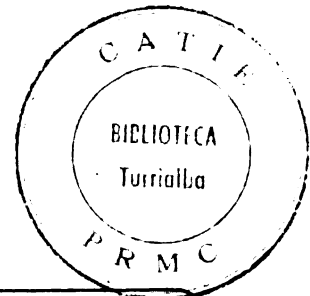




15




**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**

Turrialba - Costa Rica - Teléfonos: 56-64-31 - 56-01-69 - Telex: 8005 CATIE C. R. - Cable: CATIE Turrialba

DRN/PRMC-027  
18 de julio de 1988

**M E M O R A N D O**

**PARA:** Miembros Comité Asesor Nacional (CAN) del PRMC-CATIE

**DE:** M.S.c Marcelino Losilla Penón  
Coordinador Nacional PRMC-CATIE 

**ASUNTO:** Programa del curso corto "Procesamiento de Imágenes y Sistemas Geográficos de Información".

\*\*\*\*\*

Adjunto a la presente le estoy enviando carta descriptiva y programa del curso en mención, con el fin de iniciar la selección de candidatos al mismo.

El curso se realizará del 17 al 26 de agosto en la sede del CATIE en Turrialba, será intensivo con una duración de 64 horas - sesión.

El PRMC financiará 5 ó 5 estudiantes de cada país del área.

Las instituciones deberán mandar su candidato oficial junto con sus calidades profesionales al Coordinador Nacional del PRMC a su oficina en el 3<sup>er</sup> piso de la Dirección General Forestal antes del 30 de julio, para efectuar las consultas respectivas al CAN la 1<sup>a</sup> semana de agosto.

Agradeciéndolo su pronta atención a la presente.

C.c.: E. Blair  
Coordinador Regional PRMC-CATIE  
Archivos

rr



DEPARTAMENTO:
RESPONSABLE: Manuel B. Dengo

CURSO: <u>Corto Procesamiento de Imágenes y Sistemas Geográficos de Información</u>	COD. ....
PROYECTO: <u>PROYECTO REGIONAL DE MANEJO DE CUENCAS (PRM)</u>	

CARTA DESCRIPTIVA  
CURSOS DE CAPACITACION

FORM PC-01

I IDENTIFICACION

- 1.1 NOMBRE DEL CURSO: Curso Corto Procesamiento de Imágenes y Sistemas Geográficos de Información
- 1.2 INSTRUCTOR: Manuel Bernardo Dengo, León Javier Saborío, Charles Veiman, C. Lemmerhofer, Rafael Oreamuno
- 1.3 FECHA DE REALIZACION: 17-26 Agosto
- 1.4 HORARIO: 8 AM - 12 ; 1:30 - 5:30PM
- 1.5 DURACION TOTAL DEL CURSO (en horas-sesión): 64 horas
- 1.6 LUGAR: CATIE
- 1.7 REQUISITOS DE ADMISION DE LOS PARTICIPANTES: .....
- 1.8 CUPO: 25 1.9 PAISES: Costa Rica, Guatemala, Honduras, El Salvador y Panamá

II. FUNDAMENTACION

El manejo integrado de recursos naturales requiere de una enorme cantidad de información para el desarrollo de hipótesis, calibración de modelos, evaluación de políticas en base a resultados, etc. La obtención de imágenes por medio de sensores remotos y el subsiguiente análisis de las mismas brinda al profesional que labora en las diferentes áreas relacionadas con recursos naturales, los elementos de juicio-complementarios a información de campo- requeridos para realizar un mejor análisis, y por lo tanto una mejor toma de decisiones, con relación a un problema ambiental específico.



DEPARTAMENTO:
RESPONSABLE: MDengo

CURSO:	COD.
PROYECTO: PRMC	

III IMPORTANCIA DEL CURSO.

El curso es importante puesto que está diseñado para presentar, a los profesionales de América Central que laboran en manejo integrado de cuencas, las técnicas modernas de análisis digital de imágenes y los sistemas de información geográfica, como herramienta.

IV. PROPOSITOS DEL CURSO.

-Brindar a los participantes una introducción al procesamiento digital de imágenes obtenidas por medio de sensores remotos y a los sistemas de información geográfica.

-Hacer evidente las múltiples aplicaciones de estas técnicas en las disciplinas relacionadas con el manejo integrado de recursos naturales y con especial énfasis en manejo de cuencas.



DEPARTAMENTO:	CURSO: _____	COD. _____
RESPONSABLE: M. Dengo	PROYECTO: <u>PRMC</u>	

V. OBJETIVO GENERAL DEL CURSO:

Introducción general a técnicas modernas de análisis digital de imágenes y a los sistemas de información geográfica.

VI. TEMARIO:

(Por unidad con indicación del objetivo de cada una de ellas)

UNIDAD	TITULO	OBJETIVO	CONTENIDOS
I	<u>Introducción a Procesamiento Digital de Imágenes</u>	Introducción general	
II	Métodos de obtención de imágenes	Presentar fuentes de imágenes EOSAT, SPOT fotos aéreas, RADAR, etc.	
III	Sistemas para procesamiento digital de imágenes	Componentes de "Hardware" y "Software" para procesamiento de imágenes.	
IV	Sistema ERDAS	Presentación de los diferentes módulos de ERDAS.	
V	Pre-procesamiento de las imágenes.	-Análisis estadístico -Corrección radiométrica -Corrección geométrica	
VI	Mejoramiento de imágenes	Reducción, magnificación, contraste Filtrado, bordes, etc. Análisis de componentes principales	
VII	Obtención de información temática	Clasificación -Supervisada Automática	
VIII	Detección de cambios	Análisis de diferencias en imágenes de un área tomada en diferentes ocasiones	
IX	Sistemas Información Geográfica	Introducción al SIG y su relación con procesamiento de imágenes	
X	Sistema IDRISI	Presentar un sistema de análisis geográfico que opere en microcomputadores	



DEPARTAMENTO:	CURSO: _____	COD. _____
RESPONSABLE: M. DENGO	PROYECTO: PRMC	

VII. METODOLOGIA Y RECURSOS A UTILIZAR:

**METODOLOGIA**

- Conferencias magistrales
- Prácticas demostrativas con sistema ERDAS

**RECURSOS**

- Retroproyector
- Microcomputadores
- Sistema ERDAS para procesamiento de Imágenes
- Sistema IDRISI para análisis geográfico

VIII. CRONOGRAMA

VER HORARIO ADJUNTO

"PROCESAMIENTO DE IMAGENES Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

17 al 26 de Agosto de 1988

Horas	Días	MIERCOLES 17	JUEVES 18	VIERNES 19
7:30 a 9:30		Introducción a procesamiento digital de imágenes MBD	Consideraciones de operación de sistemas de análisis de imágenes. MBD	Sistema ERDAS MBD LJS RO
R E C E S O				
10 a 11:30		Introducción a procesamiento digital de imágenes MBD	Explicación de Sistema ERDAS de CATIE MBD	Sistema ERDAS MBD LJS RO
R E C E S O				
13:00 a 14:30		Métodos de obtención de Imágenes MBD/ChV	Pre-procesamiento Análisis Estadístico LJS	Sistema ERDAS MBD LJS RO
R E C E S O				
15:00 a 17:00		Métodos de obtención de Imágenes MBD/ChV	Análisis Estadístico JLS	Sistema ERDAS MBD LJS RO

MBD = Manuel Bernardo Dengo

LJS = León Javier Saborío

RO = Rafael Oreamuno

ChV = Charles Veïman

CL = Carlos Lemmenhofer

CURSO CORTO  
 "PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA"  
 17 al 26 de Agosto de 1988

Días		Lunes 23	Martes 23	Miércoles 24	Jueves 25	Viernes 26
Horas						
7:30 a 9:30	Pre-procesamiento Corrección radiométrica CV	Obtención de información temática Clasificación supervisada CL	Análisis de Detección de cambios CL	Sistemas de Información Geográfica MBD	Sistema IDRISI LJS	
R E C E S O						
10:00 a 11:30	-Correcciones Geométricas Otras correcciones	Clasificación no supervisada CL	Análisis de Detección de cambios CL	Sistemas de Información Geográfica MBD	Sistema IDRISI LJS	
R E C E S O						
13:00 a 14:30	Procesamiento Mejoramiento de Imágenes CV	Evaluación de Clasificaciones CL	Prácticas ERDAS	Relación con sistemas de procesamiento de imágenes CL	Prácticas	
R E C E S O						
15:00 a 17:00	Practica ERDAS CV LJS	Práctica ERDAS CL LJS	Practica ERDAS	Práctica SIG/ERDAS RO	Prácticas	

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA  
 PROYECTO REGIONAL DE MANEJO DE CUENCAS  
 CURSO: SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA  
 DEL 17 AL 26 DE AGOSTO DE 1988

PANTES:

COSTA RICA

NOMBRE : María Aurelia Viquez Bolaños  
 PROFESION : Licenciada, Geógrafa  
 CARGO : Depto. Reservas Forestales y Cuencas Hidrográficas  
 INSTITUCION : Dirección General Forestal  
 DIRECCION : Dirección General Forestal, San José Costa Rica  
 TELEFONO : 21-95-33

NOMBRE : Alvaro Coronado Jurado  
 PROFESION : Ing. Civil, Maestría Ing. Ambiental  
 CARGO : Analista de Proyectos  
 INSTITUCION : Banco Centroamericano de Integración Económica. BCIE  
 DIRECCION : Edificio LARACH, Piso 4B, Tegucigalpa, Honduras  
 TELEFONO :

NOMBRE : Gerardo Ramirez Villegas  
 PROFESION : Geógrafo Físico  
 CARGO : Unidad de Manejo de Cuencas Hidrográficas  
 INSTITUCION : Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
 DIRECCION : Edificio La Llacuna Piso No.9, Apdo. Postal 5120, San José Costa Rica  
 TELEFONO : 33-21-55

NOMBRE : Ileana Mora Cordero  
 PROFESION : Ing. Agrícola, M.Sc.  
 CARGO : Profesora del Area de Cuencas Hidrográficas  
 INSTITUCION : Esc. de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional  
 DIRECCION : UNA, Esc. de Ciencias Ambientales, Meredia, C.R.  
 TELEFONO : 37-63-63

NOMBRE : Hugo Rodriguez Estrada  
 PROFESION : Geólogo, M.Sc. Hidrología, Geología  
 CARGO : Jefe, Dirección de Aguas Subterráneas  
 INSTITUCION : Servicio Nacional Riego y Avenamiento, SENARA  
 DIRECCION : SENARA, Apartado Postal 5262, San José 1000, C.R.  
 TELEFONO : 220265/226861

NOMBRE : Francisco Fuentes Ugalde  
 PROFESION : Perito Topógrafo  
 CARGO : Departamento de Estudios Básicos  
 INSTITUCION : Instituto Costarricense de Electricidad, ICE  
 DIRECCION : ICE, Depto. Estudios Básicos, San José Costa Rica  
 TELEFONO : 207306

PANAMA

NOMBRE : Hernán Ortega Gonell  
 PROFESION : Técnico en Programación y Análisis de Sistemas  
 CARGO :  
 INSTITUCION : Instituto Geográfico Nacional "Tony Guardia"  
 DIRECCION : Instituto Geográfico Nacional, Panamá.  
 TELEFONO : 640255

NOMBRE : Carmen de Atencio  
 PROFESION : Ingeniero Agrónomo  
 CARGO :  
 INSTITUCION : Instituto de Recursos Naturales Renovables  
 DIRECCION : Paraíso Corregimiento de Ancón, Apdo. 2016, Panamá.  
 TELEFONO : 32-4325

NOMBRE : Elias A. López  
 PROFESION : Licenciado, Geógrafo Profesional  
 CARGO :  
 INSTITUCION : Universidad de Panamá  
 DIRECCION : Universidad de Panamá, República de Panamá  
 TELEFONO : 63-6133

NOMBRE : César Lima  
 PROFESION : Ingeniero Civil  
 CARGO :  
 INSTITUCION : Ministerio de Planificación y Política Económica  
 DIRECCION : Via España, Edificio Prosperidad, Panamá.  
 TELEFONO : 69-6959

HONDURAS

NOMBRE : Luis Andrés Torres Rosales  
 PROFESION : Ingeniero Geodesta, Licenciado  
 CARGO : Jefe, Depto. de Geodesia  
 INSTITUCION : Instituto Geográfico Nacional  
 DIRECCION : Barrio La Bolsa, Comayaguela D.C., Honduras  
 TELEFONO : 33-74-3

NOMBRE : José A. Raudales N.  
 PROFESION : Perito Mercantil y Contador Público  
 CARGO :  
 INSTITUCION : Instituto Geográfico Nacional  
 DIRECCION : Bo. La Bolsa, Comayaguela, Honduras  
 TELEFONO : 337403

NOMBRE : Edgardo Ulloa Mejía  
 PROFESION : Ingeniero Electrónico y de Comunicaciones  
 CARGO :  
 INSTITUCION : Empresa Nacional de Energía Eléctrica, ENEE  
 DIRECCION : -1 Av., 4 Calle Comayaguela, Honduras  
 TELEFONO : -37-07-51-

NOMBRE : Orlando Sierra Sierra  
 PROFESION : Ingeniero Eléctrico  
 CARGO :  
 INSTITUCION : Dirección Ejecutiva del Catastro  
 DIRECCION : Edificio Sheib, Col. Prado, Tegucigalpa, Honduras  
 TELEFONO : -33-3287



GUATEMALA

DN : Eric L. Fuentes del A.  
 : Ingeniero Mecánico  
 : Auxiliar de Sensores Remotos  
 : Instituto Geográfico Militar  
 : Av. Las Américas 5-76 Zona 13 Guatemala  
 : -363281

DN : Byron Ponce Segura  
 : M.Sc. Ing. Agrónomo  
 : Coordinador Área de Cómputo  
 : USPADA  
 : Via 2 4-34 "B" Zona 4  
 : -314519

DN : Julio César Samaya Rosales  
 : Arquitecto y Téc. Programación Sis. de Computación  
 : DICABI  
 : 8 Av. y 21 Calle Zona 1, Ed. de Finanzas Públicas  
 : 535746

DN : Héctor Ramírez Castillo  
 : Arquitecto

DN : Comisión Nacional del Medio Ambiente  
 : -37 Calle "C" 14-17 Zona 8  
 : 532477

REP. DOMINICANA

DN : Josefina Espaillat Acevedo  
 : Ing. Agr. M.Sc Recursos Naturales Renovables  
 : Encargada Dpto. de Planificación  
 : DRICIBAOC-SEA  
 : Apdo. Postal 378-3 Santiago Rep. Dominicana  
 : 5876383

NICARAGUA

DN : Georgina Orozco

EL SALVADOR

NOMBRE : Francisco Antonio Perdomo Lino  
 PROFESION : Ingeniero Agrónomo  
 CARGO :  
 INSTITUCION : Centro de Recursos Naturales  
 DIRECCION : Cantón el Matazano, Soyapango, El Salvador  
 TELEFONO : 272979

NOMBRE : José Hermes Landaverde G.  
 PROFESION : Ingeniero Civil  
 CARGO :  
 INSTITUCION : C.E.L.  
 DIRECCION : Km. 11 1/2 Carretera al Pito de La Libertad,  
 Santa Tecla, El Salvador.  
 TELEFONO : 281022

NOMBRE : Manuel Antonio Merlos Torres  
 PROFESION : Ingeniero Civil  
 CARGO :  
 INSTITUCION : ANDA  
 DIRECCION : Calle Rubén Darío #930  
 TELEFONO : 21-06-22

NOMBRE : José Roberto Hernández Navas  
 PROFESION : Ingeniero Agrónomo Fitotecnista  
 CARGO :  
 INSTITUCION : Centro de Recursos Naturales  
 DIRECCION : Cantón el Matazano, Soyapango, El Salvador  
 TELEFONO : -770622

BRASIL

NOMBRE : Ricardo Seixas Brites  
 PROFESION : Ingeniero Agrimensor  
 CARGO : Estudiante Maestria  
 INSTITUCION : Universidad Federal de Vigosa  
 DIRECCION : VIGOSA/MG/CEP:36570  
 TELEFONO : 8992477

Veiman Q., Charles S., Comp.\*. **Sensoreo remoto: Aspectos básicos de fotografía aérea, fotogrametría, fotointerpretación**, Turrialba, Costa Rica, CATIE, 54 p.

**Resumen:** El presente trabajo resume aspectos básicos de las fotografías aéreas y su manejo, la corrección fotogramétrica y la identificación e interpretación de elementos naturales y no naturales en la imagen fotográfica.

\* Msc en Uso de la Tierra y Conservación de Suelos.  
PRMC, CATIE, Turrialba

\*\*Este trabajo fue recopilado e incluye, tanto notas personales como bibliográficas,

## CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION	1
1.1 Principios de la fotografía	1
1.2 Antecedentes de la fotografía aérea	1
1.3 Definiciones	1
2. LA FOTOGRAFIA AEREA	2
2.1 Clasificación de fotografías aéreas	2
2.1.2 Clasificación por inclinación de la cámara	2
2.1.3 Clasificación por campo angular del objetivo	5
2.2 Comparación de fotografías aéreas y mapas	6
2.3 Características básicas de una fotografía aérea	8
2.3.1 Tamaño y formato	8
2.3.2 Papel	8
2.4 Características de la imagen	9
2.4.1 Pelicula y color	9
2.4.2 Granularidad y poder de resolución	10
2.5 Aspectos básicos de la fotografía aérea	10
2.5.1 Altura	10
2.5.2 Distancia principal	10
2.5.3 Distancia focal	11
2.5.4 Ecuación de Newton	13
2.5.5 Estación de exposición	13

2.5.6	Puntos de referencia	15
2.5.6.1	Punto nadir	15
2.5.6.2	Punto isocentro	15
2.5.6.3	Punto principal	15
2.5.7.	Ejes de la fotografía aérea	15
3.	FOTOGRAMETRIA	18
3.1	Aspectos geométricos de la fotografía aérea	18
3.1.1	Escala	18
3.1.1.1	Cálculo de escala	18
3.1.1.2	Clasificación de escalas	19
3.1.2	Deformaciones y distorsión en las fotografías	21
3.1.2.1	Desplazamiento debido al relieve	21
3.1.2.2	Desplazamiento por la inclinación de la fotografía.	22
3.1.2.3	Distorsión radial y tangencial	24
3.1.2.4	Error combinado	28
3.2	Mediciones	28
3.2.1	Distancia	29
3.2.2	Area	29
3.3	Principio de la visión estereoscópica	31
3.3.1	Visión binocular	31
3.3.2	Visión estereoscópica	31
3.3.3	Determinación del punto principal, línea de vuelo, y base aérea	34

3.3.4	Paralaje	35
3.3.4.1	Medida del paralaje	35
3.3.4.2	Determinación de altura	41
3.3.4.2.1	Método de la sombra	41
3.3.4.2.2	Método de la estereoscopia	42
3.3.4.2.3	Errores en la medida	43
4.	FOTOINTERPRETACION	44
4.1	Identificación de elementos en las fotografías aéreas	44
4.1.1	Naturales	44
4.1.2	No-naturales	45
4.2	Variación en elementos	45
4.3	Convergencia de evidencia	46
4.4	Fotointerpretación para el manejo de cuencas	46
4.4.1	Patrón de drenajes	47
4.4.2	Delineación de la cuenca	47
4.4.3	Cobertura y uso de la tierra	48
4.4.4	Areas problemáticas	50
4.4.4.1	Deslizamientos naturales	50
4.4.4.2	Inundaciones	51
4.4.4.3	Uso de la tierra	51
4.4.4.4	Poblaciones	52
4.4.4.5	Infraestructura y obras	52
4.4.5	Comprobación en el campo	53

## LISTA DE FIGURAS

Número	Descripción	Página
1.	Clasificación de las fotografías aéreas en función del eje de la cámara.	4
2.	Clasificación de fotografías aéreas en función del campo angular.	6
3.	Relación de la distancia principal al campo angular.	12
4.	Puntos de referencia.	14
5.	Ubicación del punto principal.	16
6.	Los ejes de la fotografía aérea.	17
7.	Escala de fotografías aéreas.	20
8.	Desplazamiento debido al relieve.	23
9.	Efecto en la fotografía aérea por la inclinación del eje óptico en el momento de la exposición.	25
10.	Efecto de la deriva, giros, ladeos, y cabeceos del avión en la fotografía aérea.	26
11.	Distorsión radial y tangencial.	27
12.	Error combinado producto de las deformaciones geométricas.	27
13.	Orientación de las fotografías aéreas.	32
14.	Determinación del punto principal, línea de vuelo, y base aérea.	36
15.	Paralaje	37
16.	Medición de paralaje con la barra de paralaje.	38
17.	Medición de altura por el método de la sombra.	39
18.	Patrones de drenaje.	49

## LISTA DE CUADROS

Número	Descripción	Página
1.	Características de las fotografías aéreas en función de la inclinación del eje de la cámara.	3
2.	Relación entre campo angular y distancia principal.	5
3.	Comparación de fotografías aéreas y mapas.	7
4.	Clasificación de escalas de fotografías aéreas para uso en diferentes campos.	21

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 Principios de la fotografía

La fotografía o la toma de imágenes fotográficas tuvo su principio en Francia, en 1839, cuando el señor Daguerre produjo las primeras imágenes conocidas como daguerrotipos.

(8)

### 1.2 Antecedentes de la fotografía aérea

Se considera que una de las primeras tomas de fotografía aérea fue realizada por otro francés, Laussedalt, en 1858. Desde 1859 Laussedalt demostró la factibilidad de utilizar las fotografías para el levantamiento de mapas. Pero fue durante la guerra de 1871 que los franceses emplearon el uso de las fotografías aéreas, tomadas desde globos, para sus servicios de información.

El desarrollo y perfeccionamiento de la cámara y las películas, en conjunto con la aviación, produjo un enorme avance para la fotografía aérea. Esto se aprovechó para los primeros levantamientos aéreos durante la primera y en particular, la segunda guerra mundial donde se desarrollaron muchas de las técnicas fotogramétricas.

### 1.3 Definiciones

Sensores remotos se definen en forma amplia como la colección e interpretación de información de un objeto sin tener contacto físico con él, utilizando métodos que emplean energía electromagnética (en forma de ondas de luz, calor, y radio), como medio para la detección y medición de los características del objeto. Esa definición excluye los levantamientos eléctricos, magnéticos, y gravitacionales en que median campos de fuerza en vez de radiación electromagnética. (6)



La fotografía aérea es una imagen, tomada desde el aire por un sensor remoto (la cámara) tipo pasivo, o sea, que no depende de generadores artificiales de energía, siendo el sol su única fuente de energía. La imagen es formada con base en la reflexión de las ondas de luz del sol en la superficie del (los) objeto(s) que se toman.

La fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología de obtener información relevante, con base en las imágenes de las fotografías aéreas de objetos físicos de la corteza terrestre y su medio ambiente, por medio de procesos de medición e interpretación.

La fotointerpretación es el acto de examinar las imágenes fotográficas con el propósito de identificar objetos y juzgar su significado.

## 2. LA FOTOGRAFIA AEREA

### 2.1 Clasificación de fotografías aéreas

Las fotografías aéreas se pueden clasificar de dos modos: por inclinación de la cámara o por el campo angular del objetivo que se utiliza.

#### 2.1.1 Clasificación por la inclinación de la cámara

La clasificación de las fotografías aéreas con base en la inclinación de la cámara con respecto a la tierra, se divide básicamente en tres tipos: vertical, inclinada u oblicua, muy inclinada u oblicua alta. En el cuadro no. 1 y la figura no. 1 se resumen las características de las fotografías aéreas en función con la inclinación del eje de la cámara. (3)

Cuadro No.1 Características de las fotografías aéreas en función de la inclinación del eje de la cámara.

	Vertical	Oblicua baja	Oblicua alta
Características	Incl. < 3°	Sin horizonte en la foto	Con horizonte en la foto
Area fotografiada (relativa)	Muy pequeña	Pequeña	Grande
Forma del área fotografiada	Rectangular	Trapezoidal	Trapezoidal
Escala	Uniforme para un mismo plano horizontal	Decrece desde un primer plano hacia el fondo	Decrece desde el primer plano hacia el fondo
Ventaja	Fácil de mapear	Mayor área cubierta. Puede ser mapeada en algunos instrumentos convencionales	Económica e ilustrativa por su gran recubrimiento del terreno
Uso más frecuente	Fotogrametría y Fotointerpretación	Fotointerpretación en general	Fotointerpretación a estudios geológicos

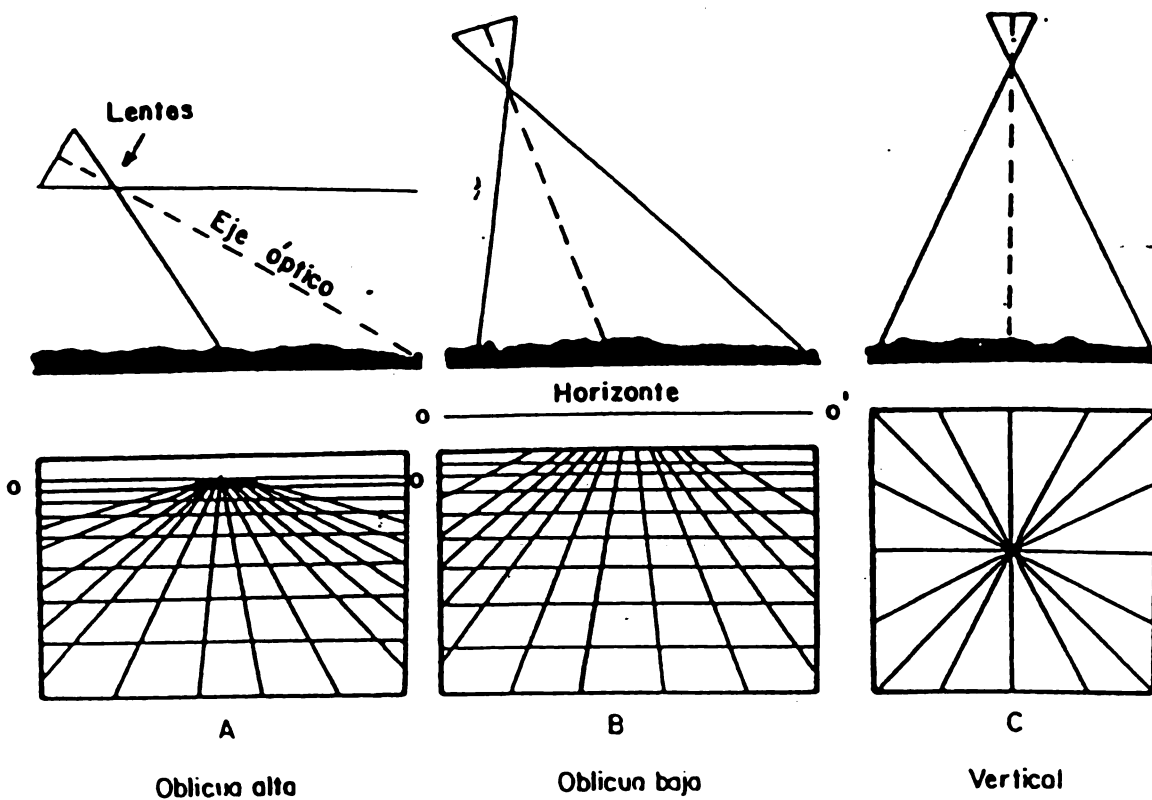


Figura 1 Clasificación de las fotografías aéreas en función del eje de la cámara

La fotografía aérea tipo vertical es la más utilizada en la fotogrametría y para fotointerpretación. Eso se debe a que es la foto con menos distorsión o error y a que también la mayoría de los equipos que se usan para los análisis de las fotografías aéreas, son diseñadas para ese tipo de foto.

Las fotografías inclinadas o muy inclinadas tienen usos limitados a la fotointerpretación, debido a la distorsión que tienen. Generalmente son utilizadas en estudios geológicos.

### 2.1.2 Clasificación por el campo angular del objetivo

En función del campo angular del objetivo se pueden clasificar las fotografías aéreas en: normales, gran angulares, y super gran angulares. En la figura No. 2 se demuestran las diferentes clases en función del campo angular y en el cuadro No. 2 se hace una comparación entre campo angular y distancia principal.

Cuadro No. 2 Relación entre campo angular y distancia principal

Tipo de lente	Campo (Aprox.) del lente sobre la diagonal	Dimensión de la Distancia Principal en fotogr. de 23 x 23 cm de formato
Normal	60°	210 mm
Gran Angular	90°	150 mm
Super Gran Angular	120°	90 mm

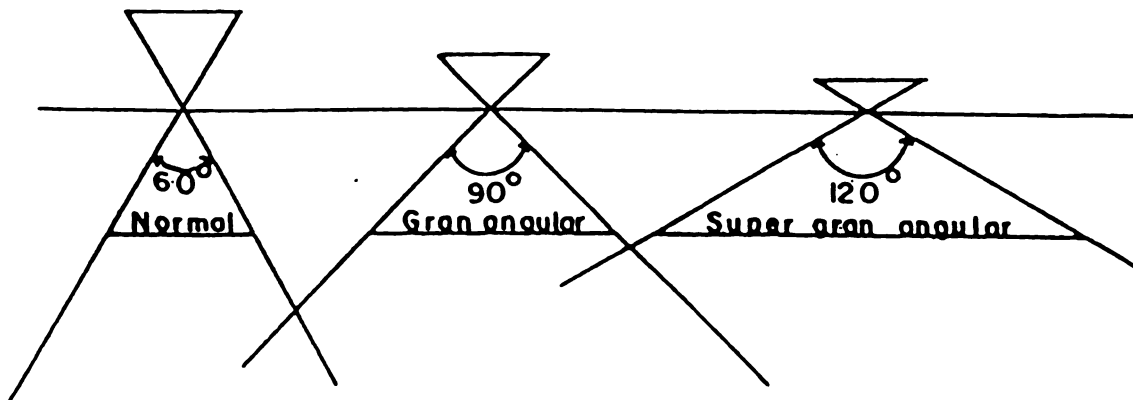


Figura 2 Clasificación de fotografías aéreas en función del campo angular

Para los trabajos de mapeo topográfico generalmente se usa el gran angular, ya que tiene la ventaja de tener buena cobertura, más que el normal y no tiene la distorsión que tiene el super gran angular.

## 2.2 Comparación de fotos y mapas

Entre las fotos y mapas se pueden notar varias diferencias y similitudes. En el cuadro No. 3 se resumen comparaciones entre los mapas y las fotos.

## Cuadro No.3 Comparación de fotografías aéreas y mapas

Mapa	Fotografía Aérea
Representación geométrica correcta.	Representación geométrica no correcta debido a:  Desplazamiento causado por el relieve Desplazamiento causado por la inclinación de la fotografía. Distorsión del lente de la cámara.
Escala uniforme y absoluta	Escala variable aproximada.
Proyección Ortogonal	Proyección central.
Representación de objetos o elementos: Todos los objetos incluso los no visibles	Sólo incluye los objetos visibles
Es una representación abstracta en que la leyenda es indispensable	Es una representación real que la leyenda reduce el valor
En general, es necesario redibujarlo para cambiar la escala	Fotográficamente se puede reducir o ampliar la escala (dentro de ciertos límites)
Orientación geográfica dada	Carente inicialmente de orientación geográfica.

Básicamente lo que se puede decir es que los mapas son correctos en cuanto a escala y libres de distorsiones comparados con las fotos. También los mapas pueden indicar todo tipo de objetos aún no visibles (coordenadas, nombres, etc.) en cambio las fotos muestran solo lo visible. Las fotos

muchas veces muestran más objetos de los que se ven anotados en los mapas (potreros, árboles, cultivos etc.) y permiten ver éstos tridimensionalmente; en cambio, los mapas solo se ven en dos dimensiones, aunque con las curvas de nivel del mapa, permiten interpretar la tercera dimensión.

## 2.3 Características básicas de una fotografía aérea

### 2.3.1 Tamaño y formato

Las fotografías aéreas vienen en varios tamaños siendo el más común 23 x 23 cm (9 x 9 pulg.). Hay también de 18 x 18 cm y hasta 70 cm. Las ampliaciones de la fotografía permiten disminuir la escala, pero a la vez aumenta las distorsiones, su costo es mayor, no mejora el detalle, y normalmente no se pueden utilizar con esteroscopios sencillos. (2)

### 2.3.2 Papel

Las fotografías aéreas pueden ser impresas en papel de peso sencillo o doble. Las de papel de peso sencillo son generalmente utilizadas en la oficina porque son fáciles de manejar bajo el esteroscopio y ocupa menos espacio en los archivos. Las de papel de doble peso son preferibles para el campo, debido a que son más estables dimensionalmente y soportan mejor el manejo bajo condiciones del campo. (2)

El papel también tiene variaciones en cuanto a rugosidad de la superficie y a su brillantez. En esta última hay tres clases: mate, semimate y brillante. Cada tipo de brillantez presenta diferentes facilidades al interpretador para ver mejor la imagen. (3)

La película o acetato que se usa para recubrir la foto y darle mayor estabilidad varía en su grosor y coeficiente de elasticidad.

El vidrio también es un recubrimiento que da mayor estabilidad dimensional a la foto dependiendo del grosor y la rugosidad del papel.

El material utilizado en el montaje de una fotografía aérea determina la estabilidad dimensional de la foto y consecuentemente la precisión de las mediciones fotogramétricas. El vidrio es el material que da mayor estabilidad, seguido por el acetato y por último el papel. Actualmente se tiende a desechar los trabajos fotogramétricos realizados en vidrio. (3)

## 2.4 Características de la imagen

### 2.4.1 Película y color.

Hay básicamente dos tipos de películas en blanco y negro utilizados para la toma de fotografías aéreas: pancromático e infrarroja. La infrarroja usualmente es modificada por un filtro que elimina el azul ("minus blue"), que sirve para reducir contrastes extremos y mejorar la resolución de la imagen. El pancromático da mejor resolución que la infrarroja y sombras menos oscuras, pero demuestra poco contraste tonal entre tipos de bosques. En cambio la película de infrarroja modificada presenta mayor contraste particularmente entre coníferas y latifoliadas pero tiene la desventaja de resaltar los sitios cienagosos y sombras en negro, lo cual dificulta la interpretación. (2)

Las fotografías aéreas a color son relativamente nuevas en el uso de la fotointerpretación, eso debido a que su costo y la necesidad de cuidarlas mejor de la temperatura y humedad, no ha permitido un uso amplio, particularmente en el campo. Los colores pueden ser de dos tipos; natural o infrarrojo que también le llaman color falso. Los colores tienen la ventaja de mejorar la distinción entre tipos de vegetación y



particularmente se ha visto su utilidad en la detección de daños y enfermedades en plantaciones forestales y cultivos agrícolas con el color infrarrojo. (5)

#### 2.4.2 Granularidad y poder de resolución

Otros dos factores que influyen en la imagen son la granularidad y el poder de resolución de la película. Estos dos factores dependen básicamente del tipo y marca de película que se utiliza para la toma de fotografías y afectan la fotointerpretación, dependiendo del grado de granularidad y poder de resolución que demuestran. Para mayor detalle sobre este aspecto se recomienda consultar Lopez-Cuervo.

### 2.5 Aspectos básicos de la fotografía aérea

#### 2.5.1 Altura

La altura de vuelo se define como la distancia del centro del objetivo (o lente) de la cámara al plano del terreno. Es importante anotar que en terrenos planos la altura de vuelo no cambia, pero donde hay relieve eso varía notablemente e influye directamente en la escala de la fotografía. Por esa razón se calcula la altura media de una foto basada en el punto más alto y bajo.

#### 2.5.2 Distancia principal

La distancia principal es la distancia del objetivo de la cámara al plano negativo. Las distancias principales más comunes encontradas son 88, 152, 210 mm para fotografías con un tamaño de 23 x 23 cm. (7)

Directamente relacionada con la distancia principal está la magnitud de los desplazamientos de la imagen, así como la aparente exageración de la altura de los objetos vistos estereoscópicamente. También la relación de la altura del vuelo influye en la escala fotográfica, el área cubierta por la foto, y la magnitud de los desplazamientos.

En la figura No.3 se presentan tres gráficos que muestran la relación que hay entre la distancia principal y la altura de vuelo. En resumen, se observa que:

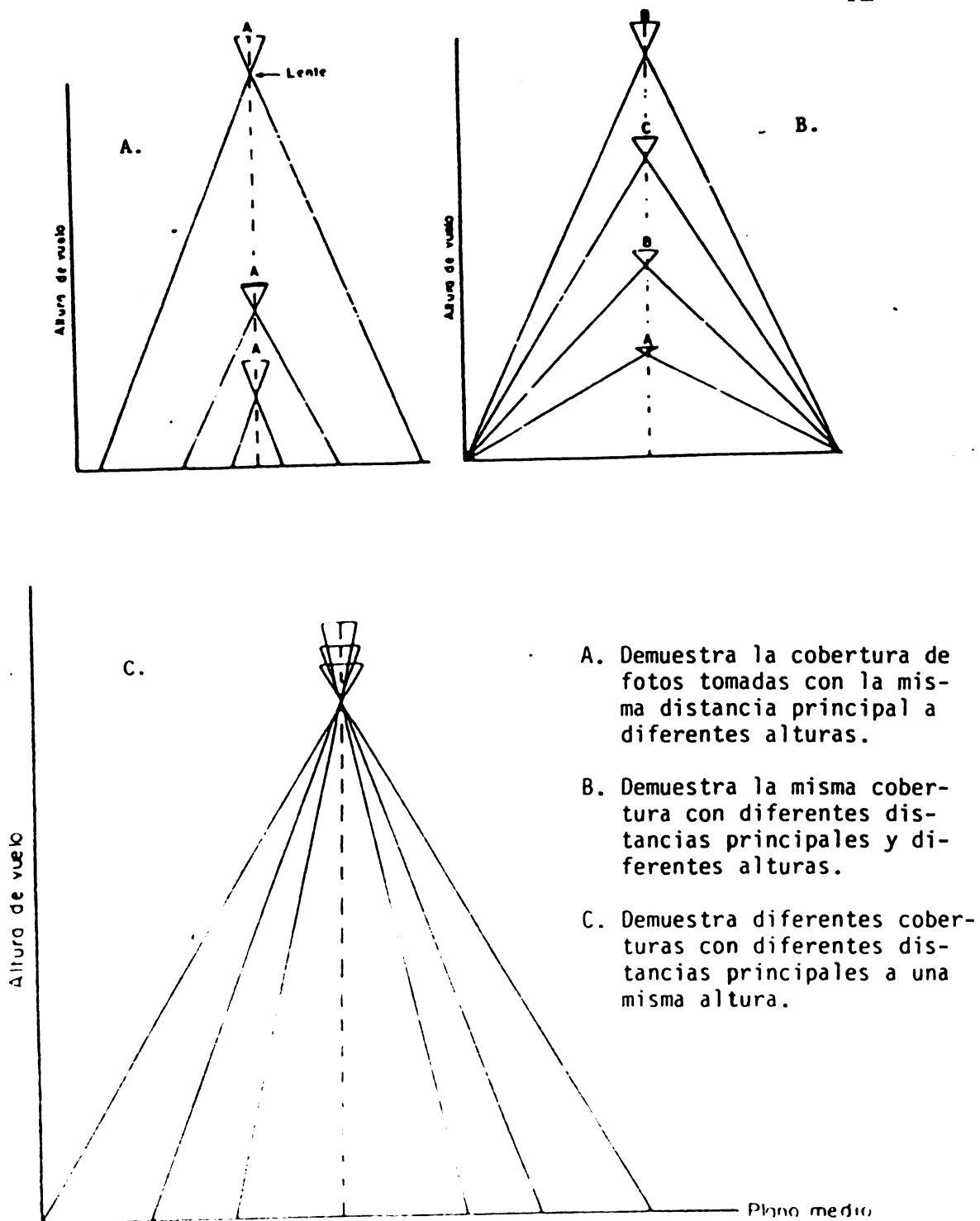
- a. La distancia principal es inversamente proporcional al desplazamiento de las imágenes fotográficas.
- b. A una misma altura de vuelo la distancia principal es directamente proporcional a la escala fotográfica, o sea que a una mayor distancia principal menor es el área cubierta por la foto y mayor será la escala.
- c. Para obtener una misma escala fotográfica, la distancia principal debe variar proporcionalmente a la altura de vuelo. (3)

La relación entre el campo angular y la distancia principal, se puede observar en el cuadro No. 2, anterior.

### 2.5.3 Distancia focal

El foco (imagen) de un lente, se define como el punto sobre el eje principal donde se forma la imagen de un punto ubicado sobre el mismo eje en el infinito. (7)

La distancia focal es la distancia del foco al centro del lente. Debido a que el objetivo de una cámara normalmente no es un solo lente sino una serie de lentes, es necesario hacer cálculos para poder determinar la distancia focal.



- A. Demuestra la cobertura de fotos tomadas con la misma distancia principal a diferentes alturas.
- B. Demuestra la misma cobertura con diferentes distancias principales y diferentes alturas.
- C. Demuestra diferentes coberturas con diferentes distancias principales a una misma altura.

Figura 3 Relación de la distancia principal al campo angular.

Normalmente estos cálculos son hechos previamente por la compañía y la calibración de la cámara previa al vuelo, confirma el valor dado.

Las distancias focales de las cámaras utilizadas normalmente en las tomas de fotografías aéreas son de 6, 8.25, o 12 pulg. ( 152, 216, 305 mm). (2)

La distancia focal y principal, en términos prácticos, significa lo mismo, sólo en el caso de que la cámara no estuviera bien calibrada podría ocurrir una variación entre las dos.

#### 2.5.4 Ecuación de Newton

La ecuación de Newton demuestra la relación entre la distancia focal, la distancia al objeto y la distancia a la imagen. (7)

$$1/\text{dist. focal} = 1/\text{dist. al objeto} + 1/\text{dist. a imagen}$$

#### 2.5.5 Estación de exposición

La estación de exposición es el punto en el espacio donde la cámara hace la toma de una fotografía. En la figura No. 4 se denomina ese punto como O. Las estaciones se distancian entre si, con base en la velocidad de vuelo, la altura de vuelo, y la distancia principal, para obtener un traslape de una foto a la otra de 60% (mínimo) a lo largo de la línea de vuelo y 30% traslape sobre las fotos de las líneas adyacentes.

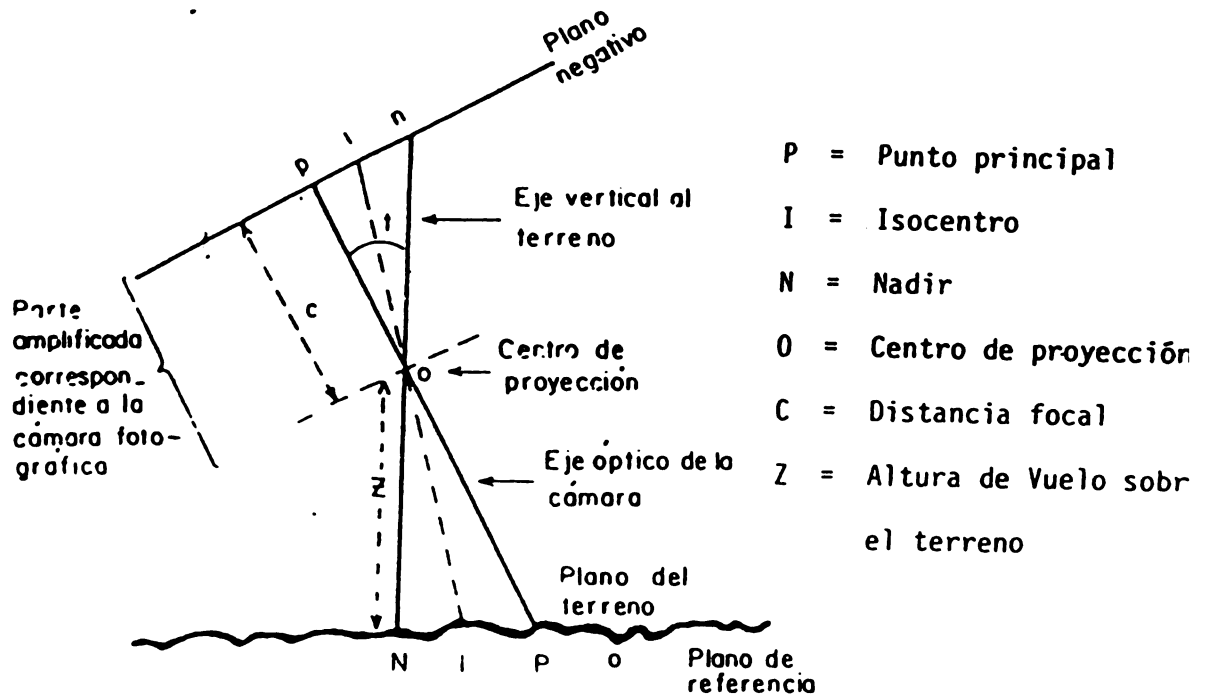


Figura 4 Puntos de referencia.

## 2.5.6 Puntos de referencia

### 2.5.6.1 Punto nadir

El punto nadir se define como el punto de intersección perpendicular al plano de la tierra que pasa por el centro de la proyección o estación de exposición ( O ). (Ver figura No. 4)

### 2.5.6.2 Punto isocentro

El punto isocentro es el punto intermedio entre el punto nadir y el punto principal o el punto de la bisectriz del ángulo formado por la perpendicular del plano negativo y la perpendicular al plano del terreno.

### 2.5.6.3 Punto principal

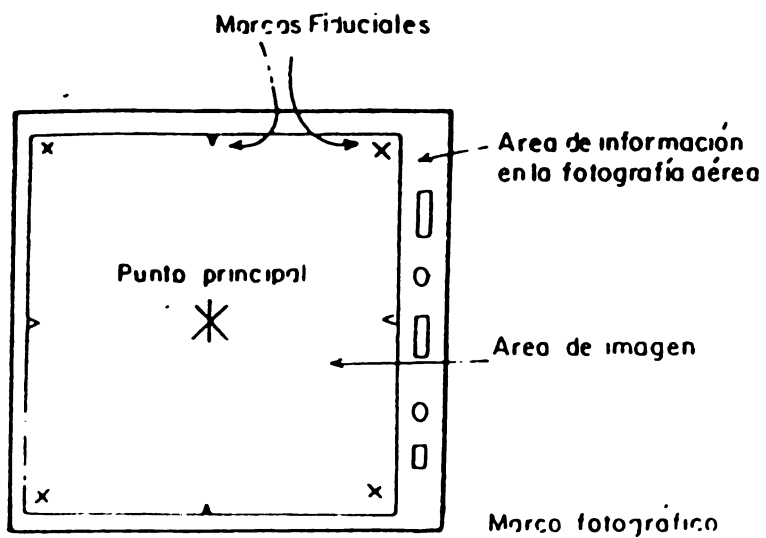
El punto principal se define con base en la intersección perpendicular al centro del plano negativo o el eje vertical al plano de la cámara. (Ver figura No. 4)

En una fotografía aérea vertical, el punto principal, el punto isocentro y el punto nadir resultan ser el mismo punto. El punto principal en ese caso es el punto central de la proyección de la imagen y por esa característica toma importancia, ya que a partir del punto principal, el desplazamiento resulta proporcionalmente mayor en cualquier dirección por toda la cobertura de la foto.

El punto principal se ubica en la foto utilizando las marcas fiduciales localizadas en el borde de la foto. (Ver figura No. 5)

## 2.5.7 Ejes de la fotografía aérea

Se definen tres ejes para una fotografía aérea, ellos son (Ver figura No. 6):



**Figura 7** Ubicación de las marcas fiduciales en la fotografía. Sus formas varían dependiendo de la marca de la cámara fotográfica. La intersección de marcas fiduciales opuestas permiten la ubicación del punto principal.

**Figura 5** Ubicación del punto principal.

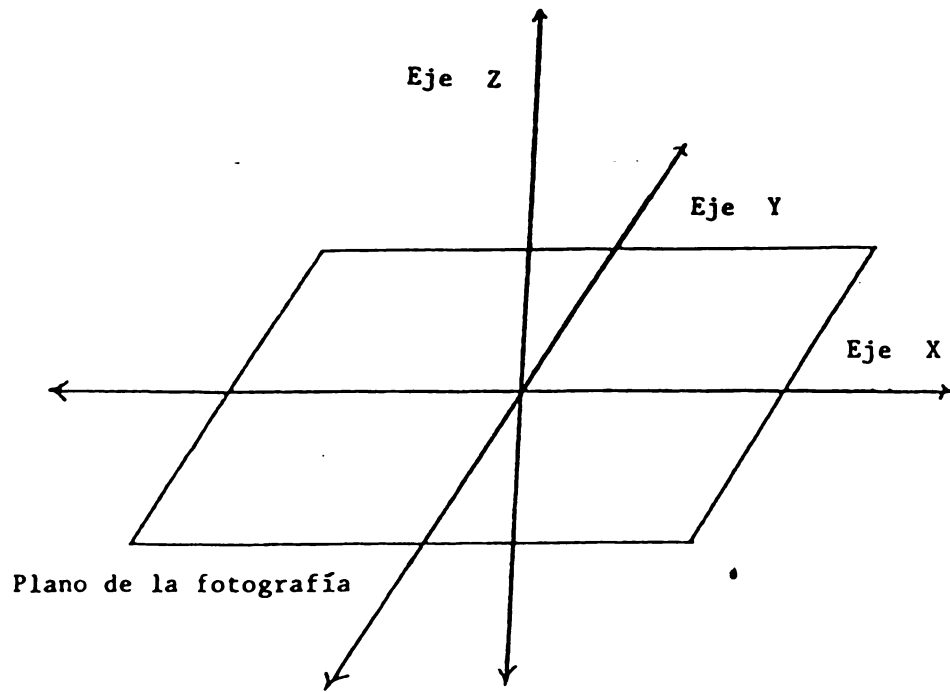


Figura 6 Los ejes de la fotografía aéreas.



X es el eje determinado por la dirección de vuelo.

Y es el eje perpendicular a la dirección del vuelo en el plano de la foto.

Z es el eje perpendicular al plano de la fotografía y a los ejes X y Y.

### 3. FOTOGRAMETRIA

#### 3.1 Aspectos geométricos de la fotografía aérea

##### 3.1.1 Escala

##### 3.1.1.1 Cálculo de escala

La escala de una fotografía aérea se puede calcular de distintas formas dependiendo de la información disponible. El método más sencillo está determinado por la relación entre la distancia principal y la altura de vuelo. (Ver Fig. No.7)

Escala absoluta (S) = Dist. Principal(C) / Altura de Vuelo(Z)

$$1 / S = C / Z$$

Cuando el terreno no es uniforme en elevación se pueden calcular las escalas media y relativa con base en las siguientes fórmulas;

Altura media del terreno (hm) = ha + hb / 2

Escala media = 1 / Sm = C / Z-hm ó C / Z+hm

Escala relativa = 1 / Sr = C / Z-ha ó C / Z+hb

La altura media y relativa de un plano del terreno se resta o suma a la altura del vuelo absoluto si éstas resultan más arriba o abajo del plano respectivamente.

Cuando no existen o se desconocen los datos de distancia principal y o altura de vuelo se puede calcular la escala con base en medidas de la foto y un mapa o el terreno. Por ejemplo, se escogen dos puntos conocidos en un mapa o en el terreno y que a la vez sean fácilmente distinguibles en la foto. También es importante anotar que en el caso de que haya relieve, los puntos deberían estar a una misma elevación. Se mide la distancia entre los puntos y con las siguientes fórmulas se calcula la escala:

Escala fotográfica (1/Sf) = Distancia en la fotografía (df)

Escala del mapa (1/Sm)                      Distancia en el mapa (dm)

$$\text{ó } 1 / S_f = \frac{\text{Dist. en fotografía}}{\text{Dist. en mapa}} * 1 / S_m$$

Escala = 1 / S = df / dt = dist. fotográfica / dist. terreno

### 3.1.1.2 Clasificación de escalas

La escala de una fotografía o un mapa determina la aplicabilidad de ese mapa o foto para determinados usos. En general se puede decir, a mayor escala mayor es el detalle, lo cual permite que sea útil para trabajos más elaborados. Es de suponer que esa regla tenga diferentes connotaciones para los diferentes campos de la ciencia. En el cuadro No. 4 se hace una comparación de escalas para diferentes campos. (3)

$$1/E = na/NA = C/Z$$

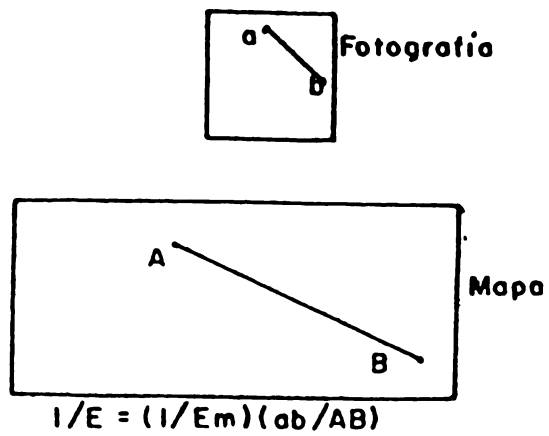
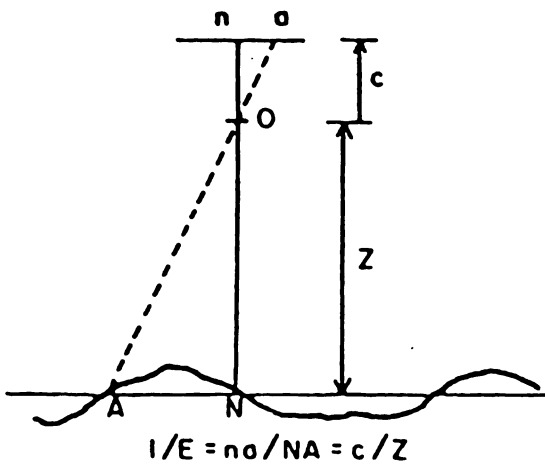


Figura 7 Escala de fotografías aéreas.

**Cuadro No. 4 Clasificación de escalas fotográficas aéreas para uso en diferentes campos.**

**CLASIFICACION DE ESCALAS**

	Clasificación de Escalas 1/S	Escala Pequeña	Escala Media	Escala Grande
Mapa	Intervalo de Escala	$1/S \leq 1:100\ 000$	$1:100\ 000 \geq 1/S \geq 1:20\ 000$	$1/S \geq 1:20\ 000$
	Aplicado a:	Reconocimiento	Semidetallada	Detallada
Fotografía aérea	Fotogrametría (Topog.)	1:100 000 a 1:60 000	1:60 000 a 1:20 000	1:20 000 a 1:5 000
	Geología	1:100 000 a 1:50 000	1:60 000 a 1:25 000	1:35 000 a 1:10 000
	Suelos	1:70 000 a 1:30 000	1:30 000 a 1:15 000	1:20 000 a 1:10 000
	Silvicultura	1:70 000 a 1:40 000	1:40 000 a 1:10 000	1:20 000 a 1:5 000

### 3.1.2 Deformaciones y distorsiones en las fotografías aéreas

#### 3.1.2.1 Desplazamiento por relieve

El desplazamiento por relieve se debe a que la fotografía aérea tomada, representa una superficie que es plana y cuando hay variaciones en el relieve, los puntos que estén

a mayor o menor altura del plano de referencia estarán representados a menor o mayor distancia, respectivamente en la foto. Para visualizar ese concepto mejor, la figura No. 8 demuestra esquemáticamente esa distorsión.

Para determinar el desplazamiento por el relieve se calcula con la siguiente fórmula;

$$*r = \frac{(r)(H)}{Z}$$

Donde:

\*r = Desplazamiento debido al relieve en la fotografía  
 H = Altura del objeto sobre el plano de referencia  
 Z = Altura de vuelo sobre el plano de referencia  
 r = Distancia del punto alto del objeto (A) al centro de la fotografía (n)

Con base en la fórmula anterior se puede inferir que el desplazamiento por relieve es:

- Directamente proporcional a la altura del objeto
- Inversamente proporcional a la altura del vuelo
- Directamente proporcional a la escala
- Inversamente proporcional a la distancia principal
- Aumenta radialmente a partir del punto nadir y es nulo en él. Es proporcional a la distancia del punto nadir al objeto. (3)

### 3.1.2.2 Desplazamiento por la inclinación de la fotografía

El desplazamiento por la inclinación de la fotografía es el resultado de la inclinación del avión a la hora de la toma de la fotografía y puede ser causado por factores externos como vientos o porque el mismo avión estaría dando la vuelta.

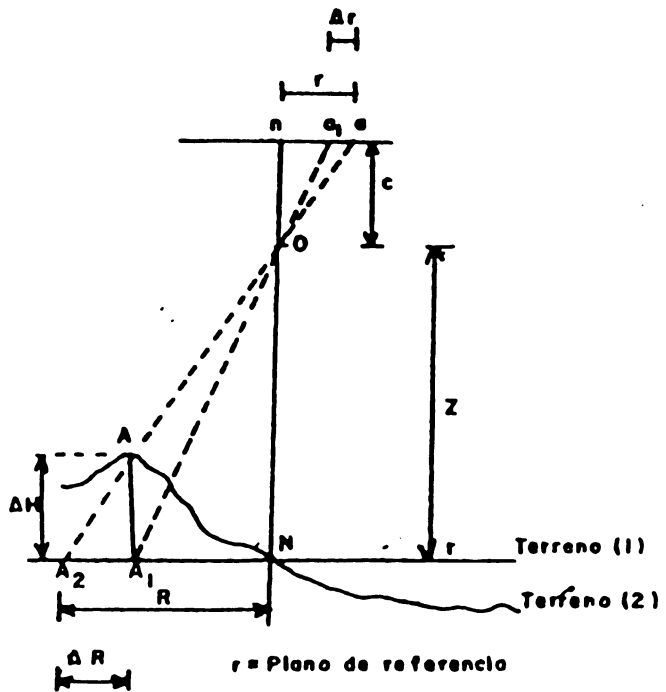


Figura 8 Desplazamiento debido al relieve.

La inclinación de la fotografía produce una distorsión dando lugar a una compresión de la escala por un lado del eje X y a un aumento por el otro lado de la foto. (Ver figura No. 9)

Otros tipos de desplazamiento de la imagen de la fotografía son efectos de giros, ladeos, cabeceos y deriva del avión. (Ver fig. No.10)

Deriva es la pérdida del rumbo o azimuth del vuelo y afecta el área de traslape de los fotos con la línea adyacente.

Giros o desviación angular es originado por una posición incorrecta del avión y cámara en relación con el eje X.

### 3.1.2.3 Distorsión radial y tangencial

Puede existir distorsión de una imagen debido a imperfecciones del objetivo. Este tipo de distorsión afecta la posición de los detalles en la imagen. Al pasar la imagen por el objetivo se desvía ligeramente su verdadera posición.

Esta distorsión puede desplazar un punto en dos direcciones a la vez, radialmente a partir del punto principal y tangencialmente o perpendicularmente del radial. (Ver fig. No. 11)

La distorsión radial puede ser controlada por el diseño y la manufacturación del lente y generalmente es muy pequeño el error. La distorsión tangencial es independiente del diseño y es producida por el centrado imperfecto de los elementos durante el proceso de manufacturación. El error es aún más pequeño que el radial y generalmente no se toma en cuenta con excepción de trabajos de alta precisión. (7)

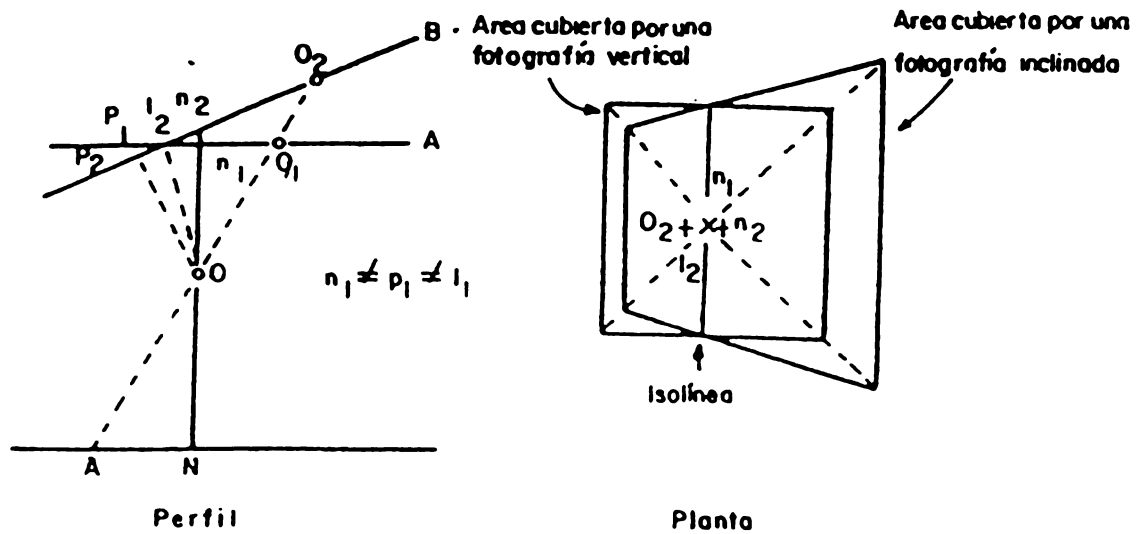


Figura 9 Efecto en la fotografía aérea por la inclinación del eje óptico en el momento de la exposición.



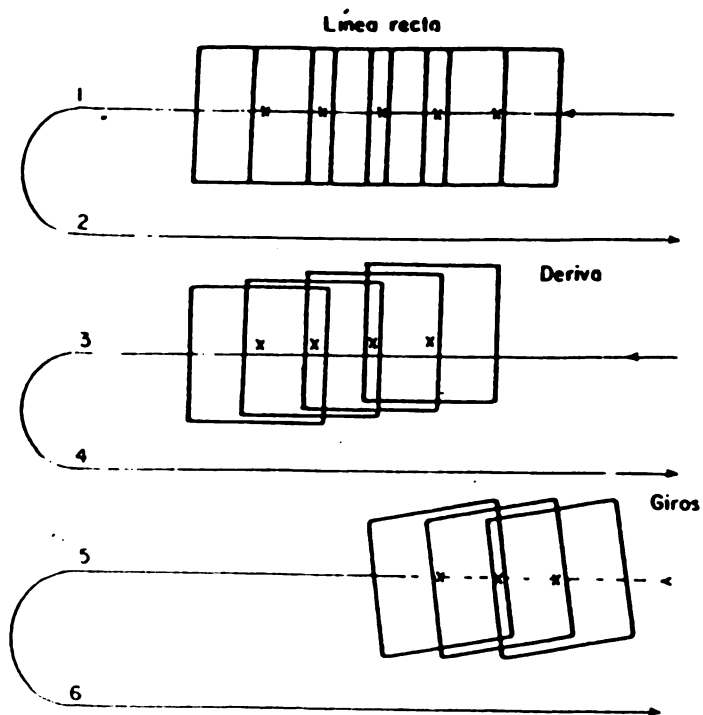


Figura 13 Efectos de la "Deriva" y el "Giro".

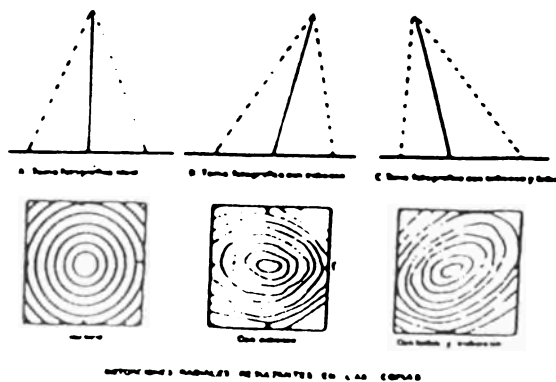


Figura 14. Efectos de los "Ladeos" y "Cabeceos"

Figura 10 Efecto de la deriva, giros, ladeos, y cabeceos del avión en la fotografía aérea.

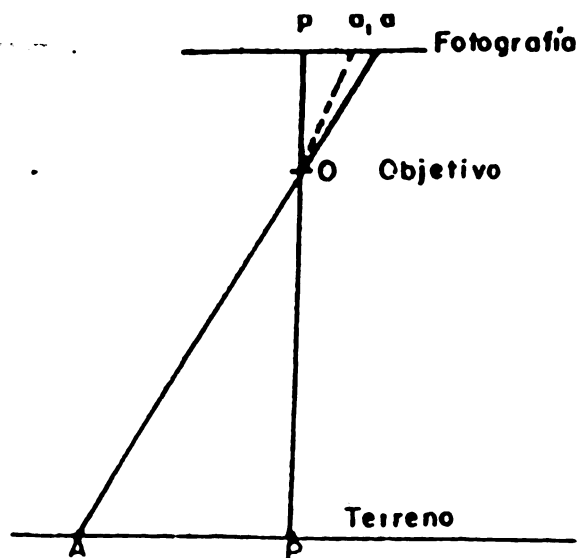


Figura 11 Distorsión radial y tangencial.

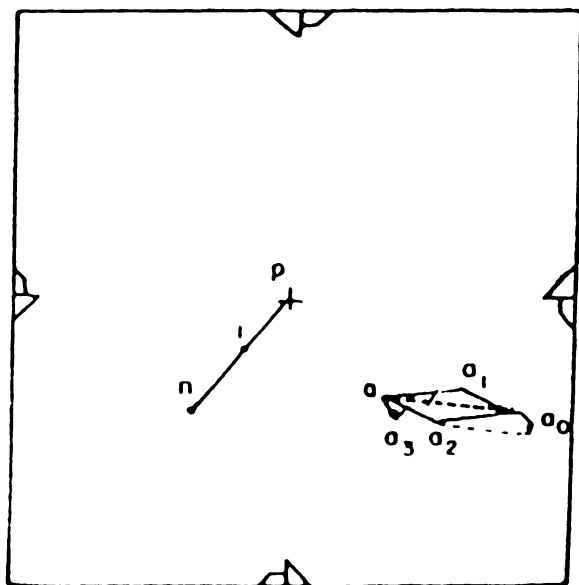


Figura 12 Error combinado producto de las deformaciones geométricas.

#### 3.1.2.4 Error combinado

El error combinado es el resultado de dos o más de las distorsiones mencionadas anteriormente. En la figura No. 12 se muestra un ejemplo del efecto de los tres tipos de distorsiones. Si existe una distorsión debido al relieve, el punto (a) se desplazaría radialmente a partir del punto nadir a punto ( $a_1$ ). Si hay inclinación de la fotografía el punto sería desplazado a la posición ( $a_2$ ). Si el objetivo presenta distorsión en las imágenes el punto (a) se corre radialmente a partir del punto principal a punto ( $a_3$ ). Considerando que los tres errores ocurran a la vez el punto (a) tendría una posición igual a la suma de los tres valores  $aa_1$ ,  $aa_2$ ,  $aa_3$ , siendo su posición final ( $a_0$ ).

(7)

Para corregir el error combinado se deben realizar los cálculos para cada una de las distorsiones. El relieve es relativamente fácil, en cambio los otros son procedimientos más complejos.

### 3.2 Mediciones

Para realizar la medición de distancias y áreas sobre fotos aéreas es necesario tomar en consideración los siguientes aspectos:

1. La corrección de los puntos que defina la línea o área.
2. El cálculo de la escala media.
3. El cálculo de la distancia o área.

En la actualidad, con las cámaras modernas y aviones especiales, son insignificantes los errores a causa de la inclinación del avión y defectos de los objetivos. Por esta razón en la mayoría de los casos solo es necesario corregir la distorsión causada por el relieve (\*r). Se realiza esa corrección con base en las siguientes fórmulas;

$$r^* = H/2 \times r \quad \text{ó} \quad r^* = \frac{\text{Par}}{\text{Pr} + \text{Par}} \times r$$

(Ver fig. No. 9 y sec. 3.1.2.1)

La, Lr = Lecturas con la barra de paralaje para los puntos A y R

Par = La - Lr = diferencia de paralaje

Pr = P1'P2' - r'r'' = paralaje absoluto del punto R

r = Distancia radial medida en la fotografía

Se calcula la escala media con base en las fórmulas dadas en la sección 3.1.1.1 sobre el área o distancia que pretenden medir. En áreas de relieve es importante que la escala media sea calculada sobre el área o trayectoria de la línea que se está midiendo.

### 3.2.1 Distancia

La distancia o longitud de una línea en una fotografía se calcula con base en la medida (con regla o curvímeter) sobre la fotografía y multiplicado por la escala media.

$$\text{Distancia} = \text{Medida} \times \text{Escala}$$

### 3.2.2 Area

El cálculo del área puede realizarse de distintos modos dependiendo del tamaño y forma del área que se pretende medir.

En el caso de un área con una forma regular (cuadrada, rectangular, circular etc) se emplean los cálculos geométricos correspondientes y se multiplica por la escala media.

$$\text{Area} = \text{Área en la foto} \times (\text{escala de la foto})^2$$

Cuando se trata de una área cuya forma es irregular pero cuyos bordes son líneas rectas tipo polígono, se puede

dividir el área en secciones con formas regulares (triángulos, rectángulos, trapezoides etc.) calcular el área de cada una y sumarlas. Entonces se multiplica la suma de ellas por la escala para obtener el área total.

Muchas veces las áreas que se deben medir son de formas irregulares con bordes irregulares. En estos casos hay tres métodos que se utilizan corrientemente para calcular el área.

1. Se utiliza una transparencia con puntos sobrepuestos al área en cuestión y se cuenta el número de puntos localizados dentro de los límites del área. Se mide la distancia entre los puntos y se calcula el área que representa cada punto y se multiplica por el número de puntos contados. Se toma el último valor calculado y se multiplica por la escala media al cuadrado de la fotografía para obtener el área. (1)

$$\text{Area} = \text{No. de puntos} \times \text{Area de cada punto} \times (\text{Escala media})^2$$

2. Similar a lo anterior es el uso de una transparencia con cuadrículados tipo papel milimétrico. Se cuenta el número de cuadrículas y se multiplica por el área de la cuadrícula ( $\text{mm}^2$ ) y por último se multiplica por la escala media al cuadrado.
3. También se puede utilizar un planimetro polar para medir el área. Simplemente se multiplica la lectura obtenida por el planimetro, por el factor de conversión para obtener  $\text{mm}^2$  y después se multiplica por la escala media al cuadrado. (Ver pg. 437-439 del 1)

### 3.3 Principio de la visión estereoscópica

#### 3.3.1 Visión binocular

La visión binocular es lo que permite al hombre percibir objetos en una forma tridimensional y distinguir profundidad hasta cierta distancia, dependiendo de la separación de los ojos. A grandes distancias o altitudes las imágenes se perciben solo en dos dimensiones como una superficie plana. Es en la mente que se formula la imagen en su tercera dimensión. Esto se realiza porque cada ojo percibe el objeto de una forma distinta, o de un ángulo diferente y la mente basada en experiencias anteriores de objetos similares, permite la formulación de la visión del objeto así como realmente es.

#### 3.3.2 Visión estereoscópica

Las fotografías aéreas son como imágenes que son vistas con un ojo. Dos fotografías que cubren la misma área, pero tomadas a diferentes puntos representa la visión de dos ojos permitiendo así la distinción de la tercera dimensión.

Para poder ver estereoscópicamente las fotografías deben corresponder a fotografías sucesivas, con un área común y tomadas desde diferentes estaciones. Los ejes ópticos de la cámara tienen que estar en un mismo plano en el momento de la toma de la fotografía. La relación de distancia entre estaciones de exposición ( $B$ ) y la altura de vuelo ( $Z$ ),  $B/Z$  deben ser entre 0,02 y 2,0. También la escala de las fotos deberían ser iguales o con una diferencia no mayor de 5%.  
(3)

Para obtener una visión estereoscópica se utilizan instrumentos basados en el método de observación con ejes ópticos paralelos. Los instrumentos más utilizados son el estereocopio de bolsillo y el de espejos. La ventaja del primero es su facilidad de portar y utilizar en el campo y

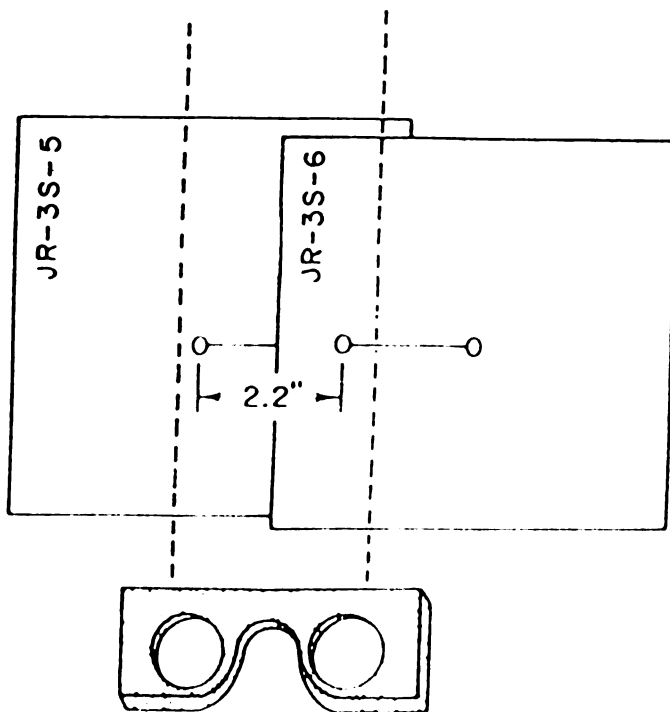
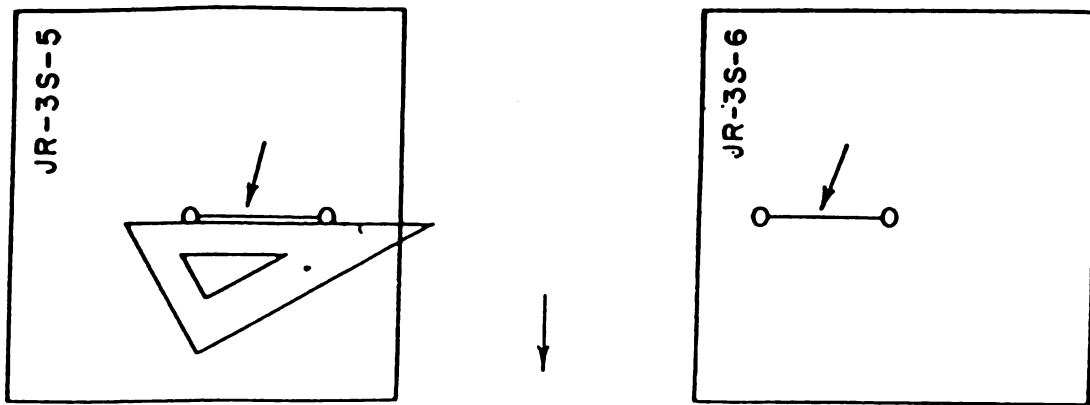


Figure 13. Orientacion de las fotografias aéreas.

su costo. El estereoscopio de espejos se utiliza principalmente en la oficina y tiene las ventajas de tener un área mayor de cobertura con visión estereoscópica, facilidad de dibujar o trazar líneas, y la posibilidad de utilizar lentes con poder de aumentos.

El procedimiento que se sigue para ver estereoscópicamente dos fotografías con un estereoscopio de espejos es:

1. Montar el equipo y limpiar los lentes y espejos con papel especial para ello.
2. Ajustar la distancia de los lentes a la distancia interpupilaria de sus ojos.
3. Seleccionar las fotografías que se estudiarán. Tienen que ser dos fotografías consecutivas con traslape del área que se desea ver.
4. Se ubica una foto debajo del estereoscopio fijándole a la mesa con tape o imanes. La foto debe estar orientada con las sombras apuntadas más o menos en la dirección de la persona y la línea del vuelo en la dirección paralela a los ojos. Se debe tener cuidado de no poner la cinta adhesiva encima de la imagen, ya que a la hora de quitársela se puede arrancar la película. Las fotografías deben estar en el mismo orden que fueron tomadas, ya que al invertir ese orden se verá una imagen cuyas montañas se ven como valles y los valles como montañas.
5. Se ubica la segunda foto a la par. Se busca un punto u objeto que sea fácilmente visible en las dos fotografías (ej. una casa, el cruce de dos caminos, la unión de dos ríos). Se pone un dedo justo debajo del punto en ambas fotos, se mira por el estereoscopio y se mueve la segunda fotografía. Se trata de unir los dos dedos hasta que se vean solamente como uno, entonces se quitan



los dedos, se concentra en el objeto y se mueve la segunda fotografía ligeramente hasta que el objeto se vea como uno solo. Puede ser que dure un rato hasta que los ojos se acostumbren a la visión y formen la imagen en la tercera dimensión. Personas con problemas de vista pueden tener problemas en ver estereoscópicamente. (Ver figura No. 13)

### 3.3.3 Determinación del punto principal, línea de vuelo, y base aérea.

Previamente, o una vez que las fotografías hayan sido colocadas, es conveniente que se localicen los puntos principales de las fotografías aéreas. Para ello se utilizan las marcas fiduciales ubicadas en las esquinas o en el centro de los bordes dibujando una línea imaginaria que forma una cruz (x ó +) en el centro de la foto. El punto de intersección es el punto principal (P). Esto se hace para ambas fotografías. Entonces, bajo el estereoscopio se marcan los puntos principales transferidos (P') o sea que se ubica el punto principal de la primera fotografía a la segunda y el punto principal de la segunda a la primera. (Ver figura No. 14)

Localizados los puntos principales se puede dibujar una línea del punto principal al punto principal transferido. Esta línea representa la línea de vuelo.

La base aérea (b) o base de modelo estereoscópico es el promedio de la distancia entre el punto principal y el punto principal transferido de ambas fotos

$$b = \frac{(P_1P_2') + (P_2P_1')}{2}$$

### 3.3.4 Paralaje

Paralaje es el desplazamiento de la imagen de un punto en dos fotografías consecutivas, lo cual se debe al cambio de la posición de la estación de toma. y la magnitud depende de la elevación del punto sobre la tierra. (3)

El paralaje se basa en el principio del índice móvil o también llamado la marca flotante, definida por Pulfrich. Marcas idénticas sobrepuestas en el mismo punto en dos fotografías consecutivas se ven como un solo punto que flota o está hundido en la tierra. (5) (Ver figura No. 15)

El vector paralaje se separa en dos componentes, el paralaje horizontal ( $P_x$ ) y el vertical ( $P_y$ ). El paralaje  $P_y$  se hace cero al orientar el par de fotos y la horizontal es lo que permite realizar la medida de la altura de un objeto por medio de la fórmula del paralaje. (5)

En la figura No. 14 se demuestra gráficamente como un objeto sufre un cambio de posición en relación con la otra foto, debido al cambio en la estación de toma. Con base en la figura No. 14 se puede ver que el paralaje del:

$$\begin{aligned} \text{Punto R} &= PR = P_{1r} + P_{2r} \\ \text{Punto A} &= PA = P_{1a} + P_{2a} \end{aligned}$$

#### 3.3.4.1 Medida del paralaje

Para calcular alturas de objetos por medio del paralaje estereoscópico se debe medir el paralaje absoluto y el paralaje diferencial. El paralaje absoluto o paralaje algebraico es la distancia entre puntos homólogos en relación con el punto principal sobre el eje X o línea de vuelo. La medida y cálculo del paralaje puede realizarse de distintas maneras. Se puede medir la distancia entre los puntos  $a$  y  $P$  de cada foto o medir la distancia entre

$P_1 - P_2 - P_3$  - Puntos principales de fotografías 1-2-3 respectivamente  
 $PT_1 - PT_2 - PT_3$  - Puntos principales transferidos.

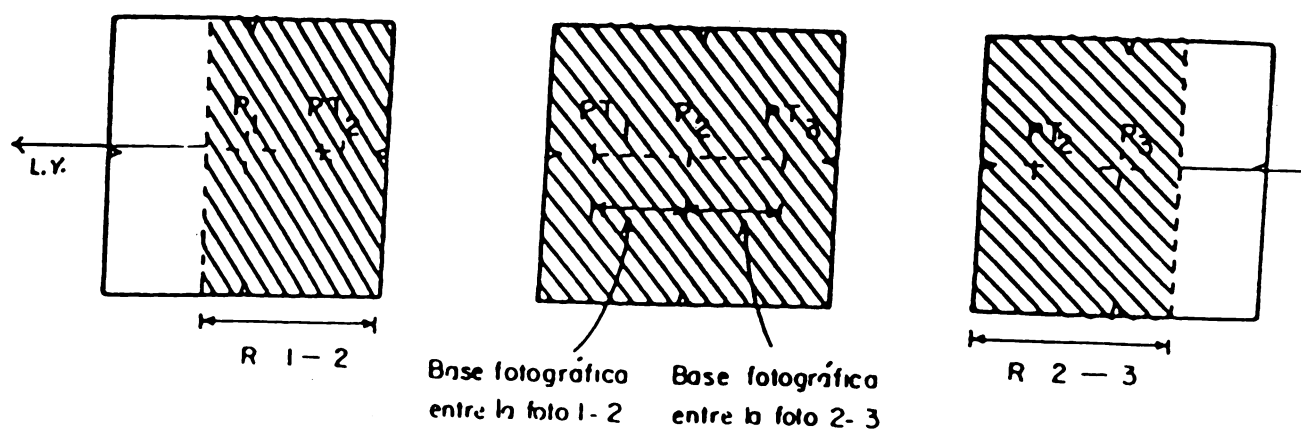
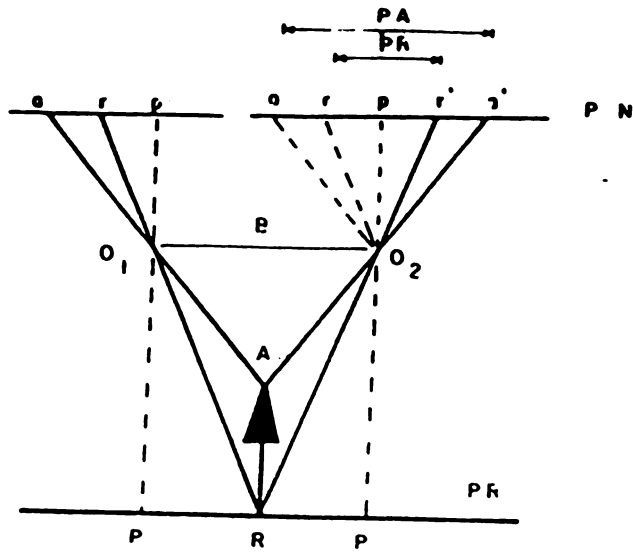
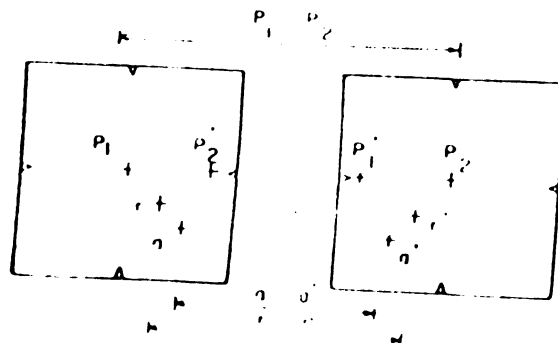
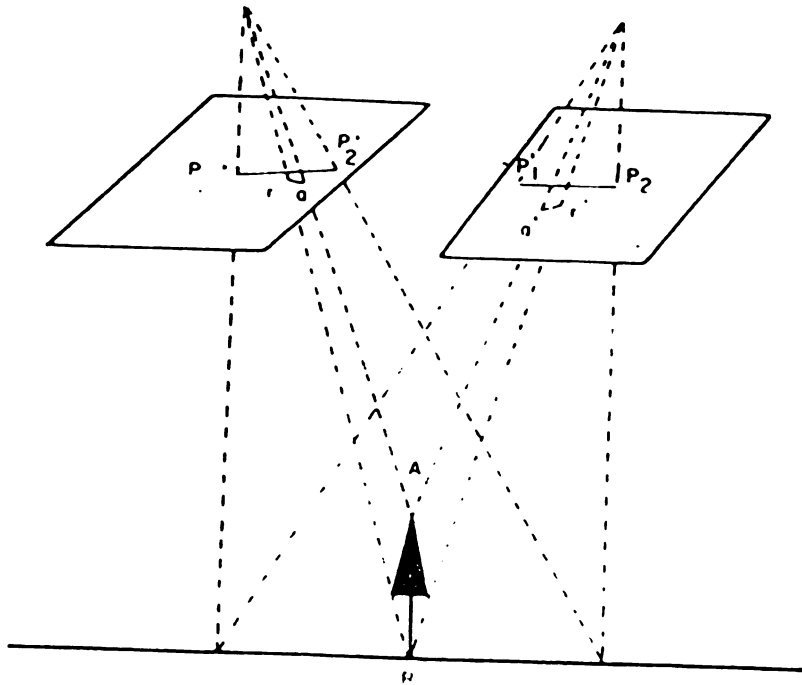


Figura 14 Determinación del punto principal, línea de vuelo, y base aérea.



donde.  $\Delta PAR$  diferencia de paralaje entre punto A y punto R.  
 A Punto más alto  
 R = Punto más bajo



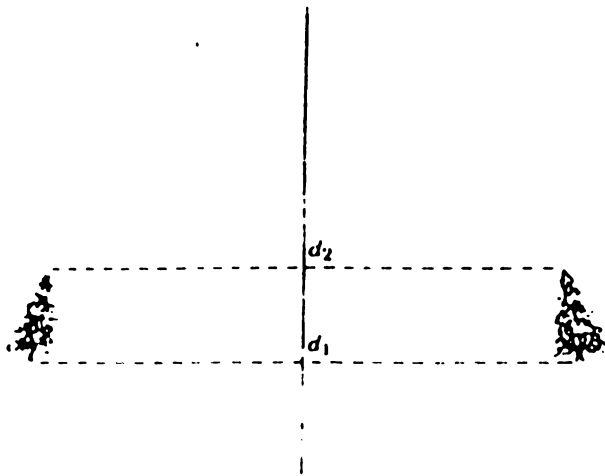
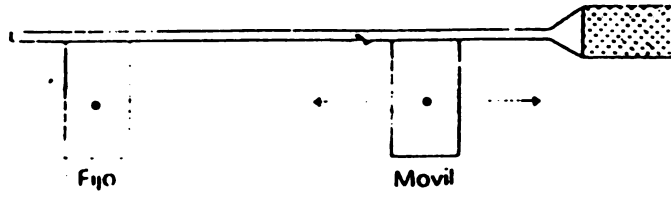
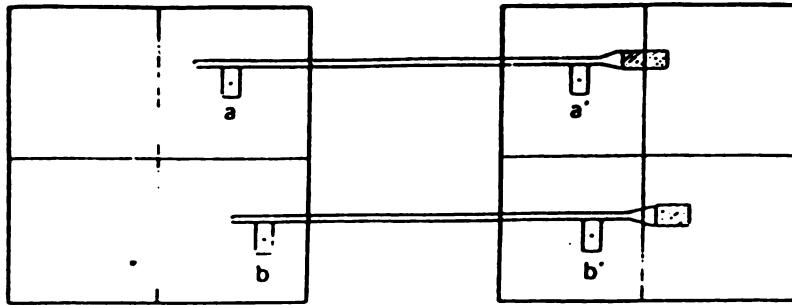


Figura 16 Medición de paralaje con la barra de paralaje.

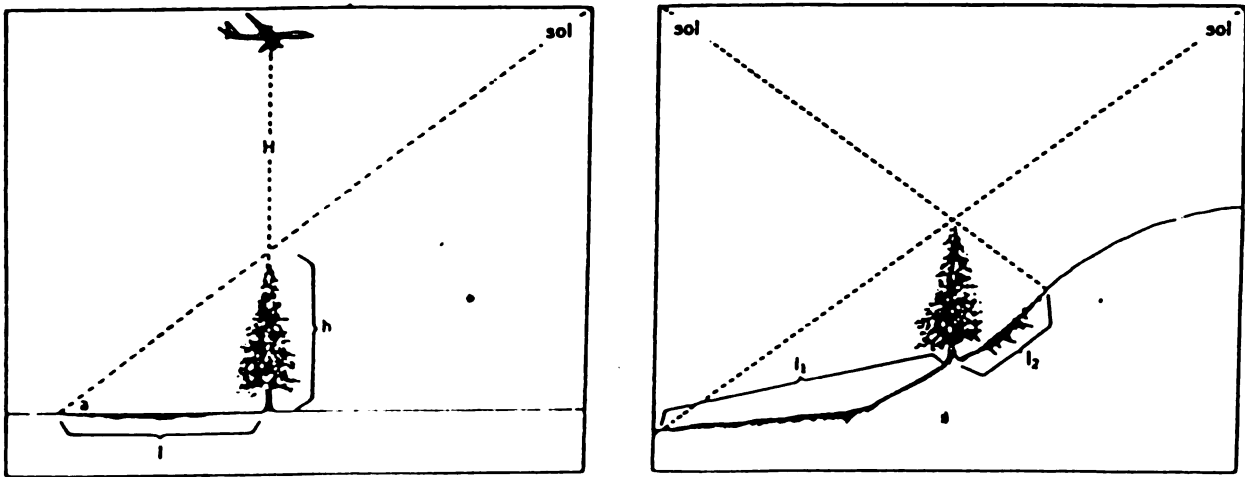


Figura 17 Medición de altura por el método de la sombra.

los mismos puntos de cada fotografía si están bien alineadas. (Ver figura No.15)

$$\text{Paralaje Absoluto} = PA = \frac{P_1a}{P_1P_2} + \frac{P_2a'}{P_1P_2}$$

$$= \frac{P_1a + P_2a'}{P_1P_2}$$

El paralaje diferencial es la diferencia en el paralaje estereoscópico absoluto en la punta y en la base de un objeto medido paralelamente a la línea del vuelo. El paralaje diferencial (PAR) de dos puntos con diferencia en altura permite determinar la elevación mediante las siguientes ecuaciones:

$$PAR = PA - PR$$

$$= \left( \frac{P_1a + P_2a'}{P_1P_2} \right) - \left( \frac{P_1r + P_2r'}{P_1P_2} \right)$$

$$PAR = rr' - aa'$$

Las distancias  $aa'$  y  $rr'$  se pueden medir directamente en las fotografías con una regla, pero normalmente se usa una barra de paralaje o una cuna de paralaje. Ambas dan una precisión similar, pero en general se prefiere la barra porque tiene la punta flotante. (2)

Para calcular el paralaje diferencial medido con una barra de paralaje, se utiliza la fórmula obtenida de la siguiente manera:

$$LA = K - aa' \quad \text{ó} \quad aa' = K - LA$$

$$LR = K - rr' \quad \text{ó} \quad rr' = K - LR$$

$$PAR = rr' - aa'$$

$$PAR = (K - LR) - (K - LA)$$

$$PAR = LA - LR$$

(Ver figura No.16)

B = Barra de paralaje con escala en milímetros

- F = Placa transparente fija con marca grabada
- G = Placa transparente móvil con marca grabada
- N = Tornillo macrométrico para desplazar rápidamente
- M = Tornillo micrométrico para ajuste fino
- V = Vernier para aproximar las medidas a décima y/o centésima de milímetro
- LA = Lectura para el punto A en las fotografías
- LR = Lectura para el punto R
- K = El constante de partida

### 3.3.4.2 Determinación de altura

#### 3.3.4.2.1 Método de la sombra

Para determinar alturas de objetos en las fotografías aéreas se puede utilizar uno de dos métodos: el método de la sombra y por estereoscopia. (Ver figura No. 17)

El método de la sombra, como indica su nombre, se basa en la determinación de la altura de un objeto por su sombra. Para ello se requiere:

- a. Tiempo sideral exacto de la toma de la fotografía
- b. Localización precisa del objeto, longitud y latitud
- c. Declinación del sol el día en que se tomó la foto
- d. Altura de vuelo del avión sobre el terreno (Z)
- e. Distancia focal de la cámara (c)
- f. Longitud de la sombra (l)



Para calcular la altitud solar (x) se aplica la siguiente fórmula;

$$\text{sen } x = (\text{cos } a) (\text{cos } b) (\text{cos } c) + (\text{sen } a) (\text{sen } b)$$

a = declinación del sol el día que se tomo la foto  
(ver tabla 2,2 en Strandberg)

b = longitud

c = latitud

Una vez determinada la altitud solar se calcula la altura del objeto (h) de la siguiente manera;

$$h = (Z) (l) (\text{tg de la altitud solar}) / c$$

El método tiene la desventaja de que su uso en terrenos con pendiente puede alargar o hacer más corta la longitud de la sombra. (Strandberg)

Otro referencia sobre el cálculo de altura por la sombras se puede encontrar en Johnson. (4)

#### 3.3.4.2.2 Método de la estereoscopia

El método de medir la altura por estereoscopia o por diferencias de paralaje es el más utilizado de los dos métodos. Se puede utilizar para determinar la elevación de un punto específico, determinar la altura de un objeto, o determinar puntos de igual altura para trabajos topográficos.

Para la medición de altura se utiliza la cuna de paralaje cuando se usa el estereoscopio de bolsillo y la barra de paralaje con el estereoscopio de espejos.

El cálculo de la altura del objeto (h) se base en la siguiente fórmula:

$$h = (Z) (PAR) / (b + PAR)$$

donde:

$$b = (P_1P_2' + P_2P_1') / 2$$

$P_1$  = Punto principal de la primera foto

$P_2$  = Punto principal de la segunda foto

$P_1'$  = Punto principal transferido a la segunda foto

$P_2'$  = Punto principal transferido a la primera foto

PAR = Paralaje diferencial (Ver 3.3.4.1)

Z = Altura del vuelo

En ocasiones cuando no se conoce la altura de vuelo del avión, ésta puede ser calculada si existen puntos bien conocidos, a una distancia en la foto (d) y en un mapa (D), a una misma elevación y si a la vez se conoce la distancia focal de la cámara (c). Para ello se emplea la fórmula;

$$Z = (D) (c) / d$$

#### 3.3.4.2.3 Errores en la medida

En la medida del paralaje pueden ocurrir errores de diferentes clases como:

- a. Errores por defectos en las fotografías
- b. Errores por mala colocación de las fotos
- c. Errores hechos por el observador

Algunos de estos errores se detallan a continuación:

- a. Distorsiones en la fotografía, particularmente por los bordes, donde aumenta considerablemente la distorsión, son frecuentes causas de error. Es recomendable, cuando es posible, utilizar solo puntos cercanos al centro de la foto. También la distorsión debido a los ladeos, cabeceos, y ópticos. Las escalas afectan la precisión de la medida, conforme sea menor la escala, menor será la precisión, y mayor el error.
- b. La mala colocación de las fotografías aéreas causan errores en las medidas debido a que la separación de los puntos no son correctos, por la inadecuada construcción del modelo estereoscópico. La línea de vuelo no paralela al eje del mismo observador es causa de esos errores.
- c. Por falta de técnica y práctica en el manejo del estereoscopio y la barra de paralaje es posible que el operador cometa errores como la mala colocación de los puntos flotantes, tomar equivocadamente la lectura, o simplemente en la selección de puntos inadecuados para medir.

#### 4. FOTOINTERPRETACION

##### 4.1 Identificación de elementos en las fotografías aéreas

###### 4.1.1 Naturales

La identificación de elementos naturales en las fotografías es relativamente fácil para aquellos que han volado en avión y han visto desde el aire la tierra. Para aquel que no tiene experiencia, basta con utilizar un poco la lógica para

definir las diferentes formas u objetos naturales que existen. Elementos naturales como ríos, montañas, o valles tienen generalmente formas y tamaños irregulares. Otros elementos como bosques naturales o charrales de regeneración natural demuestran densidades, formas e incluso colores o sombras variables.

#### 4.1.2 No-naturales

Los elementos no-naturales al contrario de los naturales demuestran regularidad en la mayoría de los casos. Las ciudades son fácilmente observadas por las líneas rectas de sus calles y las casas por sus formas geométricas (cuadradas y rectangulares). Los cultivos reflejan una uniformidad en su densidad y color. Así en general, se observa la diferencia entre un elemento natural y un elemento hecho o modificado por el hombre. En ciertos casos, por ejemplo una represa hidroeléctrica podría confundirse con un lago natural, ya que ambos tienen las mismas características. Solo fijándose bien en la salida del río del lago por la existencia de una presa podría distinguirse la diferencia.

#### 4.2 Variación en elementos

Como se puede deducir por lo anterior, los elementos varían de acuerdo con varios parámetros tales como: densidad, forma, tamaño, patrón, regularidad, color y sombra. A continuación se hacen comentarios sobre la variación en los elementos que se podrán ver en las fotografías aéreas. (10)

El grado o densidad de los elementos incide en su identificación. Por ejemplo, una cobertura de copas densas, pero distribuidas uniformemente puede significar una plantación forestal o frutal vieja. Una plantación joven tendrá una distribución uniforme pero menos densa. Una cobertura densa y por encima árboles distribuidos uniformemente pero esparcidos sobre la otra cobertura puede significar una plantación de café o de cacao, con árboles de

sombra, dependiendo de la elevación en que esté. También una cobertura densa, pero sin un patrón de distribución puede significar un bosque natural. Si las copas se ven y son de varios tamaños puede ser un bosque natural virgen, en cambio un bosque con copas de igual tamaño indicaría un bosque secundario. Cultivos jóvenes de maíz o caña, se distinguen por sus líneas, pero ya maduros no es tan fácil verlos. Otros tipos de cultivos de granos: arroz, trigo, cebada, etc. demuestran una cobertura baja y una densidad fina como el pasto. El color o tonalidad es otro factor que ayuda a distinguir los diferentes elementos de una foto. Los cultivos muestran variación en color particularmente, en sus etapas de desarrollo.

#### 4.3 Convergencia de evidencia

La convergencia de evidencia significa la interpretación de elementos en las fotografías aéreas con base en evidencias que permitan deducir lo que son los elementos. Un ejemplo de esto es un edificio grande en el centro de una finca de caña. Lógicamente se puede deducir que este edificio sea un ingenio, aunque no sea posible distinguirlo en la foto como tal. Otro ejemplo puede ser, que en el centro de una ciudad se vea un área cuadrada llena de árboles, la cual, sea probablemente un parque, por simple deducción.

#### 4.4 Fotointerpretación para el manejo de cuencas

La fotointerpretación es una herramienta técnica importante para la planificación y el manejo de cuencas, por la facilidad de que permite reconocer grandes áreas sin tener que recorrerlas en el terreno y levantar mapas de diferentes aspectos, como el patrón de drenaje y el uso de la tierra, etc., a muy bajo costo, comparado con los métodos tradicionales de topografía.

Para realizar la fotointerpretación de una cuenca se llevan a cabo una serie de pasos, que en conjunto dan una visión completa de los elementos de la cuenca. A continuación se detallan los principales pasos que se realizan en la fotointerpretación de una cuenca.

#### 4.4.1 Patrón de drenaje

El patrón de drenaje es la red de ríos u otros cauces que llevan agua y con base en ello se pueden determinar los límites y el área de la cuenca. Esto se considera como el primer paso en la fotointerpretación de una cuenca. También el patrón de drenaje es un criterio importante para la identificación de los fenómenos geológicos, hidrológicos y geomorfológicos del pasaje. (9)

Los patrones de drenaje se describen en términos de sus características de grado de integración, densidad, grado de uniformidad, orientación, grado de control, angulosidad y ángulos de unión. Para mayor detalle de los patrones de drenaje ver figura No. 18. (9)

#### 4.4.2 Delineación de la cuenca

Como segundo paso se realiza la delineación de la cuenca en cuestión. Esto se puede hacer de dos modos, dependiendo del relieve. Si el relieve de la cuenca es irregular, o sea, que se distinguen fácilmente las lomas o montañas que representan la división de la cuenca, entonces es factible realizar la delineación directamente en la foto. En caso de que el terreno sea plano o con poco relieve es conveniente hacer la delineación primero en un mapa con base en las curvas de nivel y después transferirlo a la fotografía.

Una cuenca es una área definida por la división de aguas, donde corre el agua a un mismo cauce hasta su desembocadura, a otro río o al mar. Por su definición la cuenca se delinea

a lo largo de la línea de las montañas donde ocurre la división de aguas entre un río y otro.

Una vez hecha la delineación de la cuenca se puede seguir uno de muchos pasos, dependiendo de los objetivos que se persigan. Como este trabajo no pretende cubrir todos los objetivos, a continuación se hace mención de dos aspectos básicos para el manejo de una cuenca.

#### 4.4.3 Cobertura y uso de la tierra

La cobertura y uso de la tierra se refiere a toda vegetación, aguas, y obras en la superficie, sean naturales o modificadas por el hombre. Se puede clasificar de varias maneras dependiendo del propósito de la clasificación. Comúnmente se divide en categorías como: agricultura, agropecuaria, áreas de protección, forestal, superficies de agua, vías de comunicación, y zonas urbanas.

Cada una de estas categorías puede ser subdividida de acuerdo con un uso específico tales como; cultivos anuales o perennes, y áreas de protección para recreación o vida silvestre en peligro de extinción. Algunas actividades como la agroforestería pueden ser difíciles de acomodar en una u otra categoría, pero dependiendo del énfasis se puede separar o simplemente hacer una categoría aparte.

La identificación de estos usos o coberturas requiere cierto conocimiento y práctica. Es recomendable que previamente al trabajo de gabinete se haga una gira corta al campo con las fotos para identificar los usos más comunes en los fotos. Una vez establecidas las referencias se delinearán sobre un acetato transparente sobrepuesto a la foto, los diferentes usos. Es recomendable no dibujar sobre la foto misma, particularmente si son las únicas copias, ya que se obstruyen detalles que después se necesitan.

## PATRONES DE DRENAJE TIPOICOS

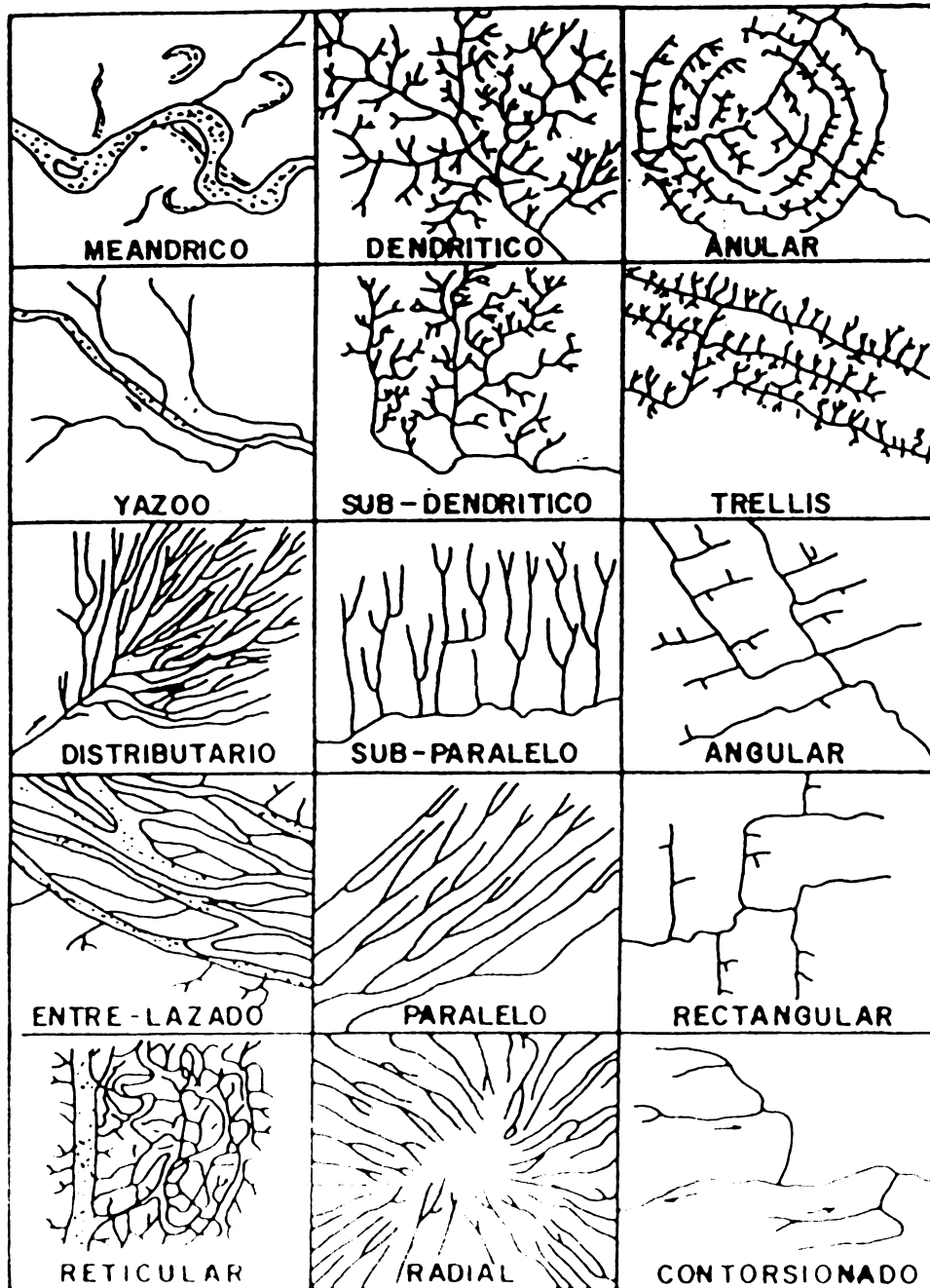


Fig 1



#### 4.4.4 Areas problemáticas

Un aspecto esencial en el reconocimiento de una cuenca es la determinación de las áreas críticas o problemáticas existentes y las áreas que podrían ser si hubiera cambios en su uso.

##### 4.4.4.1 Deslizamientos naturales y provocados

Los deslizamientos naturales y los provocados por el hombre, por el uso inadecuado, son señas claras de áreas críticas donde el equipo planificador de cuencas debe tomar medidas concretas para regular su uso. Por ello es esencial la delineación de estas áreas. Para el fotointérprete es fácil identificar los deslizamientos recientes en las fotografías aéreas. El problema es identificar todas las áreas propensas a ese fenómeno. Hay varias maneras de identificar con mayor certeza estas áreas.

Los deslizamientos ocurren con mayor frecuencia o incidencia cuando hay algún evento climático o tectónico que los inician, como huracanes, terremotos, lluvias fuertes y prolongadas, etc. Por esto, es conveniente revisar fotografías aéreas tomadas a poco tiempo después de tales eventos, que demuestran con mayor claridad cuáles son estas áreas problemáticas. Si no existen fotografías es recomendable realizar una gira al campo para reconocer áreas donde han ocurrido deslizamientos en el pasado. Muchas veces los mismos habitantes de la zona pueden indicar donde ha ocurrido, cuando, y hasta por qué. Esta información da al fotointérprete base para identificar áreas con condiciones similares y así delimitarlas.

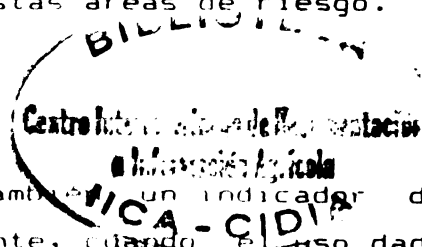
#### 4.4.4.2 Inundaciones

Las inundaciones son fenómenos naturales en cualquier cuenca y es importante su consideración en la planificación y manejo de la cuenca debido a la fuerza destructora que tiene un evento de esta naturaleza. Las áreas afectadas por las inundaciones generalmente son mejor visualizadas después de que ha ocurrido un evento de esos. Por ello se recomienda al igual que en los deslizamientos, revisar las fotografías tomadas después de ocurrido un evento o realizar una gira al campo.

Para las personas que tienen alguna experiencia en el campo forestal es fácil detectar especies que se han adaptado a las inundaciones y que indican incluso la frecuencia y nivel de los eventos. Por ejemplo, en Costa Rica se encuentra a lo largo de los ríos Pacuare, Chirripó, y Toro Amarillo, en la zona atlántica, la caña brava *Gynerium sagittatum*, que ocurre donde el nivel de la inundación llega con una frecuencia de cada dos o tres años. Más cerca al río y a más bajo nivel se encuentran especies herbacias y arbustos que indican que el río inunda estas áreas anualmente o más de una vez al año. A mayor nivel que la caña brava, se pueden encontrar especies como *Acacia* spp., *Albizia* sp., y *Pithecellobium longifolium* donde las inundaciones llegan pero a menor frecuencia y con menos fuerza. Estas áreas se ven en las fotografías como bosques homogéneos con una textura y color uniforme, lo cual permite al fotointérprete distinguir y delinear fácilmente estas áreas de riesgo.

#### 4.4.4.3 Uso de la tierra

El uso de la tierra puede ser también un indicador de áreas problemáticas, particularmente, cuando el uso dado no sea compatible con la capacidad de uso. Áreas de cultivos anuales en pendientes de 45% o más sobre suelos



fácilmente erosionados, en climas muy húmedos, son un ejemplo de lo que puede ser un área problemática. Para determinar cuáles son las áreas de uso problemático es necesario tener conocimiento previo de los sitios y cultivos que demuestran los signos de degradación de los suelos. Lo mejor es inspeccionar en el campo con un técnico con experiencia en suelos y o capacidad de uso de la tierra, diferentes sitios y con base en lo anterior, el fotointérprete puede inferir cuáles son las otras áreas que reúnen estas mismas características.

#### 4.4.4.4 Poblaciones

Las poblaciones representan áreas problemáticas por dos razones básicas. Primero son lugares donde se reúne una cantidad de personas y obras en un área que puede ser susceptible a algún desastre natural y por lo tanto un peligro para la vida de la gente y para las obras. Segundo, las poblaciones tienen la tendencia a expandirse, cubriendo áreas no apropiadas para el asentamiento humano o para otros usos, lo cual puede causar un futuro problema e incluso peligros para la gente misma. La designación de estas áreas es importante para los planificadores, ya que les permite considerar los aspectos de protección y programar el desarrollo adecuado de las mismas.

#### 4.4.4.5 Infraestructura y obras

Las obras de infraestructura y de otros tipos son importantes, no solo por su alto costo, sino por lo que representan al desarrollo de las comunidades y al país. Por ello se delinearán estas obras, para que se pueda prevenir no sólo su protección sino también planificar su uso para el desarrollo.

#### 4.4.5 Comprobación en el campo

Durante el trabajo de fotointerpretación, como se ha hecho mención varias veces en el texto, es absolutamente necesario hacer una comprobación en el campo, de la fotointerpretación que se ha realizado en el gabinete. Por lo anterior un fotointérprete debe programar como parte de su labor, varias visitas al campo durante la realización del trabajo. Se recomienda, al menos, una visita al iniciar la labor de fotointerpretación y otra al final para confirmar lo hecho. Esto no significa que no sean necesarios más viajes al campo, más bien se recomienda tantas veces como sea necesario, ya que es difícil realizar en una o dos giras el reconocimiento de todos los aspectos que deben considerarse en la fotointerpretación.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aerial-photo interpretation in classifying and mapping soils. Washington D.C., USDA, Soil Conservation Service, 1966. 89 p. (Agriculture Handbook 294)
2. AVERY, T. Forest measurements. New York, McGraw-Hill, 1967. 290 p.
3. HERRERA HERRERA, B. Elementos de fotogrametria uso de materiales aerográficos. México, Universidad Autonoma Chapingo, 1983. 173 p.
4. JOHNSON, E. "Shadow-height" computations made easier. Journal of Forestry 52:438-442, 1954. illus.
5. LOPEZ-CUERVO Y ESTEVEZ, S. Fotogrametria. Madrid, EGRAF, 1980. 367 p.
6. SABINS JUNIOR, F. Remote sensing, principles and interpretation. 2 ed. New York, W. H. Freeman, 1987. 449 p.
7. SALAS SANDI, D. Fotografias aéreas. Cartago, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 1987. 18 p.
8. ----- . Fotogrametria. Cartago, ITCR, 1987. 17 p.
9. ----- . Patrones de drenaje superficial. Cartago, ITCR, 1986. 32 p.
10. STRANDBERG, C. Manual de fotografía aérea. Barcelona, Ediciones Omega, 1975. 268 p.
11. Zuidam, R. A. van. Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. The Hague, Smits Publishers, 1986. 442 p.

## I. INTRODUCCION

El manejo integrado de recursos naturales requiere de una enorme cantidad de información para diferentes fines: generación de hipótesis, evaluación de resultados producto de la instrumentación de políticas de manejo, evaluaciones de estado de situación de diversos recursos, estudios de riesgo natural, evaluaciones de impacto ambiental, y otros.

Las técnicas de obtención de datos sobre parámetros ambientales son cada día más especializadas y para ello se utilizan toda clase de instrumentos, que van desde sistemas manuales de recolección de datos, pasando por sistemas de registro de información, por estaciones automáticas para colecta y transmisión de datos, y finalmente llegando a las técnicas de observación indirecta utilizando sensores remotos instalados en diferentes tipos de plataformas (aviones, naves espaciales, satélites).

Se recaba -a nivel mundial- información detallada de calidad del aire y el agua, de hidrología y meteorología, de tipos de suelos, patrones de relieve, de cobertura vegetal, del movimiento y comportamiento de los cuerpos de agua, de la superficie submarina, y de la inter-acción hombre/recursos. Toda la información obtenida por esas redes de observación de la más variada naturaleza lleva hacia un mejor conocimiento de los sistemas y procesos ambientales que componen nuestro planeta. Esta información es de mayor utilidad cuanto mayor sea la capacidad, a disposición del analista de sistemas ambientales, de poder administrarla y manejarla fácilmente.

Los sistemas de información ambiental, los sistemas de procesamiento de imágenes digitales, y los sistemas de información geográfica, constituyen junto con el computador, los elementos esenciales a disposición de los técnicos para llevar a cabo los diferentes estudios y análisis.

Este tratado pretende hacer una descripción general de estas técnicas y sistemas, presentando una perspectiva general del estado de la instrumentación de estos recursos en el día.

## II. SISTEMAS DE RECOLECCION DE DATOS AMBIENTALES

En términos generales se puede hablar de dos tipos de sistemas de recolección de datos ambientales: los sistemas de observación directa y los de observación indirecta. Los primeros se refieren a aquellas mediciones que son hechas in situ, tal como nivel de agua, temperatura del agua, conductividad, etc., u otros tipos de muestreo de ríos, lagos, etc. Los segundos se refieren a sistemas de medición a distancia, utilizando

propiedades como reflexión del espectro electromagnético y emisividad térmica de las diferentes sustancias, para determinar, indirectamente, valores característicos de las mismas.

#### A. SISTEMAS DE OBSERVACION DIRECTA

Los sistemas de observación directa son los más comúnmente conocidos, entre ellos las redes meteorológicas, las de medición de la calidad del agua y el aire, las redes sismológicas, y por supuesto, la apreciación directa de diferentes aspectos del medio ambiente hecha por observadores humanos.

#### B. SISTEMAS DE OBSERVACION INDIRECTA

Los sistemas de observación indirecta más comúnmente utilizados han sido la fotografía aérea, las imágenes de radar y las imágenes obtenidas desde satélites y naves espaciales.

##### 1. Observaciones desde satélites

###### a) GOES

Los satélites GOES 1, 2, y 3 -siglas que en inglés significan **satélite operativo ambiental geostacionario**- fueron puestos en órbita durante el período 1975-1978. Los satélites GOES E, D y F, que constituyen la nueva generación, utilizan tecnología más avanzada y tiene mayores capacidades. Estos reemplazarán a los primeros según un plan de sustitución establecido.

Los satélites GOES hacen observaciones diurnas y nocturnas de tipo climático, hacen seguimiento de eventos climatológicos violentos, tales como huracanes, y otras tormentas severas, retransmiten datos ambientales, obtenidos en el campo por medio de elementos sensores de tipo directo conectados a plataformas automáticas de recolección de datos, como parte de lo que se conoce como GOES DCS (Sistema de recolección de datos GOES). Paralelamente, llevan a cabo transmisiones de facsimiles de datos climáticos procesados en forma gráfica y de imágenes -conocidos con el nombre de **WFIAX**- a diferentes estaciones distribuidas por todo el hemisferio. Estos satélites dan seguimiento además a las diferentes condiciones del campo magnético y miden el flujo de partículas energéticas en las cercanías de la nave espacial, y además observan emisiones de rayos X provenientes del sol. Estas últimas mediciones son hechas por medio de lo que se conoce como SEM (Environmental Space Monitor).

Las observaciones climáticas, tanto diurnas como nocturnas, son hechas mediante el VISSR (Visible and Infrared Spin Scan

Radiometer) que en español significa, radiómetro del espectro visible e infrarrojo de barrido giratorio, el cual es el principal sensor a bordo del satélite de tipo GOES. Este instrumento genera imágenes digitales de la tierra tanto en el rango de luz visible del espectro electromagnético como en una banda de la radiación terrestre térmica infrarroja. El procesamiento y análisis en tiempo real de estas imágenes, que son emitidas cada 15 minutos, es de especial importancia en los pronósticos meteorológicos de carácter operativo.

La nueva generación de satélites GOES incluye el sistema VAS (visible and infrared spin scan atmospheric sounder) en lugar del VISSR. Este nuevo tipo de sensor mantiene las capacidades del VISSR, y además permite obtener imágenes en varias bandas del espectro infrarrojo térmico. Tiene además la capacidad de realizar mediciones de temperatura a diferentes niveles de la atmósfera, las cuales pueden ser usadas, junto con otras propiedades bien conocidas de la atmósfera en la obtención de perfiles de temperatura sobre una área geográfica seleccionada. Se mantiene la capacidad de repetir datos de estaciones telemétricas.

#### b) NOAA y otros.

Los datos obtenidos de las bandas del espectro infrarrojo de onda larga mediante el sensor conocido como AVHRR (radiómetro avanzado de muy alta resolución), instalado en esta familia de satélites de tipo operativo, ha sido muy útil en la generación de mapas de temperaturas de la superficie del mar a escala global. Utilizando esta información junto con la información generada por el sensor CIBS (rastreador a color de zonas costeras) instalado en la serie de satélites experimentales NIMBUS, se ha logrado obtener una nueva visión del papel que juegan los océanos en la economía, así como también información para toma de decisiones que produce beneficios económicos a industrias importantes. Se ha demostrado que existe la necesidad real de tener un satélite de tipo operativo que simultáneamente obtenga datos de color del océano y temperatura del mar. Durante la posibilidad de incorporar este tipo de sensor en el NOAA-11, el grupo de trabajo formado por NASA y EOSAT, encabezado por SeaWiFS (Sea Viewing Wide Field of View Sensor) estima que los principales beneficiarios de este sistema serán los aproximadamente 37,000 navíos que se dedican a la pesca marina y el transporte marítimo en el mundo entero, los navíos militares, y en segundo lugar, las industrias asociadas con la exploración y producción petrolera en aguas naturales (offshore)<sup>1</sup>.



Para los navios, las imágenes a color del océano son importantes para:

Localizar las poblaciones de peces y aumentar así la eficiencia de pesca.

Optimizar las rutas marítimas y reducir costos.

Para las industrias de exploración y producción de petróleo y gas natural, esos datos son importantes para:

Brindar un conocimiento exacto y detallado del ambiente oceanográfico para el mejor diseño de plataformas marinas, reduciéndose así los riesgos debidos al sub-diseño.

Determinar "ventanas climáticas" durante las cuales operaciones tales como envío de abastos a las plataformas, colocación de oleoductos, e instalación de las mismas plataformas, puedan ser ejecutadas de manera más segura y eficiente.

Proveer información oportuna sobre corrientes y remolinos fuertes, ya que estos pueden ser causa de retrasos en las operaciones de perforación.

Otras metas importantes que pueden alcanzarse solo mediante el suministro continuo de imágenes a color del mar son:

Determinación cuantitativa del papel que juegan los océanos en el ciclo del carbono a nivel global, así como su efecto en los otros ciclos biogeoquímicos importantes.

Estimar la magnitud y variabilidad de la pérdida primaria anual de fitoplancton marino a escala mundial.

Estimar el destino del flujo de nutrientes inorgánicos y su posible efecto en el balance de carbono.

Estimar el transporte de los nutrientes de escala regional y abstracción de gran escala en las zonas oceánicas.

Ofrecer una gran variedad de información importante para entender los procesos asociados con los fenómenos de mezcla en los bordes de los remolinos y corrientes costeras, etc. y ofrecer datos esenciales sobre las propiedades ópticas del mar.

remotos útiles que cualquier otro sensor. Los datos MSS han sido usados extensivamente por científicos en una gran variedad de aplicaciones. El primer sensor "Thematic Mapper", fue lanzado el 16 de julio de 1982 y el segundo el 1º de marzo de 1984. El TM es un sensor de recorrido óptico mecánico que almacena energía reflejada y emitida en las regiones visible, reflectiva infrarroja, media infrarroja y termal infrarroja del espectro electromagnético. Colecciona imágenes multispectrales que tienen una mayor resolución espacial, espectral y radiométrica que el Landsat MSS.

El ancho original de las bandas TM fue seleccionado con base a su utilidad para los inventarios de vegetación y estudios generales geológicos. Recíprocamente muchas de las bandas TM fueron escogidas después de años de análisis de sus valores, en la discriminación de los tipos y vigor de la vegetación, medidas de humedad de las plantas y suelos, diferenciación de nubes y nieve, e identificación de alteraciones hidrotermales en ciertos tipos de roca.

#### CARACTERISTICAS ESPECTRALES DE LAS BANDAS TM

Banda 1: 0.45 - 0.52  $\mu\text{m}$  (azul). Provee incrementos de penetración en los cuerpos de agua, así como también soporta análisis en el uso de la tierra, suelo y características de vegetación. La división de longitud de onda más corta está usualmente abajo del pico de transmisión del agua clara, mientras que la división de la longitud de onda más grande está limitada por la absorción de la clorofila por la vegetación verde viva. Las longitudes de onda abajo de 0.45  $\mu\text{m}$  están sustancialmente influenciadas por la difusión y absorción atmosférica.

Banda 2: 0.52 - 0.60  $\mu\text{m}$  (verde). Esta banda se extiende entre los límites azul y rojo de absorción de clorofila y por lo tanto corresponde a la reflexión verde de la vegetación viva. Las bandas 1 y 2 combinadas proveen la misma sensibilidad espectral que una película aérea Kodak de penetración de agua (SO-224) de color.

Banda 3: 0.63 - 0.69  $\mu\text{m}$  (rojo). Esta es la banda de absorción de la clorofila roja de la vegetación verde viva y representa una de las más importantes bandas para análisis de vegetación. Es también útil para delimitar límites tanto de suelo como geológicos. Esta banda puede exhibir más contraste que las bandas 1 y 2 por causa del efecto de atenuación atmosférica. El límite 0.69  $\mu\text{m}$  es significativo porque representa el inicio de la región espectral de 0.68 a 0.75  $\mu\text{m}$ , donde se produce cruzamiento de la reflexión de la

vegetación que pueden reducir la seguridad de las investigaciones sobre vegetación.

Banda 4: 0.76 - 0.90  $\mu\text{m}$  (reflectiva-infraroja). Por las razones expuestas anteriormente, el límite menor para esta banda fue colocado encima de 0.75  $\mu\text{m}$ . Esta banda es especialmente sensible a la cantidad de biomasa vegetativa presente en una escena. Es útil para la identificación de cultivos y enfatiza los contrastes suelo-cultivo y tierra-agua.

Banda 5: 1.55 - 1.75  $\mu\text{m}$  (media-infraroja). Esta banda es sensitiva a la cantidad de agua en las plantas. Tal información es útil en estudios de cultivos en zonas secas y en investigaciones del vigor de plantas. Adicionalmente, esta es una de las pocas bandas que pueden ser usadas para discriminar entre nubes, nieve y hielo, muy importante en investigaciones hidrológicas.

Banda 6: 2.08 - 2.35  $\mu\text{m}$  (media infraroja). Esta es una banda importante para la discriminación de las formaciones rocosas geológicas. Ha demostrado ser particularmente efectiva en la identificación de las zonas de alteración hidrotermal en rocas.

Banda 7: 10.04 - 12.5  $\mu\text{m}$  (termal infraroja). Esta banda mide la cantidad de energía infraroja radiante emitida de las superficies. La temperatura aparente es función de las emisiones y de la temperatura real o cinética de la superficie. Es útil para la localización de las actividades geotermales, mapeo de la inercia termal para las investigaciones geológicas y clasificación de vegetación, análisis de tensión de plantas y estudios de humedad del suelo.

El Landsat 11 tiene visión instantánea proyectada de campo (IFOV) de 30 m x 30 m, ver figura 18. La certeza en la clasificación es aceptable para muchas de las aplicaciones de sensores remotos en agricultura y forestería cuando los cultivos y bosques son mayores que 60 IFOVs en tamaño. Esto corresponde a un cuadrado con alrededor de 8 IFOVs por lado. Para la seguridad de una clasificación efectiva podría ser contenida para áreas de 240 x 240 m en tamaño, si un IFOV de 30 x 30 m se usa.

La banda 6 (termal infraroja) tiene una resolución espacial de 120 m x 120 m.

La hora de salida del Ecuador fue cambiada de 9:30 a.m. para los Landsats 1, 2, y 3 a 11:00 a.m. para los Landsats 4 y 5. Los diferentes ángulos solares reducen la cantidad de

sombras en la imagen. Esto es útil para estudios de vegetación porque las sombras pueden modificar las características espectrales, particularmente en bosques y cultivos de hilera. Contrariamente, los ángulos bajos solares son útiles para exaltar la estructura geológica de los terrenos. Desafortunadamente, el tiempo de cruce 11:00 a.m. también eleva la probabilidad de que las nubes cubran las áreas de estudio y de que incremente la cantidad de materia particular (v.g., smog) que está presente en la atmósfera, especialmente sobre las áreas urbanas.

#### d) SPOT

El sistema sensor SPOT desarrollado por el French Centre National d' Etudes Spatiales (CNES) tiene una resolución espacial de 10 x 10 m y 20 x 20 m y provee innovaciones en los sistemas de sensores remotos. El satélite opera en una órbita circular solar sincrónica próxima a la órbita polar (ángulo de inclinación de 98.7º) y a una altitud de 832 km. El satélite pasa en el mismo tiempo solar, la hora local varía con la latitud.

Los sensores HRV pueden operar en 2 modos en las porciones visible y reflectiva infraroja del espectro:

1. modo pancromático, correspondiendo a las observaciones sobre una banda ancha espectral (similar a las fotografías en blanco y negro) y,
2. modo multiespectral, correspondiente a la observación en 3 bandas espectrales más delgadas. Así, la resolución es sustancialmente diferente que la del mapeador temático. La resolución espacial, es 10 x 10 m en el primero y 20 x 20 m en el segundo.

### III. SISTEMAS DE INFORMACION AMBIENTAL

#### A. BASES DE DATOS CONVENCIONALES.

Los sistemas de bases de datos convencionales son cada día más comunes y más completos en las diferentes áreas de las ciencias ambientales. La mayoría de las instituciones que trabajan en este sector han constituido o están en el proceso de constituir bases de datos para manejar los diferentes datos de parámetros ambientales. Dependiendo de los países, y de la naturaleza de las instituciones, así es el carácter y lo comprensivo de la base de datos.

En la América Central se ha iniciado en los últimos 10 años un movimiento especialmente fuerte para establecer bases de

datos que permitan manejar la información obtenida por medio de las redes hidrológicas y meteorológicas, que han sido tradicionalmente los parámetros ambientales medidos en forma más regular. Algunos de estos países han logrado un avance considerable en este campo mientras que otros se han ido quedando un poco más atrás. En la actualidad el CATIE, en coordinación con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y National Weather Service de los Estados Unidos (NOAA/NWS), mediante las acciones del Proyecto Regional de Manejo de Cuencas (PRMC) y el Proyecto Regional de Agrometeorología (PRA) está apoyando a las diferentes instituciones del área en la instrumentación de bases de datos hidrometeorológicas instalando el sistema conocido como CLICOM. Este sistema ha sido desarrollado para la OMM por NOAA/NWS para ser usado, con redes de microcomputadores, en los diferentes servicios hidrometeorológicos. Paralelamente se están desarrollando bases de datos para otras áreas importantes para el manejo integrado de recursos naturales, utilizando en lo posible el mismo esquema de diseño de CLICOM, especialmente en aquellos casos en que se estime que la compatibilidad con dicho sistema es importante.

La política del PRMC, al enfocar el problema de las bases de datos a nivel regional, ha sido fortalecer la capacidad de las instituciones de cada país para la administración de bases de datos, así como el establecimiento de formatos homogéneos para las mismas, de manera tal que se llegue a alcanzar en un período de tiempo relativamente corto, un grado de uniformidad tal que permita el fácil intercambio de información entre las instituciones que trabajan en una misma área, tanto a escala nacional como regional. De esta manera se espera contar con lo que se podría llamar una base de datos regional distribuida, no centralizada, y controlada por las mismas instituciones encargadas de recolectar la información en cada uno de los países. Se considera que esto es especialmente importante pues le permitirá a esas instituciones realizar una mejor gestión y dar un mejor servicio a los usuarios, y a la vez evita los grandes problemas que tendría una base de datos regional centralizada, tales como:

- Altos requerimientos de hardware, software y personal.
- Problemas de obtención de la información de manera oportuna para tener la base de datos debidamente actualizada.
- Problemas con el extremo celo institucional, que existe en la mayoría de los casos, en lo referente a lo que se puede llamar la propiedad de los datos.

- Problemas de tener que asumir la responsabilidad sobre la calidad del dato en sí, sin tener control de los procesos de recolección y procesamiento de los datos crudos.

## B. SISTEMAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES

Existen similitudes entre el procesamiento digital de imágenes y el procesamiento manual de las mismas. Ambos tipos de procesamiento comparten las mismas metas, es decir, están orientados a encontrar en las imágenes fenómenos que sean de importancia en la escena. Una vez detectados esos fenómenos, son medidos de alguna manera, y la información así obtenida es utilizada en la solución del problema en cuestión.

Los sistemas más comunes de procesamiento computarizado de imágenes digitales dependen principalmente de las variaciones multiespectrales de tono y color de los objetos en la escena, utilizando algoritmos estadísticos de reconocimiento de patrones para lograr la clasificación de la imagen.

### 1. RESTAURACION DE IMAGENES

Este proceso se utiliza para compensar por errores en los datos, "ruido" y distorsión introducidos durante las etapas de barrido, grabación y transmisión de la información.

Consiste de:

- a) Restauración de pérdidas periódicas de información en las líneas de barrido.
- b) Restauración de "rayado" periódico de las líneas de barrido.
- c) Eliminación de "ruido" aleatorio.
- d) Eliminación de la distorsión atmosférica.
- e) Eliminación de distorsiones geométricas.

### 2. ENFOQUEAMIENTO DE IMAGENES

Este procedimiento se utiliza para alterar el impacto visual de la imagen con relación al interpretador, de manera tal que mejora la apreciación del contenido de información de la misma.

Consiste de:

- a) Mejoras en el contraste de la imagen.
- b) Transformaciones de intensidad, matiz y saturación de los diferentes colores.
- c) Divisiones de densidad.
- d) Mejoras en bordes
- e) Generación de mosaicos digitales.
- f) Producción de imágenes estereoscópicas sintéticas.

### 3. EXTRACCION DE INFORMACION

Para este proceso se utiliza la capacidad de toma de decisiones del computador para reconocer y clasificar diferentes pixeles en base a la "firmas digitales" de los mismos.

Consiste de:

- a) Producción de imágenes de componentes principales.
- b) Producción de imágenes con combinaciones matemáticas de las diferentes bandas.
- c) Clasificación multiespectral.
- d) Producción de imágenes de detección de cambios.

## C. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

### 1. Aspectos Generales.

El análisis de sistemas ambientales siempre requiere deplegar y centrar la información incluyendo el contexto espacial. Para ello, tradicionalmente, lo que se ha hecho es compilar la información disponible sobre mapas de diferentes temas, y cada uno de estos mapas provee el marco geográfico para la interpretación de los datos y los resultados del análisis.

Además de compilar sobre diferentes mapas distintos tipos de información, es frecuente que se tenga la necesidad de relacionar, sobre una base común, diferentes tipos de características. Para ello se ha recurrido a diversos tipos de técnicas, como son el llevar todos los diferentes mapas a una misma escala, o unir diferentes porciones de mapas para obtener una sola, o sobreponer mapas de diferentes temas para obtener mapas compuestos, etc. Este trabajo se ha hecho tradicionalmente, de manera manual, y para ello se

emplean métodos que requieren equipo simple, pero que son intensivos en mano de obra y consumo de tiempo, y que a la vez presentan limitaciones, pues los trabajos son hechos, a escalas fijas, de manera específica para el estudio en cuestión, y generalmente no son aplicables a otros estudios, aunque sean de la misma área.

Estos procesos manuales han sido automatizados, haciendo uso de computadores, reduciendo en mucho los problemas asociados con las técnicas manuales. Los sistemas diseñados para almacenar, manipular y desplegar la información georeferenciada, o información espacial, son conocidos con el nombre genérico de **sistemas de información geográfica (SIG)**. Con el gran desarrollo de los computadores hoy día, estos sistemas están al alcance de un mayor número de usuarios, permitiendo así que se conviertan en una herramienta generalizada para el análisis de sistemas de recursos naturales. El SIG permite al usuario manejar eficientemente información cartográfica, temática y descriptiva, haciendo que los procesos de almacenamiento, recuperación, análisis y presentación, se ajusten a sus necesidades y especificaciones.

## 2. Estructura de datos.

La estructura de los sistemas de información geográfica se basa en reconocer que toda información que puede ser volcada sobre un mapa tiene tres tipos de características principales: localización, atributos y temporalidad. Los atributos o descriptores de una localidad pueden ser cualitativos (tipo de suelo) o cuantitativos (precipitación media anual), y su valor puede variar en el tiempo. Así, en el SIG, existen diferentes maneras de almacenar y tratar la información según sea su tipo.

Existen cuatro tipos de datos geográficos: puntos, líneas, polígonos y superficies. En los sistemas de información geográfica estos datos se almacenan con diferentes formatos:

- Como coordenadas cartesianas tradicionales (formato poligonal o vectorial).

Utilizando este formato, los límites de las diferentes áreas son convertidos a polígonos con lados rectilíneos que se aproximan a la forma de las regiones originales.

- En forma topológica como nodos, conectores y polígonos.

Utilizando este formato, los polígonos se codifican determinando las coordenadas de sus vértices (nodos) las cuales se conectan formando arcos. Las características de forma de los



límites de los polígonos son mejor representadas con este tipo de formato.

- En forma de cuadrícula (formato tipo raster).

Los datos se agrupan en una cuadrícula, en la cual cada celda de la matriz de datos contiene el valor de la clase de información predominante. Mientras más fina sea la cuadrícula, mejor será la representación de las características geográficas.

### 3. Manejo de la Información.

Un sistema de información geográfica puede visualizarse como una estructura estratificada o de capas, compuesto por un mapa base y una serie de mapas de diferentes temas que corresponden a la misma región o partes de ella. Cada uno de estos mapas temáticos representa una variable diferente y compone una de las capas o planos de la base de datos.

De esta manera un SIG puede manejar los siguientes tipos de datos: (2)

Elevación del terreno

Tipos de Suelos

Geología

Tenencia de la tierra

Hidrología superficial

Hidrología subterránea

Clima

Resultados de censos socioeconómicos

Vías de transporte

Sitios históricos

Usos de suelo: Mineras

Ética

## IV. HERRAMIENTA PARA MANEJO INTEGRADO DE RECURSOS NATURALES

Los procesos de toma de decisiones en el campo de manejo integrado de recursos naturales requieren de cantidades grandes de información. Mientras mayor sea la información, mejor la calidad de la misma, y también, en cuanto mayor

sea la representabilidad espacial de esta, con respecto al área geográfica bajo estudio, mejor orientadas serán las decisiones. Para ello es necesario contar con sistemas que permitan el proceso de la información en períodos relativamente cortos de tiempo, y que ofrezcan la máxima flexibilidad, de manera tal que el analista de recursos naturales, sin importar su especialidad, pueda reunir los criterios y elementos técnicos suficientes para la toma de decisiones. Hoy en día existen herramientas que permiten aumentar la productividad del profesional de recursos naturales, y a la vez le brindan una mayor gama de elementos de juicio sobre los cuales basar las decisiones.

Entre estas herramientas se deben contar los sistemas de bases de datos tabulares o convencionales, los sistemas de procesamiento de imágenes digitales, y los sistemas de información geográfica.

Varios autores coinciden en que el verdadero aprovechamiento de toda la información colectada por sistemas de sensoreamiento remoto se da cuando se logra combinar este tipo de datos con información contenida en las bases de datos de tipo tradicional, y con la información de tipo espacial contenida en los sistemas de información geográfica. De esta manera se tiene a disposición información de tipo cartográfico la cual es de carácter relativamente estático, información de las bases de datos convencionales, en las cuales se tiene la mayor parte de la información obtenida por los sensores ambientales de medición directa o medición in situ, e información obtenida mediante sensores remotos. Estos dos últimos tipos de información permiten al analista hacer la evaluación de una situación en un momento determinado, y además, con informaciones posteriores, hacer un seguimiento de la variación de las condiciones.

## V. EL FUTURO.

Las perspectivas de desarrollo de generaciones altamente mejoradas de estas tecnologías es muy optimista, por lo menos en lo que se refiere a los aspectos tecnológicos. Sensores con mayor resolución tanto espectral como espacial, la utilización de imágenes de radar de alta calidad, mejoras en el procesamiento digital de imágenes, computadores más versátiles y poderosos, costos decrecientes de hardware y software, sistemas de software con mayores capacidades, aseguran una fuerte base técnica para la utilización más amplia y productiva de estas metodologías de análisis.

La combinación de todas estas variables abre un panorama muy amplio para el uso extensivo de estas metodologías, que

hasta hace poco fueron privilegio de los países más desarrollados, por los países en desarrollo donde apenas es incipiente el análisis ambiental utilizando procesamiento de imágenes digitales y sistemas de información geográfica.

El desarrollo de lo que se conoce actualmente como "sistemas expertos" puede contribuir a la integración de la información contenida en las bases de datos convencionales, con aquella contenida en las imágenes digitales y la información de los sistemas de información geográfica. Esta integración brindará al analista de sistemas ambientales una amplia base de información la cual enriquecerá el proceso de toma de decisiones.

## VI.

## BIBLIOGRAFIA.

1. McClain, E.P., Environmental Satellites, McGraw-Hill Encyclopedia of Environmental Science, 1980
2. NASA, Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), GOES D,E,F Data Book.
3. NASA, System Concept for Wide-Field-of-View Observations of Ocean Phenomena from Space, Report of the Joint EOSAT/NASA SeaWiFS Working Group, August 1987.
4. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., Remote Sensing and Image Interpretation, 2nd Ed., 1987, John Wiley and Sons, Inc., New York.

VI. 1

## B. Clasificación

### I. Introducción

El reconocimiento del patrón espectral es un método para crear una imagen de salida que tenga un número finito de clases individuales. Cuando se aplica a LANDSAT o a otras imágenes multiespectrales, este método emplea las regiones múltiples del espectro electromagnético. Las reglas de decisión se ejecutan como sigue: si un píxel en el espacio N satisface un criterio establecido, el píxel puede asignarse a una clase. Dependiendo del tipo de análisis estadístico efectuado, las clases pueden asociarse con rasgos conocidos sobre el terreno o sencillamente representar áreas que a la computadora le "parezcan diferentes". En cualquier caso, es necesaria la intervención humana en algún momento dado durante el proceso. Un ejemplo de clasificación de la salida cartográfica es un mapa del cubrimiento terrestre ilustrando la vegetación, eriales, pastos, zonas urbanas, etc.

Hay dos tipos principales de algoritmos de reconocimiento de patrones actualmente en uso. En primer lugar, se le requiere al usuario a interactuar con un sistema de representación de imágenes para localizar áreas en una escena LANDSAT, que puedan identificarse como un tipo de cubrimiento terrestre conocido. Por ejemplo, el usuario puede tener una zona forestal identificada en una aerofotografía o en un mapa de escala pequeña. Esa misma región luego se localiza en una representación de imagen, y el usuario interactivamente le indica/dice a la computadora el nombre de clase asociado con el área descrita. Esta técnica se llama reconocimiento supervisado del patrón.

La segunda técnica requiere del usuario que especifique varios parámetros estadísticos y que luego los use para definir clases en una imagen que le "pareciere diferente" a la computadora. Los parámetros dados por el usuario normalmente se seleccionan en base experimental. El mapa resultante divide una imagen en varias categorías, aunque no se dispone de información referente a lo que representa cada categoría. El usuario deberá entonces observar la imagen resultante y alguna forma de "verificación terrestre" (información conocida del área de imágenes), e identificar cada categoría. Esta técnica analítica se llama clasificación no supervisada.

Para visualizar el procedimiento por el cual se efectúa una clasificación supervisada, uno debe pensar en los datos de imagen de dos maneras. En la primera, cada canal de datos multiespectrales puede verse como una fotografía aparte en blanco y negro, en la cual los valores actuales de intensidad en los datos digitales se ilustran en escalas de grises del negro al blanco. En esta imagen, también está presente la información espacial concerniente a la relativa proximidad de un píxel a otro. En este sistema, la distancia es sencillamente un vector entre dos píxeles que corresponde a distancias en un mapa.

En el segundo sistema, los mismos datos de imagen pueden representarse en "diagramas de dispersión espectral". Tales diagramas son juegos de dos trazos dimensionales en donde cada eje representa el orden de intensidad para un

canal de imagen particular. Para cuatro canales de datos (vg., datos del LANDSAT 1, 2 y 3) hay seis posibles combinaciones de dos canales. Ellos son:

- (1) Canal 1 y Canal 2
- (2) Canal 1 y Canal 3
- (3) Canal 1 y Canal 4
- (4) Canal 2 y Canal 3
- (5) Canal 2 y Canal 4 y
- (6) Canal 3 y Canal 4.

Para LANDSATS 1, 2 y 3, la combinación de los canales 2 y 4 ofrece un cálculo muy bueno de la variación espectral en la imagen. Esto se debe a que hay una alta correlación entre los canales 1 y 2, y también entre los canales 3 y 4. En esos trazos espectrales, cada punto representa el valor de datos de un pixel en la imagen multiespectral. No obstante, no se retiene la ubicación espacial de ese pixel. En el ejemplo de inmediato, la Fig. 5-1 representa una imagen de mapa rotulada para ilustrar los distintos tipos de cubrimiento en una región. La Fig. 5-2 es una imagen de escala de grises de la misma área. La Fig. 5-3 muestra el relacionado trazado espectral que corresponde a dos canales de datos. Esta figura muestra las relaciones de los datos de la imagen con las regiones en el trazo espectral.

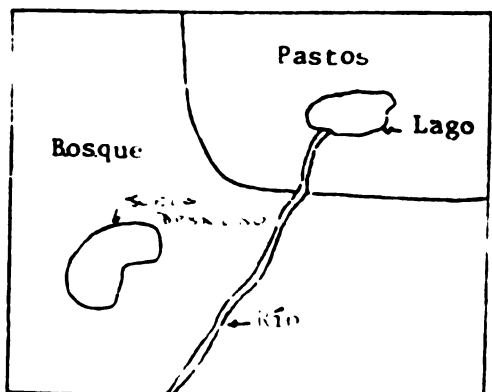


Figura 5-1 Mapa

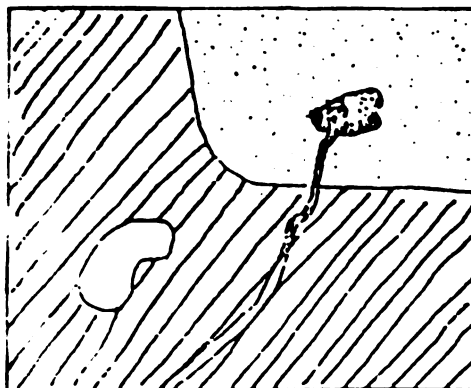


Figura 5-2 Imagen en escala de grises

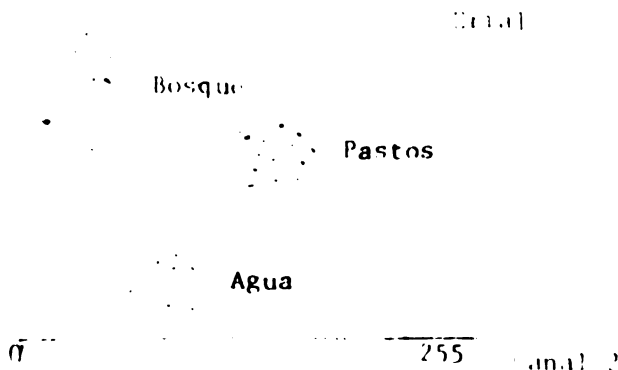


Fig. 5-3 Trazado espectral

Cada pixel en la Fig. 5-2 se relaciona con un punto correspondiente en la Fig. 5-3. Sin embargo, ya que es posible que dos o más pixeles tengan exactamente el mismo valor de datos en todos los cuatro canales, un punto en la Fig. 5-3 podría representar más de un pixel en la Fig. 5-2. Una distancia entre dos puntos en el trazo espectral no tiene ninguna relación con la distancia terrestre, sino que más bien representa una distancia espectral entre esos dos puntos. Esta distancia espectral — según la Fig. 5-4 — se usa en el reconocimiento de patrones espectrales para permitir a la computadora discriminar entre distintos tipos de cobertura terrestre.

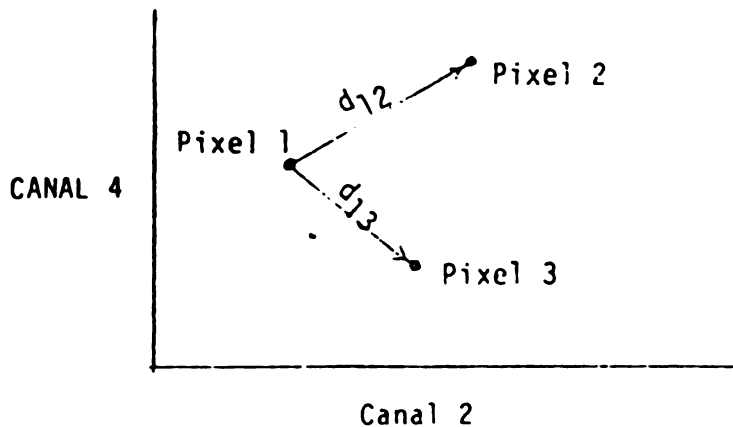


Fig. 5-4 Medición de la distancia espectral

La distancia espectral en la Fig. 5-4 es:

$$d_{12} = \sqrt{(P_{2x} - P_{1x})^2 + (P_{2y} - P_{1y})^2}$$

donde  $P_{nx}$  es el valor de datos espectrales para el pixel  $n$  en la ordenada del gráfico, y  $P_{ny}$  es el valor para el pixel  $n$  en la abscisa. Esta medición de la distancia se llama distancia euclidiana y se usa comúnmente en muchos esquemas de reconocimiento de patrones de imágenes. Se pueden obtener medidas de distancias más sofisticadas mediante la ponderación de distancias, usando una supuesta distribución de datos.

El problema básico del reconocimiento del patrón espectral es: conociendo una distribución espectral de datos en los canales  $N$ , halle una técnica de discriminación que permita la separación de las principales categorías de cobertura terrestre con un mínimo de errores. Son posibles dos tipos de error:

- (1) Se asigna un pixel a una clase a la cual no pertenece, o:
- (2) No se asigna un pixel a su clase apropiada.

El primer error es uno de comisión, y el segundo uno de omisión. Dichos errores pueden ocurrir cuando se usa una función de discriminación que no corresponde a la verdadera distribución espectral de los datos. Se discuten a continuación varios esquemas de clasificación, y se hará referencia a las posibilidades de error de cada esquema.

La experiencia ha demostrado que, por lo menos para los datos LANDSAT, la mayoría de los tipos de cobertura terrestre representando la vegetación natural tienen una distribución normal en el espacio espectral. En una dimensión (para un canal de datos), la Fig. 5-5 muestra un histograma de datos con una distribución normal.

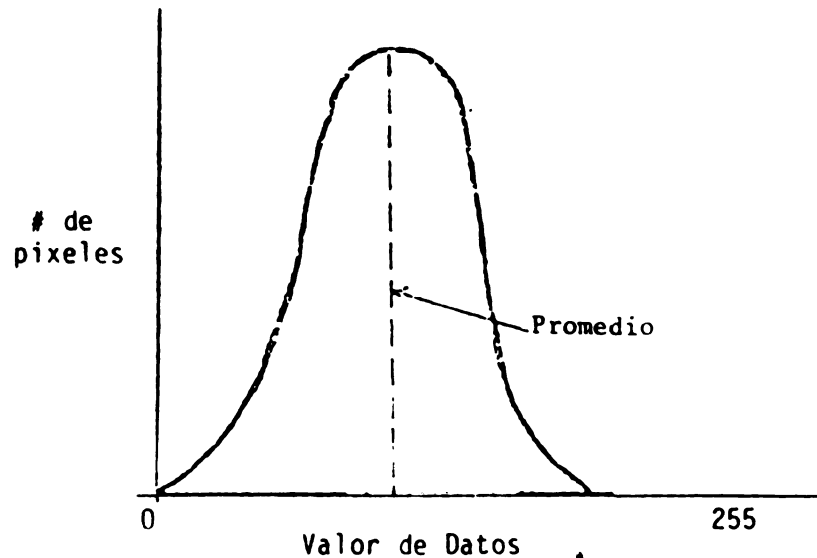


Fig. 5-5 Histograma de distribución normal

La línea negra gruesa es una (curva) envolvente de los valores de datos representando una distribución normal. Las líneas verticales son el número de pixeles con un específico valor de datos. El valor medio de datos es la línea quebrada.

En dos dimensiones puede representarse una distribución normal como elipses en los trazos espectrales (véase la Fig. 5-6).

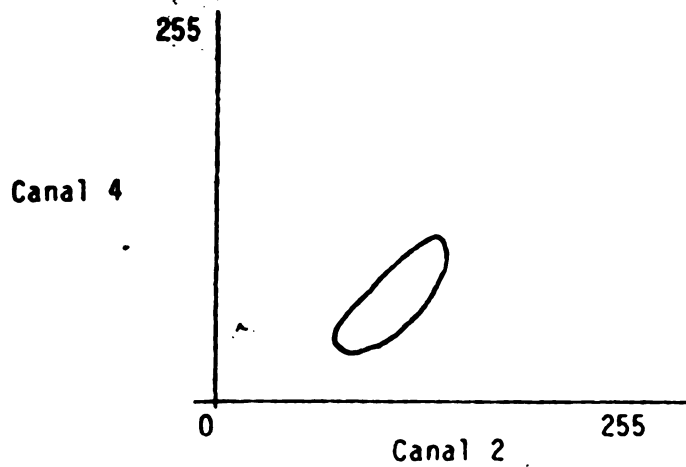


Fig. 5-6 Trazado espectral en 2-D de la distribución normal

Si hay dos clases de cobertura terrestre presentes en una imagen que tienen distribuciones espectralmente semejantes, se pueden mostrar en un diagrama los errores de comisión y omisión. En la Fig. 5-7, se trazan para un canal las distribuciones para dos tipos de bosques.

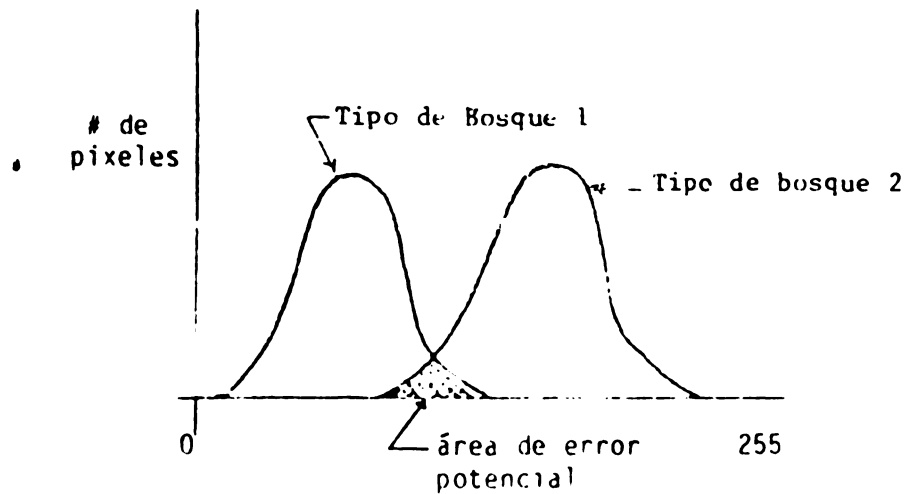


Fig. 5-7 Distribuciones para dos tipos de bosques

Supóngase que se implemente una regla de decisión de manera que a todos los valores de datos a la izquierda de este límite se les asigne a la Clase 1, y a todos los valores de datos a la derecha se les asigne a la Clase 2. La Fig. 5-8 muestra el límite de decisión y los errores asociados en un (1) trazado dimensional.



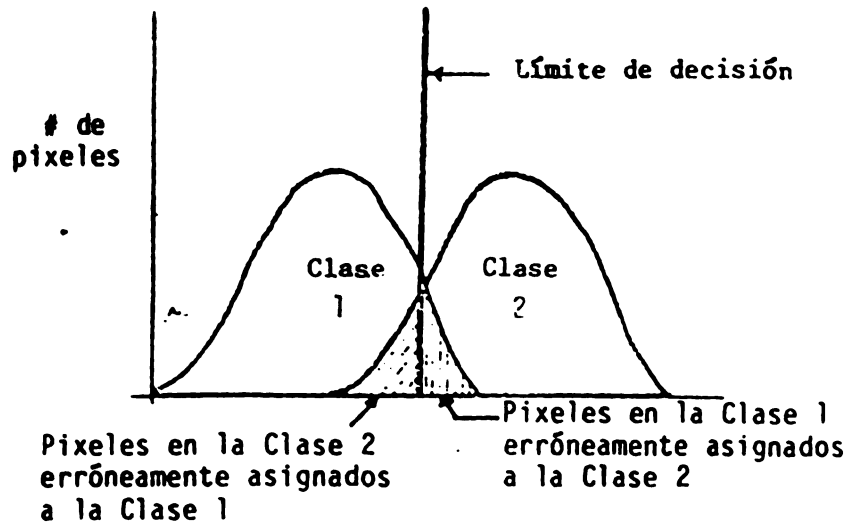


Fig. 5-8 Límite de decisión en una (1) dimensión

En el trazo espectral bidimensional, tal conflicto se mostraría por elipses traslapantes (Fig. 5-9).

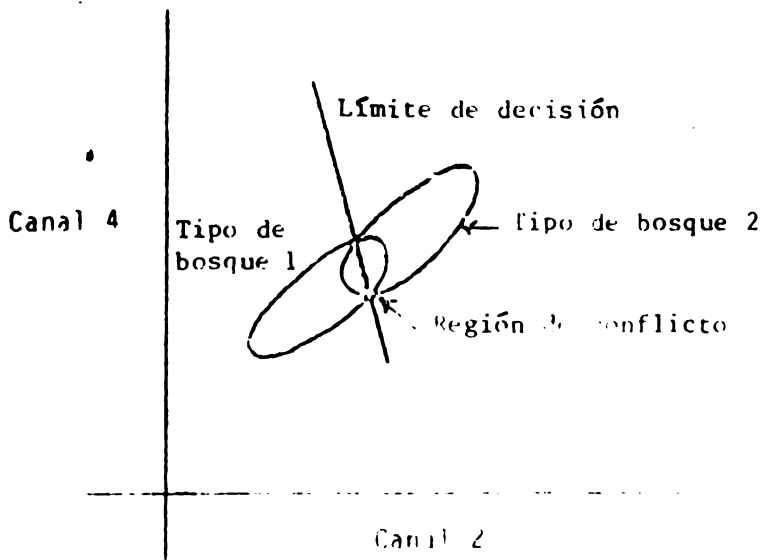


Fig. 5-9 Límite de decisión en 2-D

Si las dos clases fueren espectralmente distintas (vg., agua y bosque), la representación unidimensional podría ser (Fig. 5-10).

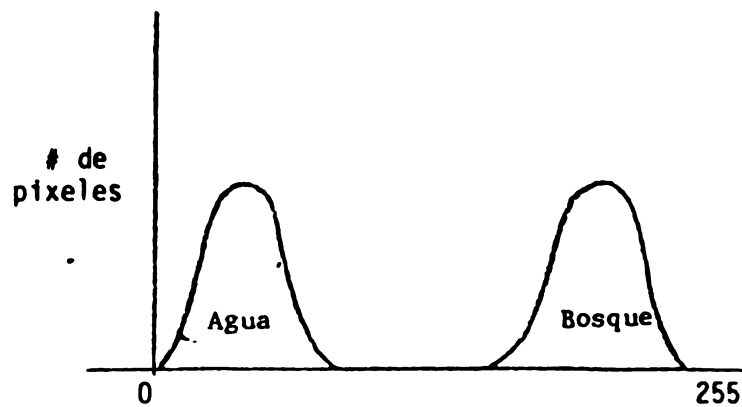


Fig. 5-10 Clases espectralmente distintas en 1-D

En el trazado espectral bidimensional, esto podría parecerse a la (Fig. 5-11)

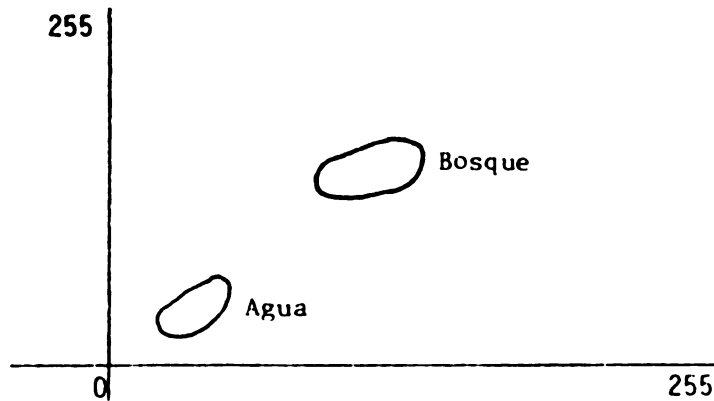


Fig. 5-11 Clases espectralmente distintas en 2-D

Usando esta técnica de visualización, ahora hablaremos de las diferentes técnicas de clasificación.

## II. Reconocimiento Supervisado de Patrones

En este tipo de reconocimiento, el usuario inicialmente lee una imagen en un sistema de representación visual en un modo de simulación blanco y negro o infrarrojo a colores. Una vez que esté la imagen representada, se usa la palanca universal de mando para identificar un área de la imagen que pueda identificarse usando información de comprobación terrestre. Este proceso se llama la obtención de una muestra de adiestramiento. El sistema de computadoras hace la búsqueda del área correcta en la imagen y computa las estadísticas (promedio, covariancia, desviaciones estándar) para el área circundada. Se representa en la parte inferior de la imagen un histograma dimensional para cada canal de datos. Al comparar el histograma exhibido con la distribución normal ideal, el usuario decidirá si va a conservar las estadísticas del área o a descartarlas.

Si el usuario decide quedarse con las estadísticas, se solicita un nombre para la muestra y se conservan el nombre y estadísticas como una firma espectral para esa clase de cobertura terrestre. Este procedimiento se repite hasta que el usuario tenga una o más muestras de adiestramiento para cada clase existente en la imagen. En este punto, todas las firmas existen en un archivo de discos asociado con la imagen multiespectral. La Fig. 5-12 ilustra la relación de las muestras de adiestramiento en el espacio espectral y de imagen.

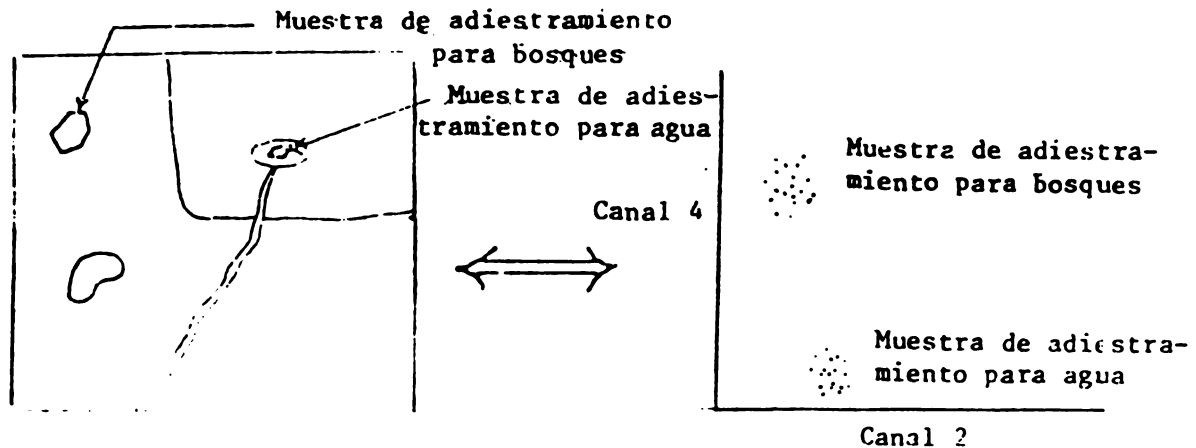


Fig. 5-12 Muestras de adiestramiento en el espacio espectral y de imagen

Una vez que se hayan definido todas las firmas, el paso siguiente será el efectuar una clasificación pixel por pixel de los datos de la imagen multiespectral. Cada pixel se considera independientemente de sus vecinos circundantes. El valor de datos espectrales para un pixel se compara a todas las firmas para todos los canales de datos. Luego se usa la regla de decisión seleccionada por el usuario para decidir la clase en la cual colocar el pixel.

Por lo común se emplean en la clasificación de datos multiespectrales tres tipos de reglas de decisión. Estos son:

- (1) Paralelepípedo
- (2) Distancia mínima
- (3) Máxima probabilidad

En la opción del paralelepípedo, se representa una firma sólo por un valor de datos mínimo y máximo en cada canal de la imagen. Se ilustra en la Fig. 5-13 el juego de límites de decisiones para distintas clases.

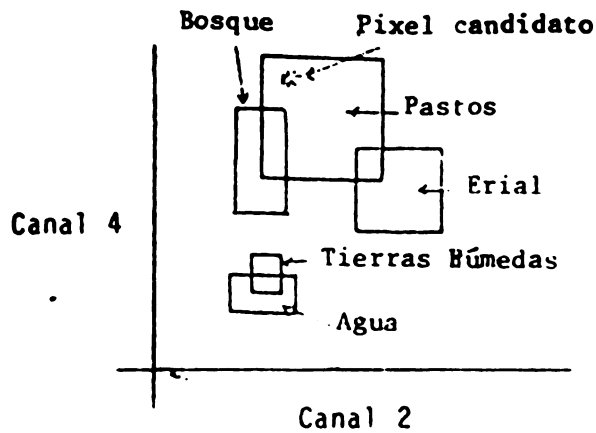


Fig. 5-13 Límites del tipo paralelepípedo

En casos donde un pixel pudiera caer dentro de la región de traslape de dos o más clases, normalmente se le asignaría a la primera clase sometida a prueba.

Si los datos para una firma estuvieren de hecho normalmente distribuidos, podría ocurrir un error en el cual se asignara un pixel a una clase que no le pertenezca. La Fig. 5-14 muestra tal ocurrencia:

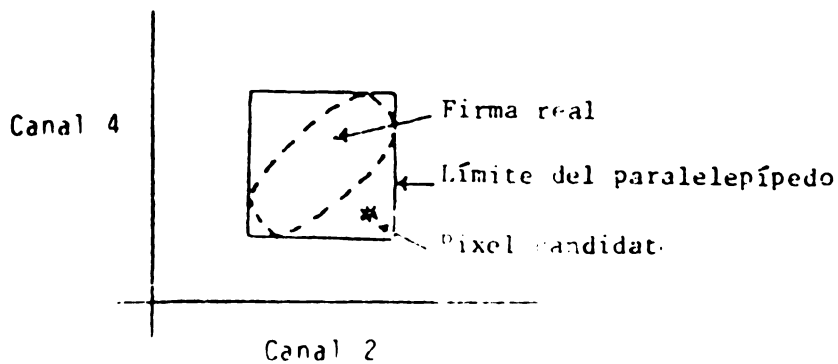


Fig. 5-14 Errores en la clasificación de paralelepípedo

Si se selecciona la opción de distancia mínima, el algoritmo calcula la distancia espectral entre el pixel candidato y el valor medio para todas las firmas. Luego se asigna el pixel a la clase para la cual se minimiza la distancia. La Fig. 5-15 muestra el algoritmo de distancia mínima para dos dimensiones:

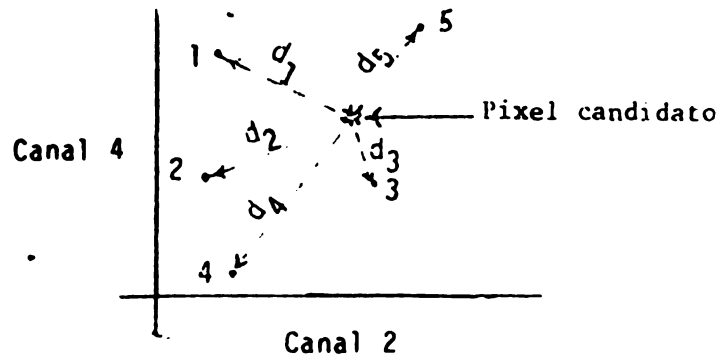


Fig. 5-15 Clasificador de distancia mínima

Puesto que  $d_3$  es inferior a todas las otras distancias espectrales, el pixel sería asignado a la Clase 3.

Para la regla de la máxima probabilidad, la técnica es semejante a la usada en distancia mínima, excepto que las firmas realmente se suponen que representan las distribuciones normales, y que las distancias calculadas se ponderan por esas distribuciones. El cálculo de la distancia es una función de:

$$d_i = (\bar{X} - \bar{\mu}_i) V_i^{-1} (\bar{X} - \bar{\mu}_i)$$

donde  $X$  es un vector de datos en el espacio  $N$ ,  $\bar{\mu}_i$  es un vector medio para la clase  $i$  considerada, y  $V_i^{-1}$  es la inversa de la matriz de covarianza para la clase  $i$ . La verdadera medida de distancia incluye términos para una probabilidad a priori que un pixel será asignado a una clase en particular, varios términos constantes, y un término involucrando la determinante para la matriz de covarianza  $i$ .

Además de efectuar la clasificación actual de los pixeles, es también bastante útil tener cierta medida de confiabilidad en lo que respecta a que un pixel haya sido, en realidad, correctamente clasificado. Además de conservar el valor de clase para un pixel conocido, también es útil preservar el valor de  $d$  — arriba — ya que representa "qué tan desviado" estaba el pixel del promedio verdadero para la clase a la cual fue asignado. Para un clasificador de distancia mínima,  $d_i$  representa la distancia, en el espacio  $N$ , entre el punto y el promedio de la clase. Lo mismo es verdadero para un clasificador de máxima probabilidad;  $d_i$  es una distancia ponderada. Una imagen de estas distancias se conoce como una imagen de probabilidad, puesto que sus valores son una medida de la probabilidad de que un pixel haya sido clasificado incorrectamente. Mientras más alto sea el valor, habrá menos probabilidad de que la clasificación del pixel sea correcta. Es bastante improbable que una clasificación sea perfecta en la identificación correcta de cada clase individual en los datos. De hecho, a menudo sucede que sólo un juego restringido de clases, tal y como un bosque, tenga algún interés si así fuera. En ese caso, los pixeles que no pertenecían

en las clases de interés serán erróneamente clasificados. Por ejemplo, si todas las firmas correspondieran a las categorías forestales, luego otras clases como agua y campos se clasificarían como una de estas categorías. Sin embargo, la medida de distancia  $d_l$  será grande para esos píxeles mal clasificados, indicando una deficiente clasificación. Este problema indica la necesidad de un método para refinar la clasificación conocida. El método usado se llama formación de umbrales. El usuario especifica un máximo valor permitido para  $d_l$  que es el valor del umbral. Si el  $d_l$  de un píxel es más grande que este valor del umbral, se asigna el píxel a un segundo plano o a una clase no clasificada. El nuevo mapa de clases reflejará una clasificación más precisa porque varios errores de comisión serán reducidos enormemente.

La selección de los parámetros de umbrales depende del tipo de clasificador usado. Para un clasificador de distancia mínima, los valores están en las unidades del espacio espectral. El algoritmo de máxima probabilidad produce una cantidad ( $d_l$ ) que es independiente de la escala y muy estándar. La cantidad  $d_l$  se distribuye como  $\chi^2$  (ji al cuadrado) que es la distribución de la suma de los cuadrados de las variables gaussianas estándar. Por ende, se pueden usar las tablas de  $\chi^2$  para seleccionar el correcto valor de umbral, referido como un parámetro  $ji$  al cuadrado. Se presenta en la documentación para el programa THRESH una tabla estándar de los valores  $\chi^2$ . En dichas tablas, las filas corresponden a distintos "grados de libertad" (el número de variables gaussianas). Con propósitos de clasificación, el número de grados de libertad es el número de bandas de datos. Las columnas corresponden a varios niveles de confianza. El usuario normalmente selecciona el nivel de confianza deseado que se define como un porcentaje. Luego selecciona la fila que corresponde al número de bandas de datos. El valor en la fila y columna seleccionadas es el parámetro  $ji$  al cuadrado que ha de usarse. No son prácticos los niveles grandes de confianza (del 80 al 99%) ya que hay una cierta cantidad de error inherente en los datos digitales. Normalmente, los niveles de confianza del 20 al 50% son suficientes para descubrir puntos erróneamente clasificados.

### III. Clasificación No Supervisada

A diferencia de la clasificación supervisada, la clasificación no supervisada sólo requiere una entrada inicial mínima por parte del usuario. No obstante, se requiere más tarde la entrada del usuario para interpretar las clases escogidas por el algoritmo no supervisado. El algoritmo no supervisado se llama agrupación/ramillete, y puede operar sobre datos multispectrales hasta en diez canales. El algoritmo de agrupamiento se dedujo de un programa desarrollado por NASA/JSC como parte del lote de software del ASPL (Programa de evaluación y prueba de simulación del algoritmo). La versión actual opera en un modo de dos pasadas. En la primera pasada, el programa lee por todo el juego de datos y secuencialmente construye agrupaciones/ramilletes (grupos de puntos en el espacio espectral). Hay un vector promedio asociado con cada ramillete. En la segunda pasada, se aplica un clasificador de distancia mínima a todo el juego de datos y se definen las clases por los vectores medios computados en la primera pasada. Por tanto, la 1ra. pasada automáticamente crea las firmas de clases a ser usadas por un clasificador supervisado.

Para la lra. pasada se requiere del usuario que proporcione varios parámetros:

- (1) R1
- (2) C
- (3) M y
- (4) NMAX

R1 es un radio espectral que se usa para determinar cuándo deberá formarse un ramillete nuevo. C es un parámetro de distancia empleado cuando se combinan los ramilletes. M es el número de pixeles a considerarse entre cada combinación de los ramilletes. NMAX es el máximo número de ramilletes que ha de considerar el algoritmo.

Comenzando en la esquina superior izquierda de una imagen, se considera cada pixel secuencialmente de izquierda a derecha. Después de procesar una línea, se considera la siguiente línea de datos. El primer pixel encontrado se usa como el valor medio de datos del ramillete 1. Luego se considera el segundo pixel y se calcula la distancia espectral al primer promedio del ramillete. Si la distancia (D) entre el pixel candidato y el primer ramillete es superior a R1, se crea un ramillete nuevo. El vector medio del nuevo ramillete es igual al valor de datos del segundo pixel (Fig. 5-16). Sin embargo, si la distancia es inferior o igual a R1, el promedio del primer ramillete se convierte en el promedio de los dos primeros pixeles, y la ponderación del primer ramillete se convierte en 2 (Fig. 5-17).

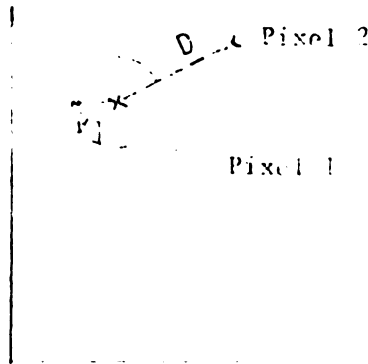


Fig. 5-16. Asignación del ramillete nuevo.

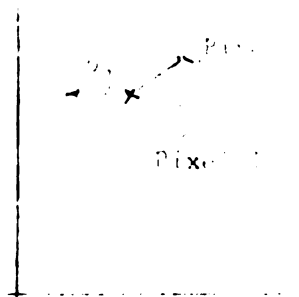


Fig. 5-17. Promedio y modificación del primer ramillete.

Esta acumulación de ramilletes continúa hasta que se haya alcanzado el máximo número de ramilletes (NMAX) o cuando el número de pixeles considerado sea superior a M. En ese momento, la computadora calcula la distancia entre cada ramillete y entre cada dos ramilletes. Se combinan cualesquier ramilletes con una distancia de separación inferior a C. El promedio nuevo es el término medio ponderado de los dos ramilletes originales, y la ponderación es la suma de las dos ponderadas individuales. Esto procede hasta que no se tengan ramilletes con una distancia de separación inferior a C. Luego se considera el pixel siguiente.

El algoritmo para la generación de ramilletes permite a los promedios de ramilletes que emigren al considerarse más y más puntos. Después de haber procesado un gran número de pixeles, sólo cambiará ligeramente un promedio de ramillete con la adición de otro punto. De ahí se dice que los ramilletes se estabilizan. Esos promedios de ramilletes se usan luego en el clasificador de distancia mínima. La Fig. 5-18 muestra esquemáticamente la emigración de ramilletes para dos canales. Las eles (1) indican los primeros puntos usados para crear cada ramillete. Cuanto más y más puntos se añadan a un ramillete, el promedio se desvía menos dramáticamente puesto que el nuevo promedio computado se pondera por el número de pixeles presentes en un ramillete. Un área circundada es la ubicación espectral del promedio final que será usado como firma en un clasificador de distancia mínima.

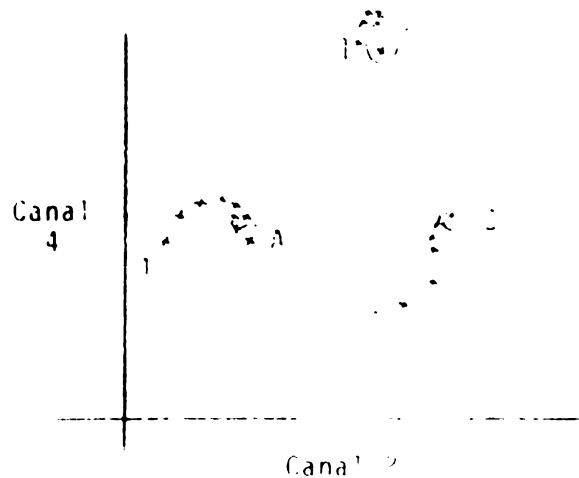


Fig. 5-18 Emigración de ramilletes



## C. Realce de Imágenes

### I. Introducción

Cuando el primer ERTS fue lanzado al espacio por la NASA en 1972, comenzó una nueva época en el estudio de los ya decrecientes recursos naturales mundiales. El satélite, por vez primera, proporcionó imágenes de todo el mundo al público en general en los EE. UU. y países extranjeros. Las imágenes anteriores tomadas durante las misiones tripuladas de la NASA del Mercury, Gemini y Apollo, ya habían demostrado la utilidad de las imágenes satelitales para el análisis de los recursos, mas los datos disponibles se encontraban limitados a áreas específicas del globo seleccionadas por la NASA. Además del cubrimiento mundial del ERTS, las ventajas del sistema incluyen el cubrimiento iterativo de todas las áreas (cada 18 días), y la primera disposición para obtener imágenes digitales compatibles con computadoras desde el espacio. El cubrimiento repetitivo permite al usuario comparar imágenes procedentes de dos fechas distintas y los cambios ocurridos durante ese período de tiempo. Tal característica es muy útil para el análisis, planeamiento de cultivos y estudios ambientales.

La facilidad como un usuario obtiene los datos digitales vírgenes/sin procesar del satélite y los usa en su propia computadora para realzar los datos contenidos en la imagen, fue un escalón muy importante para mejorar la aceptación de los datos por los usuarios, especialmente por las empresas exploradoras de minerales y de petróleo. Puesto que los datos ERTS (hoy llamado LANDSAT) se transmiten digitalmente a tierra vía la telemetría y se almacenan en cinta magnética digital de alta densidad, los datos digitales se consideran como la imagen de la primera generación. De estos datos digitales, los procesadores fotográficos de barrido/exploración laser pueden crear imágenes fotográficas que se distribuyen globalmente. Sin embargo, las fotografías mismas, deberán de considerarse como imágenes de segunda generación y normalmente incluyen distorsiones y reducción de contrastes asociadas con la conversión de datos digitales a analógicos. Entre 1972 y 1979, la mayoría de esas compañías exploradoras solían usar exclusivamente productos fotográficos en sus estudios, debido a que aún no tenían la capacidad de procesar digitalmente los datos vírgenes LANDSAT, y también porque las fotos costaban poco en lo referente a la interpretación de la información general procedente de LANDSAT. En la actualidad, dichas empresas cuentan con sus propios medios para efectuar el análisis digital de los datos LANDSAT, y así analizar, interpretar y seleccionar los datos que más les interesen.

El satélite LANDSAT tiene varios sensores a bordo, pero hoy por hoy los datos más provechosos proceden del explorador/barrido multiespectral (MSS). El instrumento explorador toma datos de imágenes de la superficie terrestre en una pasada de 100 millas náuticas de ancho cruzando de norte a sur junto con el satélite. Se usan cuatro juegos separados de detectores para proporcionar imágenes de escala gris en cuatro regiones del espectro electromagnético. Dos de estas imágenes (llamadas canales de datos) están en el espectro visible mientras que las otras dos están en la porción del infrarrojo cercano del espectro. La

región del infrarrojo cercano proporciona datos que pueden relacionarse con el vigor y salud de la vegetación, así como también de áreas acuáticas y terrestres.

Las imágenes básicas LANDSAT, sea en forma digital o fotográfica, no contienen información; sólo contienen datos vírgenes/ sin procesar. La interpretación de tales datos por medios humanos y/o por computadoras resultará en información que podría tener valor para el usuario. La interpretación de los datos fotográficos resultaría en mapas mostrando usos de la tierra, ubicaciones potenciales de minerales y mapas de estructuras geológicas. Cada uno de dichos productos puede usarse directamente para la toma de decisiones.

Cuando se emplean computadoras para procesar datos LANDSAT, normalmente se usan dos tipos generales de técnicas. Primero, el usuario quizá decida producir mapas que sean el resultado del reconocimiento de patrones de computadora. En tal caso, se da a la computadora un juego de criterios que ésta usa para dividir los datos LANDSAT en categorías que pueden ingresarse a los mapas. Alternamente, el usuario podría usar la computadora para efectuar funciones de realce en los datos digitales sin procesar, de manera que el analizador humano pueda extraer la máxima cantidad de información de una imagen. Este informe ofrece varias técnicas actualmente disponibles para efectuar ambas funciones. La sección del realce enfoca a tres tipos principales de realces. La sección sobre el reconocimiento de patrones detalla procedimientos y supuestos usados en el reconocimiento de patrones supervisado y no supervisado.

## II. Técnicas para el Realce

Dichas técnicas aquí presentadas incluyen aquéllas que han sido o que serán implementadas en la software de computadoras. No se consideran las técnicas fotográficas para hacer resaltar el contraste en las imágenes.

Las tres técnicas generales para el realce son: (1) espectral, (2) espacial y (3) transformación. Cada una de estas técnicas básicas tiene varias sub-categorías que son los algoritmos reales usados para realces.

### a. Espectral

El realce espectral es un método que típicamente hace resaltar el contraste apropiado en una imagen LANDSAT. Esta operación puede efectuarse en una computadora y los resultados se traspasan a un producto tipo mapa, o se hacen los realces y luego se traspasan a una exhibición de imagen gráfica en colores. El segundo método tiene la ventaja de que el usuario puede interaccionar con el sistema de computadoras con toda eficacia, cuando no se haya escogido a priori el juego exacto de realzado de algoritmos. En muchos casos, el usuario puede especificar una técnica de realce y ver los resultados de esa aplicación en menos de 60 segundos. Para un usuario quien trata iterativamente de ejercitar algoritmos hasta que se escoja un juego apropiado para maximizar el contenido informativo con este propósito, el hecho más preferible la representación visual

interactiva que los productos impresos legibles que podrían tardar horas y hasta días para producir. Si un usuario ya ha seleccionado su mezcla de algoritmos (que variará de un tipo de terreno a otro), podrá seleccionar la opción para efectuar directamente las operaciones y pasar a la copia impresa automática legible.

## 1. Presentación en Colores Naturales

Se pueden representar tres de los cuatro canales LANDSAT de datos MSS en un tubo de rayos catódicos (CRT) (pantalla) de colores con un canal asignado a cada uno de los cañones del rojo, verde y azul (RVA) en el monitor. Si el cañón del azul se asigna al segundo canal visible del MSS LANDSAT, el cañón del verde se asigna al segundo canal del infrarrojo cercano y el cañón del rojo se asigna al primer canal visible, entonces se representará una imagen de datos LANDSAT en colores seudoverdaderos.

## 2. Presentación Infrarroja (IR) en Colores

Una segunda forma de representar datos LANDSAT involucra una asignación diferente de color para los canales MSS LANDSAT. En este caso, el cañón del azul se asigna al primer canal visible del MSS, el cañón del verde al segundo canal visible y el cañón del rojo al segundo canal infrarrojo cercano. La película IR en colores ha sido usada por silvicultores y otros expertos en recursos naturales porque permite la detección de áreas de tensión de la vegetación y defoliación. La vegetación sana exhibe una fuerte reflectancia en el infrarrojo cercano y, por tanto, es de color rojo brillante en una imagen IR en colores. Al construirse los datos MSS LANDSAT de manera similar, pueden definirse grandes áreas de tensión forestal o de cosechas.

## 3. Nivel de Grises

Si se representara un (1) canal de datos MSS LANDSAT igualmente en los tres cañones de colores, resultará una imagen de escala de grises con valores de datos cerca de cero viéndose negros y valores de datos cerca de 255 (8 bits de datos) blancos. Esta técnica permite al usuario evaluar por separado el contenido de la información en un canal de datos. Una representación visual que muestre imágenes en escala de grises será mucho más barata de adquirir que una con una completa capacidad cromática.

## 4. Seccionamiento/Color Falso (seudocolor)

Una manera alterna para presentar una imagen de un (1) canal implica el uso de un juego de colores preseleccionado. Se puede asignar un orden de valores de datos en la imagen a un (1) color (i. e., valores de datos 0-29 pueden asignarse al azul). Otro orden/gama diferente se le asignará al verde, etc., hasta que todos los valores de datos en la imagen tengan un color asignado. Tal técnica

proporciona una ilustración con brillantes e interesantes patrones cromáticos, que puede usarse para dar importancia a datos especiales que se relacionan con un tipo deseado de material en el terreno (tal como zonas de mineralización). Sin embargo, existe un peligro en esta técnica si uno no tiene cuidado al seleccionar las combinaciones de valor de datos/color. Algunos colores como el rojo, tienden a llamar más la atención humana en la pantalla de representación visual que otros — tal y como el castaño/pardo. Si un usuario seleccionara erróneamente su relación de orden de datos/color, podría dejar de recalcar los rasgos/accidentes que debiera estar acentuando.

## 5. Estiramiento Lineal

Para las representaciones de color verdadero y de IR en colores de tres canales de datos LANDSAT, a menudo es deseable estirar los valores de datos originalmente en la escena LANDSAT, a una gama que cubra el orden máximo de color de la representación cromática misma. Por ejemplo, muchas imágenes digitales LANDSAT no tienen valores de datos superiores a 32, y con todo la representación cromática puede permitir valores de datos de hasta 255. Si la imagen se representara sin ningún estiramiento, cada uno de los cañones de colores sólo se usaría hasta un octavo de su brillantez disponible. La imagen resultante sería muy oscura y tendría muy poco contraste visual. No obstante, si se aplica un estiramiento lineal, un valor de datos de 1 puede codificarse a un 8, un 2 a un 16, etc. La imagen resultante tendrá una brillantez óptima para la pantalla y el contraste perceptible aumentará en favor del usuario. El concepto de una función de memoria es útil para visualizar esta técnica. Conociendo el gráfico bidimensional a continuación, la función de memoria puede definirse como la que relaciona los valores de datos de entrada con los valores de datos de salida. El eje x es la gama del valor de entrada y el eje y es la gama de los datos de salida. En el caso mostrado, cada valor de datos de entrada se multiplica por 8 para lograr el valor de datos de salida. Esto puede ilustrarse como una línea con un declive ( $y/x$ ) de ocho.

## 5. Estiramiento no lineal

Usando el concepto de una función de memoria antes descrito, puede definirse un algoritmo con el que se puede convertir una función no lineal a los datos de entrada y con los resultados representados como la imagen de salida. A continuación, un ejemplo mostrando una función de memoria logarítmica.

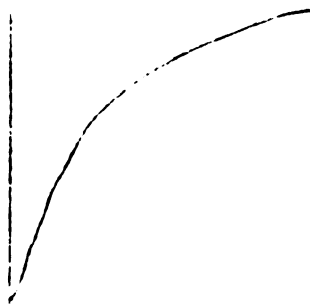


Fig. 19. Función de memoria logarítmica

Los algoritmos permiten al usuario conseguir la salida igual a cualquier valor para una entrada conocida, con el resto de los valores de datos de entrada graduándose conforme a la función seleccionada.

## 7. Igualación de Histogramas

La compensación de los histogramas es una técnica automática de realce en la que el algoritmo lee toda la imagen deseada y va construyendo un histograma de los valores de datos que tienen píxeles (o puntos) en la pantalla y cuántos de éstos. Una vez recopiladas las cifras estadísticas, el algoritmo fija la memoria de función de manera que el conjunto de datos se divida en N (determinado por el usuario) niveles de datos de salida en donde cada nivel tendrá asignado igual número de píxeles en la imagen de salida. Esta técnica ha demostrado ser una de las más útiles de todas las técnicas espectrales de realce.

## 8. Eliminación de Rayas

Otra técnica que también puede aplicarse para la corrección de datos es la de eliminar los efectos de las rayas de la sexta línea que muchas veces se producen en los datos LANDSAT digitales y fotográficos. Este fenómeno se debe a la mala calibración de algunos de los veinticuatro detectores que utiliza el MSS. Los resultados del problema se manifiestan en la brillantez media desigual entre líneas adyacentes de los datos digitales del MSS. El patrón se repite en ciclos de seis líneas puesto que el MSS barre seis líneas a través de la superficie terrestre en un solo movimiento de su espejo explorador. Si el problema fuera sólo de desviación en la respuesta del detector, se podría corregir restando una constante calculada de todos los valores de datos en la raya. Lamentablemente, el problema es mucho más complejo. Las diferentes respuestas del detector errático se deben a los valores de datos capturados y no son constantes. Para resolver este problema, es posible aplicar un algoritmo que lea todo el conjunto de datos utilizando un método de ventana móvil de seis por seis que vaya formando un registro de las correcciones de cada uno de los datos para cada detector. Luego se pasan los datos una segunda vez para efectuar la corrección.

### b. Espacial

En la geología, al igual que en otras ciencias, la configuración, orientación y tamaño de los objetos geológicos son muchas veces tan importantes como su color o representación espectral. Algunos ejemplos incluyen los accidentes lineales relacionados con las zonas de falla y los patrones de grietas, y los accidentes circulares como los domos salíferos. Falta poco para que, gracias a la tecnología, sean posibles estas características automáticamente, no obstante, se han logrado muchos adelantos en cuanto a la producción de imágenes que pueden realzar estos accidentes permitiendo así a los intérpretes experimentados localizarlos más fácilmente. Las técnicas empleadas para ello se conocen como operadores espaciales, y a continuación se describen varias de éstas. Se detallan dos tipos básicos de operadores espaciales, el primer tipo

consiste en una casilla que se desplaza físicamente y produce una imagen de salida como función de determinada combinación de  $N \times N$  píxeles en la imagen original, y el segundo comprende un concepto que hace uso de una función matemática conocida como serie de Fourier.

Los operadores espaciales funcionan generalmente a base de un concepto de frecuencia espacial. Si la imagen de muestra contiene una escala de grises que varía gradualmente de izquierda a derecha, puede decirse que la imagen tiene un patrón de frecuencias espaciales bajas puesto que es posible que en uno de los bordes de la imagen todos los valores de datos sean negro y que al desplazarnos hacia la derecha continúen variando hasta que el extremo derecho sea blanco. En una imagen de frecuencia espacial alta, uno de cada dos píxeles de la imagen es negro o blanco creando así un patrón de cuadros en la imagen. Basándose en este concepto, un borde o una lineación de una imagen sería considerado un accidente de alta frecuencia puesto que a lo largo del mismo los valores espectrales difieren significativamente de los adyacentes.

Una forma de crear un filtro espacial sería utilizando una convolución, que es una casilla  $N \times N$  de valores de datos de la imagen original que define un valor de dato de salida para un determinado píxel. En caso usualmente considerado como el más sencillo sería el de una ventana de 3 píxeles por 3 píxeles. Para emplear una técnica mediante la cual el valor de dato de salida es una función de una casilla 3 por 3 de los valores de datos de los píxeles originales, tal vez sea necesario efectuar toda una serie de funciones espaciales dependiendo de los pesos asignados a cada uno de los píxeles en la casilla de 3 por 3.

### 1. Filtro de Paso Alto

En el caso de un filtro de paso alto, el cual realza características tales como los bordes que muestra una zona de transición, una casilla móvil de 3 x 3 podría definirse de la siguiente manera:

$$v_{ij} = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 v_{i+k, j+l}$$

$v$  es el valor de dato promedio de la casilla  $3 \times 3$ , podría considerarse como la componente de baja frecuencia de la casilla, el valor realzado de alta frecuencia del píxel sería entonces:

$$v_{ij} - v_c = v_{ij} - v$$

donde  $v_c$  = el valor del centro de la casilla de 3 x 3.  $v_c - v$  proporcionaría solamente la componente de alta frecuencia, y al sumar dicho valor de nuevo al valor de dato original,  $v_{ij}$ , se obtendría el valor de dato realzado de alta

frecuencia para la imagen de salida. Obviamente este procedimiento tendría que extenderse a  $N \times N$  pixeles, si bien la única función del bloque de  $N \times N$  sería la de definir mejor la componente de baja frecuencia.

## 2. Filtro de Paso Bajo

Podría diseñarse un filtro de paso bajo en el que cada pixel sea reemplazado por el promedio de  $N \times N$  de los pixeles adyacentes. Esto produciría una imagen borrosa en la que todos los contrastes fuertes estarían promediados. El valor  $v_c$  nuevo sería entonces igual a  $v^*$  del ejemplo de frecuencia de paso alto.

## 3. Filtro de Coeficiente Variable

Podría solicitársele al usuario que, por medio de un filtro de  $N \times N$ , proporcione los coeficientes para cada uno de los  $N \times N$  pixeles que se usarán para producir una imagen de salida. En el caso de un filtro de  $3 \times 3$  entonces:

$$vv = \sum_{i=1,3} \sum_{j=1,3} a_{ij} v_{ij}$$

Aplicando esta técnica, sería posible producir filtros de paso alto, paso bajo, o compensados direccionalmente, especificando los pesos  $a_{ij}$ . Por ejemplo, si  $a_{ij}$  para todas la  $i$  y  $j$  es igual a uno, entonces el filtro variable representaría un filtro de paso bajo. Si  $a_{ij}$  es igual a  $-1/9$ , salvo por  $a_{22}$  que es igual a 2, se tendría un filtro de paso alto. Al hacer que los pesos a lo largo de la diagonal (v.g.,  $a_{11}$ ,  $a_{11}$ ,  $a_{22}$ ,  $a_{33}$ ) sean valores altos, podría dársele al filtro una naturaleza direccional.

## c. Transformación

### 1. Componentes Principales

Es posible aplicar una transformación de las componentes principales a una imagen LANDSAT por diversos motivos. En primer lugar, la imagen resultante es casi siempre más útil, especialmente para los geólogos en busca de zonas mineralizadas, y en segundo lugar las dimensiones del conjunto de datos podrían reducirse. Para determinar una transformación de las componentes principales, se calcula una matriz de covarianza (leven a cabo en parte de la imagen original). Una vez obtenida la covarianza, se calculan los valores característicos de la matriz de covarianza de  $4 \times 4$ . El valor característico más grande y su vector característico correspondiente indican la dirección en el espacio espectral de los cuatro canales en que ocurre gran parte de la varianza de los datos. Esta dirección se toma luego como el primer eje de un sistema de coordenadas transformadas. El vector característico correspondiente al primer vector característico que le sigue en tamaño es ortogonal (a  $90^\circ$ ) al primer eje y representa la dirección de la varianza que le sigue en amplitud. Este procedimiento continúa hasta que

se definen cuatro ejes nuevos por combinaciones lineales de los ejes espectrales originales. De hecho, si los ejes de los datos espectrales originales estuviesen correlacionados, un subconjunto de los cuatro ejes nuevos podría contener el 99% de toda la varianza en la imagen. De ocurrir esto, entonces sólo se necesitarían dos o tres de los canales transformados nuevos para describir completamente la imagen de entrada. Esto representaría grandes ventajas en el caso de imágenes de ocho a doce canales donde los procedimientos de clasificación utilizados para el reconocimiento de patrones son sumamente demorados. Una vez identificadas las combinaciones lineales necesarias para transformar la imagen de los ejes espectrales originales a los ejes de las componentes principales transformadas, se puede convertir cada pixel de la imagen al sistema nuevo. En algunos casos, las imágenes transformadas pueden representar áreas terrestres en una forma que resulte más fácil de interpretar para los geólogos y los geofísicos. La brillantez y las características generales del terreno se encuentran por lo general contenidas en la primera imagen de las componentes principales. Los geólogos, no obstante, tienen mayores posibilidades de hallar en la segunda y tercera componentes principales información que se encontraba oculta por los datos de brillantez en el sistema de coordenadas espectrales originales.

## 2. Razones y Combinaciones Lineales

Aun cuando la mayoría de las técnicas descritas en la sección de realce espectral están relacionadas con operaciones en un solo canal de datos del MSS a la vez, se ha tratado de combinar los datos de dos o más canales por medio de razones y combinaciones en un intento de realizar ciertas características determinadas de una imagen. En la silvicultura, con frecuencia se determina la razón entre dos bandas de datos LANDSAT con el propósito de definir áreas de defoliación por infestación de insectos. En tales casos, se determinan las razones de todas las posibles combinaciones de los cuatro canales de datos LANDSAT y se guardan sólo aquellas que ponen de relieve las áreas afectadas para análisis adicional. Es por todos sabido que con este método se pueden definir áreas extensas de defoliación pero que se requieren otras investigaciones para poder definir aquellas regiones que son susceptibles a la defoliación o que se encuentran en las primeras etapas de ésta.

En la geología, es posible producir tres canales de datos aplicando tres imágenes con diferentes razones a los canales rojo, verde y azul de color en una pantalla interactiva. Con este método se muestran los cambios de tonalidad que muchas veces permiten identificar tipos de alteración. Muchas compañías de exploración minera se han beneficiado con los canales y las razones seleccionadas.

Las combinaciones lineales pueden ser producidas a partir de los canales LANDSAT. Básicamente, poníamos a punto la combinación lineal de los canales LANDSAT como un método para transformar los valores de los datos al otro sistema de coordenadas que podría ser más conveniente para las características deseadas en la imagen final.

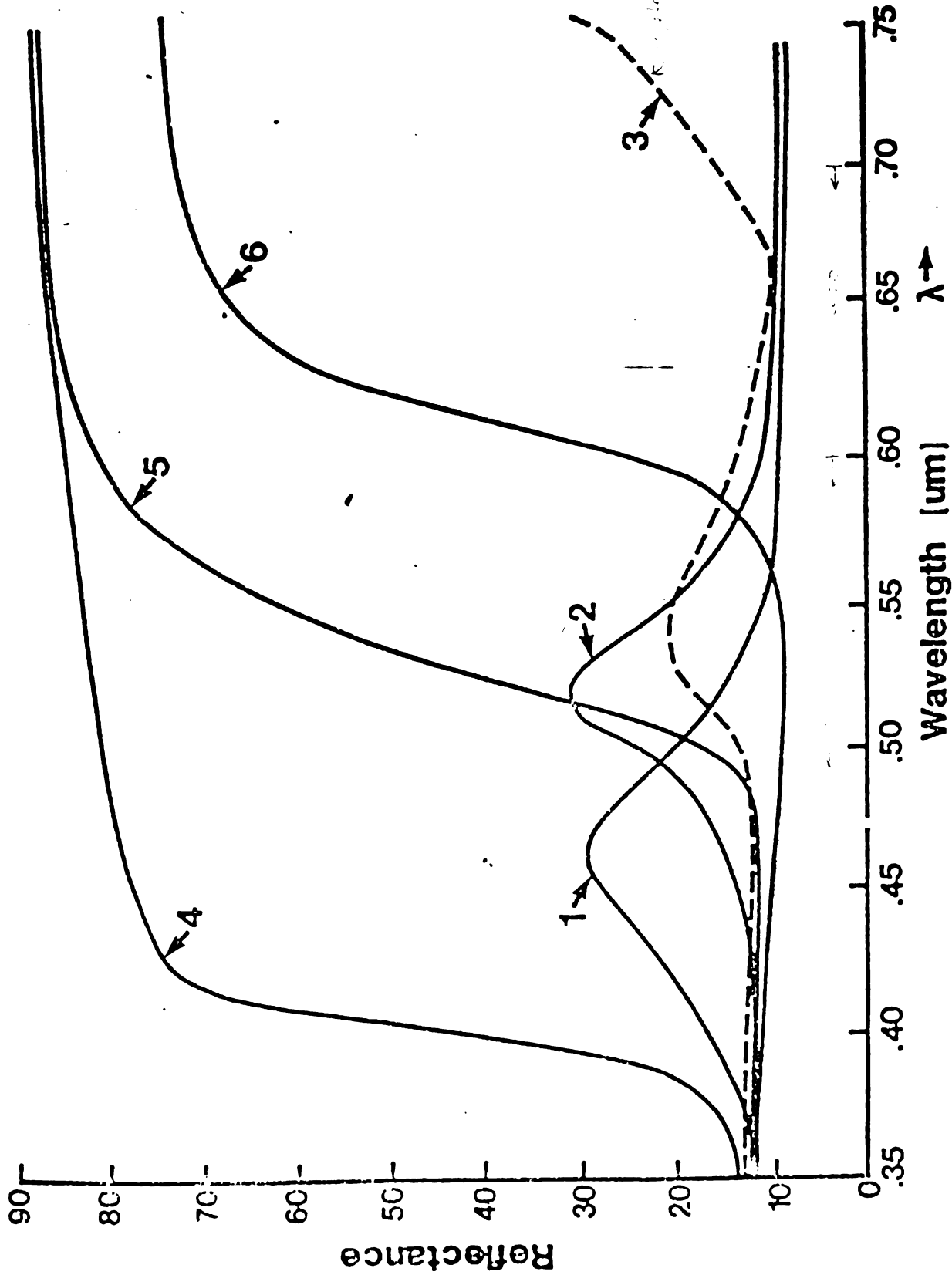
Una combinación lineal de los datos LANDSAT podría ser usada de la siguiente manera:



$$v = a * x_1^{e_1} + b * x_2^{e_2} + c * x_3^{e_3} + d * x_4^{e_4}$$

donde a, b, c, y d son los coeficientes proporcionados por el usuario, de  $e_1$  a  $e_4$ , los exponentes de cada término definidos por el usuario, y de  $x_1$  a  $x_4$  los valores de datos LANDSAT sin procesar para los canales del 1 al 4. Al igual que en todas las técnicas de realce, los coeficientes y los exponentes deben determinarse experimentalmente utilizando datos reales del terreno.

# Spectral Response of Paint Samples and Green Vegetation



# 1. CARACTERÍSTICAS DE REFLECTANCIA ESPECTRAL DEL SUELO

## Actividad 1

La Figura 1 muestra la característica de reflectancia espectral de un suelo arenoso seco. Observando la diferencia en colorido entre suelos húmedos y secos, conforme se señala en la diapositiva 5, y basándose en el hecho de que el agua absorbe energía electromagnética alrededor de 1.4, 1.9 y 2.6  $\mu\text{m}$ , trace en la Figura 1 su pronóstico de la característica de reflectancia de un suelo arenoso húmedo.

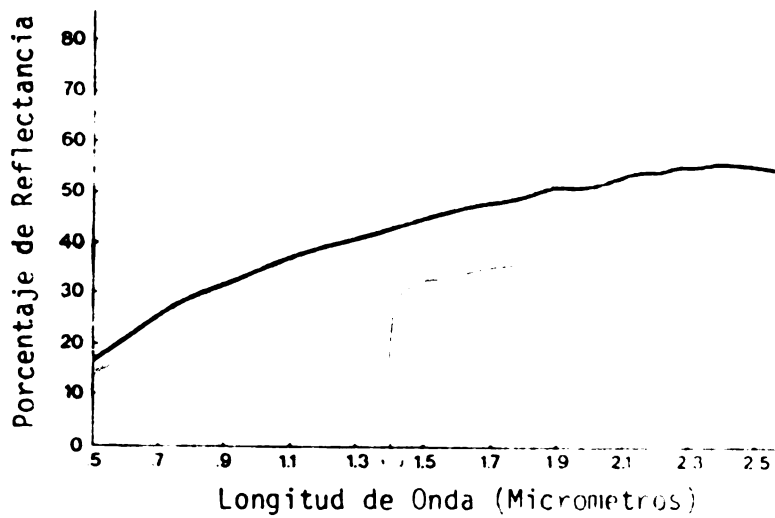


Figura 1. Reflectancia Espectral de Suelos Arenosos

# MULTISPECTRAL IMAGERY

S.P.O.T.

LANDSAT

HIGH RESOLUTION  
VISUAL (H.R.V.)

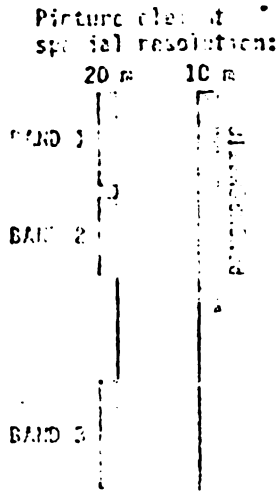
MULTISPECTRAL  
SCANNER (M.S.S.)

THEMATIC  
MAPPER (T.M.)

LANDSAT 1, 2, 3, 4, 5  
Picture element  
spatial resolution:  
80 meters

LANDSAT 1, 2, 3, 4, 5  
Picture element  
spatial resolution:  
30 meters

Former band number used  
in Landsat 1, 2, 3 in ( )



BAND 1  
(4)  
Green-Yellow

BAND 2  
(5)  
Red

BAND 3  
(6)  
Near-Infrared

BAND 4  
(7)  
Near-Infrared

SPECTRUM  
WAVELENGTHS  
IN MICROMETERS

.50

.60

.70

.80

.90

1.00

1.10

1.20

1.75

2.00

10.0

10.0

BAND 1  
Blue Green Reflectance

BAND 2  
Green-Yellow Reflectance

BAND 3  
Red Reflectance

BAND 4  
Near-Infrared Reflectance

BAND 5  
Thematic Mapper Reflectance

BAND 6  
Thematic Mapper Reflectance

BAND 7  
Thematic Mapper Reflectance



DATA STORAGE TAPE FILE

RUN NUMBER..... 75044400  
 DATE TAPE GENERATED... SEPT 24, 1976  
 TAPE NUMBER..... 3463 FILE... 1  
 LINES OF DATA..... 2340  
 SECONDS OF DATA..... 28.65 SEC  
 AREA E-W 99 NM N-S 100 NM  
 LINE RATE..... 81.68 LINES/SEC  
 TIME DATA WAS TAKEN..... 1516 (GMT)  
 SUN ELEVATION..... 48 DEGREES  
 SUN AZIMUTH..... 112 DEGREES  
 REVOLUTION NUMBER..... 0556  
 DAY SINCE LAUNCH..... 040  
 SCENE/FRAME ID..... 2040-1516300  
 FRAME ID..... 280F0000  
 STRIP ID..... 0000

FLIGHTLINE ID..... 8204015163 C.PICA  
 DATE DATA TAKEN..... 3/ 3/75  
 TIME DATA TAKEN..... 1416 (LST)  
 PLATFORM ALTITUDE..... 3062000  
 GROUND HEADING..... 188 DEGREES  
 FIELD OF VIEW 11.43 DEG 0.1995 RAD  
 DATA SAMPLES/LINE/CHANNEL..... 3256  
 SAMPLE RATE 0.0613 MILLIRADIANS  
 LAT. AT FRAME CENTER..... 10 D 09'N  
 LONG. AT FRAME CENTER... 084 D 34'W  
 LAT. AT NADIR..... 10 D 09'N  
 LONG. AT NADIR..... 084 D 36'W  
 RUN CENTER.... 84D 34'W/ 10D 9'N  
 ACQUISITION SITE..... GOLDSTONE

SUN CALIBRATION DATA.....  
 HI GAIN BAND 1.....  
 LINE LENGTH ADJUST..... \*  
 DIRECT DATA..... \*  
 CALIBRATION WEDGE.....

HI GAIN BAND 2.....  
 RECORDED DATA.....  
 COMPRESSED DATA..... \*  
 DECOMPRESSION..... \*  
 CALIBRATION..... \*

SPECTRAL BAND LIMITS IN MICROMETERS

CHAN	LOWER	UPPER	CHAN	LOWER	UPPER	CHAN	LOWER	UPPER
(1)	0.50	0.60	(2)	0.60	0.70	(3)	0.70	0.80
(4)	0.80	1.10	(5)			(6)		
(7)			(8)			(9)		
(10)			(11)			(12)		

RUN CONDITIONS AND COMMENTS - LINES 1 2340/1. COLUMNS 7 3256/1.  
 WP-568 ACNT-275

A.B. degree with honors in English in 1958 from Sweet Briar College and the M.A. degree in English from Case-Western Reserve University in 1962. Her major contributions to remote sensing education have been as co-author and editor of the LARSYS Educational Package; co-editor and contributing author of the textbook Remote

Sensing: The Quantitative Approach; Chairman of the 1981 Conference on Remote Sensing Education; and creator/coordinator of the videotape series Introduction to Quantitative Analysis of Remote Sensing Data. Her recent work has involved the development of educational materials for digital image processing.

Table 1. Calibration Information for Different Periods of Operation of Landsat 1, 2, 3 and 4 MSS Sensors

System and Performance Period	Wavelength Band (in $\mu\text{m}$ )	Minimum CCT Digital Count	Maximum CCT Digital Count	Minimum Radiance (in watts/cm <sup>2</sup> /sr)	Maximum Radiance (in watts/cm <sup>2</sup> /sr)
Landsat 1	0.5 - 0.6	0	127	0	2.48
	0.6 - 0.7	0	127	0	2.00
	0.7 - 0.8	0	127	0	1.76
	0.8 - 1.1	0	63	0	4.60
Landsat 2 1/22/75 - 7/16/75	0.5 - 0.6	0	127	0.10	2.10
	0.6 - 0.7	0	127	0.07	1.56
	0.7 - 0.8	0	127	0.07	1.42
	0.8 - 1.1	0	63	0.14	4.15
Landsat 2 after 7/16/75	0.5 - 0.6	0	127	0.08	2.63
	0.6 - 0.7	0	127	0.06	1.76
	0.7 - 0.8	0	127	0.06	1.52
	0.8 - 1.1	0	63	0.11	3.91
Landsat 3 3/5/78 - 5/31/78	0.5 - 0.6	0	127	0.04	2.20
	0.6 - 0.7	0	127	0.03	1.75
	0.7 - 0.8	0	127	0.03	1.45
	0.8 - 1.1	0	63	0.03	4.41
Landsat 3 after 5/31/78	0.5 - 0.6	0	127	0.04	2.59
	0.6 - 0.7	0	127	0.03	1.79
	0.7 - 0.8	0	127	0.03	1.49
	0.8 - 1.1	0	63	0.03	3.83
Landsat 4	0.5 - 0.6	0	127	0.02	2.30
	0.6 - 0.7	0	127	0.04	1.80
	0.7 - 0.8	0	127	0.04	1.30
	0.8 - 1.1	0	63	0.10	4.00

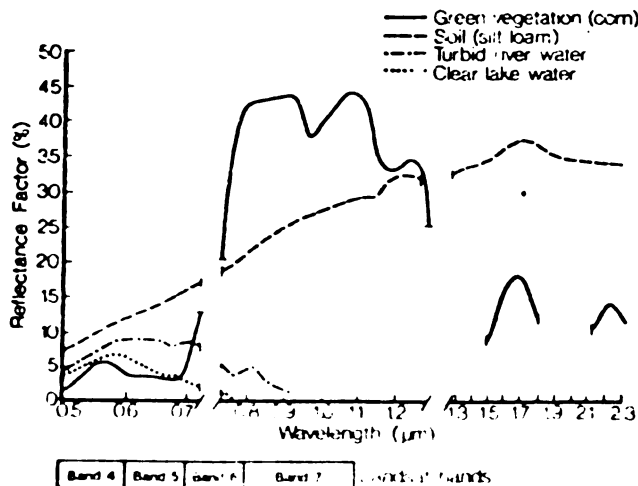


Figure 1. Spectral Reflectance Characteristics of Major Earth-Surface Materials.