976.
6. Bernstein, R., "Scene Correction (Precision Processing) of ERTS Sensor Data Using Digital Image Processing Techniques," Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Vol. 1, Section B, NASA SP-351, pp. 1909-1927, December 10-14, 1973.
7. Earth Resources Technology Satellite Data Users Handbook, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, 1972.
8. Elliott, D. A., "Digital Cartographic Projection," in these Proceedings
9. Bracewell, R., The Fourier Transform and Its Applications, McGraw-Hill, 1965

10. Pratt, W. K., Digital Image Processing, J. Wiley and Sons, Inc., to be published 1977.
11. Helstrom, C. W., "Image Restoration by the Method of Least Squares," J. Opt. Soc. Amer., Vol. 57, No. 3, pp. 297-303, 1967.
12. Gillespie, A. R., and Goetz, A. F. H., "Digital Filtering: Pitfalls and Possibilities," presented at the 2nd International Conference on the New Basement Tectonics, University of Delaware, 1976 (written manuscript in preparation).
13. Seidman, J. B., "Some Practical Applications of Digital Filtering in Image Processing," Proceedings of the Symposium of Computer Image Processing and Recognition, Vol. C, Department of Electrical Engineering, University of Missouri, Columbia, MO, 1972.
14. Rowan, L. C., Wetlaufer, P. H., Goetz, A. F. H., Billingsley, F. C., and Stewart, J. H., Discrimination of Rock Types and Detection of Hydrothermally Altered Areas in South-Central Nevada by the Use of Computer-Enhanced ERTS Images, Geological Survey Professional Paper 883, U.S. Government Printing Office, 1974.
15. Wyszecki, G., and Stiles, W. S., Color Science, J. Wiley and Sons, Inc., 1967.
16. Berlin, G., Chavez, P., Grow, T., and Soderblom, L., "Preliminary Geologic Analysis of Southwest Jordan from Computer Enhanced Landsat-I Image Data," Proceedings of the American Society of Photogrammetry, 42nd Annual Meeting, February 22-28, 1976.
17. Abrams, M. J., and Siegal, B. S., "Lithologic Mapping," in Remote Sensing in Geology, B. S. Siegal and A. R. Gillespie, eds., J. Wiley and Sons, Inc., in preparation.
18. Soha, J. M., Gillespie, A. R., and Abrams, M. J., "Color Image Filtering and Enhancement," in preparation.
19. Siegal, B. S., and Abrams, M. J., "Geologic Mapping Using LANDSAT Data," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 42, No. 3, pp. 325-337, March 1976.
20. Andrews, H. D., Introduction to Mathematical Techniques in Pattern Recognition, J. Wiley and Sons, Inc., 1972.
21. Addington, J. D., "A Hybrid Classifier Using the Parallelepiped and Bayesian Techniques," Proceedings of the American Society of Photogrammetry, 41st Annual Meeting, Washington, DC, March 9-14, 1975.
22. Siegal, B. S., "Techniques and Applications of Discriminant Function Analysis for Geologic Mapping Using Landsat Multispectral Data," submitted for publication.
23. Siegal, B. S., Abrams, M. J., Kahle, A. D., and Goetz, A. F. H., "Computer Analysis and Applications of Field-Acquired Spectral Reflectance Data," Symposium on the Application of Computer Methods in the Mineral Industry, Pennsylvania State University, October 4-8, 1976.
24. Pratt, W. K., "Spatial Transform Coding of Color Images," IEEE Trans. on Communication Technology, Vol. COM-19, No. 6, pp. 980-992, December 1971.
25. Taylor, M. M., "Principal Components Colour Display of ERTS Imager," Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351, Vol. 1, Section B, pp. 1877-1897, December 10-14, 1973.
26. Fontanel, A., Blanchet, C., and Lallemand, C., "Enhancement of Landsat Imagery by Combination of Multispectral Classification and Principal Component Analysis," Proceedings of the NASA Earth Resources Survey Symposium, Vol. I-B, pp. 991-1012, Houston, TX, June 1975.
27. Ready, P. J., and Hintz, P. A., "Information Extraction, SNR Improvement, and Data Compression in Multispectral Imagery," IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-21, No. 10, pp. 1123-1131, October 1973.



Figure 1a. Landsat scene of Goldfield, Nevada, with six line striping.

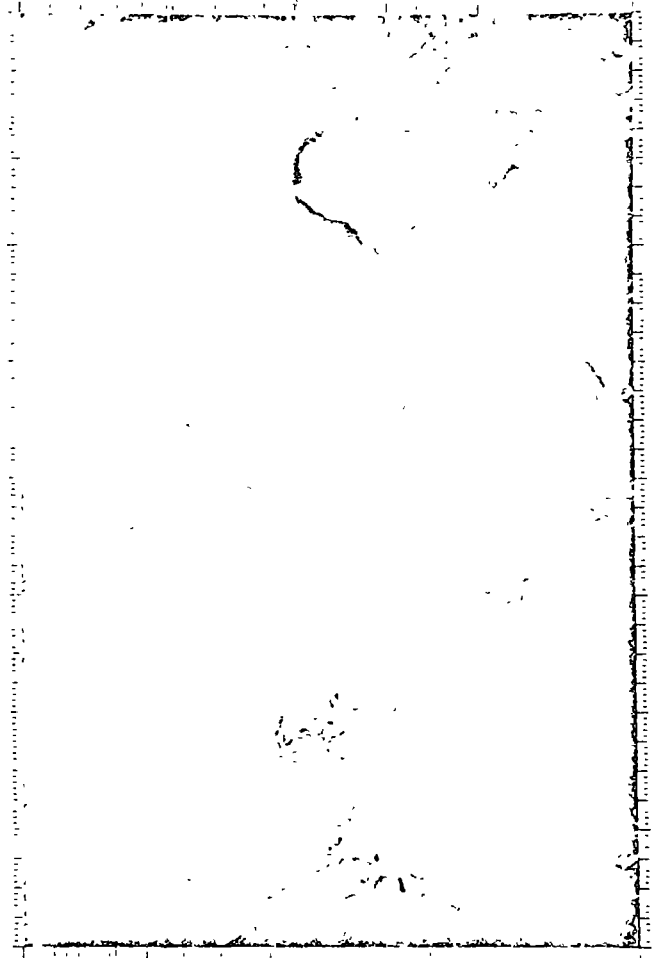


Figure 1b. Striping has been reduced by forcing sensor distributions to match.

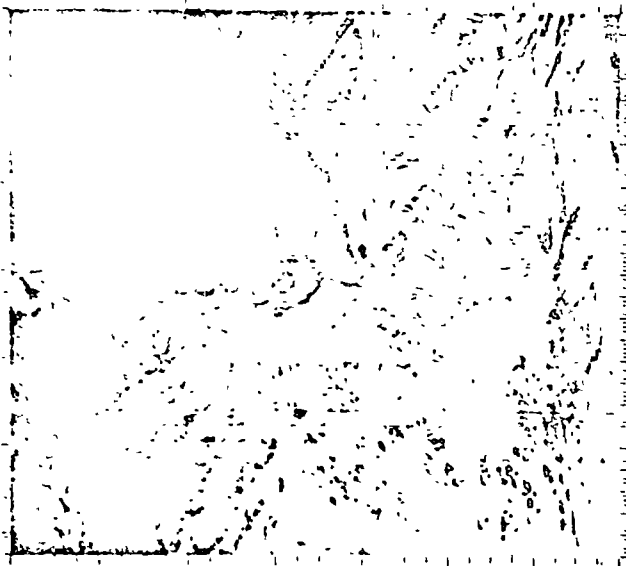


Figure 2a. An aircraft scanner image with stripe noise.

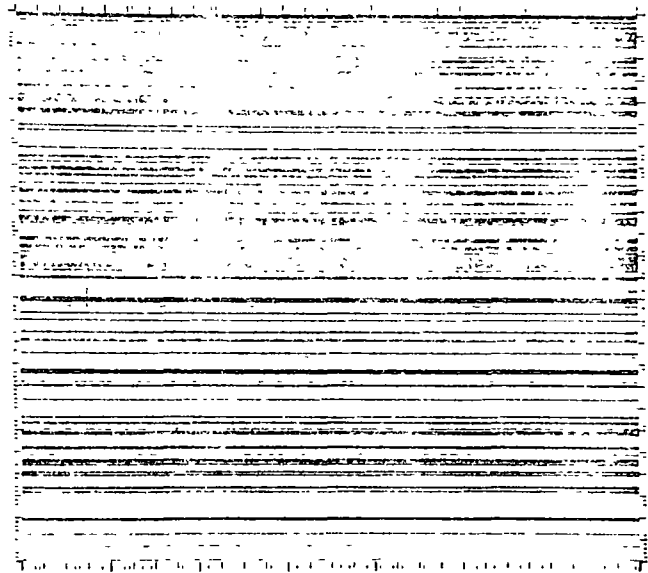


Figure 2b. An additive approximation to the stripe noise can be obtained by vertical high pass filtering of line averages. The resulting noise component shown here has been contrast enhanced for display.



Figure 2c. The scanner image with noise subtracted.



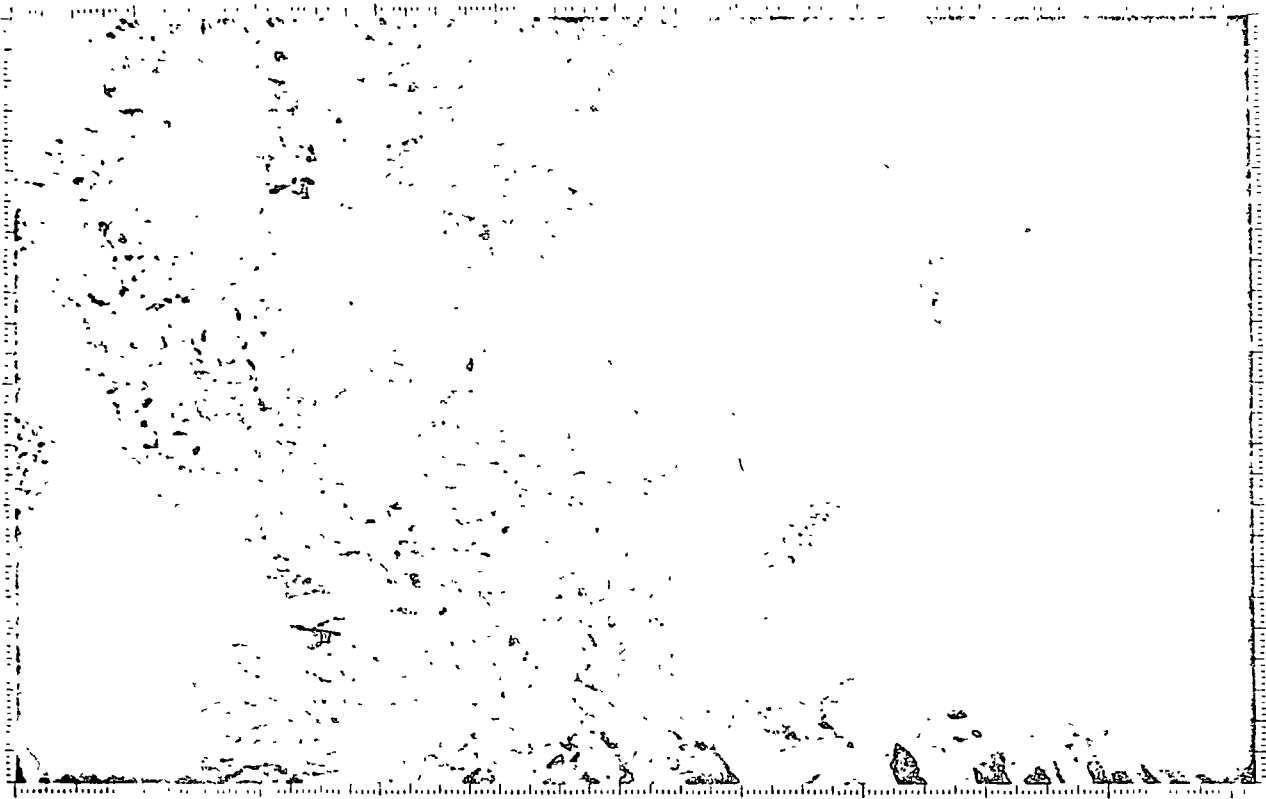


Figure 3a. An aircraft scanner image of Goldfield, Nevada.



Figure 3b. The Goldfield image after geometric transformation to a Universal Transverse Mercator projection

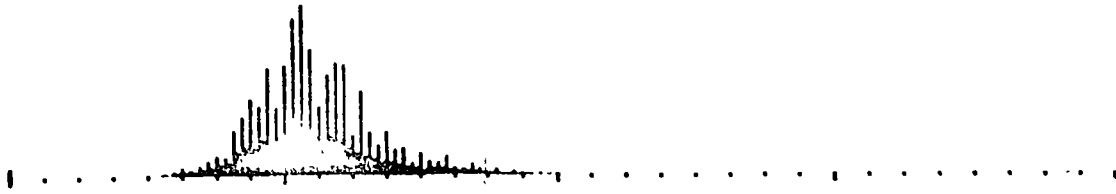


Figure 4a. Histogram of the original Landsat scene of Figure 5a.

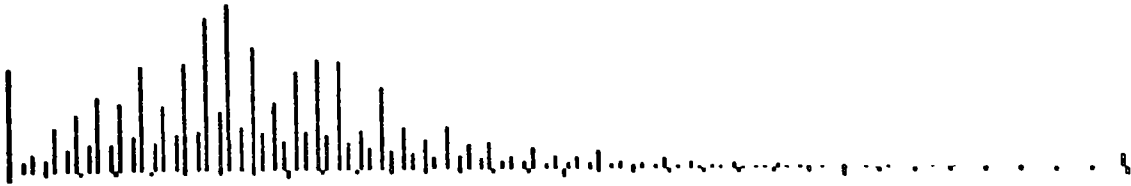


Figure 4b. Histogram of the same scene after an automatic percentage saturation contrast stretch (image shown in Figure 5b).

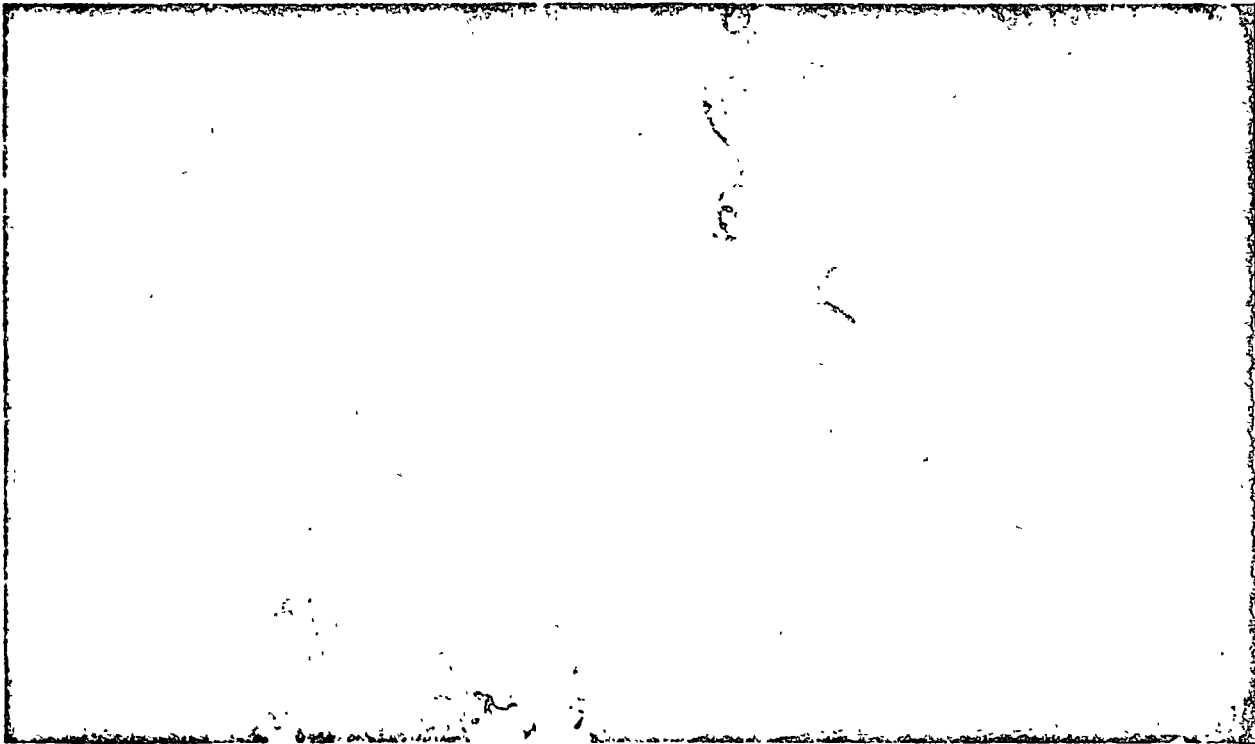
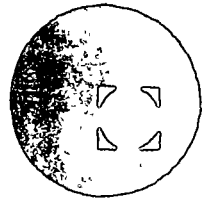


Figure 5a. A Landsat scene of the Andes at the border of Chile and Bolivia, shown with no contrast enhancement. Contrast is insufficient.



centro de educación continua  
división de estudios superiores  
facultad de ingeniería, unam



FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS

DESIGN SPECIFICATIONS: LANDSAT-C

COMPLEMENTO  
NOVIEMBRE, 1977.

DESIGN SPECIFICATIONS

LANDSAT-C

Landsat-C is the third mission in a program to develop and maintain global satellite coverage in the earth resources disciplines for a variety of users.

The Landsat-C observatory is an earth pointing stabilized spacecraft consisting of integrated subsystems that provide the power, environment, orbit maintenance, attitude control and information flow required to support the payload for a period of at least one year in orbit. It weighs approximately 960 kilograms (2116 pounds) and has an approximate overall height of 3.04 meters (10 feet) and a diameter of 1.52 meters (5 feet), with solar paddles extending out to a total of 3.96 meters (13 feet).

The sensors selected for this mission are the five-band Multispectral Scanner (MSS), the two-camera Return Beam Vidicon (RBV), and the Data Collection System (DCS) receiver and transmitter. The MSS images the surface of the earth in several spectral bands simultaneously through the same optical system. The MSS for Landsat-C has four bands operating in the reflected solar spectral region from 0.5 to 1.1 micrometer wavelength, and a fifth band from 10.4 to 12.6 micrometers in the emitted infrared range. It scans cross-track swaths of 185 kilometers (100 n.m.) width simultaneously imaging six scan lines across in each of the first four spectral bands and two lines in the fifth band.

The MSS is used on all three missions; for the first two (Landsat-1 and 2), the four spectral bands have been designated bands 4, 5, 6 and 7 (the multispectral RBV bands were designated bands 1, 2 and 3).

For the Landsat-C mission, a fifth band (band 8) 10.4 to 12.6 micrometers, is added in the thermal (emissive) spectral region. This band uses mercury-cadmium-telluride, long-wave IR detectors that are cooled to approximately 100°K by a passive radiation cooler. The dimensions that can be resolved in this band are about three times larger (240 m) than for bands 4 through 7. Energy is accepted through a slit near the fiber optics matrix and conducted by relay optics onto the detectors which form the field stops. The 5-band MSS has 26 video channels.

The Return Beam Vidicon (RBV) system for Landsat-C provides panoramic earth images with nominally a factor of two improvement in ground resolution compared to the Landsat-1 and Landsat-2 multispectral RBV systems.

The ground resolution of the Landsat-1 and 2 RBV systems is nominally 80 meters. The increase in ground resolution to 40 meters is achieved by doubling the focal length of the lens system, halving the exposure time to reduce the effect of ground spearing, and removing the spectral filters, thus doubling the incoming energy to compensate for the faster exposure times.

The RBV system for Landsat-C contains two identical cameras that operate in the spectral band from .50 to .75 micrometers.

The two cameras are aligned to view adjacent nominal 98 km (53 n.m.) square ground scenes with a 14 km slidelap yielding a 133 x 98 km scene pair. Two successive scene pairs will nominally overlap each MSS frame. The four RBV scenes which nominally fill each MSS frame will be designated A, B, C and D.

The Data Collection System (DCS) provides the capability to relay and disseminate data collected by remotely located earth based sensors. The system involves remote Data Collection Platforms (DCP), satellite relay equipment, ground receiving site equipment, and a ground data handling system.

The DCP is connected to individual environmental sensors which are selected and provided by the user. The DCP transmits the sensor data, which are relayed to a ground receiving site through an on-board receiver/transmitter. In the U. S., the receiving site equipment decodes and formats the data for transmission to the Ground Data Handling System (GDHS) at Greenbelt, Maryland. In the Operations Control Center (OCC), the data are reformatted, written on magnetic tape, and passed to the NASA Image Processing Facility (NIPF) for further processing, then disseminated to the user agencies. DCS decoding equipment could be added to foreign Landsat receiving stations which would permit the use of the Landsat DCS system in areas outside North America. The DCS is designed to assure that the probability of receiving at least one valid message from any DCP every 12 hours is at least 0.95 for as many as 1,000 DCP's located throughout the United States.

Attachment A

MSS PERFORMANCE CHARACTERISTICS

## BANDS 4, 5, 6, and 7

## SPECTRAL BANDS

4	.5 - 6 $\mu$ m
5	.6 - .7 $\mu$ m
6	.7 - .8 $\mu$ m
7	.8 - 1.1 $\mu$ m
Instantaneous Field of View (IFOV)	86 x 86 m radians
Number and type of detectors	
Band 4, 5, and 6	6 photomultiplier tubes
Band 7	6 Silicon photodiodes
Information Bandwidth	42.3 KHz per detector
Sampling Rate (each Detector)	100,418 sample per second
Quantization	6 Bits
Samples per line	3317
Nominal Aperture Diameter	22.8 cm (9 inches)
f/no	3.6
Ground Resolution Element	78 meters (260 feet)
Swath Width	185 km (100 nm)
MTF, minimum	0.29 for 0.075 mr sinusoidal bars
Inflight calibration	(a) Internal lamp sources (b) Sun
-Gain steps	- Commanded to step between x1 and x3 (in Bands 4 and 5 only) - linear mode or compressed mode (Bands 4, 5, and 6 only)

Attachment A

MSS PERFORMANCE CHARACTERISTICS

(Band 8)

Spectral Band	10.4 to 12.6 $\mu\text{m}$
Dynamic Range (Scene Apparent Temperature)	260 <sup>o</sup> K to 340 <sup>o</sup> K
Instantaneous Field-of-View	0.26 x 0.26 m radians
Number of Detectors	2
Information Bandwidth	14.1KHz
Effective Aperture	308 $\text{cm}^2$
f/no	1.9
Ground Resolution Element	238 meters (780 feet)
Lines/Scan	2
Swathwidth	185 km (100 nm)
Detector Material	Hg Cd Te (Mercury-Cadmium Telluride)
NEP (Noise Equivalent Power)	$2.5 \times 10^{-10}$ watts
Responsivity	3100 V/Watt (nom)
Cooler FOV	72 <sup>o</sup> x 100 <sup>o</sup>
Cooler	Passive Radiator
Detector Operation Tem.	100 $\pm$ 10 <sup>o</sup> K
NEAT (Noise Equivalent Temperature Difference)	1.52 <sup>o</sup> K for 300 <sup>o</sup> K scene
MTF (Modulation Transfer Function) minimum	0.29 for 238 meter sinusoidal bars
In flight Calibration	a. Ambient black body. b. Reflected detector
Gain Steps	Commandable in eight (8) gain levels in increments of 1.22 (i.e., 1.0, 1.22, 1.22 <sup>2</sup> ... 1.22 <sup>7</sup> )

Attachment A

LANDSAT-C RBV: FUNCTIONAL CONSTANTS SUMMARY

o Landsat-C Orbit Altitude	911.8 km (492 n.m.)
o Imaging Tube	2" RBV
o Deflection Focus	Electromagnetic
o Imaging Size on Target	25.4 mm x 25.4 mm
o Number of Cameras	2
o Ground Coverage/Camera	98 x 98 km
o Highlight Irradiance	2,013 - $\text{mw}/\text{cm}^2$ - sr
o Spectral Coverage	.505 - .750 micrometers
o Lens Effective Focal Length	236 mm
o Horizontal Limiting Resolution (CNIR)	4500 TV Lines (90 Lines Per mm)
o Edge Resolution	80 % of Center
o Read Horizontal Line Rate	1250 Lines Per Sec.
o Active Horizontal Lines	4125 Per Image
o Video Bandwidth	3.2 MHz
o Shading	$\pm$ 15% within 25.4 mm DIA Circle $\pm$ 25% Elsewhere
o Residual Image	$\angle$ 1%
o Image Distortion	$\pm$ 1%
o Aspect Ratio	1:1 at Set-up
o Skew	$\angle$ $\pm$ 0.5 <sup>o</sup>
o Size and Centering	$\angle$ $\pm$ 2%
o Peak Signal/RMS Noise	33 dB
o Erase/Prepare/Expose/Read Out	Staggered for 2 Cameras

Attachment A

LANDSAT-C REV: FUNCTIONAL CONSTANTS SUMMARY

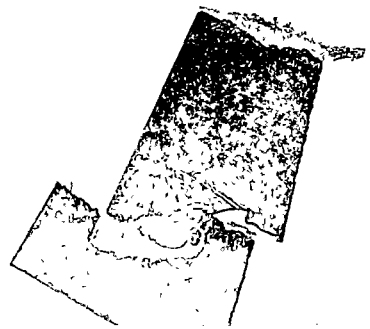
(Continued)

- o Two Camera Cycle Rate        12.5 Sec
- o Erase Time                    0.5 Sec
- o Prepare Time                 8.5 Sec
- o Total Read Out Time         3.5 Sec  
  Per Exposure
- o Available (By Command)      2.4, 4, 5.6, 8, or 12 ms  
  Exposure Time
- o Nominal Exposure Time        5.6 ms

DCS PERFORMANCE CHARACTERISTICS

- o Transmitter Power Output    5 watts
- o Nominal Transmitter Frequency 401.9 MHz
- o Maximum Number of Sensor    8  
  Inputs
- o Number of Quantization Levels 256 (8 bits)  
  Per Sensor
- o Total Sensor Data Capacity   64 bits  
  Per Platform

Attachment A



Attachment B

SATELLITE SCHEDULE OPERATIONS

At the beginning of each day the activity plans for that day are generated by the Operations Control Center (OCC) for each orbit's operation, based on sensor coverage requirements, observatory and payload status, network availability and the current cloud-cover predictions. Tracking and orbit adjust requirements, when required, are integrated with the coverage planning. Scheduling is coordinated with the Network Operations Control Center and NASA ground station availability is determined for both routine contacts and orbit adjust maneuvers. After integration of all the requirements and support activities, a final activity plan is issued which is an integrated time ordered sequence of events defining the observatory and payload scheduling and ground system operations for each orbit.

The following nominal payload operations have been developed as guidelines. Modifications to this proposed plan will be determined by your inputs.

1. The MSS 5tn band will be operated at night. An average 40 scenes/day will be acquired in this manner. Sixteen scenes per day will be acquired and played back from the on-board tape recorders.
2. All five bands of the MSS will be operated during daylight. 160 scenes per day will be acquired. 100 will be recorded and played back.
3. The RBV camera system will be required to obtain an average of 160 RBV scenes per day (the equivalent of 40 MSS scenes). 64 will be obtained in real time. 96 will be acquired by use of the tape recorders. The RBV can be operated simultaneously with the MSS.
4. The maximum time for continuous operation during one orbit is 35 minutes. This requirement allows operations of Landsat-C over the foreign real time ground stations that are expected to be operational in 1978. It is also expected that the average time "on" of the payload will be 15 minutes per orbit. By excluding ocean areas from coverage by real time stations, this orbital coverage can be reduced to 12.5 minutes per orbit.
5. The MSS 5tn band can be operated at any time throughout the orbit. This includes night operation and operations at all solar elevation angles, whereas the first four bands are normally operated only when the solar elevation angle is greater than 10 .



6. The RBV will be used to acquire data over selected areas on a once per season basis. On a daily average, the RBV will operate at a rate which will yield 20% of the daylight coverage obtained by the MSS. The longest pass with RBV and MSS operating simultaneously is estimated to be 25 minutes.

These limitations are defined by the capability of the Image Processing Facility at the Goddard Space Flight Center to process a total of 200 MSS scenes per day, average, and available power from the satellite.

Attachment B

DESCRIPTION OF TYPES OF AVAILABLE DATA PRODUCTS

Standard Landsat-C user products will be available from the Landsat Data Distribution Center (EDC) Sioux Falls, South Dakota in the following formats:

<u>Product Number</u>	<u>Description of Product</u>
1	241 mm MSS Bands 4, 5, 6, 7, 8 B/W positive or negative, 1:1,000,000 scale, geometrically and radiometrically corrected film products.
2	B/W paper products, MSS, positive only, 1:1,000,000, 1:500,000, and 1:250,000 scales.
3	241 mm RBV, Subscene A, B, C, D B/W positive or negative, 1:500,000 scale, geometrically and radiometrically corrected film products.
4	B/W paper products, RBV, positive only, 1:500,000, 1:250,000, and 1:125,000 scales.
5	Color transparencies, MSS, positive only, 1:1,000,000 scale.
6	Color paper, MSS, positive only, 1:1,000,000 1:500,000 and 1:250,000 scales.
7	Computer Compatible Tape (CCT), 9 track, 800 or 1600 BPI, geometrically and radio- metrically corrected.
8	High Density Tape (HDT), in unique HDT format, geometrically and radiometrically corrected, up to 50 scenes per tape.
9	16 mm microfilm, catalogs and accession aids

- NOTE: (1) Custom processed non-standard products including Quick Look Data, other scales, unique scene enhancement, other tape formats, uncorrected data, etc., are planned to be available at increased cost.
- (2) Landsat 1 and 2 historical data will continue to be available in current standard product formats.

Attachment C

CUBIC CONVOLUTION

Cubic Convolution is an interpolation method used for geometric correction of Landsat video data. Data values are collected at a particular spacing. Often, however, when these image data are registered to a particular map or grid, a one-for-one match doesn't occur and it becomes necessary to "fill in the blank spaces." When this occurs, it is necessary to take neighboring points and interpolate to get a best estimate for the missing values. Cubic Convolution is one of the best techniques for finding such values.

Other simpler but less accurate methods which can be used to accomplish this include Nearest Neighbor or Bi-linear Interpolation. Higher order methods than Cubic Convolution also may be used. They are more accurate but require the use of more points and hence more computer power. This makes their application less desirable.

Cubic Convolution has the effect of providing a smoother looking image. It does not, however, correct for striping since striping is a phenomenon resulting from nonuniform detector response rather than from the "stretching or bending" of images. Striping ordinarily is corrected by other means such as those used during the radiometric calibration of sensor data.

## INSTRUMENT CHARACTERISTICS OF THE THEMATIC MAPPER

Planned for  
Landsat. D

	TM		MSS	
	MICROMETERS	RADIOMETRIC SENSITIVITY (NEP) (1)	MICROMETERS	RADIOMETRIC SENSITIVITY (NEP)
SPECTRAL BANDS 1	0.45 - 0.52	.49%	0.5 - 0.6	.57%
2	0.52 - 0.60	.35%	0.6 - 0.7	.57%
3	0.63 - 0.69	.43%	0.7 - 0.8	.65%
4	0.76 - 0.90	.40%	0.8 - 1.1	.70%
5	1.55 - 1.75	.80%	—	—
6	10.40 - 12.50	0.5K(NEAT)	10.40 - 12.60	1.4K(NEAT)
GROUND IFOV	30 m (BANDS 1-5) 120 m (BANDS 6)		78 m (BANDS 1-4) 234 m (BANDS 5)	
DATA RATE	110 MB/S		15 MB/S	
QUANTIZATION LEVELS	256		64	
INTERBOARD REGISTRATION	0.1 IFOV		0.2- IFOV	
LONG TERM SCANN STABILITY	0.5 IFOV		1.5 IFOV	
HEIGHT	270 kg		54 kg	
SIZE	0.9 x 0.9 x 1.8 m		0.3' x 0.4 x 0.9 m	
POWER	250 WATTS		42 WATTS	

(1) OPTIMISTIC CASE  
(2) WORST CASE

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS DEL  
7 AL 18 DE NOVIEMBRE DE 1977.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. JORGE ALVAREZ ROMO Niño Perdido No. 545-9 Col. Narvarte México 12, D. F.	SARH Reforma No. 35-10° Piso México 1, D. F. Tel. 535-82-24
2. JORGE ACOSTA GURROLA Sierra Gorda No. 23 Lomas de Tecamachalco México 10, D. F. Tel. 540-09-43	SARH Reforma No. 69 México, D. F.
3. VICTOR ANTEL ALMAZAN ESPINOBARROS Sur 65-A No. 3129 Depto. 12 Col. Viaducto Piedad México 13, D. F. Tel. 538-21-30	SARH Reforma No. 107-1° Piso Col. San Rafael México 4, D. F. Tel. 566-95-59
4. ENRIQUE BENITEZ GUHN Manuel M. Prieto No. 95 Fracc. Colonial Iztapalapa México 13, D. F.	SARH Reforma No. 69-4° Piso Col. San Rafael México 13, D. F. Tel. 535-25-25
5. JOSE HUMBERTO BERLANGA OCHOA Reforma No. 35-11° Piso México 1, D. F. Tel. 591-03-83	SARH Reforma No. 15-11° Piso México 1, D. F. Tel. 591-03-83
6. JOSE DE J. CABRERA MOLINA Gabriel Mancera No. 1593 Col. del Valle México 12, D. F. Tel. 524-51-04	COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO Tepic No. 40 Col. Roma México 7, D. F. Tel. 574-17-50

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS DEL  
7 AL 18 DE NOVIEMBRE DE 1977.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. JORGE ALVAREZ ROMO Niño Perdido No. 545-9 Col. Narvarte México 12, D. F.	SARH Reforma No. 35-10° Piso México 1, D. F. Tel. 535-82-24
2. JORGE ACOSTA GURROLA Sierra Gorda No. 23 Lomas de Tecamachalco México 10, D. F. Tel. 540-09-43	SARH Reforma No. 69 México, D. F.
3. VICTOR ANTEL ALMAZAN ESPINOBARROS Sur 65-A No. 3129 Depto. 12 Col. Viaducto Piedad México 13, D. F. Tel. 538-21-30	SARH Reforma No. 107-1° Piso Col. San Rafael México 4, D. F. Tel. 566-95-59
4. ENRIQUE BENITEZ GUHN Manuel M. Prieto No. 95 Fracc. Colonial Iztapalapa México 13, D. F.	SARH Reforma No. 69-4° Piso Col. San Rafael México 13, D. F. Tel. 535-25-25
5. JOSE HUMBERTO BERLANGA OCHOA Reforma No. 35-11° Piso México 1, D. F. Tel. 591-03-83	SARH Reforma No. 15-11° Piso México 1, D. F. Tel. 591-03-83
6. JOSE DE J. CABRERA MOLINA Gabriel Mancera No. 1593 Col. del Valle México 12, D. F. Tel. 524-51-04	COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO Tepic No. 40 Col. Roma México 7, D. F. Tel. 574-17-50

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS DEL  
7 AL 18 DE NOVIEMBRE DE 1977.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
14. CARLOS E. GONZALEZ PEREZ Torre Tollán No-37 Unidad Independencia México 20, D. F. Tel. 595-48-70	SARH Atenas No. 30 Mezzanine Col. Juárez México 6, D. F. Tel. 566-17-12
15. MARCO ANTONIO GONZALEZ V. Frontera No. 19 Bis - 6 Col. Roma México 7, D. F. Tel. 511-10-43	SARH Abraham González 3-4° Piso . Col. Juárez México 6, D. F. Tel. 566-24-90
16. ALFREDO GUEVARA OBREGON Morelos No. 89 Depto. 10 Col. Juárez México 6, D. F. Tel. 591-00-41	SARH Reforma No. 46 Col. Juárez México 6, D. F. Tel. 591-00-41
17. IVO ANTONIO GUTIERREZ PULIDO San Juan de Letrán No. 503-1504 Nonoalco Tlatelolco México 3, D. F. Tel. 583-84-02	SARH Abraham González No. 3 Mezzanine Col. Juárez México 6, D. F. Tel. 535-08-17
18. ANTONIO JAURICO PEREZ Fray S. T. de Mier No. 624-1 Col. Jardín Balbuena México 9, D. F.	SARH Paseo de la Reforma No. 35 México 1, D. F.
19. J. JESUS LUNA GALVAN Monterrey No. 320 Col. Roma México 7, D. F. Tel. 564-82-51	COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO Tepic No. 40 Col. Roma México 7, D. F. Tel. 574-49-43
20. FRANCISCO JAVIER MORENO Francisco Pérez No. 24-4 Col. Heroe de Nacozari México 15, D. F.	SARH Reforma No. 69 México, D. F. Tel. 592-00-34

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO FOTOGRAMETRIA Y SENSORES REMOTOS DEL  
7 AL 18 DE NOVIEMBRE DE 1977.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
28. FRANCISCO VERDUGO RAMIREZ Cuauhtémoc No. 700-1 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel. 535-82-24	SARH Reforma No. 35-10° Piso México 1, D. F. Tel. 535-82-24
29. JULIO CESAR VIGGIANO GUERRA San Borja No. 1460 Col. Narvarte México 13, D. F. Tel. 559-60-62	SARH Abraham González No. 3 Mezzanine Col. Juárez México 6, D. F. Tel. 559-60-62
30. ROBERTO VITAL PINEDA Edificio K-401 Unidad Villa Xochimilco Col. Tepepan México 23, D. F.	COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO Tepic No. 40 Col. Roma Tel. 584-72-74
31. ELISA REGINA ZACARIAS BUSTOS	SARH Reforma No. 35 México 1, D. F. Tel. 591-03-83
32. JOSE J. ZAMBRANO OSUNA Gutiérrez Nájera No. 174-7 Col. Tránsito México 8, D. F.	SARH Reforma No. 35-10° Piso México 1, D. F. Tel. 535-82-24
33. RENE ZUMALACARREGUI TOBIAS Río Chico No. 6 Fraccionamiento Alcanfores Naucalpan, Edo. de México Tel. 373-14-85	