

01131
2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

METODOS DE PERCEPCION REMOTA
APLICADOS A LA GEOFISICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOFISICO
P R E S E N T A :
PEDRO GERARDO ARIZMENDI MEDINA



DIRECTOR DE TESIS: DR. ROSA MARIA PROL LEDESMA

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MAYO DE 2003

1



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



REPUBLICA DE GUATEMALA
UNIVERSIDAD DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-320

SR. PEDRO GERARDO ARIZMENDI MEDINA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora Dra. Rosa María Prol Ledesma y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geofísico:

MÉTODOS DE PERCEPCIÓN REMOTA APLICADOS A LA GEOFÍSICA

- I INTRODUCCIÓN
- II PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA TELEDETECCIÓN
- III BASES PARA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES EN TELEDETECCIÓN ESPACIAL
- IV SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO
- IV APLICACIONES
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., 19 de mayo de 2003
EL DIRECTOR

M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB/FAGC*84

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Le doy gracias :

*A Dios
Por permitirme concluir una etapa
más en mi vida.*

*A mis padres por darme su amor, su ejemplo de lucha
ante las adversidades de la vida, gracias.*

*A la Universidad
A mi Facultad de Ingeniería
Por la dicha y la fortuna de formar parte de ella*

*A la Dr. Rosa Ma. Prol Ledesma
Por que es para mí, un ejemplo a seguir
Por el apoyo que me dio para el término de ésta tesis.
Por su paciencia, su amistad y por la gran ayuda que
me brindó para culminar mi titulación.*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Le dedico esta tesis a:

Mi esposa

Ma. Elena

Por que sin su apoyo no seria posible realizar este trabajo, gracias Nena.

A Hei y Gerardito

Mis hijos que me brindan su amor y alegría, por los nuevos conocimientos adquiridos en su temprana vida.

A mis hermanos.

A mi familia y amigos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Índice

	pag.
Capítulo I Introducción	1
Capítulo II Principios físicos de la Percepción Remota	
II.1 Fundamentos de la observación Remota	6
II.2 Dominio óptico del espectro	13
II.3 Dominio del infrarrojo térmico	17
II.4 La región de las microondas	17
II.5 Sistemas espaciales de Percepción Remota	19
II.6 Sistema Sensor	20
Capítulo III Bases para la interpretación de imágenes en la Percepción Remota	
III.1 Interpretación de la imagen	27
III.2 Fijación de objetivos	27
III.3 Selección del método de análisis tratamiento visual o digital	29
III.4 Interpretación visual de imágenes	30
III.5 Elementos de análisis visual	35
III.6 Tratamiento digital de imágenes	37
III.7 Realce y mejoras de la imagen	45
III.8 Filtrajes	51
III.9 Transformaciones de la imagen	55
III.10 Clasificación digital	62
III.11 Fase de entrenamiento	62
III.12 Verificación de resultados	66

pag.

Capítulo IV Sistema de información geográfico

IV.1	Percepción Remota y sistema de información geográfica	68
IV.2	Necesidades de los GIS	68
IV.3	Función de un GIS	70
IV.4	Entrada de datos	70
IV.5	Principales componentes y funciones de los GIS	71
IV.6	Almacenamiento y organización de los datos	72

Capítulo V Algunas aplicaciones

V.1	Procesamiento digital	73
V.2	Alteraciones hidrotermales	79
V.3	Comentarios generales de la aplicación	89

Capítulo VI Conclusiones 90

Bibliografía consultada 92

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Resumen

En este trabajo se presenta una descripción de los principios físicos de la Percepción Remota ó Teledetección Espacial, en el cual se describen diversos temas para el análisis de la interpretación de imágenes; aplicados como apoyo en la exploración de zonas hidrotermales y de terrenos. Con el propósito de ejemplificar las bondades de la Percepción Remota, se lleva un análisis de Composición en Color, Cociente de Bandas y Análisis de Componentes Principales a dos zonas de estudio que son: el área de Howe Hill Mass. USA. y el área de La Primavera, Jalisco, México.

Los resultados muestran que la Percepción Remota es aplicada en muchos campos de las ciencias de la tierra como en el Procesamiento digital de datos del terreno; Alteraciones hidrotermales por hidroxilos y óxidos, por mencionar algunos. Procediendo posteriormente a la exploración y a la verificación de campo por medio de métodos Geofísicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

Los métodos Geofísicos de exploración utilizan la Percepción Remota como alternativa, que no sustituye, pero si amplía y facilita el estudio y el análisis de la tierra, afloramientos y con ello las estructuras Geológicas asociadas.

La Percepción Remota o Teledetección Espacial, es el proceso de detectar y registrar a distancia las ondas electromagnéticas (OEM) provenientes de la superficie terrestre, estas ondas pueden ser reflejadas absorbidas o emitidas por ella.

Todo cuerpo emite radiación electromagnética (REM) asociada a su temperatura absoluta, conforme a la fuente de radiación (Sol) utilizada para iluminar a la superficie terrestre.

A finales del siglo XIX, se realizó la primera fotografía aérea gracias a un globo aerostático y a un grupo de profesionales de la fotografía; a partir de este acontecimiento se intenta dominar la visión y extensión de la superficie terrestre. Sin duda alguna, la fotografía aérea sigue siendo la técnica de teledetección más empleada e indispensable para la observación espacial.

El espectro visible es captado por el ojo humano, sin embargo, el calor no es directamente perceptible, por lo que se requiere de sensores artificiales. Así mismo éstos sensores se sitúan a cierta distancia, logrando así el acceso a diferentes tipos de energía no visible como rayos ultravioleta, infrarrojos y las micro-ondas principalmente.

Los sensores captan la emisión de radiación electromagnética (REM) y la transforman en valores digitales de intensidad de radiación desde la zona del espectro visible hasta la zona de longitudes de onda de orden de magnitud del metro.

Entre los equipos utilizados en Percepción Remota, se incluyen las cámaras fotográficas con utilización de filtros y otros sensores de diversos tipos instalados en aeronaves, satélites (plataformas) de observación terrestre. Las imágenes digitales de uso común provienen de diversas fuentes como:

- Imágenes de satélite
- Fotografías aéreas
- Mapas y planos fotogramétricos.

En un principio la Percepción Remota se utilizó para fines militares, en la actualidad es fundamental aplicarla en la ciencia, tecnología y en la vida cotidiana.

A continuación se muestran algunos de sus métodos y sus aplicaciones:

El análisis en componentes principales (ACP) y la composición de color (CC), son las técnicas mayormente utilizadas para una interpretación visual, junto con información de la reflectancia de los materiales y su presencia en diferentes bandas espectrales. Esto último es manejado como cocientes entre bandas que producen realces o discriminación de determinados materiales. Estos métodos serán tratados con mayor descripción en el capítulo III.

La reflectancia espectral resulta mayor cuando se trata de suelos secos y sin materia orgánica. El contenido de humedad es uno de los elementos destacados importantes en la reflectancia de las longitudes de onda mas larga, infrarrojo cercano y medio, como consecuencia de la alta absorberencia del agua en estas bandas, esto se describe con más detalle en el capítulo II.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La composición de bandas es útil para:

- Visualizar en color las imágenes satelitales.
- Simular imágenes a color tal como si hubiesen sido fotografiadas por una cámara fotográfica en color.
- Realizar composiciones de imágenes infrarrojas u otras que no puedan ser obtenidas por ningún otro dispositivo fotográfico.
- Separar en sus tres componentes una imagen a color, generando nuevas imágenes monocromáticas, la separación de bandas es un procedimiento simple pero útil.

La Percepción Remota es aplicada en la exploración minera, a través de:

- Mapa regional: lineamientos (con áreas que van de diez a cientos de Km de largo), tendencias estructurales y regiones mineras.
- Mapa local: rasgos de fracturas que pueden ser indicadores de depósitos minerales.
- Detección y alteración de rocas hidrotermales asociadas a minerales.
- Información de datos Geológicos.

Otra principal aplicación esta en:

La Exploración Petrolera: La búsqueda de petróleo, se realiza con un reconocimiento regional, seguido con mayor detalle con los métodos Geofísicos de la exploración para culminar con la perforación del subsuelo; cuya secuencia sigue aproximadamente estos pasos:

- Percepción Remota Regional: Las imágenes del satélite Landsat cubren cientos ó miles de Km. cuadrados y son específicamente usados en esta fase; el objetivo es localizar cuencas de rocas sedimentarias, estas son esenciales en la formación de Yacimientos Petrolíferos.
- Reconocimiento Geofísico: La Prospección Aéreo magnética, tiene como resultado la obtención de mapas de la intensidad del campo magnético terrestre, las rocas sedimentarias tienen baja intensidad magnética, en la superficie se realiza Prospección Gravimétrica para determinar áreas de la tierra. Las rocas sedimentarias tienen un bajo valor de gravimetría específica. Los mapas Gravimétricos y Magnetométricos, pueden mostrar los rasgos estructurales de la región
- Interpretación detallada e integración de los métodos Geofísicos a la Percepción Remota: Las imágenes del satélite Landsat, son interpretadas para identificar un mapa de estructuras Geológicas (anticlinales y fallas), que pueden formar trampas de petróleo. Estas estructuras pueden ser analizadas a detalle, usando imágenes del

satélite SPOT o fotografías aéreas (estereoscopio). Las imágenes de Radar son utilizadas en regiones donde existen zonas lacustres, donde es difícil adquirir buenas fotografías o imágenes. En esta etapa los Geofísicos realizan pruebas de campo para interpretar las rocas aflorantes. Cuyas asociaciones estructurales nos llevan a la interpretación de las zonas de potencial económico partiendo de la Prospección Sísmica: Explosivos y aparatos mecánicos, son usados para transmitir la energía de las ondas sísmicas. La reflectancia de las ondas, es grabada y procesada, obteniendo un mapa sísmico, mostrando a detalle las estructuras geológicas bajo la superficie de la tierra. Las imágenes y mapas facilitan la exploración de la región.

• Perforación: Es la prueba final en la exploración petrolera.

Los Modelos digitales del terreno en recursos naturales, aplicados por Cabrera y Gómez (1995), su importancia se encuentra en: La extracción y utilización de información hidrológica.

La evaluación ambiental, se lleva a cabo manipulando ésta información para identificar algunas áreas de degradación por erosión, sedimentación salinización, contaminación o inundación. Tal es el caso de zonas con baja cobertura vegetal que se encuentren en pendientes altas y /o en zonas de flujo acumulado alto, es decir que la cantidad de agua que pueda pasar por ese punto pueda ser muy elevada por tanto sean zonas con alto peligro de erosión hídrica; como la cuenca del río Lerma.

Los parámetros para modelado hidrológico son :

- Mapa de elevación de terreno, que contenga las altitudes de la región codificando las mismas en rangos de color.
- Mapa de depresiones, el cual contiene sólo una máscara de los píxeles con valores de aspecto cero.
- Valor mínimo de celdas que formaran una unidad ó cuenca (hectáreas).
- Porcentaje de tierras perturbadas, obtenidas por mediciones en campo.
- Longitud máxima de pendientes.

Con estos parámetros se manejan archivos de datos con la cantidad de información que se desee procesar.

La detección de cambios Morfológicos en Litorales, aplicados por Palacios y Zarate (1995). Para detectar los cambios geomorfológicos de la línea de costa, mediante los siguientes pasos:

- Se plantea un análisis multitemporal de imágenes de satélite.
- Tiempo promedio de ocho años.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Utiliza tres colores primarios, aplicando una banda del infrarrojo cercano con distinta fecha.
 1. Marca claros contrastes entre tierra (niveles de reflectancia alto) y agua (niveles de reflectancia bajos).
 2. Delimita claramente la línea de costa.
 3. Asigna esta dualidad de opciones: la existencia de color para tierras emergidas con cambios y la no-existencia de color para el agua.
 4. Relaciona color- no color para cada fecha y por tanto para cada situación de pérdida o ganancia de tierras litorales.
- Se obtienen los colores secundarios a partir de las combinaciones de color primarios y las situaciones geomorfológicas vigentes.

Dependiendo de la banda y fecha asignada a cada color, se obtienen diferentes colores con distinto significado como:

- Ganancia de tierra por acreción.
- Pérdida de terreno por erosión
- Terrenos estables ó compensados entre los periodos de tiempo establecidos por las fechas de las imágenes originales.

Dado que el principio de correlación y sobre posición propuesto se basa en colores puros y combinados resultado de un contraste bien definido entre fechas, si no existen cambios, los tonos blancos (tierra) y negros (agua) se mantienen, apareciendo solo colores primarios y sus combinaciones para los pixels con cambios.

Se hace una descripción teórica y práctica de la Percepción Remota. Se espera que ésta información sea de utilidad para que las personas no especializadas puedan leer acerca de la teledetección y aplicarla en su ambiente utilizando el beneficio de ésta metodología. En cuanto a los métodos Geofísicos de exploración y los sistemas hidrográficos integrados con los resultados de cada uno de las técnicas; nos describirán el comportamiento estructural en el subsuelo.

CAPÍTULO II

PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA TELEDETECCIÓN

II.1. Fundamentos de la observación remota.

La teledetección u observación remota, es la técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación remota sea posible, es preciso que haya entre los objetos y el sensor, un haz luminoso ó flujo energético.

Principales elementos del sistema de teledetección:

- Sensor
- Objeto observado
- Flujo energético

La información de un sensor remoto se adquiere a partir de:

- Reflexión
- Emisión

La reflexión solar es la forma más importante de fuente de energía. Por otra parte, la observación remota puede basarse en la energía emitida por la propia cubierta terrestre(objeto).

El flujo energético entre la superficie terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética. Al enviar un flujo de energía emitido por el sensor, lo que se observa es, la reflexión sobre la superficie terrestre siendo captada de regreso por el sensor.

La energía térmica se transfiere de un lugar a otro por:
Convección, conducción y radiación.

La radiación electromagnética se ha explicado por dos teorías:

- Como un haz ondulatorio (Huygens, Maxwell)
- Una sucesión de unidades discretas de energía, fotones o cuantos con masa igual a cero.

La energía electromagnética se transfiere de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo.

$$C = \lambda F \quad \text{-----} \quad 1$$

C velocidad de la luz (300,000,000 m/s)

F frecuencia (Hertz)*

λ longitud de onda

Gracias a la teoría cuántica se puede calcular la energía transportada por un fotón, siempre que se conozca su frecuencia

$$Q = h F \quad \text{-----} \quad 2$$

Q energía radiante de un fotón (Julios)*

F frecuencia (Hertz)*

h constante de Planck (6.6×10^{-34} J/s)

sustituyendo

$$Q = h (C/\lambda) \quad \text{-----} \quad 3$$

* Hertz = 1/s, Julios = Newtons x metro / s², Newtons = Kg. x metro

Lo que significa que a mayor longitud de onda, menor frecuencia y el contenido energético será menor y viceversa. Esto implica que las radiaciones en longitud de onda larga son más difíciles de detectar que aquellas en longitud de onda corta, cuando se cuenta con sensores de altos niveles de energía

Ver fig. 2.1

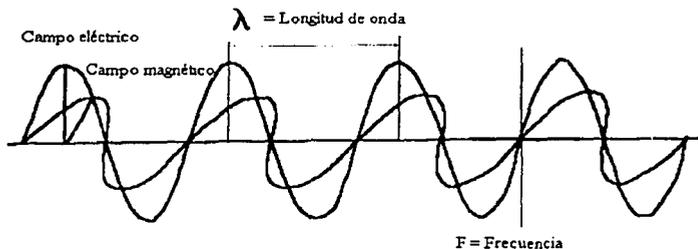


Fig. 2.1 Esquema de una onda electromagnética

El espectro electromagnético

A la expresión que da la organización de las bandas de longitud de onda o de frecuencia se denomina espectro electromagnético.

Las unidades para medir las longitudes de onda son las micras (micras = 10^{-6} m) mientras las más largas se miden en cm o m. Normalmente a estas últimas se les denomina micro-ondas, o se les designa también por valores de frecuencia (gigahercios, GHz = 10^9 Hz.).

El espectro visible (0.4 a 0.7 μm) se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que puede ser percibida por nuestra vista. Suelen distinguirse en ella las bandas elementales: (fig. 2.2)

- Azul (0.4 a 0.5 μm)
- Verde (0.5 a 0.6 μm)
- Rojo (0.6 a 0.7 μm)
- Infrarrojo próximo (0.7 a 1.3 μm)

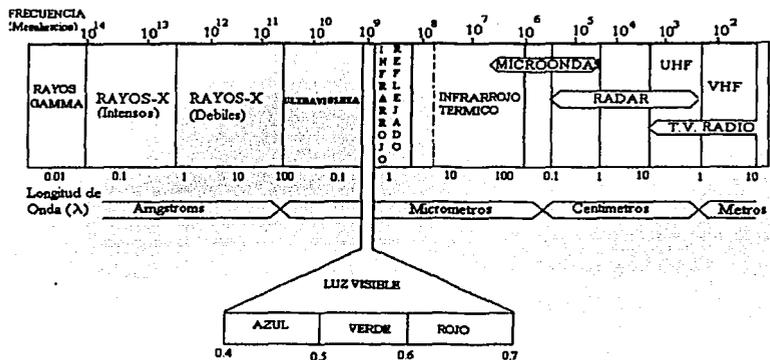


Fig.2.2 Espectro electro-magnético

Términos y unidades de medida

Energía radiante (Q), se mide en Julios (J). Energía radiada en todas las direcciones.

Densidad radiante (W), se mide en Julios/ m^3 (J/m^3) Energía radiada en todas las direcciones por unidad de volumen.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Flujo radiante (ϕ), se mide en vatios (W), energía radiada en todas las direcciones por unidad de tiempo.

Emitancia o Exitancia Radiante (M), se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2), energía radiada en todas las direcciones desde una unidad de área y por unidad de tiempo.

Intensidad radiante (I), energía radiada por unidad de tiempo y por ángulo sólido (Ω).

Radiancia (L), energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido de medida, se cuantifica en vatios / m^2 .

Radiancia espectral ($L\lambda$), indica el total de energía radiada en una determinada longitud de onda por unidad de área y por ángulo sólido de medida.

Emisividad (ϵ), relación entre la emitancia de una superficie (M) y la que ofrece un emisor perfecto denominado cuerpo negro, a la misma temperatura (M_a).

Reflectancia (ρ), relación entre el flujo incidente y el reflejado por una superficie.

Absorbencia (α), relación entre el flujo incidente y el que absorbe una superficie.

Transmitancia (τ), relación entre el flujo incidente y el transmitido por una superficie.

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
FALLA DE ORIGEN

Principios y leyes de la radiación electro-magnética

De acuerdo a la ecuación $Q = h(c/\lambda)$, la cantidad de energía que contiene un flujo radiante es inversamente proporcional a su longitud de onda. Esta relación entre flujo de energía y longitud de onda puede establecerse con mayor rigor gracias a la ley de Planck.

$$Q = h(c/\lambda) \quad \text{-----} \quad 4$$

Ley de Planck:

$$M_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \{ \exp(hc/\lambda kT) - 1 \}} \quad \text{-----} \quad 5$$

Donde:

M_{λ} – Emitancia espectral de un cuerpo negro a una determinada longitud de onda (λ).

h - Constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34} \text{ W s}^2$)

k - Constante de Boltzman ($1,38 \times 10^{-23} \text{ W s}^2/\text{°K}$)

c - Velocidad de la luz

λ - Longitud de onda

T - Temperatura absoluta de un cuerpo negro en °K

$$\text{Min} \lambda = \frac{c_1}{\lambda^5 \{ \exp(c_2 / \lambda T) - 1 \}} \quad \text{-----} \quad 6$$

$$c_1 = 3,74 \times 10^{-16} \text{ W m}^2$$

$$c_2 = 1,44 \times 10^{-2} \text{ m}^\circ\text{K}$$

La fórmula de Planck nos señala que cualquier objeto por encima del cero absoluto (-273°C) radia energía y esta se incrementa con la temperatura. A partir de la fórmula de Planck puede calcularse la longitud de onda a la que se produce la máxima emitancia de un cuerpo negro conociendo su temperatura (T en °K).

Esta es la llamada ley del desplazamiento de Wien :

$$\lambda \text{ max} = 2898/T (\mu\text{m}) \quad \text{-----} \quad 7$$

Es de gran importancia el seleccionar la banda para detectar un determinado fenómeno, siempre que se conozca su temperatura por ejemplo: En incendios forestales teniendo en cuenta que la temperatura de combustión se sitúa entre 275° C y 420 ° C. La ley de Wien permite situar el máximo de emisión entre 5.28 y 4.30μm (infrarrojo). El sol con una temperatura radiante próxima a 5700°C presenta su máxima emitancia en la región espectral visible (0.4 a 0.7μm).

Cuanto más caliente es el objeto emisor, radiará a longitudes de onda más cortas.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

11.2. Dominio óptico del espectro

Características de la radiación energética en el espectro óptico

Se denomina como dominio óptico del espectro a aquel grupo de longitudes de onda dependiente de la energía solar. El sol se encuentra a una temperatura aproximada de 6000°K, esto implica que, según la ley de Wien, su máxima emitancia espectral se produzca en torno a las longitudes de onda de 0.48 μ m.

A partir de medidas en laboratorio se han obtenido unas curvas de reflectancia espectral para las principales cubiertas terrestres.

La nieve presenta una reflectancia alta y constante, pues refleja la mayor parte de la energía incidente a distintas longitudes de onda. El agua absorbe la mayor parte de la energía que recibe.

La vegetación presenta bajos valores de reflectancia en el espectro visible y más elevado en el infrarrojo cercano.

Es importante considerar que el flujo de energía recibida por el sensor no sólo depende de la reflectividad de la cubierta sino de otros factores externos, como son:

- Las condiciones atmosféricas
- El emplazamiento ambiental de la cubierta
- La geometría de la observación

Conviene tener presente que la cantidad de energía que llega al sensor depende del ángulo con que la superficie refleje la energía incidente con la posición del sensor. Si la longitud de onda es pequeña, las rugosidades del terreno tenderán a dispersar mucho más la energía incidente que si se trata de longitudes de onda mayores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El sensor puede registrar un valor distinto de radiancia espectral para un mismo tipo de cubierta, con la misma o similar reflectividad, si varían las condiciones de observación o de iluminación. A partir de medidas de laboratorio, se han obtenido curvas de Reflectancia espectral y sus principales cubiertas terrestres (fig. 2.3)

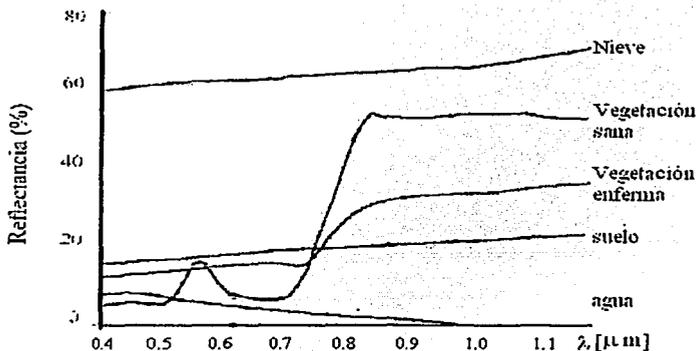


Fig. 2.3 Firmas espectrales típicas de distintas cubiertas

Características de la reflexión de la vegetación en el espectro óptico.

El sensor de radiación electromagnética, no mide hojas aisladas, sino agrupaciones de hojas formando masas de vegetación, por lo que intervienen otros elementos adicionales que complican el esquema previo.

TESIS CON
FALLA DE CUBIEN

Algunos de ellos son:

- El ángulo de elevación solar, directamente relacionado con la posición de sombra que detecta el sensor
- Las características de suelo que sustenta la vegetación
- La geometría de la cubierta vegetal.

Resulta evidente que el contraste más nítido en la reflectancia espectral de la vegetación sana se produce entre la banda visible, espectralmente el rojo (en torno a $0.645\mu\text{m}$), y el infrarrojo cercano ($0,7$ a $1,3\mu\text{m}$). De ahí podemos enunciar, que cuanto mayor sea el contraste entre ambas bandas, mayor será el vigor de la vegetación. Las hojas senescentes o enfermas tienden a perder actividad clorofílica y en consecuencia presenta una menor absorbencia en las bandas azul y roja del espectro visible.

El aumento consecuente de la reflectancia en estas bandas elimina el máximo relativo antes situado en el verde, por lo que la hoja tiende a mostrar un color amarillento. En el infrarrojo cercano se produce una reducción de la reflectancia, como consecuencia de un deterioro de la estructura celular de la hoja. La curva (firma) espectral, por tanto se hace más plana.

Características del suelo en el espectro óptico

Es posible obtener datos indirectos sobre las características del suelo (litología), gracias a las anomalías detectadas en las cubiertas vegetales, las cuales son afectadas por:

- Distribución peculiar de especies.
- Crecimiento o densidad irregular.
- Alteración de la pigmentación.
- Alteración del ciclo fenológico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con respecto a los suelos desnudos o áridos, se observa que su comportamiento espectral en general es mucho más uniforme que el de la vegetación.

Los principales factores que intervienen en este caso son:

- Composición química del suelo
- Textura
- Estructura
- Contenido de humedad.

La composición química es la causa del color dominante que se percibe en el suelo. Los de origen calcáreo tienden al color blanco, indicando una alta reflectancia en todas las bandas visibles, los suelos arcillosos ofrecen una mayor reflectancia en el rojo como consecuencia de su alto contenido de hierro.

Respecto a sus características físicas del suelo, se afirma en términos generales, que la reflectancia espectral resulta tanto mayor cuando se trate de suelos más apelmazados, secos y sin materia orgánica.

El contenido de humedad es uno de los elementos destacados en la reflectancia de las longitudes de onda más largas, infrarrojo cercano y medio, como consecuencia de la alta absorbencia del agua en estas bandas. Un suelo de textura gruesa puede representar una reflectancia menor que los finos cuando el contenido de humedad es bajo.

Características del agua en el espectro visible.

La mayor reflectancia del agua clara se produce en el azul, reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo cercano, donde ya es prácticamente nula. Por esta razón la frontera tierra-agua es muy nitida en esta banda. La profundidad del agua influye directamente en el aporte de reflectancia de los materiales de los fondos. En aguas poco profundas la reflectancia aumenta. En consecuencia, la absorbencia será tanto mayor cuando más profunda sea la capa de agua.

II.3. Dominio del infrarrojo térmico

Características de la radiación energética en el infrarrojo térmico.

De acuerdo con las leyes de Planck y Wein podemos fijar entre 8 y 14 micras la banda espectral donde se manifiesta con mayor claridad la emitancia espectral de la superficie terrestre, de acuerdo a su temperatura (300°K). A esta parte del espectro se le denomina infrarrojo térmico puesto que permite detectar la energía calorífica que procede de las distintas cubiertas de terrenos.

La radiancia espectral que recibe el sensor, no es el resultado de la reflexión de la energía solar sobre la superficie terrestre, sino la propia emitancia de ésta la cual esta en función de su temperatura como se mencionó, la emitancia de un objeto está relacionada con su temperatura absoluta.

Los suelos y agua en el dominio térmico.

A mayor humedad, el suelo presenta una mayor inercia térmica, puesto que aumenta su calor específico y su conductividad. Esto ocasiona un ambiente más frío durante el día y mas cálido durante la noche.

II.4. La región de las micro-ondas

Características de la radiación energética en la región de las micro-ondas

La banda del espectro, que se inicia en la longitud de onda milimétrica, se denomina región de micro-ondas. Se trata de longitudes mayores, utilizadas en teledetección o Percepción Remota. Existen dos sistemas de sensores de micro-ondas:

- Un sistema pasivo, que con esta banda se denomina radiómetro de micro-ondas, este es poco utilizada en teledetección.
- Un sistema activo, donde la emisión de la señal se controla por un detector. Es el radar lateral, empleado operativamente, emite su propio haz de micro-ondas para recoger posteriormente su reflexión sobre la superficie terrestre. El usuario controla los parámetros de emisión y de recepción por lo que no existe límite temporal o espacial en la iluminación. La potencia de emisión y retro-difusión, se cuantifican como valor preciso.

La anchura de la banda de frecuencias, permite enfocar todos los rasgos emitidos en ésta como:

- El ángulo de incidencia.
- El tipo de polarización, seleccionada entre tres modalidades:
 - 1.-horizontal-vertical, (VH o HV) llamada polarización cruzada.
 - 2.-vertical-vertical (VV).
 - 3.-horizontal-horizontal (HH).

La polarización se refiere a la forma en la cual se transmiten las señales del radar. Una señal polarizada, indica que su vibración se restringe a una dirección determinada, las dos formas más importantes son la polarización semejante (HH o VV) y la cruzada (VH o HV), según se emita o reciba con la misma o distinta polarización.

Características de la vegetación en la región del micro-ondas

Al trabajar con longitud de onda larga y con ángulo de incidencia bajo, se obtiene información sobre la humedad del sustrato vegetal. La profundidad de penetración en masas vegetales esta siempre relacionada con las condiciones de humedad del suelo y con la polarización. Esta profundidad resulta mayor en suelos secos y con señal de polarización semejante (HH o VV), mientras se reduce en suelos húmedos o con señal de polarización cruzada (HV o VH).

Características del suelo

Los suelos rugosos y secos tienen mayor coeficiente de retro-difusión y por tanto, aparecen con tonos claros en la imagen del radar. Si la señal se reduce, con otras condiciones constantes, se trata normalmente de suelos más húmedos. En suelos secos la capacidad de penetración del radar aumenta hasta llegar a varios metros si la longitud de onda es lo suficientemente larga.

II.5. Sistemas espaciales de Percepción Remota

Tipos de sistemas

Para dar inicio a la teledetección, es necesario contar con:

- Una fuente energética
- La superficie reflectante
- Un sensor remoto

La variación se encuentra en los principios físicos y el tipo de sensor. Por la manera de recibir la energía, el sensor remoto y su plataforma, se clasifica en:

Sensor pasivo: recibe energía de una fuente externa, es útil para grabar la energía recibida; tiene las siguientes funciones:

- Sensor fotográfico, basado en fotografía convencional
- Sensor óptico-electrónico y de antena, basado en sistemas de televisión comercial, equipos de barrido o scanner en exploración métrica y radiómetros de micro-ondas en radio difusión .

Sensor activo: emite su propio haz de luz, utiliza:

- El radar que trabaja en la región del micro-ondas
- Luz polarizada ó láser, opera en el visible e infrarrojo cercano.

II.6. Sistema sensor

Resolución de un sistema sensor

La resolución de un sistema sensor, se define como la habilidad para registrar información y depende del efecto de distintos componentes; se relacionan cuatro manifestaciones de resolución:

- Espacial; Espectral; Radiométrica ; Temporal.

El detalle espacial que proporciona el sensor esta relacionado con el número y anchura de las bandas del espectro que alberga, a su cadencia temporal y a la variación en la energía que detecta, por ejemplo, el sensor Thematic Mapper (TM) cuenta con cuatro bandas mientras que el Multispectral Scanner (MSS) cuenta con cuatro bandas.

Resolución espacial

Se refiere al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen (pixel) y suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la fotografía, depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la tierra, se mide en longitud del objeto mm sobre la imagen y m sobre el terreno (pixel).

El píxel es el tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen.

Es importante y útil considerar que la resolución espacial de un sensor depende de varios factores:

- La altura orbital
- La velocidad de exploración
- El número de detectores.

En cuanto a los sensores de antena, su resolución es dependiente:

- Del radio de apertura.
- De la altura de la plataforma.
- De la longitud de onda a la que se trabaje.

Cuanto mayor sea el radio, menor la altitud y menor la longitud de onda, la resolución será más detallada.

Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales discriminadas por el sensor. Un sensor es más idóneo, cuanto mayor número de bandas proporcione y es conveniente que esas bandas sean suficientemente estrechas, con objeto de recoger la señal sobre regiones restringidas del espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio, que puede encubrir diferencias espectrales entre cubiertas de interés.

Entre los sensores espaciales, la menor resolución espectral corresponde al radar y a los sistemas fotográficos.

El radar trabaja normalmente en un solo canal, mientras la fotografía puede ofrecer películas en infrarrojo b/n, color natural o infrarrojo color. Un sensor dedicado a fines meteorológicos, necesita una sola banda en el visible, puesto que no existen diferencias cromáticas en las nubes, es conveniente incluir una o dos bandas en el térmico para detectar la temperatura de las nubes y otra en el infrarrojo medio en donde puede observarse el contenido de humedad en la atmósfera. Esta es precisamente la distribución de bandas que recoge el sensor a bordo. En una imagen multiespectral un pixel es un vector de tantas componentes como bandas tenga la imagen. El valor de las componentes de un pixel es proporcional a la cantidad de energía medida por un sensor, para los intervalos de longitud de onda de la radiación electromagnética empleada para iluminar la escena. La fig. 2.4 ilustra lo anterior.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Así entonces la radiación detectada por el sensor en una determinada escena, es conducida y separada en un conjunto de intervalos de longitud de onda: b_1, b_2, \dots, b_n . Un grupo de detectores mide ésta radiación por unidad de tiempo y por medio de un convertidor análogo-digital, se genera un número que es proporcional a la cantidad de energía medida por cada detector por cada intervalo b_i .

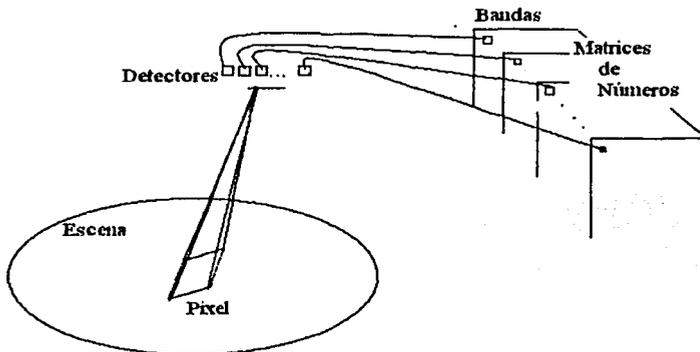


Fig. 2.4 Esquema de la digitalización de una escena a una imagen multispectral.

Resolución radiométrica

En esta resolución es necesario hacer mención a la sensibilidad del sensor y a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. En el caso de los sistemas fotográficos, la resolución radiométrica del sensor se indica por el número de niveles de gris recogidos en el film. Para los óptico-electrónicos, la imagen habitualmente se presenta en formato digital. Entre mayor sea la precisión radiométrica, mejor podrá interpretarse la imagen.

Resolución temporal

Se refiere a la periodicidad con la que se adquieren imágenes de la misma proporción de la superficie terrestre.

El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación), así como del diseño del sensor, principalmente del ángulo de observación y de abertura.

Relaciones entre distintos tipos de resoluciones

Cuando la resolución espacial es mayor, disminuye habitualmente la temporal y es previsible que se reduzca también la espectral y radiométrica.

El aumento en cualquiera de los tipos de resolución, significa un incremento considerable del volumen de datos, que tanto el sensor como la estación receptora tienen que procesar.

Si el sensor se orienta a exploración minera:

El detalle espacial y espectral resulta más importante, reduciendo su ciclo temporal. La exploración minera, requiere con frecuencia este tipo de sensores que permiten discriminar confiablemente diferentes litologías o rasgos geobotánicos.

Sensores pasivos

Los sensores pasivos se limitan a recoger la energía electro-magnética procedente de las cubiertas terrestres, ya sea reflejada por los rayos solares o emitida por su propia temperatura. Dentro de los sensores fotográficos, óptico-electrónicos y de antena, se encuentran las cámaras fotográficas, los exploradores de barrido y de empuje, y los tubos de vidicon.

Los sensores pasivos de antena se conocen con el nombre de radiómetros de micro-ondas.

Sensores fotográficos

Las cámaras fotográficas siguen siendo el medio más utilizado de teledetección especialmente desde plataformas aéreas. Su funcionamiento se basa en la impresión de un objeto sobre películas fotosensibles, tomando en cuenta: el tipo de película, el número de objetivos, el ángulo de observación y la altura de la plataforma.

El tipo de película más utilizado en fotografía aérea es el film pancromático (blanco y negro), en el cual se recoge todo el espectro visible, sobre una sola emulsión.

La altura de observación permite distinguir, entre fotografía aérea y espacial, desde el punto de vista de su aplicación a estudios del medio ambiente:

- La fotografía aérea tiene una mejor resolución espacial y nitidez.
- La fotografía espacial nos da mayor precisión geométrica y mayor cobertura del terreno.
- La fotografía aérea es utilizada para resaltar los relieves y asentamientos humanos.

Explorador de barrido

Los más habituales en teledetección espacial son los exploradores o rastreadores de barrido (scanner).

Un espejo móvil que oscila perpendicularmente a la dirección de la trayectoria, permite explorar una franja de terreno a ambos lados de la traza del satélite. La radiancia recibida por este componente óptico, se dirige a una serie de detectores, que la amplifican y convierten a una señal eléctrica.

Las ventajas más claras de los equipos de barrido multiespectral, en relación con los sensores fotográficos pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

- 1- Permite ampliar la banda del espectro detectada a longitudes de onda mayores del visible. Las emulsiones fotográficas están limitadas al rango de 0.4 a 0.9 micras visible e infrarrojo reflejado, mientras que los equipos de barrido pueden abarcar de 0.4 al 2.6 micras incluyendo el infrarrojo medio y el térmico.

- 2.- Mayor facilidad en la calibración y en la corrección radiométrica de los datos.
- 3.- Posibilidad de realizar coberturas sistemáticas y de grandes espacios, gracias a su capacidad de transmitir datos en tiempo real.
- 4.- Grabación digital de la información, que asegura su fiabilidad en su tratamiento asistido por computadoras.

Exploradores de empuje

Detectores que se van oscilando con el movimiento orbital del satélite, de ahí el nombre de explorador de empuje. En estos equipos se elimina el espejo oscilante, gracias al hecho de disponer de una cadena de detectores que cubren todo el campo de visión del sensor.

Ésta tecnología permite aumentar la resolución espacial del sistema respecto a los barredores espaciales, al eliminar la parte móvil, reducen problemas geométricos producidos en los barredores, al perderse la sincronía entre el movimiento del espejo y de la plataforma.

Tubo de vidicon

Es un sistema pasivo de mayor uso en el estudio de recursos naturales. Se trata de un sistema análogo a la cámara de televisión, que trabaja con multi-bandas.

La imagen es enfocada sobre un fotoconductor, formando una réplica electrónica de la imagen original, que se mantiene en esa superficie hasta que el haz de electrones la barre de nuevo restaurando así su equilibrio. Este mecanismo permite mejorar la resolución espacial de los equipos de barrido y de vidicon convencional.

Radiómetros de micro-ondas

Se trata de un sensor que opera en el rango del espectro correspondiente a

las longitudes de ondas largas normalmente entre uno y cien milímetros; en general no es afectado por las situaciones atmosféricas ni por las condiciones de iluminación.

Uno de los campos en donde se ha mostrado ese interés han sido los estudios medio ambientales, otro de los campos en donde se muestra el interés de los radiómetros, es el que atañe a la cartografía de hielo y nieve, gracias a que son muy sensibles a las bajas temperaturas.

Sensores activos

Radar

La característica común de los sistemas activos es la capacidad de emitir un haz energético, sobre la superficie que se pretende observar.

El sistema más conocido es el radar, radiómetro activo de micro-ondas, que trabaja en una banda comprendida, entre 0.1 cm a 1.0 m

Debido a su reflectancia puede trabajar en cualquier condición atmosférica. Preferido por la comunidad científica internacional especialmente por su aplicación a países ecuatoriales, donde resulta casi persistente la cobertura de nubes.

Las ondas de radio penetran a través de ciertos materiales en función de varios factores:

1. Las características dieléctricas del blanco.
2. El porcentaje de agua en su estructura.
3. La textura o tamaño de la partícula que lo constituye en relación a la longitud de onda de la señal.
4. La polarización de la señal de salida.
5. El tipo de filtros aplicados a la señal de retorno.

Los parámetros susceptibles de ajuste, facilitan el estudio de superficie, al utilizar: varias frecuencias (bandas espectrales), el ancho del pulso, que puede ser desde mono frecuencia (varios Hz), hasta los pulsos ultracortos en tiempo y ultra anchos en frecuencia.

CAPITULO III

Base para la interpretación de imágenes en teledetección espacial

III.1. Interpretación de imagen

Para una buena interpretación de imagen, utilizando la teledetección espacial se debe tomar en cuenta los siguientes pasos:

- Plantear y seleccionar un método antes de realizar el estudio.
- Realizar cuestiones como: Si en la banda del espectro puede ser detectado el fenómeno de interés ¿cual es la escala de trabajo?, ¿que tan preciso es el detalle? y ¿cual es la resolución espacial para observarlo?.
- Tomar en cuenta: los objetivos del proyecto y los medios disponibles para su realización.

Los objetivos del proyecto orientan la mayor parte de las decisiones, de las escalas relativas, de la precisión y nivel de desagregación.

Los medios disponibles implican un equilibrio entre lo deseable y lo posible, restringiendo el método más idóneo para abordar los objetivos marcados, ya sea en lo que se refiere a las imágenes disponibles para el análisis y a los medios de su interpretación.

III.2. Fijación de objetivos

Escala y leyendas de trabajo

Un usuario de la teledetección debe de tener presente que ésta es una técnica con limitaciones, para resolver un determinado número de problemas; un proyecto de aplicación debe de cuestionar si ésta técnica puede conseguir el objetivo marcado, y si la información que ésta ofrece, no es obtenible por otros medios más rápidos o económicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es posible estudiar el campo de interés a partir de sensores espaciales, debe definirse una serie de aspectos para explicar el tipo de información y de tratamiento que se aplicará al estudio, considerando la escala requerida para el trabajo.

La escala de trabajo condiciona la unidad mínima de información que se debe de incluir en el mapa, de ahí que la escala de trabajo se conecte directamente con el tipo de sensor más idóneo.

La leyenda de trabajo está en función de la escala y además, en relación a la complejidad del territorio. Siendo la leyenda la explicación de las clases obtenidas y manejadas en la imagen. Ha sido práctica habitual en la cartografía la ocupación del suelo, emplear una leyenda particular para cada zona de estudio adaptada a las necesidades locales, con escasa validez para otros ámbitos, no tomando en cuenta criterios comunes para el establecimiento de la leyenda de cobertura de suelos.

La decisión sobre la leyenda de trabajo condiciona aspectos de la interpretación, como: el tipo de tratamiento, el número y fecha más conveniente de la imagen a interpretar.

Fecha de propuesta

La fecha más conveniente para seleccionar la imagen está en estrecha relación con el tipo de fenómeno en estudio. El momento más idóneo de adquisición es aquel, en el que mejor se discrimine dicho fenómeno frente a otros de similar comportamiento espectral.

Un trabajo de exploración minera probablemente requiera de una fecha invernal o con menos vegetación, además de ser mayor el efecto de sombras y por tanto, la detección de lineamientos. Por el contrario un inventario de regadíos sólo puede realizarse en los meses estivales, julio y agosto.

Soporte de las imágenes

El soporte, se refiere al material que es utilizado para el análisis de las imágenes, este maneja y manipula la información a interpretar, depende del tipo de tratamiento que se aplique (disquettes). En caso de que se opte por el análisis visual se requieren tres aspectos:

- Material de la imagen (películas en negativo ó positivo).
- Escala.
- Número o combinación de bandas.

El número de bandas más conveniente para un determinado proyecto depende directamente del fenómeno que se esté intentando estudiar. Si la imagen se requiere para un estudio global, de diversos tipos de cubiertas puede ser una buena opción adquirir la información correspondiente a todas las bandas del sensor. A partir de ella, pueden realizarse tantas combinaciones de color como se estime oportuno.

III.3. Selección del método de análisis, tratamiento visual o digital

Las imágenes son adquiridas en formatos numéricos gracias a una conversión analógico-digital realizada a bordo del satélite. Esto permite contar con productos fotográficos de gran calidad, susceptibles de interpretación visual en múltiples aplicaciones.

Al seleccionar el método de análisis conviene explotar el flujo de datos que la teledetección espacial ofrece (digital ó visual), tomando en cuenta aspectos decisivos:

- Medios económicos y humanos disponibles.
- Rapidez y precisión exigida.
- Tipo y continuidad de las tareas.

El tratamiento digital requiere una base estadística, conocimiento de sistemas informativos y lenguajes de programación, además de mayor inversión económica y entrenamiento, proporcionando mayor versatilidad rapidez y exactitud, con alta resolución y aplicado a zonas muy amplias.

Puede resultar bastante lento, por la importante cantidad de datos a procesar. La misma zona puede ser interpretada visualmente en menos tiempo siempre que la escala sea pequeña.

En cuanto a la exactitud también ha de matizarse la superioridad del tratamiento digital.

El tratamiento digital permite realizar operaciones complejas, muy costosas o inaccesibles al análisis visual. Garantiza una clasificación más rápida de la zona de estudio, manteniendo una coherencia en la asignación de áreas vecinas a dos categorías.

III.4. Interpretación visual de imágenes

Información incluida en los productos fotográficos

Una rigurosa interpretación de imágenes pasa por tener en cuenta los principales rasgos de su adquisición, así como los tratamientos que puedan haber abordado las antenas receptoras. Este tipo de información está incluida en los documentos analógicos que sirven de base a la interpretación visual.

Las anotaciones que incluye una imagen, difieren según el sensor que la adquiere y la organización que la procesa.

Algunas anotaciones incluidas:

- Fecha de adquisición
- Coordenadas del centro de la imagen
- Coordenadas del punto nadir (es punto de intersección entre la superficie terrestre y una perpendicular desde el centro de adquisición).
- Indicador y sensor de bandas empleadas.
- Centro productor de la imagen.

- Angulo de elevación solar, medido desde el norte geográfico y en sentido de las agujas del reloj.
- Datos procesados (correcciones aplicadas, escala, proyección, etc.).
- Agencia y proyecto (NASA).

Debajo de éstos datos se sitúa una escala de grises con objeto de comprobar la calidad de reproducción.

Referencias geográficas de la imagen

La referencia geográfica trata de localizar sobre la imagen rasgos identificables en un mapa convencional y puede abordarse en varias fases:

- Fase primera, inspección de la imagen: Tomando como referencia un mapa de similar escala, situando los embalses y los cursos del agua más importantes de la zona.
- Fase segunda, inspección de la imagen permitiendo identificar aspectos humanos del territorio, como son las ciudades más importantes y las principales vías de comunicación.
- Fase tercera, los accidentes montañosos, puesto que se trata de aspectos representados más abstractamente en el mapa, y por tanto, de difícil delimitación. Masas de vegetación o rasgos efimeros relacionados con la imagen. en la localización de estos aspectos conviene apoyarse sobre una retícula de referencia.

Criterio visual para interpretación de imágenes

Una de las ventajas del análisis visual sobre el digital es la capacidad para interpretar la imagen, utilizando elementos como: la textura, estructura, los contextos, los emplazamientos o disposiciones; que son difíciles de describir en términos digitales.

Las imágenes espaciales, son limitadas en lo que se refiere a la fotointerpretación, la dimensión multispectral y multitemporal de las observaciones. Los criterios visuales deben manejarse con cierta precaución, ya que la escala de trabajo y la geometría de adquisición son muy distintas de las conocidas tradicionalmente en fotografía aérea.

Tono

Para poder interpretar los tonos de la imagen, se tiene presente el comportamiento espectral de las distintas cubiertas, el tono:

- Refleja la intensidad de energía recibida por el sensor para una determinada banda del espectro.
- Se relaciona con el comportamiento espectral de las distintas cubiertas utilizadas en bandas

Con respecto a la vegetación tiende a presentar:

- Tonos oscuros en las bandas visibles del espectro especialmente en el azul y rojo como consecuencia de la alta absorción de los pigmentos de la vegetación en esa longitud de onda.
- Tonos muy claros en el infrarrojo cercano; en esa región del espectro, la vegetación presenta una elevada reflectancia.

El agua ofrece valores oscuros tanto en el infrarrojo como en las bandas visibles del espectro.

La nieve presenta un tono blanco uniforme.

Una mayor experiencia permite seleccionar las bandas más idóneas para reconocer determinados rasgos de interés:

- Modelos de drenaje y morfología (infrarrojo cercano).
- Trazado urbano (verde y rojo).
- Turbidez en el agua (azul).

Las imágenes fotográficas incluyen entre 16 y 64 niveles de gris, que son los que el ojo humano detecta.

Color

El color que aprecian nuestros sentidos es debido a la reflectancia selectiva de los objetos a distintas longitudes de onda. Nuestros ojos sólo perciben las longitudes de onda comprendidas entre 0.4 y $0.7\mu\text{m}$ separando la energía recibida en tres componentes de acuerdo a la sensibilidad espectral de nuestras células sensoriales. Esos tres componentes son los denominados colores primarios: azul, verde y rojo, a partir de los cuales puede reconstruirse cualquier color.

La suma de dos colores primarios permite lograr un color complementario:
• azul + verde = cian; azul + rojo = magenta; verde + rojo = amarillo.
El proceso aditivo obtiene el color blanco (ver fig 3.1 a).
rojo + verde + azul = blanco.

El cian absorbe la luz roja, el magenta absorbe la verde y el amarillo el azul los tres en combinación. en el proceso sustractivo se obtiene el color negro. (fig 3.1 b).
cian + magenta + amarillo = negro.

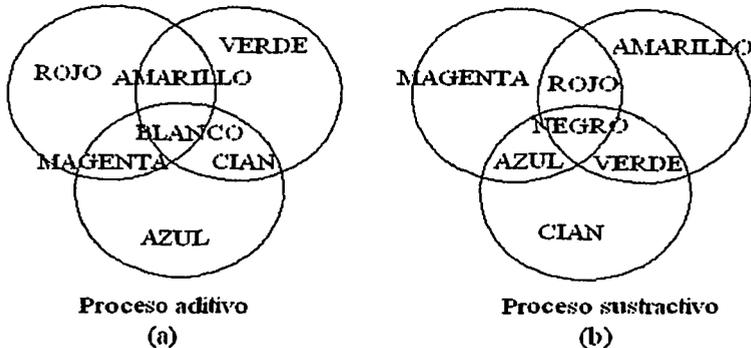


Fig. 3.1 Proceso de formación del color

Textura

Esta cualidad se refiere a la aparente rugosidad o suavidad de una región de la imagen, al contraste espacial entre los elementos que la componen.

La textura de la imagen procede de la relación entre el tamaño de los objetos, la resolución del sensor y la influencia que tiene el ángulo de observación e iluminación.

Estos elementos son de gran importancia en superficies rugosas, como bosques naturales, que ofrecen una textura muy variada a lo largo del año, en función de las condiciones de adquisición de la imagen.

El criterio de textura es importante para descartar determinadas cubiertas que pueden ofrecer un comportamiento espectral uniforme.

Situación espacial

Indica la localización de las cubiertas de interés, así como su relación con elementos vecinos de la imagen.

Se usan criterios con interpretación visual debido a que la clasificación digital no considera el contexto geográfico al ser compleja de definir en términos numéricos, por ejemplo: Al observar la imagen de un jardín situado en el interior de una ciudad. En esa situación no cabe mas criterio que separar la vegetación en relación con el entorno geográfico: aquellas que aparezcan en el interior de una superficie edificada mas o menos densa, pueden considerarse como parques urbanos mientras las que se sitúan en un contexto de vegetación natural serán asignados a bosques.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Criterios de análisis

Algunos criterios de análisis:

- Sombras, muy dependientes de la fecha de adquisición de la imagen y relieve local (permiten realizar la interpretación de los rasgos geomorfológicos y de la textura de la imagen especialmente en zonas forestales).
- Patrón espacial, indica una organización peculiar de individuos dentro de la imagen, criterio que se emplea en fotografía aérea, siendo limitado a la información satelital con baja resolución del sensor.
- Contorno, facilita el reconocimiento de algunos rasgos particulares como es el caso de las carreteras frente al ferrocarril o de los ríos frente a canales artificiales.
- Formas, reconoce elementos individuales en la imagen, como es el caso de complejos industriales aeropuertos, estructuras geológicas bien definidas, volcanes, domos o lineamientos.
- Visión estereoscópica, fundamental para el reconocimiento geomorfológico y de cubiertas del suelo, aporta una visión tridimensional del espacio observado; la mayor parte de los sensores espaciales no poseen esta capacidad a excepción de imágenes adquiridas por sensores fotográficos.

III.5. Elementos de análisis visual

Características geométricas de una imagen espacial

Una imagen adquirida desde el espacio presenta menos error geométrico que una fotografía aérea, como consecuencia de la mayor estabilidad y altura del vuelo de la plataforma. Esto no quiere decir que estas imágenes estén libres de errores geométricos y que puedan superponerse directamente sobre la cartografía básica. Es claro que una imagen de satélite pueda servir para actualizar aspectos planimétricos de la cartografía, sobre todo a escalas pequeñas (menores a 1:100 000).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Efectos de la resolución espacial en análisis visual

La resolución espacial en el análisis visual se relaciona con el tamaño mínimo de señal, con el pixel y con la escala de la imagen.

La resolución espacial tiene gran importancia sobre la interpretación de la imagen. Todos los elementos por debajo del pixel se toman en cuenta por ser fundamentales en la selección del sensor más conveniente para cada objetivo. Cuando mayor sea la resolución, mejor podrá definirse un pixel, ya que será más susceptible de albergar una sola cubierta, por el contrario, si el tamaño del pixel es grande, la señal detectada resulta frecuentemente de varios tipos de cubierta, haciendo mucho más compleja su identificación.

Efecto de la resolución espectral en el análisis visual

Cada cubierta ofrece un comportamiento espectral tipo, en función de las características de sus componentes, que se denomina firma espectral.

Con el análisis visual y la interpretación de la imagen, la teledetección se transforma en una técnica aplicable a contextos amplios, en donde la vegetación se observa en tonos oscuros en las bandas visibles, claros en el infrarrojo cercano, siendo posible adoptar esta técnica a zonas o categorías no conocidas.

Interpretaciones de composiciones en color

Los pixels adquieren una mayor intensidad de color cuanto más blancos aparezcan en la banda a la que se aplique. Si se opta, por ejemplo por una composición en falso color (banda 2 azul, banda 3 verde y banda 4 rojo) un pixel aparecerá rojo cuanto mayor intensidad presente en la banda 4 y menos en las dos restantes.

Análisis multitemporal

Al relacionar el análisis visual y el tiempo con los datos de los satélites, se obtiene por ejemplo, una amplia serie de imágenes cada 16 días, de una misma zona, en condiciones de observación muy similares a la misma hora local. El factor tiempo presenta un doble objetivo:

- Mejorar la interpretación de la imagen, utilizando la dimensión temporal, para captar el desarrollo y modificaciones de especies vegetales.
- Aprovechar el análisis multitemporal de una determinada zona como espacios urbanos, áreas de agricultura, etc. permitiendo la evaluación de superficies afectadas por fenómenos como inundaciones o incendios forestales, evolución de la naturaleza o provocados por el hombre.

Cobertura del suelo

Relaciona el tipo de uso que tiene el suelo, ya sea vegetación natural, cultivos agrícolas o espacios urbanos. La cartografía resulta básica en la planificación del territorio. Al conocer la dedicación actual del terreno se proponen cambios para mejora de la zona.

III.6. Tratamiento digital de imágenes

Nivel digital

El píxel es la unidad visual más pequeña que aparece en la imagen, se traduce por el sensor a un valor numérico, a partir del cual se realiza el tratamiento digital.

Cada píxel viene definido por un número entero proveniente de la radiancia recibida por el sensor para una determinada área de la superficie terrestre y en una banda del espectro. Se denomina **Nivel Digital (ND)**; es un valor numérico no visual, que se traduce a una intensidad visual o, a un nivel de gris mediante cualquier convertidor digital -analógico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En una imagen digital, se calculan:

- Medidas de tendencia digital y de dispersión (desviación media y desviación típica en cada una de las bandas).
- Cambio de orientación geométrica (rotación de la matriz).
- Combinaciones aritméticas entre bandas (cocientes).
- Síntesis de bandas, reduciendo información (componentes principales).
- Discriminación en grupos de ND homogéneos dentro de la matriz de clasificación.

El formato de grabación indica la organización de los ND que componen la imagen dentro de una cinta magnética. En este sentido conviene considerar la codificación aplicada.

Los ND de la imagen se graban en un código binario (un bit 0 ó 1).

La mayor parte de los sensores, emplean grupos de 8 bits para almacenar el ND correspondiente a cada píxel.

Cada píxel se define por un byte, lo que equivale a un rango de 256 niveles (2^8 , de 0 a 255). Esto es también el rango admitido por la totalidad de los equipos de tratamiento digital.

Cálculo de estadísticas e histograma de la imagen

Cada aplicación sobre la imagen parte de un carácter digital, para interpretar y orientar los procesos de realce visual, es necesario conocer la estadística elemental que la define:

- La estadística permite valorar medidas obtenidas de cada una de las bandas y su grado de homogeneidad.
- El histograma de frecuencias de cada banda, indica la distribución de los ND en una determinada escena.
- Las frecuencias absolutas se transforman a relativas para facilitar la representación del histograma.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se representa a partir de la siguiente fórmula:

$$FR (ND_i) = \frac{F (ND_i)}{\Sigma [F (ND_i)]} \times 100 \quad \text{-----} \quad 8$$

Esto es la frecuencia relativa (FR) de un determinado ND, se calcula como la proporción total de pixels de la imagen que cuentan con ese valor. Ver fig. 3.2 (a) Histograma.

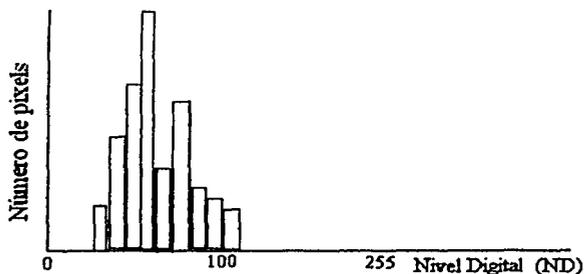


Fig. 3.2 (a) Histograma

Correcciones de la imagen

Proceso de correcciones que tiende a eliminar cualquier anomalía detectada en la imagen ya sea en su localización o en los ND de los pixels que la componen. Estas operaciones tienden a disponer de los datos en la forma más cercana posible a la adquisición ideal.

Algunas distribuidoras europeas aplican tipos de correcciones radiométricas y geométricas a las imágenes que solicitan los usuarios y en otros casos se realizan correcciones multi-temporales.

Fuentes de error en una imagen espacial

En caso concreto de las imágenes espaciales, las deformaciones más frecuentes son:

- Distorsiones originadas por la plataforma. A pesar de la gran estabilidad de un satélite de observación muy superior a la que ofrece un avión pueden producirse pequeñas variaciones en la altitud de su órbita, en su velocidad o en la orientación de cualquiera de sus tres ejes: aleteo, cabeceo, giro lateral. Provocando así, cambios en la escala de la imagen y distorsiones de distintos tipos, en su geometría de adquisición, tales como:
- Distorsiones provocadas por la rotación terrestre, teniendo en cuenta la altitud orbital de las plataformas espaciales el efecto de rotación de la tierra aparece claramente en la imagen.
- Distorsiones provocadas por el sensor.

Los sensores de barrido electrónico realizan una exploración perpendicular a la trayectoria del satélite, gracias a un espejo oscilante que envía la radiancia detectada a una cadena de detectores sólidos. Este movimiento de barrido puede alterarse por anomalías del sensor, provocando un efecto de barrido no lineal ó cambios en el intervalo de información recopilada.

- Distorsiones provocadas por la atmósfera.

Los distintos elementos que componen la atmósfera causan una modificación de la radiancia original proveniente de la superficie terrestre.

El efecto más importante de éstos, es provocado por la presencia de aerosoles, gases y vapores de agua. Este efecto es muy sensible en las longitudes de onda corta. Algunos de éstos problemas se solventan en los centros de recepción o distribución de las imágenes. Otros centros sin embargo, persisten haciendo precisa una serie de técnicas de ajuste.

Por ejemplo, las correcciones radio-métricas son vitales para modelar parámetros físicos a partir de la imagen o para abordar estudios multi-temporales, siendo necesarias las correcciones geométricas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Correcciones radiométricas

Técnica que modifica los ND originales, con objeto de acercarlos a los que habría presentes en la imagen en el caso de una recepción ideal.

Dentro de este concepto se engloban las distorsiones provocadas por la atmósfera, así como los problemas radiométricos derivados del mal funcionamiento del sensor.

Pixels perdidos

Así entonces, un mal funcionamiento del sensor o de la antena receptora ocasiona que la imagen aparezca con algunas líneas o pixels perdidos.

Es conveniente considerar los ND de los pixels vecinos, de acuerdo al fenómeno de auto-correlación espacial, los valores de radiancia obtenidos de un área de la superficie terrestre se relacionan con valores de áreas vecinas. En otras palabras es razonable estimar los ND de las líneas perdidas a partir de los ND de los pixels vecinos, se sugiere sustituir el ND de cada línea / pixel por el de los precedentes

Se calculan a partir de ésta fórmula :

$$ND_{ij} = ND_{i-1j} \quad \text{-----} \quad 9$$

Donde ND_{ij} corresponde al nivel digital del pixel de la línea i (la defectuosa) y columna j .

El ND_{i-1j} indica el nivel digital situado en la línea precedente.

También se promedian los valores de las líneas anteriores y posteriores a la defectuosa.

$$ND_j = \text{ent} [(ND_{i-1j} + ND_{i+1j}) / 2] \quad \text{-----} \quad 10$$

Donde $\text{ent} []$ indica que el resultado de la operación debe convertirse a número entero.

Corrección atmosférica

Como se mencionó anteriormente, en las fuentes de error de una imagen espacial, la radiación electromagnética es afectada por los componentes que se encuentran dispersos en la atmósfera como aerosoles y vapores de agua; esto hace que la radiancia detectada por un sensor no corresponda exactamente a la parte de la superficie terrestre, estos son los principales causantes de la dispersión atmosférica.

Los aerosoles y vapores, son partículas en suspensión de origen muy diverso:

1. Oceánico, debidas al movimiento de las aguas.
2. Continental, polvo en suspensión.
3. Emitidas por combustión en función de su origen.
4. Que poseen muy variados tamaños lo que implica distintos tipos de dispersión ya que es muy dependiente de su diámetro.

De ésta forma las dispersiones se clasifican en:

- **Dispersión Rayleigh** cuando afecta a longitudes de onda inferiores al diámetro de la partícula, es la más conocida y la de mayor influencia en teledetección.
- **Dispersión Mie**: se trata de partículas de diámetro similar a las de longitud de onda. Los principales responsables de éste tipo de dispersión son: aerosoles y polvo atmosférico, aunque también está presente en incendios forestales o en brumas costeras.
- **Dispersión no selectiva**: se debe a las partículas de mayor tamaño, afectadas por igual a diversas longitudes de onda. En consecuencia las nubes ó niebla tienden a aparecer blancas, ya que dispersan por igual toda la luz visible.

La dispersión de estos gases no es constante por lo que algunas zonas son más afectadas que otras, además el efecto es dependiente de la longitud de onda. Para mejorar el aporte de la radiancia atmosférica se encuentra la corrección del histograma por sus valores mínimos (Histograma Minimum Method, HMM).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se asume que las áreas cubiertas con materiales de fuerte absorbencia (agua, zonas en sombra), deberán presentar una radiancia espectral muy próxima a 0. En la práctica, el histograma de los ND de la imagen siempre presentan un mínimo de este valor, que se atribuye al efecto de distorsión atmosférica.

Una aproximación a la corrección atmosférica consiste en restar el ND mínimo de cada banda situado en el origen del histograma en 0.

Se describe a partir de la siguiente fórmula:

$$ND_{ijk}'' = ND_{ijk} - ND_{mink} \quad \text{-----} \quad 11$$

Esto es el ND de los pixels (i, j) en la banda k, se ajusta restándole el ND mínimo de esa misma banda.

Correcciones geométricas

Este concepto incluye cualquier cambio en la posición que ocupan los pixels en la imagen. Las correcciones radiométricas, no modifican los ND de los Pixels de la imagen, sino la posición y las coordenadas donde:

$$F(X) = F1(c,l) \quad \text{-----} \quad 12$$

$$F(Y) = F2(c,l) \quad \text{-----} \quad 13$$

Las coordenadas X, Y de la imagen corregida, son funciones de las coordenadas c,l (columna, línea) de la imagen de entrada. Esta transformación puede emplearse tanto para corregir cartográficamente una imagen, como para superponer dos o más imágenes entre sí.

La corrección se realiza en tres fases:

- Localización de puntos comunes a la imagen y al mapa.
- Cálculos de las funciones de la transformación entre las coordenadas de la imagen y las del mapa.
- Transferencia de los ND originales a la nueva posición, definido por la transformación previa.

Establecimiento de puntos de control

Para que el ajuste entre imagen y mapa sea correcto, se requiere atender tres aspectos en la selección de los puntos de control:

- Número. El número idóneo de puntos de control depende del tamaño y la complejidad geométrica de la imagen.
- Localización, los puntos deben ser claramente identificables en la imagen y en el mapa, de preferencia rasgos humanos del paisaje no sujetos a cambios: cruces de carreteras, presas, vías de ferrocarril, etc. no es conveniente señalar puntos en las líneas de costa, pues el efecto de la marea puede modificar la localización exacta de un accidente geográfico.
- Distribución. los puntos de control, deben situarse uniformemente sobre todo el territorio abarcado en la imagen de área de estudio.

Cálculo de las funciones de transformación

La corrección digital de la geometría de una imagen se realiza estableciendo una función matemática, que pone en relación las coordenadas de la imagen con las del mapa. De esta forma, a partir de las coordenadas: columna y línea de cada pixel, pueden estimarse las coordenadas X, Y de la imagen de salida.

Al calcular los coeficientes de regresión mapa- imagen se obtienen los siguientes resultados:

$$c = 15.326,957 + 0.006566 X - 0.00654 Y \quad \text{-----} \quad 14$$

$$l = 149.959,30 - 0.006566 X - 0.032721 Y \quad \text{-----} \quad 15$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Transferencia de los ND originales a la posición corregida

Al crear una imagen, utilizando las ecuaciones 14 y 15, se logra la traducción de coordenadas del mapa a la imagen, siendo necesario cambiar los ND de la imagen original a una nueva posición.

Idealmente cada pixel de la imagen corregida, debe corresponder a un solo pixel de la original. Lo normal es que no sea así, sino que el pixel de la nueva imagen se sitúe entre varios de la original, ya que este proceso supone una alteración considerable de la geometría original de la escena.

El cambio de los ND a la imagen corregida se ha abordado por tres métodos:

- Vecino más próximo, por situar en cada celdilla de la imagen corregida el ND del pixel más cercano en la imagen original. Su principal inconveniente radica en la distorsión que introduce en rasgos lineales de la imagen (fracturas, carreteras ó caminos) que pueden aparecer en la corregida como líneas quebradas.
- Interpolación bilineal, supone promediar el ND de los cuatro pixels más cercanos en el original, este promedio se pondera según la distancia del pixel original al corregido.
- Convolución cúbica, considera los ND de los 16 pixels más próximos. El efecto visual es más correcto, pero supone un volumen de cálculo mucho más elevado.

III.7. Realces y mejoras de la imagen

Necesidades del ajuste

Los procesos del ajuste del contraste tienden a adaptar la resolución radiométrica de la imagen a la capacidad del monitor de visualización. Cada sensor modifica la radiancia recibida en un número determinado de ND, de acuerdo a las características de su diseño. Este rango digital puede no corresponder con el número de Niveles de Visualización (NV), por lo tanto es la necesidad del ajuste.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Expansión lineal del contraste

Es un alargamiento del contraste, expande linealmente los valores digitales originales, de los datos de la percepción remota, en una nueva distribución. Al expandir los valores de entrada de la imagen, el rango total de sensibilidad de visualización es utilizable.

Este realce es aplicado a imágenes de percepción remota con distribución Gaussiana, esto significa que todos los valores de brillantez caen dentro de un rango estrecho del histograma.

Se destacan tres métodos de realce:

- Distribuir los ND linealmente, entre el máximo y el mínimo en la imagen.
- Distribuir los NV a partir del histograma de los ND.
- Distribuir los NV en un determinado rango de interés.

Ecuación del histograma.

El NV de cada ND está en proporción, no solo en el valor, sino también en la frecuencia. Logrando un realce detallado en ciertas zonas.

Los ND con mayor número de pixels son los que ocupan un mayor rango de visualización. Los resultados son mejores, si la imagen original presenta una distribución Gaussiana. Fig. 3.2 (b) Histograma

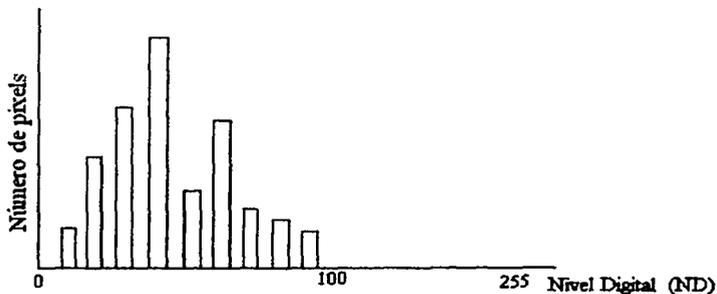


Fig. 3.2 (b) Histograma

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Empleo del pseudo-color

Facilita el análisis visual y la preparación de tratamientos digitales. Se utiliza el término pseudo-color para indicar donde se diseña artificialmente una tabla de color. Una composición coloreada requiere competir con imágenes aplicadas a cada uno de los colores primarios; rojo, verde y azul.

Una CLUT (color look up table), asocia el ND de una sola banda de la imagen a distintos componentes de rojo, verde y azul. Se presentan dos casos:

- Cuando se pretende obtener una clave de color en una imagen clasificada.
- Cuando se intenta realizar el análisis de una imagen sustituyendo los niveles de gris por tonos de color.

Composición en color

A partir de la información multiespectral, se obtienen distintas combinaciones de color. Se muestra, al aplicar a cada uno de ellos, los color primarios (azul, verde y rojo) sobre tres bandas distintas de la imagen. El proceso permite visualizar imágenes simultáneamente en distintas regiones del espectro, lo que facilita la delimitación visual de algunas cubiertas.

La selección de bandas para la composición y el orden de los colores depende del sensor y de la aplicación del proyecto.

La composición más común es la del **falso color** que consiste en aplicar los cañones de color rojo verde y azul a las bandas correspondientes del infrarrojo cercano, rojo y verde, respectivamente. Esta composición facilita la cartografía de masas vegetales, cuerpos de agua, ciudades etc.

El sensor Thematic Mapper (TM), dotado de siete bandas espectrales ofrece la posibilidad de realizar un amplio número de composiciones coloreadas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Transformación HSI

Habitualmente se utiliza para la representación de los colores, de las coordenadas Rojo (R), Verde (G) y Azul (B), (RGB- Red, Green, Blue) en el espacio vectorial, que toma como base los colores primarios del espectro de la luz visible.

Otras variantes que también se emplean en determinadas aplicaciones operan al utilizar las coordenadas tono (H), saturación (S), intensidad (I), (HSI-Hue, Saturation, Intensity).

La intensidad es un valor numérico representado a lo largo de la diagonal central del cubo de colores, desde el origen de coordenadas hasta el extremo opuesto.

El tono y la saturación son coordenadas polares en el plano perpendicular del vector I.

H, es un ángulo medido desde una dirección fija.

Manipular las coordenadas HSI, presenta sus ventajas respecto a las coordenadas RGB, podemos manipular la intensidad de los colores manteniendo las propiedades de tono de color de la imagen.

La transformación entre coordenadas RGB Y HSI puede abordarse con distintos algoritmos de conversión.

Una forma alternativa de representar el color depende de sus propiedades, como la transformación de:

Tono, Saturación, Intensidad (HSI).

- Tono, procede de la longitud de onda, en donde se produce la máxima reflectividad del objeto, equivale al color que aprecian nuestros ojos.
- Saturación, refiere a la pureza de dicho color, su grado de mezclas con colores vecinos.
- Intensidad, puede identificarse con brillo, en función del porcentaje de reflectividad recibida.

Es posible transformar las coordenadas de la imagen:

- A colores primarios (RGB), donde cada pixel se representa en un cubo de tres ejes (Rojo, Verde y Azul). Ver fig. 3.3 (a).

- A las propiedades del color (HSI), se representa por un hexágono, en donde la cara hexagonal es el tinte; el eje vertical, la saturación y la distancia del eje vertical es el brillo. Ver fig. 3.3 (b).

La transformación entre coordenadas RGB y HSI puede abordarse gracias a diferentes algoritmos de conversión tomando en consideración los sig. puntos:

- Se transforman los valores de rojo, verde y azul (RGB) desde la escala original, 0-255, a otra comprimida 0-1.
- Para cada pixel, se define intensidad (I) como el valor máximo de los tres ND que intervienen en la composición RGB que quiere transformarse.
- Se define M como el valor mínimo de esos mismos ND.
- Se define rango (R) como I-M
- Se define la saturación (S) como R/I , siempre que I no sea igual a cero, en cuyo caso $S=0$.
- Si S diferente de 0, se calcula $R1 = (I-ND_{rojo})/R$; $G1 = (I-ND_{verde})/R$; $B1 = (I-ND_{azul})/R$.
- Si I coincide con el color Rojo y M es el verde, entonces el tono (hue) se define como $H=5 + B1$. Caso de que M sea el azul, entonces $H=1-G1$.
- Si I coincide con el color verde y M con el azul, entonces $H=1+R1$ caso de que M sea el rojo, entonces $H=3-B1$.
- Si I coincide con el color azul y M con el rojo, entonces $H=3+G1$, si M es el color verde $H=5-R1$.
- H se multiplica por 60, y se escala el resultado de I, S y H entre 0 y 255 para su representación en pantalla.

La transformación HSI, ha sido utilizada con fines geológicos y es útil para mezclar imágenes procedentes de sensores de distinta resolución espacial.

La imagen del tono ofrece valores altos para la superficie urbana y para el agua, lo que indica que el color dominante de la imagen original, corresponde a la superficie más reflectiva en las bandas cortas.

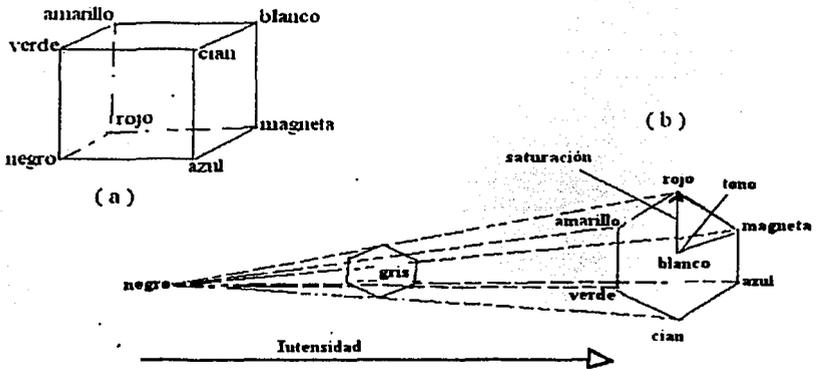


Fig. 3.3 (a) y (b) Representación gráfica del color a partir de las coordenadas HSI

La saturación muestra también valores altos para el agua, mientras la ciudad y suelos desnudos aparecen en grises oscuros o negros, la vegetación ofrece valores altos en éste componente.

La imagen de la intensidad aísla el componente más brillante de las tres bandas: esto es el ND máximo de las tres para cada pixel. En consecuencia los suelos desnudos presentan los valores más altos, junto a la vegetación muy vigorosa o superficies pavimentadas.

Cambio de escala

Para visualizar un área con número de pixels superior a la capacidad de la pantalla:

- Se selecciona una muestra de la imagen original, uno de cada dos tres o cuatro pixels en la imagen.
- Se visualiza sobre el monitor, un área; cuatro, nueve o dieciséis veces más grande.

- Se está seleccionando sólo una parte de los ND originales.
 - Se sitúa el área de interés, las coordenadas y se realiza la lectura del pixel con mayor detalle.
- Éste proceso se denomina “zoom”, magnificación ó amplificación.

III.8. Filtrajes

Naturaleza de un filtro digital

Al igual que en la fotografía convencional, el filtro, se aplica en el análisis digital.

El filtrado de imágenes consiste en aplicar un operador de vecindad a cada pixel de la imagen, modificándolo en función de sus ocho pixels vecinos y del suyo propio. El procedimiento es una matriz de 3 X 3 con unos coeficientes que multiplican el valor de los pixels correspondientes, los suma y asigna al pixel central. La matriz progresa desde la esquina superior izquierda, de izq. a derecha, y de arriba a abajo, hasta filtrar la imagen completa. El objetivo del filtrado es el de eliminar o destacar alguna componente o característica de la imagen. Hay diversos tipos de filtros en función del objetivo que se persiga.

Filter		
Media (pasa baja)	$\begin{matrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{matrix}$	Se utiliza para generalizar imágenes.
Mediana	Sin matriz	Para eliminar ruidos.
Moda	Sin matriz.	Para eliminar pixels aislados tras una clasificación.
Detección de bordes	$\begin{matrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 5 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{matrix}$	Acentúa áreas de cambio espacial en la imagen
Pasa alta	$\begin{matrix} -1/9 & -1/9 & -1/9 \\ -1/9 & 8/9 & -1/9 \\ -1/9 & -1/9 & -1/9 \end{matrix}$	Realza los contornos entre áreas de cambio gradual y área de cambio brusco.

Fig. 3.4 Master Filter

Al igual que en la fotografía convencional, el filtro, se aplica en el análisis digital. Los filtros aplicados sobre la imagen, suavizan o refuerzan contrastes espaciales presentes en los ND que lo componen, se transforman asemejan o diferencian más de los correspondientes, a pixels vecinos.

Estos contrastes espaciales afectan la variación en el dominio de la frecuencia y la espacial, logrando un realce visual de la imagen, rasgos lineales de interés y valores anómalos; el filtraje implica modificar los ND originales.

Suelen distinguirse dos tipos de filtros:

- Filtros de pasa bajas (Low pass filtering) que aíslan el componente de homogeneidad en la imagen seleccionando áreas donde las frecuencias de cambio son bajas.
- Filtros pasa altas (high pass filtering), dirigidos a seleccionar los componentes de alta frecuencia. Esto es, aquellas áreas de alta variabilidad donde el contraste es intenso.

Transformada de Fourier

Al desplegar una imagen digital:

- Se aprecia que ciertas zonas presentan una variación pequeña de tonos dando la apariencia de suavidad.
 - Otras áreas con variaciones rápidas ó abruptas dan la sensación de rugosidad.
 - Los tonos se alternan rápidamente generando la idea de que los valores de los pixels varían con cierta frecuencia ó periodicidad espacial.
 - Si la variación de tonos es regular, se aproxima con la función Seno ó Coseno de la frecuencia observada.
1. La variación regular es el ruido producido por el bandeo de los sensores durante el proceso de digitalización
 2. Se identifica y elimina con las variaciones espaciales de los tonos de la imagen.
 3. Se representa por una sobreposición de funciones Seno y Coseno bidimensionales de diferentes frecuencias.

La transformada de Fourier permite cuantificar el contenido y distribución de estas frecuencias espaciales siendo una representación de la imagen original en serie infinita de función Seno y Coseno.

La transformada de Fourier, hace factible el visualizar la estructura geométrica global de la imagen original, los aspectos representativos ó periódicos de ésta quedan plasmados con precisión en el espectro de Fourier.

Se conoce como filtraje, cuando:

- Se elimina parte del contenido de frecuencias, por medio de una función filtro, del espectro de Fourier
- Se suprimen todos aquellos rasgos de la imagen que corresponden a las frecuencias eliminadas.
- Se regresa al espacio original empleando la transformada inversa.
- La imagen resultante contiene únicamente los rasgos de la frecuencia que fueron preservadas.

La transformada de Fourier, incluyen la posibilidad de calcular rápidamente la correlación de dos imágenes o la convolución de un núcleo con una imagen, además de cumplir con una serie de propiedades de invarianza frente a las rotaciones y translaciones.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

----- 16

Transformada de Fourier.

Convolución

Una convolución siempre produce un efecto de filtraje dependiendo de los factores de peso, es posible generar un filtro pasa bajas ó pasa altas ó filtrar un patrón específico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los factores de peso dependen del valor de los pixels de la imagen original, se tiene filtraje no lineal.

La operación de convolución depende de los pixels de la imagen de entrada, en estas condiciones se tiene el filtraje adaptivo.

$$y(t) = \int x(t) h(t-\tau) d\tau = x(t) * h(t) \quad \text{-----} \quad 17$$

La ecuación muestra la convolución para funciones unidimensionales. Donde la función $x(t)$ se define como un subconjunto de la imagen original $h(t)$ que contenga las características de la textura a segmentar.

Suavizado

El suavizado es una especie de filtraje espacial que tiende a reducir el ruido de tipo moteado.

Los procesos de generación de imágenes producen ruidos o pixels que se encuentran aislados del contexto, la frecuencia de ocurrencia de tales pixels puede variar de lugar a lugar en la imagen y se reduce ó suaviza su presencia.

El suavizado es parte de la operación de la convolución.

Filtros de pasa bajas

Estos filtros suavizan contrastes espaciales presentes en la imagen asemeja el ND de cada píxel al de los píxel vecinos, reduciendo la variabilidad de la escena, la imagen filtrada ofrece perfiles menos nítidos, mas difusos; son útiles para restaurar errores aleatorios defectos en datos; un ejemplo se observa en zonas urbanas, donde se mezclan distintos tipos de cubiertas en un reducido espacio.

El filtro de pasa baja puede obtenerse a partir de diversas matrices de filtraje, ejemplo:

1.00	1.00	1.00	0.25	0.50	0.25	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	0.50	1.00	2.00	1.00
1.00	1.00	1.00	0.25	0.50	0.25	1.00	1.00	1.00

Se han empleado para eliminar valores anómalos aislados consecuencia de ruidos aleatorios en adquisición de los datos.

Filtros de pasa altas

Este tipo de filtro, aísla los componentes de alta frecuencia en una imagen. Esto supone remarcar digitalmente los contrastes espaciales entre píxel vecinos, enfatizando rasgos lineales presentes en la imagen como carreteras, parcelas o accidentes geológicos.

Se refuerzan los contornos entre áreas homogéneas, evidenciando cualquier discontinuidad.

Dos matrices frecuentemente utilizadas para realizar éste filtrado son:

-1	-1	-1	0	-1	0
-1	9	-1	-1	5	-1
-1	-1	-1	0	-1	0

III.9. Transformaciones de la imagen

Cocientes e índices de vegetación

Un cociente implica efectuar una división píxel a píxel, entre los ND almacenados, entre dos o más bandas de la misma imagen. Su empleo se justifica en dos situaciones:

<p style="text-align: center;">TESIS CON FALLA DE ORIGEN</p>
--

- Para mejorar la eliminación entre el suelo y la vegetación.
- Para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación).

Cuanto mayor es el contraste entre los ND de la banda infrarroja y roja mayor vigor vegetal presenta la cubierta observada. Los valores de contraste indican una vegetación enferma o senescente, hasta llegar a las cubiertas sin vegetación, con contraste pequeño. Es cuando se combina la banda roja (R) e infrarrojo cercano (IR) del espectro.

Dependiendo de la vegetación obtenida en la imagen se proponen cocientes de bandas, para distinguir diferentes características del suelo en relación a la exploración minera.

Este tipo de estudio solo parece viable en áreas de vegetación escasa.

Componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP), es una técnica empleada en ciencias sociales y naturales. Se resumen grupos de variables en conjuntos pequeño sin perder la información original.

La adquisición de imágenes sobre bandas adyacentes del espectro implica detectar información redundante, puesto que los tipos de cubierta tienden a presentar un comportamiento similar en regiones próximas del espectro.

El ACP permite sintetizar las bandas originales, por nuevas bandas que recojan la mayor parte de información original de la imagen. Esta síntesis es conveniente, cuando se pretende abordar un análisis multi-temporal o cuando se intentan seleccionar tres bandas adecuadas para una composición en color.

Una de las técnicas clásicas de análisis de operaciones entre bandas espectrales lo constituye el uso de las componentes principales.

El carácter multi-espectral de la mayoría de las imágenes obtenidas por técnicas de teledetección espacial posibilita la realización de transformaciones espectrales que generan nuevos conjuntos de imágenes. Estas pueden constituir una representación alternativa, que

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

puede resaltar detalles que no eran aparentes en los componentes originales, o simplemente pueden significar una reducción de la dimensión espectral de los datos, preservando su contenido informativo esencial.

Este último caso tiene gran importancia para la visualización de datos en las tres dimensiones disponibles en el monitor del ordenador.

Una imagen multispectral puede ser considerada con tantos ejes o dimensiones como componentes espectrales tenga asociados a cada pixel de la imagen.

El sensor MSS (Multi Spectral Scanner) tiene cuatro bandas espectrales y el TM tiene siete bandas espectrales.

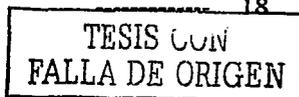
La determinación de los componentes principales se lleva a cabo entonces rotando los ejes del espacio espectral, de modo tal que cada una de las bandas resultantes de la transformación no contenga información presente en las componentes precedentes.

El Análisis de Componentes Principales (ACP), es una técnica estadística que selecciona sucesivas combinaciones lineales independientes del conjunto de variables, de tal manera que cada combinación lineal, tiene una varianza menor que la de su predecesor.

La varianza estadística en imágenes multispectrales está relacionada a respuestas de varios materiales superficiales como suelo, vegetación y rocas, además de la resolución radiométrica del sensor.

La varianza de cada sub-conjunto de informaciones (cada banda aislada) ejerce enorme influencia sobre el llamado auto-valor, lo cual da medida de la cantidad de valor de cada PC en relación a todo el conjunto, los auto-vectores son una combinación ponderada de la participación de las bandas originales en la formación de cada componente principal. Esa rotación se obtiene simplemente aplicando una función del tipo.

$$CP_1 = a_{11}ND_i + a_{12}ND_j$$



Donde CP_i indica el valor correspondiente al primer componente principal obtenido apartir de los ND originales de las bandas i,j tras aplicar un determinado coeficiente a_{11} y a_{12} .

La varianza original explicada por cada componente se calcula por su proporción de sus eigenvalores frente a la suma de todos los eigenvalores:

$$V_p = \frac{\lambda_p \times 100}{\sum_{p=1}^m \lambda_p} \text{-----} 19$$

Donde:

λ_p - son los componentes de los eigenvalores (expresan la longitud de cada uno de los nuevos componentes).

m - es el número total de componentes.

A partir de los eigenvectores, se calcula la matriz de correlación entre CP y bandas de la imagen, lo que nos permite conocer el sentido espectral de éstos componentes, basta aplicar :

$$r_{pk} = \frac{a_{pk} \sqrt{\lambda_p}}{s_k} \text{-----} 20$$

Donde:

r_{pk} - indica el coeficiente de correlación entre el componente p y la banda k ; a_{pk} , el eigenvector del componente p en la banda k ; λ_p , el eigenvalor del componente p y s_k , la desviación típica de la banda k .

El último paso es obtener una imagen de los componentes principales. Para ello, se acude a la matriz de eigenvectores (a_{pk}), donde se mide la relación lineal de cada CP y las bandas originales. Al igual que otras transformaciones lineales, el cálculo de las nuevas bandas, o CP, se realiza de la siguiente forma:

$$CP_{i,j,p} = \sum_{k=1}^n a_{p,k} \times ND_{i,j,k} \quad \text{-----} 21$$

siendo n , el número de bandas $CP_{i,j,p}$ el valor de la imagen del componente principal p , para las coordenadas i,j ; $a_{p,k}$, los eigenvectores para dicho componente en cada una de las k bandas, y el $ND_{i,j,k}$, el ND de esa misma banda y para las mismas coordenadas.

Una vez obtenida la imagen de los CP, pueden éstos representarse en blanco y negro ó color, logrando una nueva visualización de la zona de estudio. Para ello, es necesario escalar los resultados en el rango de 0 a 255. Se realiza una muestra de valores resultantes, con el objeto de estimar máximos y mínimos, aplicando la expresión lineal del tipo:

$$CP^* = \frac{CP - CP_{min}}{CP_{max} - CP_{min}} \times 255 \quad \text{-----} 22$$

Donde:

CP , CP^* , CP_{max} y CP_{min} , indican los valores correspondientes al CP de entrada, de salida, máximo y mínimo, respectivamente.

Operaciones entre bandas

Las bandas de una imagen multispectral muestran diferentes aspectos de la escena correspondiente:

- Se relacionan con varios intervalos de longitud de onda de la energía captada por el sensor remoto.
- Cada objeto de la escena muestra una respuesta espectral particular.

1. Un objeto tiene una respuesta alta en el infrarrojo y relativamente pequeña en el visible.
2. Otro objeto podrá tener una respuesta contraria.
3. Un cociente de bandas separa estos dos objetos en la imagen digital.
4. A partir del análisis de las respuestas espectrales de los objetos de la escena, es posible diseñar combinaciones de bandas que permitan su segmentación de la imagen, debido a esto es interesante establecer un conjunto de operaciones algebraicas para combinar las bandas mencionadas.

Existe una serie de modelos, en función de la respuesta espectral de diferentes objetos de la superficie terrestre, que se escribe como una combinación algebraica de las bandas de la imagen. Así por ejemplo ciertos cocientes de banda pueden ayudar a discriminar litologías con poca cobertura digital. Otros, como la diferencia de dos bandas entre la suma de las mismas, proporcionan información de la cobertura vegetal lo que se conoce como índice de vegetación normalizada.

La descomposición en componentes principales y la transformada de Kauth y Thomas conocida también como "Tasseled Cap" (TTC). Se escribe como una combinación lineal de las bandas originales. De esta manera, la posibilidad de realizar combinaciones algebraicas de bandas.

Transformación Tasseled Cap (TTC)

La TTC fue ideada por Kauth y Thomas en el marco del proyecto LACIE (Large Area Crop Inventory Experimental), desarrollado por la NASA y el departamento de agricultura norteamericano (USDA) para la preparación de cosechas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Dentro de este proyecto, se modelan componentes fundamentales de la variación en una imagen MSS describiendo características físicas desde el punto de vista del estudio del cultivo.

A partir de una serie de imágenes de zonas agrícolas, se sintetizan ejes de variación espectral de cultivos en una figura tridimensional de aspecto de gorro con borlas (tasseled cap). Considerando las bandas rojas e infrarrojas, la base de ese gorro se define por la línea de suelos en donde se sitúan los distintos tipos de suelo, de acuerdo a su color. Según el cultivo va ganando en vigor, tiende a aproximarse al eje de la banda infrarroja coincidiendo en un punto, cuando se produce la máxima madurez.

Para el caso de las imágenes MSS sobre las que se desarrolla esta transformación, los nuevos ejes se obtuvieron a partir de :

$$u_j = R_i' x_i + c \quad \text{-----} \quad 23$$

Donde u_j , indicaba el valor correspondiente a la imagen transformada; x_i , el vector de entrada; R_i' , el vector de coeficientes de transformación, c una constante para evitar valores negativos $c = 32$.

A partir de ahí el cultivo tiende a marchitarse, retornando hacia la línea del suelo.

Una de las ventajas de ésta transformación frente al ACP radica en la interpretación física.

Los componentes deducidos a partir de la TTC tienen un significado preciso, independiente de las condiciones de la escena, puesto que se basa sobre las características de las bandas espectrales en consideración.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.10. Clasificación digital

Conceptos previos

Para los usuarios de la teledetección, la clasificación es la fase culminante del tratamiento digital de imágenes, los resultados de la clasificación marcan la calidad final del proyecto desarrollado, siendo originado por la teledetección espacial. Los ND adquiridos por el sensor, tienen valor al ser interpretados a categorías que presenten un mejor conocimiento del territorio. Esta interpretación puede ser visual, sobre reproducciones fotográficas de la imagen o digital, empleando la potencia y rapidez del cálculo.

III.11. Fase de entrenamiento

Conceptos básicos

Para que una fotografía aérea sea interpretada en detalle, debe existir una experiencia previa, que permita identificar características de interés, como son: tono, textura, situación o tamaño. Es posible distinguir entre matorral y arbolada, gracias a que éste tiene una textura mas rugosa; mientras la separación de agua y cultivos se realiza sobre la diferencia de tonalidad. La clasificación digital se inicia definiendo cada una de las categorías que pretenden eliminar.

La clasificación numérica, trata de obtener los ND, o el rango de los ND, identificando las bandas que intervienen en la clasificación de una imagen.

Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos:

- Supervisada.
- No supervisada

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Método supervisado

Este método parte del conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por trabajos de campo, permitiendo delimitar sobre la imagen, unas áreas piloto representativas de las categorías que componen la leyenda. Las áreas se denominan training fields (campos de entrenamiento).

Estas áreas sirven para entrenar al ordenador en el reconocimiento de las distintas categorías, a partir de ellas se calculan los ND que define cada una de las clases, para asignar el resto de los pixels de la imagen a una de esas categorías en función de sus ND.

Los trabajos de campo y otros documentos auxiliares como la fotografía aérea o la cartografía convencional son útiles para la localización mas precisa de éstas áreas, suficientemente representativas y homogéneas de la clase que pretende definirse.

Adquirida la selección de las áreas de entrenamiento se calculan las estadísticas elementales de cada categoría: media, rango, desviación típica, matriz de varianza-covarianza, etc. A partir de los ND de todos los pixels incluidos en el campo de entrenamiento asignados a esa clase.

Métodos no supervisados

Este método define clases espectrales, presentes en la imagen, no implica ningún conocimiento del área de estudio, por lo que la intervención humana se centra en la interpretación visual y no en la interpretación de los resultados.

Por tanto, los ND de la imagen forman una serie de agrupaciones más o menos nítidos según los casos. Equivale a pixels con un comportamiento espectral homogéneo y por tanto, define clases temáticas de interés.

El método para definir agrupamientos espectrales es similar al empleado en otras técnicas de clasificación automática de datos basados en un triple proceso:

- Selección de las variables que intervienen en el análisis.
- Selección de un criterio para medir la similitud ó distancia entre casos.
- Selección de un criterio para agrupar los casos similares.

Clasificador de mínima distancia

Para asignar un pixel a una de las categorías, se incluye en el más cercano al centroide de la clase. Lógicamente no se trata de una distancia geográfica, sino espectral, consecuencia de comparar los ND de cada pixel con los del centro de las distintas categorías, para todas las bandas que intervienen en el análisis.

Se consideran varias formas de medir esa distancia, la más empleada es la distancia euclidiana:

$$d_{xA} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (ND_{x,k} - \overline{NDA,k})^2} \quad \text{----- 24}$$

Donde d_{xA} es la medida de la distancia entre el pixel x y la categoría A , que se calcula como la raíz cuadrada de la sumatoria de las diferencias entre el ND de ése pixel y el ND medio de la categoría A . Para las m bandas que intervienen en la clasificación

Clasificador de paralelepípedos

Se fija un área de dominio para cada categoría tomando en cuenta valores de centralidad y dispersión.

Un pixel X es asignado a la clase A , si sus ND se encuentran a menos de una determinada distancia del centro de la clase A .

Esa distancia se identifica con la desviación típica, desviación media y rango de categorías. Cuanto mayor es el umbral, mayor el número de pixels incluidos en esa categoría, pero también más grande el riesgo de confusión con categorías vecinas.

El principal problema de éste método es el traslape entre paralelepípedos, supone que un pixel puede asignarse a dos categorías.

Respecto a los pixels sin clasificar, la solución pasa por ampliar paulatinamente el rango de dispersión estableciendo un equilibrio entre los pixels no clasificados y los solapes entre clases vecinas.

$$ND_{Ak} - R_{Ak} < ND_{Nk} < ND_{Ak} + R_{Ak} \quad \text{-----} \quad 25$$

Para toda k variando $k=1$ hasta el número de bandas de R_{Ak} indica el rango de dispersión concedida a cada categoría y en cada banda.

Clasificador de máxima probabilidad

Este método considera que los ND del seno de cada clase se ajustan a una distribución normal. Esto permite distinguir esa categoría por una función de probabilidad, a partir de su vector de media y matriz de varianza-covarianza, esa función asemeja la distribución real de los ND en esa categoría, por lo que sirve para calcular la probabilidad de que un pixel (con un determinado ND) sea miembro de ella.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Obtención y representación de resultados

Los resultados se almacenan en una imagen, similar a la original, en cuanto a estructura y tamaño; el ND de cada pixel no corresponde a un valor de reflectividad, sino a la categoría a la que se asignó. Se obtiene una matriz numérica de dos dimensiones, pues se ha condensado la información espectral (varias bandas) en una clase temática.

Esa imagen es el producto final del trabajo, que sirve como estadio intermedio de un proyecto más amplio, en donde la teledetección se combina con otro tipo de variables.

Esa nueva imagen puede dar lugar a dos tipos de productos:

- Cartográfico, convierte la imagen clasificada en un mapa.
- Estadístico, realiza un inventario a partir de los ND que componen esa imagen.

III.12. Verificación de resultados

Fuente de error en una clasificación temática

La interpretación visual implica un mayor grado de supervisión al igual que el tratamiento digital de imágenes. A menor escala, menos detallada. La exactitud de uno y otro método está influido por recursos externos aplicados sobre la interpretación como es el caso de la experiencia del intérprete o de la calidad del equipo de tratamiento con que se cuenta.

Estructura del territorio

Los errores relacionados con la estructura del territorio, incluyen aquellas confusiones derivadas de la disposición espacial con las que se presentan las cubiertas objeto de estudio. Se incluyen aspectos como la forma, orientación y tamaño de las parcelas el contraste espacial entre cubiertas vecinas y el grado de mezclas de los distintos tipos de cubiertas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El efecto de la morfología parcelaria resulta espacialmente sensible en aquellas regiones que han sufrido una ocupación milenaria de territorio, esto origina extensiones de tierras muy pequeñas (parcelas) inferiores incluso al tamaño del pixel.

Adquisición de la imagen

Es necesario evitar problemas en:

- Función del sensor o de la plataforma a la influencia atmosférica.
- Fallas en los sistemas de recepción o grabación de la imagen.
- Confusiones derivadas de una incorrecta selección de imagen.

Condiciones medio- ambientales

Una orientación, pendiente, densidad y estado fenológico con que aparece una cubierta, implica una variabilidad espectral en torno al comportamiento tipo de la categoría. Tal dispersión dificulta la caracterización espectral de una clase provocando solapes y confusiones con categorías vecinas.

Medidas de la fiabilidad

La exactitud alcanzada por el mapa puede realizarse por diferentes criterios:

- Comparar el inventario de la clasificación con el obtenido con otras fuentes convencionales.
- Estudiar la fiabilidad obtenida al clasificar las áreas de entrenamiento.
- Seleccionar un área de verificación.

Una opción para comparar los resultados obtenidos por métodos satelitales, consiste en tomar muestras físicamente del área de estudio para corroborar los datos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Diseño del muestreo

El diseño y desarrollo del muestreo, supone la columna vertebral del proceso de verificación. Al igual que otras aplicaciones, el muestreo espacial sirve en este caso para seleccionar una pequeña parte del área de estudio, de tal forma que sea representativa del conjunto.

CAPÍTULO IV

Sistema de Información Geográfica

IV.1. Teledetección y Sistema de Información Geográfica

El Sistema de Información Geográfico (SIG), es una cadena informativa automatizada que cumple con funciones básicas de almacenar, analizar y cartografiar la información Geográfica ó Geofísica en diferentes niveles de diálogos y a diferentes escalas en sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, el manejo, la manipulación el análisis, el modelado y el despliegue de datos espacialmente referenciados (geo-referenciados) para la solución de los complejos problemas del manejo y planeamiento territorial. Puede considerarse también como un sistema informático, que permite almacenar y manipular datos que tengan un componente geográfico.

IV.2. Necesidades de los SIG

Los resultados en ensayos de clasificación, se fijan en mapas temáticos que reflejan al estado de la variable de interés como tipo de suelo (óxidos, hidróxidos) ó vegetación en áreas de estudio. La obtención de ése mapa constituye la fase final del trabajo ó representa un documento más de variables territoriales, conocimiento integrado del espacio en estudio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La teledetección, constituye una técnica más de información territorial que unida a datos cartográficos ó estadísticos, facilita la evaluación certera del paisaje, aprovechamiento o conservación.

El SIG, es una base informatizada de datos con componentes espaciales. La información que almacena está referenciada geográficamente, en mapas, estadísticas, datos climáticos, Geofísicos ó Geológicos sobre un territorio concreto, por lo que las variables se relacionan de forma muy diversa.

Los SIG aprovechan las posibilidades analíticas de los ordenadores facilitando múltiples operaciones que resultan poco accesibles por medios convencionales:

- Generalización cartográfica
- Integración de variables espaciales
- Análisis de vecindad, etc.

Los SIG permiten almacenar esa información espacial de forma eficiente, facilitando su actualización y acceso directo al usuario.

Las posibilidades de análisis aumentan al utilizar mapas convencionales que faciliten el almacenamiento y la visualización.

La teledetección y los SIG, utilizan equipos muy similares, puesto que se dirigen a procesar información espacial. En las últimas décadas se presenta una clara convergencia.

El SIG es una herramienta idónea de almacenamiento y gestión medio ambiental, la teledetección brinda al sistema una de las fuentes de información más interesantes.

Los SIG son la continuación lógica de una buena parte de las aplicaciones temáticas de la teledetección.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.3. Función de un SIG

Un SIG proporciona, almacenamiento coherente de la información espacial, manipulada con el mínimo esfuerzo. Permite obtener modelos cartográficos, a partir de la transformación o combinación de diversas variables:

- Señalar corredores de una determinada distancia a un río o carretera.
- Realizar tablas de coincidencia entre dos o más mapas.
- Calcular pendientes, exposiciones o medidas de textura.
- Superponer dos o más capas de información, etc.
- Facilita la presentación gráfica de los resultados, al permitir acceso a diversos periféricos.

La mayor parte del SIG incluyen:

- Entrada de información.
- Almacenamiento y organización de la base de datos.
- Análisis.
- Representación gráfica.

IV.4. Entrada de datos

Las variables compatibles, en un análisis, deben alojarse en el mismo soporte (digital), con el mismo formato y sujetas a un sistema de referencia común. La función de un SIG, es la entrada y transformación de datos, para que resulten coherentes con la base de referencia seleccionada por el proyecto.

La información que se almacena en el SIG, procede de fuentes muy variadas:

- Teledetección
- Cartografía a diferentes escalas.
- Proyecciones.
- Datos demográficos o climáticos.
- Modelos digitales de terreno, etc.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Un SIG accede a las variables, las transforma apropiadamente para que sean relacionadas. Es preciso que esa información sea convertida a formato digital, compatible con el ordenador que soporte el SIG.

Esta digitalización, se realiza en función del tipo de variables que se introducen al sistema.

- Para información alfa numérica, como datos demográficos ó climáticos resulta necesario acudir al teclado.
- Para mapas convencionales, el medio más idóneo es el digitalizador de mesa, que facilita la obtención de coordenadas.
- Para incorporar al sistema imágenes analógicas como fotografías aéreas ó copias en papel de imágenes en satélite, resulta necesario acudir a un rastreador de barrido (scanner).

Una vez convertida a formato digital, se requiere que las distintas variables tengan un sistema de referencia común, con objeto de que sean fácilmente relacionadas. Los mapas originales pueden referirse a distintas escalas o proyecciones, lo que impide su inmediata posición. Los GIS incluyen una serie de rutinas para transformar coordenadas entre distintas proyecciones y de distintas escalas a la elegida como referencia.

IV.5. Principales componentes y funciones de los SIG

Componentes:

- Datos
- Personal
- Software
- Hardware

Funciones:

- Captura de la información
- Almacenamiento
- Análisis
- Despliegue de los datos espacialmente referenciados

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Factores:

- Fuente de información de donde proceden los datos
- Tipo de estructura que tengan las bases de datos

IV.6. Almacenamiento y organización de los datos

La información dispone de una forma coherente para facilitar su almacenamiento, consulta y actualización. Se clasifican dos tipos de estructura de almacenamiento:

- Vectorial.
- Raster

El sistema Raster es el de cuadrícula y supone la elaboración de una matriz que se sobrepondrá al mapa. A cada variable del mapa se le debe dar un código específico (para que el mapa pueda ser leído por filas y columnas). Por tanto cada celda tendrá un valor y atributo determinado, a ésta manera se le denomina proceso de codificación.

Al almacenar digitalmente la información obtenida en un mapa de suelos:

- El mapa se define por las líneas que separan distintos tipos de suelo.
- Almacena las coordenadas de líneas para contar con toda la información original, podemos reconstruir, de esas líneas, la categoría a que pertenece cada unidad.
- Dividir la superficie que ocupa ese mapa en una matriz de celdillas todas ellas del mismo tamaño consideradas como unidades elementales de información, el mapa se convierte en una maya regular de pixels, en cada uno de los cuales se almacena un valor numérico descriptor del tipo de suelo que alberga.

En el primer caso las unidades se definen por su frontera indicando implícitamente su contenido. En el segundo, los contenidos están explícitamente definidos y las fronteras sólo de un modo implícito

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO V

Algunas aplicaciones

V.1. Procesamiento digital

El usuario esta ahora en disponibilidad de aplicar métodos de procesamiento de imágenes para la solución de un problema dentro del campo de la Geofísica, existen gran número de ejemplos utilizando imágenes tomadas mediante satélites.

La exploración de zonas con potencial económico y el análisis de suelos productivos, son algunos casos de trabajos realizados utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y de Percepción Remota.

En este trabajo se presenta una metodología para la interpretación de la imagen: "WORCWEST " empleando las bandas 1-2-3-4 del TM. La imagen de la Fig. 5.1 generada para el análisis visual de la zona, es el producto de la composición en falso color, empleando las bandas: 2-3-4. En ellas se denotan las clases espectrales (masas vegetales, laminas de agua y ciudades)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



2808.105 metros

Fig 5.1 Composición en Falso color de la imagen WORCWEST
Tomada sobre el área de Howe Hill Mass. USA.

La elección de las bandas para realizar la composición y el orden de los colores destinados a cada una depende del sensor.

La imagen de falso color obtenida al aplicar los cañones rojo, verde y azul sobre las bandas correspondientes al infrarrojo cercano, rojo y verde respectivamente, facilitan la cartografía de masas vegetales (se observa en colores rojizos), laminas de agua (observadas en colores azules oscuros), zonas urbanas y suelos desnudos (se observan en grises y azules claros). Para crear una imagen de verdadero color como se vería naturalmente, aplicamos la banda 3 en el color rojo, banda dos en el verde, banda 1 en el azul.

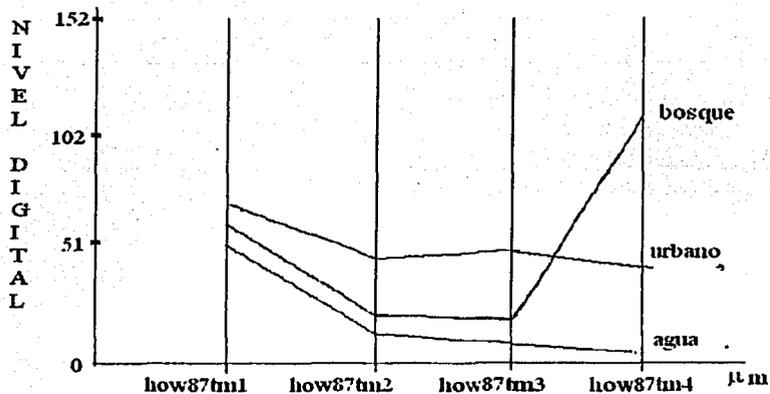


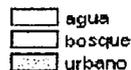
Fig. 5.2 Firma espectral

Donde:

banda	micras (μm)	espectros
how87tm1	0.45- 0.52	azul
how87tm2	0.52- 0.60	verde
how87tm3	0.63- 0.69	rojo
how87tm4	0.76- 0.94	infrarrojo cercano

Clasificación supervisada. Este es un método de análisis de imágenes por el cual los pixels de ésta son asignados a clases espectrales de las que se tiene conocimiento explícito.

Como resultado se obtuvo la firma espectral (Fig. 5.2) al digitalizar y trazar campos de entrenamiento ó áreas, a partir de la Fig. 5.1, para cada una de las categorías como son: agua, bosque y urbano. Al comparar las firmas espectrales de la Fig 2.3 con la Fig. 5.2 se encuentran ciertas similitudes en cuanto sus resultados.



N



2808.105 metros

Fig. 5.3 Clasificador de Paralelepípedo

Tomada sobre el área de Howe Hill Mass. USA

Asignación se trata de adscribir cada uno de los pixels de la imagen a una de las clases previamente seleccionadas. Esta asignación se realiza, naturalmente, en función de sus ND, para cada una de las bandas que intervienen en el proceso. resultado de esta fase será una nueva imagen. En el clasificador de paralelepípedo: los pixels se asignan a una determinada categoría en función de los valores mínimo y máximo para el agua, el bosque y el urbano, mediante las áreas de entrenamiento.

Comparando la Fig. 5.1 con la 5.3 se observa que en esta última: se remarca más la mancha urbana, se reduce el área de vegetación y el lugar donde se encuentra el agua no tiene mayor variación.

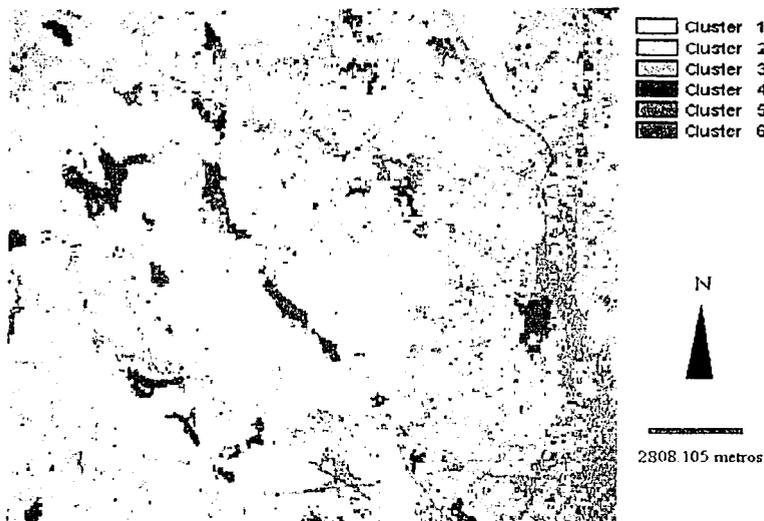


Fig. 5.4 Clasificación no supervisada de la imagen WORC WEST
Tomada sobre el área de Howe Hill Mass. USA.

La clasificación no supervisada: los pixels de ésta son asignados a clases espectrales que no implica ningún conocimiento del área de estudio.

Los ND de la imagen forman una serie de agrupaciones (CLUSTER). En la fig. 5.4 se observa el CLUSTER, que lleva a cabo la clasificación no supervisada. El módulo presenta la generalización: gruesa (broad) en donde permite fijar 6 tipos máximos de clases, el cluster presenta aprox. 1% de pixels con un comportamiento espectral homogéneo. Esta clasificación se basa en la búsqueda de clases espectrales homogéneas mediante técnicas de clasificación automáticas de las clases espectrales presentes en la imagen.

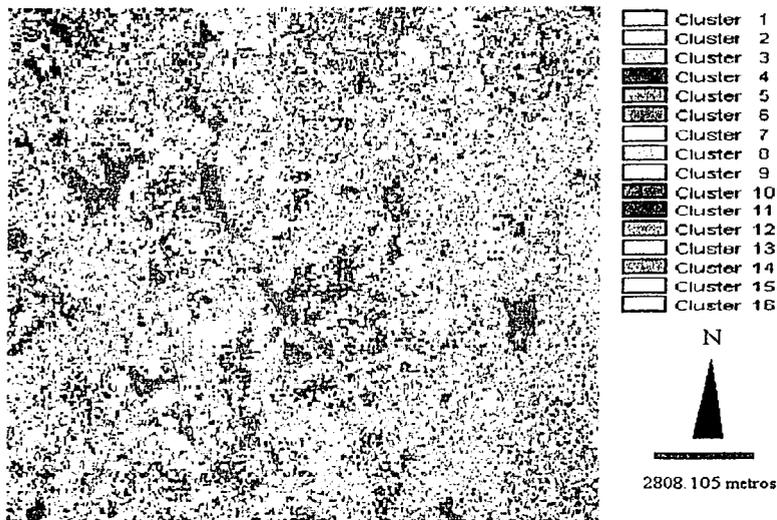


Fig. 5.5 Clasificación no supervisado (fino)

Tomada sobre el área de Howe Hill Mass. USA.

En esta clasificación no supervisada se presenta la generalización fina (fine).

Los ND de la imagen al igual que en la fig. 5.4 forman una serie de agrupaciones (CLUSTER) pero con más detalle ya que se involucran 16 tipos máximos de clases, los clusters presentan pixels con un comportamiento espectral homogéneo.

En la clasificación no supervisada fina se ve más selección de imagen presenta 16 clusters que marcan límites donde no se aprecia muy clara la imagen a simple vista, en cambio en la fig. 5.4, se aprecia la imagen más claramente, aunque para un estudio más detallado se prefiere la clasificación con una generalización fina.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

V.2 Alteraciones Hidrotermales

Reconocimiento de alteraciones hidrotermales con imágenes del Landsat: Los hidroxilos (caolinita, montmorillonita, illita, alunita) en el cociente de las bandas 5/7: Presenta en la banda 7 del TM, longitudes de onda con valores de reflectancia mínimos, en tanto en la banda 5 del TM, presenta valores de reflectancia altos. Ver fig. 5.6

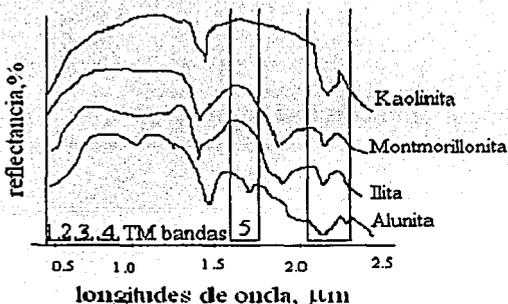


Fig. 5.6 Espectro de Reflectancia en laboratorio

Los minerales con óxidos (goetita, hematita y jarosita) en relación a las bandas 3/1: Los óxidos (goetita, hematita y jarosita) son la segunda alteración de rocas hidrotermales, los óxidos, tienen baja reflectancia en la banda 1 (azul) del TM. y alta reflectancia en la banda 3 (rojo) del TM Ver fig. 5.7.

LIBROS CON
FALLA DE ORIGEN

LIBROS NO SALE
BIBLIOTECA

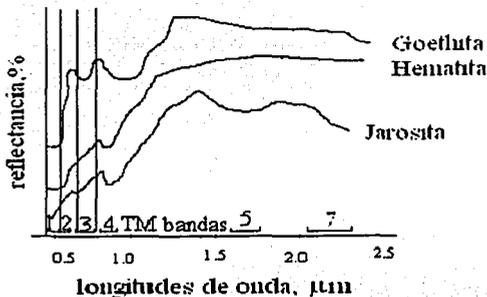


Fig. 5.7 Espectro de Reflectancia en laboratorio

Las bandas del Thematic Mapper (TM), cubren el espectro visible y el infrarrojo que se emplea en el estudio de zonas con alteraciones hidrotermales. En la exploración minera, las imágenes satelitales son de amplio uso para identificar estas zonas así como las fallas y las áreas de mineralización. Un ejemplo, se tiene en la exploración geotérmica del campo la primavera (Prol Ledesma 2001).

El área Geotermal, La Primavera está localizada al oeste en el cinturón volcánico Mexicano 15 Km. al NW de la Ciudad de Guadalajara (103°28'-103°43'W y 20°32'- 20°43'N). Esta área está localizada en la intersección de los grábenes de Colima, Chapala y Tepic (Luhf et al.,1995). El sistema de fallas de Tepic es el más importante de la región.

La zona geotermal está localizada en un complejo volcánico riolítico (Mahood, 1980). La actividad volcánica se inició hace 120000 años, seguida por fuertes explosiones 95000 años. Esta erupción fue la causante de la formación de la anomalía magnética de 11 Km. de diámetro alrededor del domo. Este centro volcánico contiene un lago donde se presentó sedimentación. La caldera se colapsó generando fallas locales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Respuesta espectral de alteraciones hidrotermales en minerales: Las bandas del TM se emplean para identificar grupos de minerales. Se propone en la exploración, utilizar la banda del infrarrojo medio y cercano para identificar los hidroxilos. Ver fig. 5.6.

Los óxidos de hierro se observan frecuentemente en afloramientos de rocas de alteración hidrotermal, como resultado de la erosión. Estos minerales tienen rasgos espectrales en la banda visible y parte en el infrarrojo (0.4 - 2.5 μ m). Ver fig 5.7

El principal problema en la identificación de minerales es la interferencia con la vegetación, que tiene una fuerte reflectancia en el infrarrojo.

Donde los óxidos de hierro están presentes, el color de la roca es roja, café, naranja y amarilla; la presencia de arcilla mineralizada se produce con un color amarillo pálido, violeta, verde o beige. La curva de la reflectancia de la jarosita está bien definida, los rasgos de absorción se encuentran entre 0.43 y 0.92 μ m; la hematita tiene una reflectancia mínima en 0.85 μ m y la goetita cerca de 0.94 μ m. Ver fig 5.7.

El espectro del infrarrojo medio, se encuentra entre el 1.1 y 2.5 μ m, puede proporcionar información acerca de la composición mineralógica de los rasgos espectrales en el visible y en la región del infrarrojo cercano. El infrarrojo medio contiene una alta anomalía de reflectancia en rocas (basálticas, grabos, etc) y minerales (arcillas, micas, sulfatos, carbonatos), cerca de 1.65 μ m y una alta absorbencia aprox. de 2.2 μ m.

Los rasgos de absorción mostrados en la vegetación son de 0.45 a 0.68 μ m y una alta reflectancia en el infrarrojo cercano entre 1.6 y 2.2 μ m.

Los óxidos de hierro y la vegetación muestran una reflectancia similar en TM banda 1(0.45 - 0.62 μ m) y el TM banda 2(0.52 - 0.60 μ m); Sin embargo, estas bandas no son muy usadas para separar estos materiales. El TM banda 3 (0.63 - 0.69 μ m) muestra una alta reflectancia para los óxidos de hierro y fuerte absorbencia para la vegetación, esto es usado para diferenciar los óxidos de la vegetación (Ver Fig 2.2 , 5.6, 5.7). El TM banda 4 (0.76 - 0.90 μ m) es usado para identificar la vegetación, esta banda contiene un rasgo de absorbencia para los óxidos de hierro en el 0.90 μ m (Ver fig. 5.7), ambos rasgos pueden ser usados para separar óxidos de vegetación.

Tanto la banda 5 TM (1.55 - 1.75 μm) como la banda 7 TM (2.08 - 2.35 μm), son de mucha ayuda para distinguir la vegetación de los hidroxilos y los óxidos de hierro. Fig.5.6.

Procesamiento de imagen: Una sección del TM Landsat 5, tomada en abril de 1992, contiene el área geotermal de La Primavera, que fue utilizada en éste estudio.

Antes de procesar la imagen se incluye una corrección atmosférica removiendo efectos, la cual se calculó a partir de los histogramas de cada banda y restando el valor mínimo a cada banda; esto se realizó con el programa Idrisi en el módulo SCALAR (sustracción).

A la información obtenida de las imágenes de La Primavera, se les aplicó una composición en color, un cociente de bandas y un análisis de componentes principales. Este trabajo fue posible realizarlo con el programa Idrisi, empleando módulos diferentes para cada una de las interpretaciones, se utilizaron los comando: composit, vgacomp, overlay, PCA.

Composición en falso color: En las bandas visible e infrarrojo cercano, las respuestas espectrales de los indicadores minerales tienen su máxima reflectancia, este realce obtenido por la combinación de bandas.

La composición en falso color RGB de las bandas TM4, TM3 y TM2, fue obtenida con el propósito de mostrar los minerales de óxido en verde y la vegetación en rojo. Ver fig.5.8

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fig.5.8. RGB Composición en color de las bandas R-4, G-3 y B-2.
Imagen del área Geotermal La Primavera.

Las áreas con alteraciones hidrotermales (mostradas en color rojo) están bien definidas en una composición que incluye las bandas del TM7, TM4, TM2.

Una composición de color produce una buena separación de minerales hidrotermales, donde sus espectros no se superponen con los espectros de los materiales presentes en la imagen, un cociente de bandas, es obtenido de las bandas 4/3, 5/4, 5/7 para identificar la vegetación y alteraciones hidrotermales. La composición se realizó utilizando color rojo en el cociente 5/4, el color verde en el cociente 4/3 y el color azul en el cociente 5/7. Las rocas con alteración hidrotermal, pueden aparecer en azul, rojo y magenta. Ver fig.5.9.

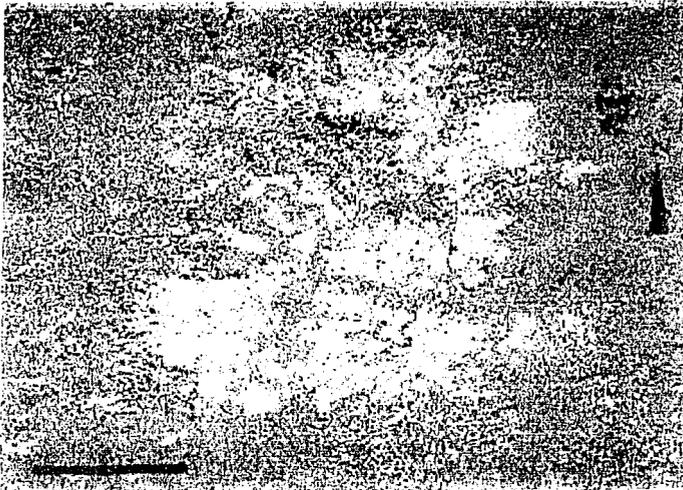


Fig 5.9 Cociente de bandas R-5/4, G- 4/3, B- 7/5.
Imagen del área Geotermal La Primavera.

En el caso de la zona Geotermal La Primavera, el cociente de bandas no proporcionó un resultado óptimo debido a que la vegetación cubre esta área.

Análisis de Componentes Principales (PCA): Las imágenes del TM son mostradas minimizando el efecto de vegetación.

El resultado de los PCA de las 6 bandas de la imagen de La Primavera, se presentan en la tabla #1, la matriz de correlación muestra que las tres bandas del visible están altamente correlacionadas, al igual que la banda del infrarrojo medio. El primer componente principal contiene 91.98% de varianza.

El componente 5 muestra áreas de óxidos con píxels oscuros y el componente 4 muestra minerales de hidroxilo. El negativo (áreas con alteraciones) de estas imágenes muestran píxels brillantes. La respuesta de la vegetación contenida en el espectro 2 presenta tonos brillantes. La composición de falso color corresponde a los valores negativos del componente 5(R), componente 4(G) y la suma de ambos en el canal (B) (O,H, O+H) seguido de la identificación de rocas alteradas. Ver fig. 5.10.

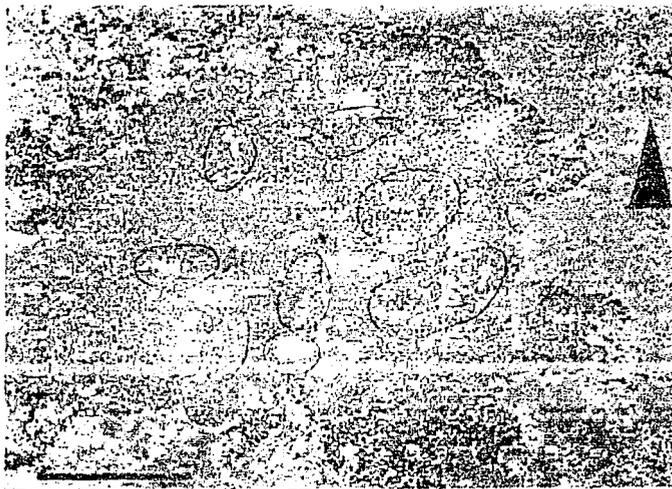


Fig. 5.10. Composición en falso color, análisis de componentes principales. Imagen del área Geotermal La Primavera.

Mejoramiento espacial: Las fracturas y fallas en las rocas son mostradas en segmentos o líneas. Estos lineamientos pueden ser formados por varios elementos sobre la superficie de la tierra estos pueden ser topográficos, tectónicos, drenajes fluviales y vegetación.

Este es aplicado en La Primavera con el propósito de mostrar los sistemas de fallas y determinar la relación de la actividad hidrotérmal dentro de esta zona. El 91.98 % de la varianza y el contenido de información relacionada es la topografía en las bandas del visible. Ver tabla #1

Se aplicó un filtro Laplaciano, en donde se observa claramente en color oscuro el centro volcánico, se relacionan las fallas con el domo riolítico. Ver fig 5.11.



Fig. 5.11. Centro volcánico.
Imagen del área Geotermal La Primavera.

TABLA #1

VAR/COVAR	primab1	primab2	primab3	primab4	primab5	primab7
primab1	140.19	91.55	142.72	80.89	255.76	185.68
primab2	91.55	61.81	96.26	57.89	174.04	124.83
primab3	142.72	96.26	153.92	88.75	287.16	205.06
primab4	80.89	57.89	88.75	88.90	169.16	109.20
primab5	255.76	174.04	287.16	169.16	666.39	446.90
primab7	185.68	124.83	205.06	109.20	446.90	317.24

COR MATRX	primab1	primab2	primab3	primab4	primab5	primab7
primab1	1.000000	0.983511	0.971591	0.724622	0.836777	0.880499
primab2	0.983511	1.000000	0.986887	0.780947	0.857538	0.891500
primab3	0.971591	0.986887	1.000000	0.758755	0.896625	0.927983
primab4	0.724622	0.780947	0.758755	1.000000	0.695011	0.650259
primab5	0.836777	0.857538	0.896625	0.695011	1.000000	0.971976
primab7	0.880499	0.891500	0.927983	0.650259	0.971976	1.000000

COMPONENT	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6
% var.	91.98	4.76	2.56	0.44	0.21	0.04
eigenval.	1313.92	68.01	36.63	6.35	2.97	0.55
eigvec.1	0.297454	0.496127	-0.366203	-0.187773	-0.655065	-0.258661
eigvec.2	0.202082	0.327144	-0.130823	-0.083683	0.078691	0.906548
eigvec.3	0.327749	0.379665	-0.230329	-0.182935	0.745878	-0.324938
eigvec.4	0.192786	0.485595	0.795463	0.294938	-0.045387	-0.072253
eigvec.5	0.701240	-0.474271	0.281654	-0.444123	-0.079363	0.021371
eigvec.6	0.484108	-0.204826	-0.289203	0.800025	-0.002290	-0.001686

LOADING	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6
primab1	0.910647	0.345564	-0.187180	-0.039965	-0.095373	-0.016271
primab2	0.931741	0.343171	-0.100707	-0.026824	0.017255	0.085886
primab3	0.957599	0.252376	-0.112357	-0.037158	0.103639	-0.019508
primab4	0.741164	0.424735	0.510583	0.078829	-0.008298	-0.005708
primab5	0.984661	-0.151514	0.066030	-0.043355	-0.005300	0.000617
primab7	0.985226	-0.094838	-0.098266	0.113191	-0.000222	-0.000071

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como resultado de esta metodología obtenemos la fig 5.11, que es una recopilación de los análisis de falso color, análisis de componente principal, cociente de bandas y la aplicación del filtro Laplaciano, donde se usó el mejoramiento espacial, hubo respuesta a diferentes minerales, todo esto sirvió para identificar áreas de alteraciones hidrotermales y presentar los óxidos e hidroxilos en el caso de la zona La Primavera. En las figs. 5.9 y 5.10 hay presencia de vegetación, que esta interferida con la respuesta espectral de minerales alterados en la banda 5 y 7. En el cociente de bandas no se mostraron buenos resultados, en tanto la imagen en falso color se ve afectada por la vegetación utilizando las bandas 4 y 5. Para minimizar la interferencia de la vegetación se utilizó el análisis de componentes principales. El resultado global se observa en la Fig. 5.12



Fig.5.12. Identificación de alteraciones hidrotermales
Imagen del área Geotermal La Primavera.

V.3. Comentarios generales de la aplicación

Las imágenes presentes en este trabajo adquiridas por el sensor Thematic Mapper (TM), para la exploración de campo, facilita el análisis visual y al combinar la información contenida en diferentes bandas de las imágenes del TM se recopila más información útil para una mejor interpretación.

La imagen, del área de Howe Hill Mass. USA. que se les aplico el método de Composición de Color, estima la presencia de tres grandes cuerpos que son el agua, la vegetación y las zonas urbanas o zonas áridas diferenciadas por el grado de tonalidades presentes. Los resultados demuestran la posibilidad de producir planos preliminares de zonas de difícil acceso, para posteriormente desarrollar un trabajo de campo específico. Partiendo de la imagen 5.1 de falso color, se logra hacer una interpretación de las bandas, poniendo a exposición las imágenes de paralelepípedo, clasificación no supervisada gruesa y la no supervisada fina; nos muestra que es posible realizar un verdadero análisis de áreas selectivas, a partir de las imágenes satelitales.

A las Alteraciones Hidrotermales tomadas de la Imagen del área Geotermal La Primavera, Jalisco, México; se le aplicaron técnicas como: Cocientes de Bandas; Composición de Color; Análisis de Componentes Principales; entre otros; siendo algunos de tantos métodos, que desglosan y seleccionan áreas de interés en la Percepción Remota.

Esta información es de gran utilidad para que un ingeniero Geofísico realice un análisis visual, con mejoramiento espectral como respuesta a los diferentes minerales. Al localizar las áreas específicas que presentan alteraciones hidrotermales muestran óxidos de hierro e hidroxilos como es el caso de la zona La Primavera, Jalisco, México.

CAPÍTULO VI.

Conclusiones:

Los principios físicos y la interpretación de imágenes presentes en este trabajo, son los fundamentos que se deben de tener presentes para aplicar e interpretar los métodos de Percepción Remota. Nuestros resultados muestran que al analizar la imagen del Worcwest de la zona Howe Hill Mass. USA. y en donde fueron empleadas las bandas 1-2-3-4 del Thematic Mapper, se aplicó una Composición de Color que consistió en utilizar en el color rojo la banda 4 (infrarrojo cercano), en el color verde la banda 3 (rojo) y en el color azul la banda 2 (verde). Todo esto se realizó con la finalidad de que lo que aparece en la imagen en color rojo es vegetación, lo que aparece en tonos negros se refiere al agua y los colores que reflejan el azul claro muestran las áreas urbanas y suelos desnudos. Se realizó una firma espectral en la cual se comprueba que lo rojo trata de vegetación, lo agua en negro y el azul como zonas urbanas. Con el clasificador del Paralepipedo, que surge a partir de la firma espectral, nos presenta tres clases (agua, bosque y urbano) y nos indica la forma en que fueron asignadas esas clases; El método no supervisado de la imagen Worcwest nos presento un número mayor de clases, en donde se muestra que el agua se aprecia en el mismo lugar para cada imagen y con la misma forma, las zonas urbanas se presentan en más de una tonalidad al igual que la vegetación, prosiguiendo a realizar una exploración de campo para saber a que tipo de vegetación y zona urbana corresponden los diferentes tonos. Se concluye que con la Percepción Remota, es posible analizar y extraer información de la superficie terrestre, para utilizarla en planeamiento y toma de decisiones. Aplicada en etapas de reconocimiento, la Percepción Remota, permite decidir con mayor certeza el área ideal para estudios con más detalle.

A la zona de Alteraciones Hidrotermales del área La Primavera, Jalisco, México, se le aplicó una Composición en Color, que consistió en utilizar en el color rojo la banda 4 (infrarrojo cercano), en el color verde la banda 3 (rojo) y en el color azul la banda 2 (verde); con el propósito de observar los minerales en color verde y la vegetación en rojo. Al aplicar el cociente de bandas que fue $4/3$, $5/4$ y $5/7$ identificando vegetación y alteraciones hidrotermales, en donde en el color rojo el cociente $5/4$, en el color verde el cociente $4/3$ y en el color azul el cociente $5/7$; en el cual las rocas con alteraciones hidrotermales aparecen en color rojo, azul y magenta, para este caso no se obtuvieron los resultados esperados debido a la abundante vegetación que presentó la zona. Se prosiguió al método de Análisis de Componentes Principales, en donde en el componente 5 muestra áreas con óxidos, debido a que la banda 3 de “La Primavera”, da un mayor aporte en éste componente, mostrando áreas de óxidos con pixels oscuros y el componente 4 mostró la presencia de hidroxilos, debido a que la banda 7 de “La Primavera” proporcionó un mayor aporte en éste componente, presentando pixels brillantes. Como resultado, se identificaron áreas de alteraciones hidrotermales y la presencia de óxidos e hidroxilos en la zona “La Primavera”.

El estudio de Percepción Remota aplicado en este trabajo tiene como ventaja que es realizado desde un gabinete, reduciendo costos y tiempo, con resultados exactos del análisis de las zonas estudiadas, para posteriormente proceder a corroborar dichos datos con un trabajo de campo de una manera puntual.

Espero que al haber aplicado el estudio correspondiente a la Percepción Remota en éstas zonas, se realicen posteriores valoraciones de campo, con el objeto de descubrir recursos naturales y minerales como agua, energía geotérmica, además de identificar estructuras geológicas que sean favorables para depósitos minerales de valor comercial o relacionados con obras de infraestructura, áreas urbanas, la exploración de zonas con elevado potencial económico, el análisis de suelos productivos, el comportamiento sísmico de algunos terrenos y de otros fenómenos asociados a la corteza terrestre.

Bibliografía Consultada:

Barrett. E. C., Curtis L. F., "Introduction to Environmental Remote Sensing", ed. Chapman & Hall, impreso en London, Inglaterra / Nueva York, USA, 1992, pp.15-66.

Benjamin F., Richason Jr., "Introduction to Remote Sensing of the Environment", ed. Kendal / Hunt Publishing Company, impreso en Iowa, USA, 1983, pp 3-240.

Cabrera Sánchez Alma Luz, Gómez Rodríguez Gabriela, "Comparación de Procesos para Delimitación de Cuencas Hidrológicas a partir de Modelos Digitales de Terreno", Instituto de Geofísica UNAM, México, 1995.

Cimino J.B.Holt y A.Holmes- Richardson, "The Shuttle Imaging Radar B (SIR-B) Experiment Report" JPL Publication 88-2, March 15, 1988. Radarsat International Inc. Catalogue of Recent Radar Research 1992.

Danson M.F., Plummer S.E., "Advances in Environmental Remote Sensing", ed. John Wiley & Sons, impreso en Nueva York, USA, 1995, pp.143-156.

Floyd F. S., "Remote Sensing Principles and Interpretation", ed. W.H. Freeman and Company, impreso en Nueva York, USA, 1996, pp 10-33, 177-213.

Gibson. P. J., "Introductory Remote Sensing Principles and Concepts", ed. Routledge, impreso en London, Inglaterra, 2000, pp. 10-127.

Harris. R., "Satellite Remote Sensing an Introduction", ed. Routledge, impreso en Nueva York, USA, 1987, pp.130- 169.

Jensen R.J., "Introductory Digital Image Processing a Remote Sensing Perspective", ed. Prentice Hall, impreso en Nueva Jersey, USA, 1986, pp. 94-104.

Lillesad. T, Kiefer, "Remote Sensing and Image Interpretation", ed. John Wiley & Sons, impreso en Nueva York, USA, 1979, pp. 529- 557.

Luhr, J. F; S. Nelson, J. Allan and J.Carmichael, "Active rifting in South - western México: Manifestation of an incipient fastward spreading - ridge jump. Geology", 1985, vol. 13. pp. 57 - 57.

Mahood, G.A., "Geological Evolution of a Pleistocene Rhyolitic Center: Sierra la Primavera Jalisco México", J. Volcanol, Geotherm. Res., pp.8, 199, 230.

Mather M.P., "Computer Processing of Remotely Sensed Images, ed. Wiley John & Sons, impreso en Nueva York, USA, 1987, pp. 242- 330.

Muller J.P., "Digital Imagen Processing in Remote Sensing", ed. Taylor & Francis, impreso en Philadelphia, USA, 1998, pp. 123- 130.

Nellys D.M., Lougeay R., Kamlesh. L., "Current Trends in Remote Sensing Education", ed. Geocarto International Center, impreso en Honk Kong, 1989, pp. 5- 26.

Palacio Aponte Gerardo, Zárate Lomelí David., "Programa Regional de Ecología, Pesquerías y oceanografías del Golfo de México", (Epomex), A.P.520, Campeche 24030, México, 1995.

Prol Ledesma R.M, "Evolución of the reconnaissance results in geothermal exploration using GIS. Geothermics", 2000, pp. 29, 83, 103.

Pultz, T.J., R.Leconte, L.St Laurent, And "Flood mapping With Airborne SAR Imagery: Case of the 1987 Saint John River Flood" Resources Journal, Vol 16 #2, 1991. pp.173-189.

Rast,M.; Jaskolla, F; Arnason, K., 1991.

Comparative Digital analysis of seasat-Sar and Lansat- TM data for Iceland . International Journal of Remote Sensing, V 12, March 1991.

Yañez T. L., Celis E. "Diplomado Internacional de Percepción Remota y Sistemas de información Geográfica, Aplicado al manejo y ordenamiento de los Recursos Naturales" Universidad Autónoma Metropolitana, Ixtapalapa, México, Tomos I, II, III.