

29.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“IMPLANTACION DE UN SISTEMA DE  
CLASIFICACION DE IMAGENES PARA  
PERCEPCION REMOTA”

T E S I S

Que para obtener el titulo de:

INGENIERA EN COMPUTACION

p r e s e n t a

Dalia Marisol Flores Hernández



Director de Tesis: Dr. Sergio Fuentes Maya

México, D. F.

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

74756



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.

## DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a mi Mamá como un pequeño tributo a toda una vida de sacrificios, los cuales le agradezco infinitamente ya que sin ellos no sería quien ahora soy.

A mi Mami Luchi por todo el amor que nos brindó, donde quiera que te encuentres este trabajo también es para ti.

## AGRADECIMIENTOS

A mi hermana por el apoyo y la fortaleza que me ha brindado durante las diversas etapas de mi vida.

A mis Papás Roberto y Valente por su cariño y respaldo.

A mis profesores por compartir conmigo en cada clase sus conocimientos.

A mis amigos por su amistad y confianza, principalmente a Fili por ayudarme a levantar en los momentos más difíciles de la carrera.

A toda mi familia por su apoyo incondicional.

A ti amor por todo lo que me has convidado durante este tiempo, optimismo, confianza, amor y por ser mi guía cuando no encuentro la salida, te amo Lalo.

Muy especialmente deseo agradecer a los profesores Dr. Sergio Fuentes Maya y al M.I. Sergio Espinosa Flores su apoyo y confianza, ya que sin ellos no hubiera sido posible realizar este trabajo.

---

**INTRODUCCIÓN** **3**

---

**CAPÍTULO UNO** **5**

<b>1. OBJETIVO.</b>	<b>5</b>
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	5
1.2 DEFINICIÓN GENERAL DE PERCEPCIÓN REMOTA.	6
1.3 DEFINICIÓN PARTICULAR DE PERCEPCIÓN REMOTA.	8
1.4 FORMA DE INTERACTUAR DE LA PERCEPCIÓN REMOTA.	8

---

**CAPÍTULO DOS** **11**

<b>2. CONCEPTOS BÁSICOS.</b>	<b>11</b>
2.1 TEOREMA DE BAYES.	11
2.2 DISTRIBUCIÓN NORMAL.	12
2.3 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.	13
2.4 SATÉLITES.	15
2.4.1 Definición.	15
2.4.2 Panorama Histórico.	15
2.4.3 Tipos de Satélites.	16
2.4.3.1 Satélites Geoestacionarios.	17
2.4.3.2 Satélite de Órbita Polar.	17
2.4.4 Satélites Especializados en Percepción Remota.	18
2.5 IMÁGENES DIGITALES.	24
2.5.1 Definición.	24
2.5.2 Formatos de Imágenes.	24
2.5.3 Imágenes MSS (Multi Spectral Scanner).	26
2.5.4 Etapas Fundamentales en el Procesamiento de Imágenes.	27
2.5.5 Errores Comunes en Imágenes Digitales.	29
2.5.6 Transformaciones Geométricas de Imágenes.	32

---

**CAPÍTULO TRES.** **36**

<b>3. TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES.</b>	<b>36</b>
3.1 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA.	36
3.2 ALGORITMO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD.	39
3.3 ALGORITMO DE PARALELEPÍPEDOS.	39
3.4. CLASIFICACIÓN POR MÍNIMA DISTANCIA.	40
3.5 DIFERENCIA ENTRE LA CLASIFICACIÓN DE MÁXIMA VEROSIMILITUD Y MÍNIMA DISTANCIA.	42
3.6 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN.	42

<b>CAPÍTULO CUATRO.</b>	<b>43</b>
<b>4. ANÁLISIS DEL SISTEMA.</b>	<b>43</b>
4.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	43
4.2 SOLUCIONES PROPUESTAS.	43
4.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.	45
4.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA.	45
4.5 DISEÑO DEL SISTEMA.	46
4.6 TIEMPOS EN EL DESARROLLO DEL SISTEMA.	63
4.7 CODIFICACIÓN DEL SISTEMA.	64
<b>CAPÍTULO CINCO</b>	<b>73</b>
<b>5. PRUEBAS</b>	<b>73</b>
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>81</b>

## INTRODUCCIÓN

En años recientes los avances tecnológicos han permitido que la ciencia de la computación se haya extendido a diversas áreas de la investigación, como lo son las ciencias que se encargan de realizar análisis geográficos de la superficie terrestre, dentro de ellas destacan la Percepción Remota, la Geología, la Geofísica y la Cartografía por mencionar unas de éstas.

Además, los análisis realizados sobre la superficie terrestre han permitido adquirir un gran volumen de información en un tiempo mucho menor de lo que tardaría el ser humano, a un precio relativamente bajo.

Como mencionamos anteriormente, existen varias ciencias que realizan estudios de la superficie terrestre y que tienen como una de sus principales herramientas a la computación para su desarrollo, por lo que hablar de cada una de ellas en un sólo trabajo sería casi imposible, es por eso que decidimos que esta Tesis se aboque únicamente a hablar de la Percepción Remota y de cómo la computación ha permitido automatizar la mayor parte de los procesos de análisis de la información mediante el procesamiento de imágenes digitales, logrando de esta manera eliminar los errores humanos inherentes en cada uno de los procesos de la Percepción Remota, como lo es la subjetividad en la clasificación de la información.

Como punto de partida de este documento se menciona una reseña histórica breve y algunas definiciones de Percepción Remota, posteriormente se describirán los conceptos básicos involucrados con esta ciencia del medio ambiente, daremos a conocer las técnicas de clasificación supervisada más comunes, se presentarán todos los conceptos relacionados con el diseño del Sistema de Clasificación de Imágenes digitales para Percepción Remota (SCIPR); también se mostrarán los resultados obtenidos una vez realizada la clasificación de una imagen que comprende una región del sur de Chiapas; por último se enuncian las conclusiones a las que se llegaron.

Considerando las necesidades académicas de los alumnos de la Maestría de Planeación en el área de Percepción Remota de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, los recursos de cómputo con los que cuentan dichos alumnos y la basta información resultante de los análisis geográficos de la Tierra, surgió la necesidad de implantar un Sistema de Clasificación de Imágenes digitales para Percepción Remota (SCIPR), el cuál será desarrollado en el lenguaje de programación "C" y "Borland C++", logrando con este último una interfaz gráfica amigable con el usuario, tal y como lo es el ambiente Windows.

Este sistema podrá ser ejecutado desde cualquier computadora personal que cuente con los siguientes requerimientos mínimos:

- ◆ Windows 3.1.
- ◆ Procesador 386.
- ◆ RAM de 4 MB.
- ◆ Disco Duro de 120 MB.
- ◆ Monitor VGA de 640x480.

## 1. OBJETIVO.

El objetivo de esta tesis es implantar un sistema para la práctica de la Percepción Remota; es decir, un sistema de cómputo que permita analizar, manipular y clasificar la información que contienen las imágenes digitales proporcionadas por un satélite.

Conjuntamente con este objetivo se encuentra el de brindar una herramienta más específica para la práctica de la Percepción Remota de los alumnos de la Maestría de Planeación de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI) de la UNAM.

Para realizar tal propósito se presentarán y evaluarán posibles alternativas para la implantación de este sistema.

### 1.1 RESEÑA HISTÓRICA

El desarrollo de la Percepción Remota comienza con la invención de la fotografía, la cual es introducida en 1839 por Niepce, él tomó un globo aerostático como plataforma para realizar la toma aérea de las fotografías en el año de 1850, llevando así al cabo la primera aplicación en el área militar de la Percepción Remota, esta aplicación fue el reconocimiento de zonas militares en la batalla de Solferino (1859).

Entre 1859 y 1925 se tomaron las primeras fotografías aéreas y fueron realizadas en París con cámaras que se sujetaban al pecho de palomas<sup>1</sup>; sin embargo, este método no obtuvo los resultados esperados debido a la falta de control absoluto sobre las palomas. Posteriormente se tomaron fotografías desde globos aerostáticos y aeroplanos, las cuales proporcionaban el valor de una vista aérea de la Tierra. El valor proveniente de estas tomas fue de gran relevancia en la Primera Guerra Mundial, ya que la fotografía aérea fue utilizada para identificar y realizar los mapas de las posiciones de las instalaciones militares enemigas.

---

<sup>1</sup> "Satellite Remote Sensing An Introduction", Ray Harris

A partir de 1925 y hasta 1945 la aplicación de técnicas de fotografía aérea se vio incrementada principalmente a finales de la Primera Guerra Mundial con el fin de obtener información geográfica. Con la Segunda Guerra Mundial esta tecnología se expandió aún más y la información geográfica tuvo grandes mejoras, debido a la resolución de las lentes de las cámaras fotográficas y a la estabilidad de plataformas desde donde eran tomadas estas fotografías.

De 1945 a 1960 la fotografía aérea empezó a ser utilizada en otras áreas, tales como la geología, agricultura, ingeniería forestal y la arqueología. Durante este período la fotografía aérea contempló y siguió el desarrollo de muchos países; de hecho estas fotografías son consideradas como de las mejores fotografías aéreas de su época, debido a su amplio rango de cobertura. A partir de este período surge la Percepción Remota Moderna y se constituye como una ciencia. En el año de 1957, la desaparecida Unión Soviética (URSS) lanzó al espacio el primer satélite artificial llamado SPUTNIK.

Durante 1960 y 1972 nacen los satélites dedicados a la Percepción Remota, los cuales utilizaron en un principio cámaras y sensores primitivos. Los primeros satélites fueron de tipo meteorológico, tales como el TIROS 1 (Television and Infrared Observation Satellite) de los Estados Unidos, el cual actualmente opera bajo la supervisión de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Los primeros satélites operaban de manera analógica. En este período la fotografía aérea se caracterizó por ser la primera en interesarse en recolectar información en las bandas visibles y la zona cercana a la banda infrarroja del espectro electromagnético.

Desde a 1972 hasta la fecha, el desarrollo de los satélites para Percepción Remota han alcanzado su madurez, debido a la evolución de la resolución espacial de sus sensores, a la información atmosférica que proveen y a la experimentación de nuevos sensores con una amplia variedad de anchos de banda. Dentro de los lanzamientos de satélites más relevantes a partir de 1972 se encuentran el primer LANDSAT (de los Estados Unidos) el cual está provisto de un sistema digital MSS (Multispectral Scanner System) y el SPOT (primer satélite Francés).

## ***1.2 DEFINICIÓN GENERAL DE PERCEPCIÓN REMOTA.***

Lintz y Simonett en 1976 definen la Percepción Remota como: “la adquisición de datos físicos de un objeto sin tocarlo o sin estar en contacto directo con él”.

El Presidente del Instituto de fotometría de Arkansas, el Dr. Konecny, define la Percepción Remota como: “la ciencia que permite analizar objetos a distancia; es decir, de una manera indirecta, debiendo establecer contacto con el objeto mediante la detección de campos de energía, como pueden ser imágenes de vídeo o fotográficas, sonido, temperatura, etc.”.

Lillesand dice que la Percepción Remota es: “la ciencia y arte de obtener información acerca de un objeto, área o fenómeno a través del análisis de información adquirida mediante un dispositivo que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación”

Resumiendo, la definición de la Percepción Remota puede ser representada mediante la figura 1.1, en donde los elementos que intervienen en este esquema se definen como:

**El objeto.** Es el elemento a distancia que se encuentra en estudio y del cual se desea obtener información de sus características.

**Sistema de análisis.** Es el conjunto de procedimientos con los cuales la información del objeto es analizada y clasificada.

**Medios.** Es la vía por la cual se logra establecer el contacto de manera indirecta con el objeto en observación o estudio, estas vías son generalmente ondas electromagnéticas.

**Analista.** Es la persona que se encarga de proporcionar los datos de entrada al sistema, controla y supervisa los medios de comunicación con el objeto y analiza los resultados obtenidos del sistema de análisis.

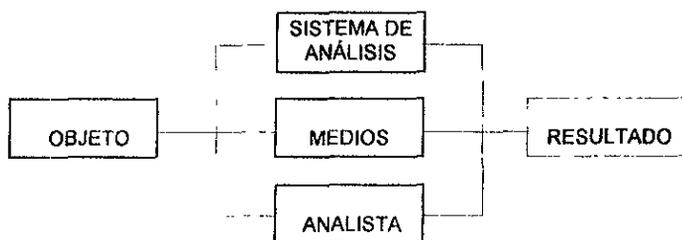


Fig 1.1 Esquema General de la Percepción Remota

Considerando la definición general de la Percepción Remota podemos decir que las áreas de trabajo donde se puede aplicar esta ciencia, son múltiples y su resultado dependerá del tipo de sensor que se emplee y de la resolución de éste.

Dentro de las áreas donde la Percepción Remota ha tenido un gran desarrollo tanto en la construcción de sensores como en los métodos de análisis, podemos mencionar a la medicina, la astronomía, la agricultura, la meteorología, la milicia y la cartografía entre otras.

### ***1.3 DEFINICIÓN PARTICULAR DE PERCEPCIÓN REMOTA.***

En 1982 Short dice que la Percepción Remota refiriéndose al estudio de la superficie terrestre es: “la adquisición de datos y de información derivada de objetos o materiales (foco o superficie) localizados en la superficie de la Tierra o en su atmósfera mediante sensores montados sobre plataformas localizadas a una cierta distancia del foco o superficie, con el fin de realizar mediciones (usualmente en forma multispectral) de interacciones entre el objeto y la radiación electromagnética”.

Para nuestro estudio en particular, nosotros definimos la Percepción Remota como: “la ciencia que se encarga de analizar las características espectrales que presenta la superficie terrestre, por medio de imágenes digitales de satélites tomadas dentro de un rango del espectro electromagnético”.

### ***1.4 FORMA DE INTERACTUAR DE LA PERCEPCIÓN REMOTA.***

Tomando en cuenta que la Percepción Remota es la ciencia que nos permite obtener información de objetos a distancia de una manera indirecta, las técnicas de obtención de esta información están basadas generalmente en la interpretación de las fuerzas de campos electromagnéticos que reflejan el área de estudio.

La variación de las fuerzas de campos electromagnéticos es medida y relacionada con las características de interés del área. Por ejemplo, una vista vertical de un campo agrícola podrá ser rápidamente identificada por la relativa homogeneidad que presentan los campos electromagnéticos del área en estudio.

Lo anterior nos lleva a deducir que es necesario conocer determinados patrones del objeto del que se desea obtener información, que nos permitan contestar las preguntas siguientes ¿qué es?, ¿qué tendencias espectrales tiene?, ¿a qué patrones se aproxima?. De esta manera, la información obtenida puede ser procesada por un sistema de diferentes maneras, en donde, no sólo se pueda definir el tipo de superficie que se tiene, sino también la extensión que abarca dicho objeto.

El esquema siguiente (figura 1.2) nos presenta la forma en la que interactúan las etapas que constituyen la Percepción Remota según nuestra definición.

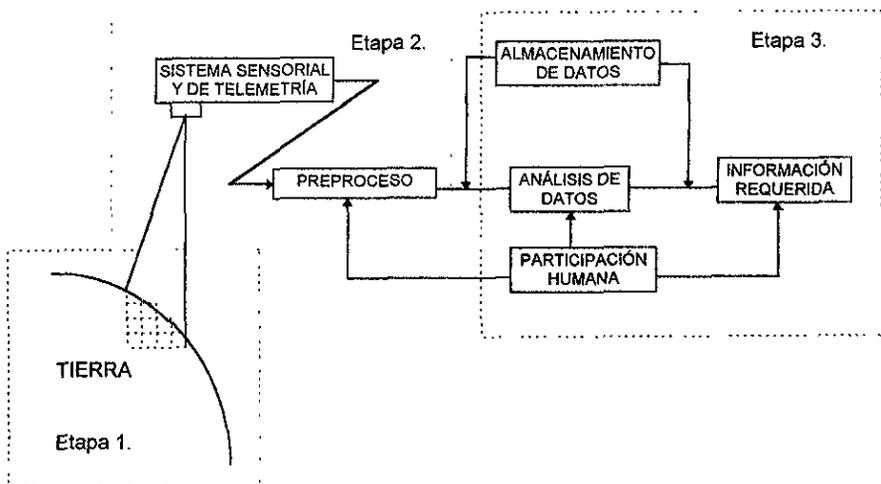


Fig 1.2 Esquema Particular de la Percepción Remota

Considerando la definición general de la Percepción Remota dada anteriormente dividiremos el proceso de la Percepción Remota en tres etapas las cuales se detallan a continuación.

La primera etapa constituye el área de la superficie que se va a estudiar, en este trabajo la superficie será la Tierra, la cual refleja la energía electromagnética que es emitida desde el Sol y que es recolectada por los sensores del satélite.

La función de la segunda etapa es la de recoger el cuerpo principal de la información que será captado de la escena; es decir, esta etapa se encarga de representar la información de manera vectorial n-dimensional, donde se tienen todos los detalles necesarios para conformar los parámetros que podrán ser adecuados con el propósito de extraer dicha información; en esta etapa se tiene que caracterizar la variación espectral que presenta la escena o el objeto. Para la caracterización de la variación nos tenemos que referir al reconocimiento de patrones como una herramienta de análisis

Debido a que la superficie de la Tierra está compuesta por diferentes materiales, los cuales a su vez reflejan en diferentes longitudes las ondas de los campos electromagnéticos, esta parte del sistema de Percepción Remota es la más amplia y compleja.

La tercera etapa es la parte principal del sistema y se lleva a cabo después de que los datos obtenidos por el sistema en la etapa sensorial son referidos a esta tercera fase. Aquí se emplean algoritmos de análisis de información considerando la aplicación del sistema de Percepción Remota. La selección de dichos algoritmos obedece a dos puntos que deben ser tomados en cuenta para la optimización de los recursos, los cuales se describen a continuación:

1. La complejidad de la información obtenida en la etapa sensora del Sistema de Percepción Remota.
2. El grado de precisión de la información obtenida en la etapa de análisis del Sistema de Percepción Remota.

Sin embargo, el utilizar un sistema de análisis complejo trae consigo una serie de ventajas importantes en la obtención de la información necesaria, tales como:

- ◆ Eliminar errores en la interpretación de la información, los cuales pueden ocurrir si cada pixel es clasificado en un solo paso.
- ◆ Optimar el conjunto de recursos e incrementar la precisión del resultado de la clasificación.
- ◆ Reducir el tiempo de procesamiento.

## 2. CONCEPTOS BÁSICOS.

Para tener una mejor apreciación del objetivo de este trabajo, en este capítulo se mencionarán los conceptos más relevantes empleados a lo largo de este trabajo.

### 2.1 TEOREMA DE BAYES.

Sean  $C_1, C_2, \dots, C_n$  eventos mutuamente exclusivos y exhaustivos y sea  $B$  un evento del mismo espacio muestral acerca del cual se conocen las probabilidades condicionales  $P[B|C_i]$  de  $B$  dado  $C_i$  y también las probabilidades absolutas  $P[C_i]$ , donde la probabilidad absoluta es la probabilidad de cada uno de los eventos  $C_1, C_2, \dots, C_n$ . Entonces se pueden calcular las probabilidades condicionales  $P[C_i|B]$  de cualquiera de los eventos  $C_i$  dado  $B$ , por medio del siguiente Teorema (ecuación 2.1):

$$P[C_i | B] = \frac{P[B | C_i]}{P[B]} \quad \text{ecu. (2.1)}$$

expandiendo la ecuación 2.1 tenemos:

$$P[C_i | B] = \frac{P[B | C_i] P[C_i]}{\sum_{j=1}^n P[B | C_j] P[C_j]} \quad \text{ecu. (2.2)}$$

Teorema de Bayes

La expresión anterior es conocida como el teorema de Bayes. Si a los eventos  $C_i$  se les llama "*causas*", entonces la fórmula de Bayes puede considerarse como una fórmula de la probabilidad de que el evento  $B$  que ha ocurrido, sea el resultado de la causa  $C_i$ . De esta manera se ha interpretado al Teorema de Bayes como una fórmula de probabilidad de "*causas*" o "*hipótesis*". La dificultad que surge con esta interpretación es que en muchos casos no se conocen las probabilidades, sobre todo las probabilidades absolutas  $P[C_i]$  de las "*causas*".

## 2.2 DISTRIBUCIÓN NORMAL.

La distribución de probabilidad más importante en el campo de la estadística es la Distribución Normal, cuya gráfica (llamada curva Normal), presenta una forma de campana tal y como se muestra en la figura 2.1. Mediante este tipo de distribución se puede describir el comportamiento de datos en la naturaleza, la industria y la investigación. Frecuentemente esta distribución se denomina **Distribución Gaussiana**.

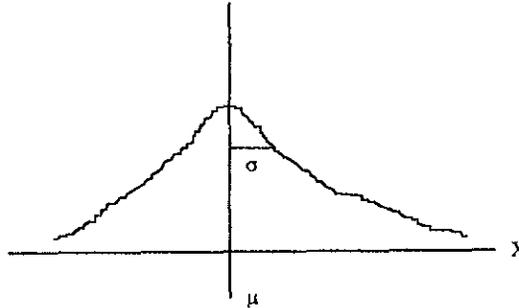


Fig. 2.1 Curva Normal

La Distribución de la probabilidad de una variable Normal se define por la ecuación 2.3 en donde  $X$  es una variable Aleatoria Normal que depende de los parámetros media ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ).

$$n(X; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-0.5[(X - \mu) / \sigma]^2} \quad \text{ecu. (2.3)}$$

Desde el punto de vista del ordenador, la ecuación anterior puede ser descrita de manera más simple cuando se transforma en una función lineal por medio de logaritmos, quedando de la manera siguiente.

$$\text{Ln } n(X; \mu, \sigma) = -0.5 \text{Ln } (2\pi) - 0.5 \text{Ln } \sigma^2 - \{(X - \mu)^2 / 2\sigma^2\} \quad \text{ecu. (2.4)}$$

Las expresiones anteriores son aplicables a eventos de una sola dimensión; sin embargo, pueden ser extendidas para un caso  $n$ -dimensional tal y como se muestra en la ecuación 2.5.

$$n(X; \mu, \sigma) = 2\pi^{-m/2} |\mathbf{V}|^{-0.5} e^{-0.5(X - \mu)^T \mathbf{V}^{-1} (X - \mu)} \quad \text{ecu. (2.5)}$$

En donde  $m$  indica el número de dimensiones,  $|V|$  el determinante de la matriz de varianza-covarianza y  $\mu$  es un vector donde se agrupan los valores medios de las diferentes dimensiones. Mediante logaritmos la ecuación 2.5 queda representada de la siguiente forma

$$\text{Ln}(X; \mu, \sigma) = [-0.5 \text{Ln } |V|] - [0.5(X - \mu)^T V (X - \mu)] \quad \text{ecu (2.6)}$$

### 2.3 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

El término “espectro electromagnético” es empleado para designar el rango total de ondas electromagnéticas que pueden ser generadas ya sea por materiales radiactivos por fuentes que produzcan calor o bien por generadores de corriente alterna. Teniendo al Sol como una de las principales fuentes naturales de dichas ondas, la Percepción Remota se apoya en él como fuente de energía. para el estudio de la superficie terrestre.

La energía que libera el Sol se transmite en forma de radiación y es generada a través de la vibración de partículas (átomos, moléculas) excitadas por su alto nivel de energía, cada partícula en vibración tiene asociado un único par de campos eléctrico y magnético. Estos campos son perpendiculares entre sí, se desplazan a una velocidad constante “ $c$ ” (donde “ $c$ ” es la velocidad de la luz y es equivalente a  $3 \times 10^8$  km/s), hacia un punto con menor energía que ellos y siempre a la derecha de los vectores que conforman los campos electromagnéticos. Tal y como se muestra en la figura 2.2.

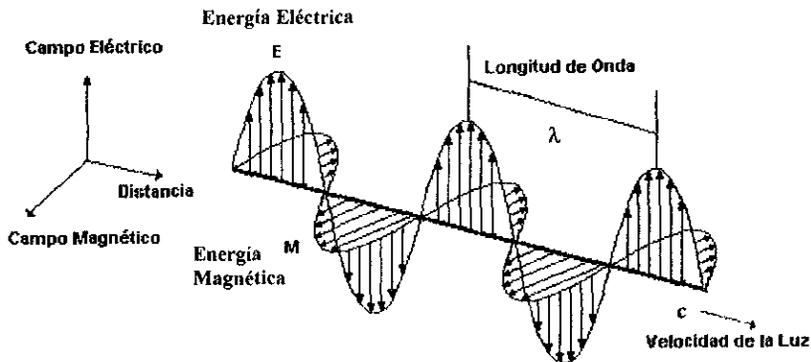


Fig 2 2 Onda Electromagnética

Donde  $E$  representa la energía eléctrica,  $M$  la energía magnética,  $c$  la velocidad de la luz, y  $\lambda$  la longitud de onda (distancia entre crestas consecutivas) y  $f$  la frecuencia (número de crestas que pasan por un mismo punto en una unidad de tiempo). La unidad que es empleada para designar las longitudes de onda son las micras o micrómetros ( $1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{m}$ ).

Una de las principales relaciones que describe el comportamiento de la radiación electromagnética es la siguiente ecuación:

$$c = \lambda f \quad \text{ecu. (2.7)}$$

La forma de radiación electromagnética más familiar para todos es la luz visible, a la cual se le denomina espectro visible, ya que es el único rango espectral que puede ser captado por el ojo humano a simple vista y reconocido a través de la secuencia de colores que van del rojo al violeta, cuyo rango de longitud de onda comprendido por el espectro visible es de  $7 \mu\text{m}$  a  $4 \mu\text{m}$  respectivamente.

Sin embargo el espectro visible solamente es una porción pequeña del espectro electromagnético, en la figura 2.3 se muestra al espectro electromagnético, subdividido en varios rangos.

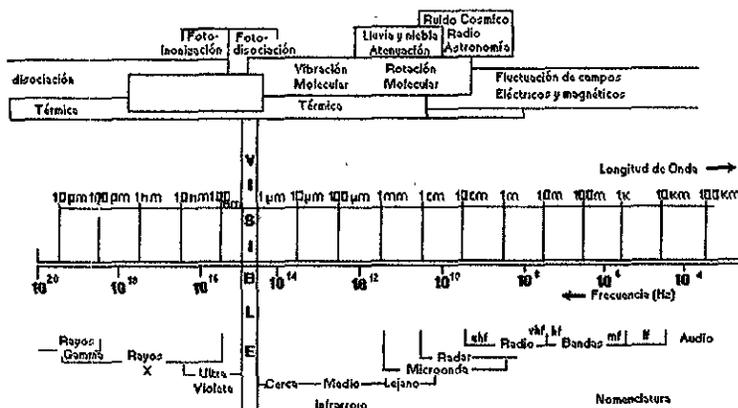


Fig 2.3 Espectro Electromagnético

## **2.4 SATÉLITES.**

Un satélite es un astro relativamente pequeño que gira alrededor de otro mayor (en general un planeta) bajo la influencia gravitatoria de éste. Existen satélites naturales (por ejemplo la Luna, que es el satélite de la Tierra) y artificiales, en nuestro caso sólo nos abocaremos a los conceptos relacionados con los satélites artificiales.

### **2.4.1 Definición.**

Un satélite artificial es una astronave sin tripulación que contiene una variedad de sensores, donde la naturaleza del sensor dependerá de la aplicación del satélite. La velocidad de estas astronaves es suficiente para mantenerlos en órbita alrededor de la Tierra, o de la Luna o del cuerpo que tiene influencia gravitatoria sobre ellos.

Mediante los satélites podemos examinar las características de la superficie y la atmósfera terrestre, enlazar comunicaciones y estudiar todo nuestro universo. Los satélites transmiten electrónicamente la información adquirida; es decir, envían señales electrónicas, las cuales son recibidas por una estación terrena. Cuando se trata de un satélite de tipo meteorológico la estación terrena convierte las señales en una imagen o película, donde éstas representan lo que el sensor captó desde el espacio.

Debido a la importancia que tienen los sensores en este trabajo, consideramos importante mencionar su definición.

Un sensor es un dispositivo detector empleado para localizar la presencia de materia o energía; es decir, cambios en una cantidad física o química (temperatura, presión, flujo, pH, intensidad de luz, o de sonido, o de ondas de radio), donde este cambio resulta ser la propia señal de entrada de un sistema; podemos citar como ejemplos de sensores a una cámara de televisión y a un transductor.

### **2.4.2 Panorama Histórico.**

El primer satélite lanzado fue empleado para el estudio del clima y llevaba el nombre de TIROS-1 (Television and Infrared Observation Satellite - Satélite de Observación de Televisión e Infrarrojo) y fue lanzado en 1960. Al principio las imágenes proporcionadas por estos satélites eran burdas y muchas veces indescifrables, pero con el tiempo se fueron

refinando los sensores remotos de los satélites proporcionando así imágenes más claras cada día.

Las fructíferas observaciones obtenidas de la Tierra en diversos vuelos orbitales, propiciaron que la NASA (National Aeronautic and Space Administration - Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio) desarrollara un programa de satélites llamado ERTS (Earth Resources Technology Satellites - Satélites Tecnológicos de Recursos Terrestres). En 1967 se planeó que este programa consistiera de una serie de seis satélites y antes del lanzamiento del primero de ellos se les denominaba ERTS-A, B, C, D, E, y F respectivamente. Sin embargo, después del 23 de julio de 1972 (fecha del primer lanzamiento) estos satélites se conocieron como ERTS-1, 2, 3, 4, 5, y 6. El ERTS-1 operó hasta el 6 de enero de 1978.

Con el lanzamiento del ERTS-2 el 22 de julio de 1975, la NASA renombró oficialmente al programa ERTS con el nombre de programa LANDSAT. El 5 de marzo de 1978 fue lanzado el LANDSAT-3 (antes ERTS-3); LANDSAT-2 fue desactivado en 1979 pero puesto en operación nuevamente en junio de 1980 debido a los grandes problemas de operación presentados por LANDSAT-3.

Otros satélites como el NIMBUS (el cual opera desde mediados de los años 70's) fueron diseñados para el análisis del tiempo y clima terrestre.

A finales de los 70's la NASA pone también en órbita al satélite SEASAT, con el propósito de obtener imágenes de radar de alta resolución y una apertura sintética durante 90 días de período operacional.

En la década de los 80's se lanza el primero de una serie de satélites franceses llamados SPOT, los cuales representaron una fuente importante para la obtención de imágenes para Percepción Remota debido a la gran resolución que poseían.

Europa también cuenta con una serie de satélites para Percepción Remota, entre ellos se encuentra el satélite ERS-1, el cual pertenece a una nueva generación de satélites diseñada en los años 90's.

### **2.4.3 Tipos de Satélites.**

Existen dos tipos de satélites, el primero es denominado geoestacionario y el segundo de órbita polar, nombrados así por el tipo de órbita desde donde éstos operan.

Sin embargo, ambos tipos de satélites pueden proveer información del clima ya sea local o del resto del mundo.

#### 2.4.3.1 Satélites Geoestacionarios.

Los satélites Geoestacionarios o también llamados sincrónicos se utilizan para las comunicaciones, el estudio de la atmósfera y el medio ambiente, éstos cubren constantemente un área determinada de la superficie terrestre y se encuentran aproximadamente a 36,000 km de la superficie terrestre. Este tipo de satélites giran a la misma velocidad que la Tierra, por lo que el período de su órbita es de 24 horas.

La figura 2.4 nos muestra la posición de un satélite geoestacionario con respecto a la Tierra.

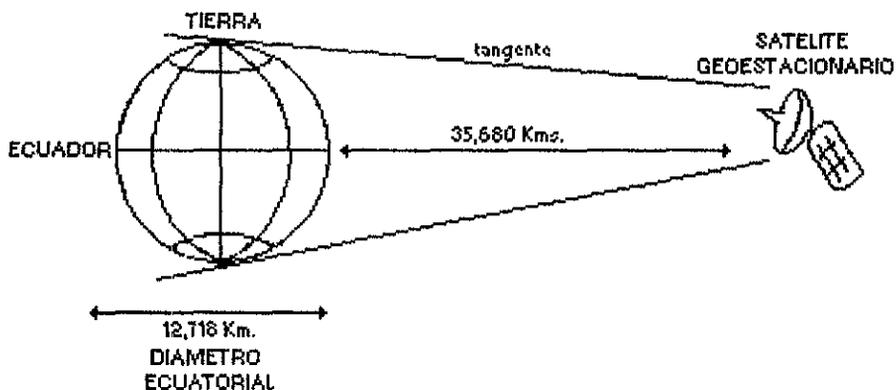


Fig 2 4 Satélite Geoestacionario (sincrónico).

#### 2.4.3.2 Satélite de Órbita Polar.

Los satélites de órbita polar o geosíncronos fueron desarrollados para proporcionar información acerca de la Tierra y su atmósfera en un tiempo real. Están localizados a una altura de 804 a 1,078 km aproximadamente de la superficie de la Tierra. La órbita polar

crucza el Ecuador a la misma latitud y a la misma hora todos los días. En la figura 2.5 se muestra el patrón de órbita que sigue diariamente el satélite LANDSAT, el cual se desplaza dentro de una órbita polar.

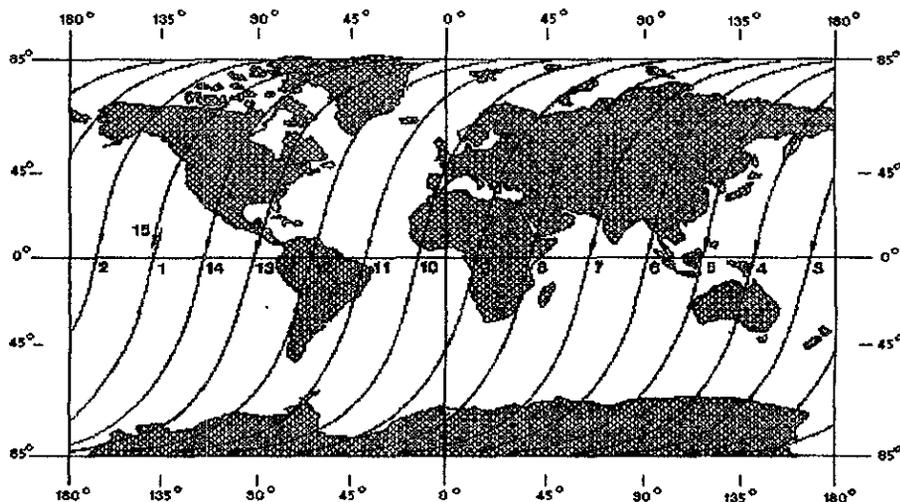


Fig 2.5 Patrón de la Órbita de un Satélite Polar (geosíncrono).

#### 2.4.4 Satélites Especializados en Percepción Remota.

Los Estados Unidos operan Satélites Operacionales Geostacionarios de Medio Ambiente GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) a una altura de 35,780 km aproximadamente de la superficie terrestre, GOES examina casi una tercera parte de la superficie de la Tierra.

Este tipo de satélites retransmiten imágenes procesadas, así como otros datos meteorológicos. Operan sobre una agenda fija y realizan alrededor de 100 transmisiones durante un periodo de 24 horas, estas transmisiones incluyen imágenes de alta resolución visibles e infrarrojas, registros gráficos del tiempo, capas de hielo y mensajes operacionales. Las imágenes son producidas por un instrumento llamado VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) estas imágenes son las fotografías presentadas en los informes del clima de los programas de televisión.

Otras naciones también operan satélites Geoestacionarios, por ejemplo el GMS que es un Satélite Meteorológico Geoestacionario Japonés o el METEOSAT Satélite Meteorológico Geoestacionario Europeo.

Dentro de los principales satélites de órbita polar construidos por los Estados Unidos de Norte América se encuentran los llamados TIROS, los cuales proveen una imagen de alta resolución llamada APT (Automatic Picture Transmission); sin embargo existen muchos otros satélites de órbita polar que proveen servicios alta de resolución, conocidos como HRPT (High Resolution Picture Transmission). Las estaciones terrestres de HRPT dan una resolución de 1.1 km a diferencia de las estaciones de APT que proporcionan una resolución de 4 km.

Las imágenes de vídeo obtenidas por el satélite de órbita polar son transmitidas como una señal de AM, donde la parte más alta de la señal representa la zona más luminosa de la señal, el tono más bajo es equivalente a la parte más oscura de la imagen y los medios tonos representan las áreas grises.

A continuación observaremos en el cuadro 2.1 las características principales de los satélites más utilizados en el estudio de la Percepción Remota.

Satélite	Objetivo	Órbita	Instrumentos
<p><b>NOAA</b> 1978 - 1990 Satélite Atmosférico.</p>	<p>Manipulación de datos atmosféricos.</p>	<p>Geo-síncrona Altitud 833-870 km Cruza por el Ecuador a las 7:00 A.M. y 2:00 P.M.</p>	<p><b>AVHRR.</b> 5 bandas 0.68-12.5 <math>\mu</math>m, resolución de 1 km, estela de 1600 km, temperatura de nubes, superficie marina y terrestre.</p> <p><b>HIRS/2.</b> 20 bandas, sondeo, temperatura y humedad atmosféricas.</p> <p><b>SSU.</b> 3 bandas, sondeo y temperatura atmosféricas.</p> <p><b>MSU.</b> 4 bandas, 50.3-57.9 GHz, sondeo atmosférico.</p> <p><b>DCS.</b> Acceso aleatorio desde boyas, globo aerostático y plataformas.</p> <p><b>SEM.</b> 3 instrumentos, protones solares, partículas alpha y "e"<sup>-</sup> (densidad de flujo).</p> <p><b>SBUV.</b> 12 bandas, 2550-3400 <math>\text{Å}</math>, entorno de O<sub>3</sub>, radiación espectral terrestre.</p> <p><b>ERB.</b> Determina la pérdida y ganancia de la radiación terrestre.</p> <p><b>AMSU.</b> 20 bandas, 10-90 GHz, meteorología y temperatura atmosférica.</p>

<p><b>GOES</b> 1975-1990 Sistema de Satélites Atmosféricos.</p>	<p>Proporciona información atmosférica.</p>	<p>Geostacionaria de Este a Oeste.</p>	<p><b>ACZCS.</b> 9 bandas, 0.4-0.88 <math>\mu\text{m}</math>, 10.5-12.5 <math>\mu\text{m}</math>, color y temperatura superficial del océano.</p> <p><b>VISSR.</b> 2 bandas, 0.55-0.70 <math>\mu\text{m}</math>, 10.5-12.6 <math>\mu\text{m}</math>, 0.9 km resolución visible, 8 km de resolución IR, sensibilidad de 0.4-1.4 K, día/noche cubierta nebulosa, medición de temperatura radiada de Tierra/nube.</p> <p><b>VAS.</b> 12 bandas, 0.55-0.70 <math>\mu\text{m}</math>, 3.9-14.7 <math>\mu\text{m}</math>, día/noche cubierta nebulosa, temperatura atmosférica y contenido de agua.</p> <p><b>DCS.</b> Acceso aleatorio de boyas y plataformas.</p> <p><b>SEM.</b> Protones solares, partículas alfa y "e" (densidad de flujo).</p> <p><b>OLS.</b> 0.4-1.1 <math>\mu\text{m}</math>, 10-13 <math>\mu\text{m}</math>, resolución de 0.56/2.78 km, cubierta de nubes global.</p> <p><b>MIR.</b> 50-60 Hz, 7 bandas de scanner de microondas para sondeo de temperatura.</p> <p><b>SES.</b> Monitoreo de cargas de partículas.</p>
<p><b>DMSP</b> 1970-1990 Programa de Defensa de Satélites Meteorológicos.</p>	<p>Proporciona información atmosférica.</p>	<p>Geo-síncrona Altitud de 720 km Cruza el Ecuador cuando se desea.</p>	

			<p><b>SSM/I.</b> 19.35 GHz de polarización dual, 22.23 GHz de polarización vertical, precipitación, velocidad del viento sobre la superficie del océano y morfología del hielo marino.</p>
<p><b>LANDSAT</b> 1972-1984.</p>	<p>Operar información sobre vegetación, cosechas y realizar un inventario sobre el uso de la Tierra.</p>	<p>Geo-síncrona Altitud de 705 km Cruza el Ecuador a las 9:30 A.M.</p>	<p><b>MSS.</b> 5 bandas, 0.5-0.6 <math>\mu\text{m}</math>, 0.6-0.7 <math>\mu\text{m}</math>, 0.7-0.8 <math>\mu\text{m}</math>, 0.8-1.1 <math>\mu\text{m}</math>, 10.4-12.6 <math>\mu\text{m}</math>, 80 m de resolución, 185 km de estela.</p> <p><b>TM.</b> 7 bandas, 0.45-0.90 <math>\mu\text{m}</math>, 1.55-1.75 <math>\mu\text{m}</math>, 2.08-2.35 <math>\mu\text{m}</math>, 10.4-12.5 <math>\mu\text{m}</math>, 30m/120m (10.4 <math>\mu\text{m}</math>) de resolución, 185 km de estela.</p>
<p><b>N-ROSS</b> 1988 Sistema Naval de Satélites de Investigación Oceanográfica.</p>	<p>Obtener datos operacionales del estado del mar para recursos DOD/NASA.</p>	<p>Geo-síncrona Altitud de 830 km Nodo TBD, repite TBD.</p>	<p><b>SSM/I.</b> 4 frecuencias, 7 canales, 19.3, 22.2, 37.0 y 85.5 GHz, vista de scanner 102, 70 x 45 a 16 x 17 km IFOV, superficie marina, viento, precipitación y condiciones de hielo en el mar.</p> <p><b>SCATT.</b> 14.6 GHz, 6 antenas, 50 km/resolución, rango 3-30 m/seg.</p> <p><b>ALT.</b> Topografía de superficie marina.</p> <p><b>LFMIR.</b> 2 bandas, 5 y 10 GHz 6 m antena, temperatura de la superficie marina.</p>

<p><b>SPOT</b> 1985-1987.</p>	<p>Proporcionar información del uso operacional de la Tierra y del sistema de monitoreo de inventario.</p>	<p>Geo-síncrona. Cruza por el Ecuador a las 10:30 A.M. Modo de repetición de 2.5 días.</p>	<p><b>SPOT.</b> 3 bandas, 0.5-0.6 µm, 0.6-0.7 µm, 0.78-0.9 µm, modo de resolución de color 20 m, modo de resolución pancromático 10 m, 60 km x 60 km De área de vista, imágenes estereoscópicas.</p>
<p><b>ERS</b> 1988-1989 Satélite de Percepción Remota.</p>	<p>Estudio del hielo y litoral marino, entorno global y uso de la Tierra.</p>	<p>Geo-síncrona Altitud 777 km Ciclo de traslación de tres días.</p>	<p><b>SAR.</b> Banda C de 5.3 Ghz., 30x30 m resolución, 80 a 200 km De estela, 50m de resolución, rango de 4 a 24 m/seg o 10 %.</p> <p><b>ASTR.</b> Radiómetro, banda de 3.7, 11 y 12 µm, resolución de 1 km x 1 km, 0.1 km de resolución, estela de 50 km</p> <p><b>PRARE.</b> Precision Range And Range Rate Experiment; Reflector Lasser.</p>
<p><b>RADARSAT</b> 1990-2000 Programa Canadiense de Radar.</p>	<p>Estudio de alta resolución de área ártica; administración de recursos de reforestación, agricultura y agua; estudios de océano.</p>	<p>Geo-síncrona Altitud 1000 km Ciclo de traslación de tres días.</p>	<p><b>SAR.</b> Banda C o L, estela de 150 km, 25 a 30 m de resolución, 4 a 100 km de vista de los Ángeles.</p>

Cua. 2.1 Características de los principales Satélites dedicados a la Percepción Remota

## **2.5 IMÁGENES DIGITALES.**

### **2.5.1 Definición.**

Una imagen digital está representada por una función  $f(x,y)$  que ha sido discretizada tanto en sus coordenadas espaciales (representadas por  $x,y$ ) como en su brillantez (nivel de gris) de la imagen en un punto determinado (referido como el valor de la función  $f$ ). Es decir, una imagen digital es la aproximación de una imagen continua que es desplegada como un conjunto discreto de puntos brillantes.

Usualmente la imagen se almacena en la computadora como una matriz de muestras discretas, donde los índices de la matriz representan la posición de un punto en la imagen y el elemento matricial correspondiente se refiere al valor de intensidad o nivel de gris (los niveles de gris están dados en potencia de dos) de ese punto. Los elementos de cada una de las matrices son llamados elementos de imágenes o píxeles. Cada pixel puede verse como una región rectangular de tamaño finito sobre la pantalla. Los renglones de una imagen digital son denominados líneas de barrido.

El tamaño de una imagen digital varía de acuerdo con la aplicación, aunque cabe mencionar que es preferible manejar arreglos matriciales cuadrados. Por ejemplo, el tamaño de una imagen monocromática para televisión es un arreglo de  $512 \times 512$  píxeles con 128 niveles de gris. La resolución del sistema utilizado para la obtención de la imagen es un factor importante que dependerá del número de puntos en ésta.

### **2.5.2 Formatos de Imágenes.**

Existen tres tipos básicos de archivos de imágenes conocidos como raster, vector y metafiles. Las características representativas de estos tipos de imágenes se mencionan a continuación.

Los archivos conocidos como raster o de barrido, involucran la descripción del color de cada punto en una imagen dada, dicha imagen estará formada por varias líneas y columnas de puntos. Los archivos raster son empleados para guardar imágenes provenientes de scanners, patrones aleatorios y texturas

Los archivos vector no contienen información sobre puntos específicos de la imagen, sino una descripción o código de los objetos usados para crear dicha imagen.

En este tipo de archivos se almacenan objetos dibujados, tales como líneas, círculos, cuadrados, texto, etc.

Los archivos llamados metafiles combinan la información de los dos tipos de archivos descritos anteriormente; sin embargo, muy pocas aplicaciones crean este tipo de archivos.

Un archivo de imagen se divide típicamente en dos partes, la primera se conoce como encabezado del archivo (File Header) y es aquí donde se concentra la información general de la imagen como un todo (versión, longitud del encabezado, identificador del tipo de imagen, esquema de color, ancho o número de columnas, número de renglones, requerimientos de modo gráfico, número de colores, resolución, etc.). La segunda parte de la imagen es conocida como datos de la imagen (image data) y ésta contiene a todos los puntos que conforman la imagen. Por ejemplo, si el archivo es de tipo barrido, éste contendrá una lista larga de números donde cada uno de ellos representa el valor de un color.

Para poder desplegar la información de una imagen es indispensable conocer el formato en el que está codificada. Actualmente existe una gran variedad de formatos de imágenes, dentro de los más relevantes se encuentran los siguientes:

#### ◆ **Formato PCX.**

Este formato fue uno de los primeros en su género, pero es el menos utilizado en la actualidad, por lo que ha sufrido muchos cambios desde su forma inicial para poder continuar en la lista de formatos de imágenes más utilizados, dentro de estos cambios se encuentran el tener color y una mayor resolución.

#### ◆ **Formato TIFF (Tagged Image File Format).**

Este formato surgió después de PCX, su uso es muy común en el mundo de la publicidad y cuando se requiere trasladar archivos muy grandes de un tipo de computadora a otra. La más reciente versión de este formato comprime la información de las imágenes. Casi todos los programas lo soportan .

#### ◆ **Formato BMP (Bitmap).**

La popularidad de este formato se dio dentro de Windows 3.0. Este formato no comprime las imágenes, sin embargo, puede ser utilizado para archivos grandes aunque no es recomendable, debido a que no posee una alta resolución.

◆ **Formato DIB (Device Independent Bitmap).**

Éste es otro de los formatos popularizados por Windows; los archivos hechos bajo este formato pueden ser desplegados por una gran variedad de dispositivos, principalmente en aquéllos en los que se tienen problemas para el despliegado de las imágenes. El formato DIB es muy parecido al formato BMP.

◆ **Formato GIF (Graphics Interchange Format).**

Desarrollado por CompuServe, este tipo de formato comprime imágenes. Los programas que pueden soportar dicho formato se están incrementando actualmente

**2.5.3 Imágenes MSS (Multi Spectral Scanner).**

Las imágenes MSS (Multi Spectral Scanner) son el tipo de imágenes más comunes que se generan a partir de las tomas vía satélite. Uno de los principales satélites que reproduce imágenes bajo este formato es el LANDSAT, los sensores con los que cuenta este satélite son capaces de registrar datos en cuatro bandas del espectro visible e infrarrojo cercano.

◆ **BANDA 1 (verde, 0.50-0.60  $\mu\text{m}$ ).**

Esta región corresponde al reflectante verde de la vegetación y es utilizada para mapear detalles tales como profundidad o sedimentación en agua y características culturales como carreteras y construcciones.

◆ **BANDA 2 (rojo, 0.60-0.70  $\mu\text{m}$ ).**

Absorbe las ondas electromagnéticas de la clorofila de la vegetación. Esta banda es empleada para discriminar límites geológicos y de terrenos.

◆ **BANDA 3 (IR cercano, 0.70-0.80  $\mu\text{m}$ ).**

El IR cercano responde al biomas de la vegetación en buen estado.

◆ **BANDA 4 (IR cercano, 0.80-1.10  $\mu\text{m}$ ).**

Es muy similar a la banda tres y es utilizada para discriminar la vegetación, niebla penetrante y fronteras entre agua y Tierra.

### 2.5.4 Etapas Fundamentales en el Procesamiento de Imágenes.

La figura 2.6 muestra un diagrama de bloques de las etapas que conforman el procesamiento de imágenes.

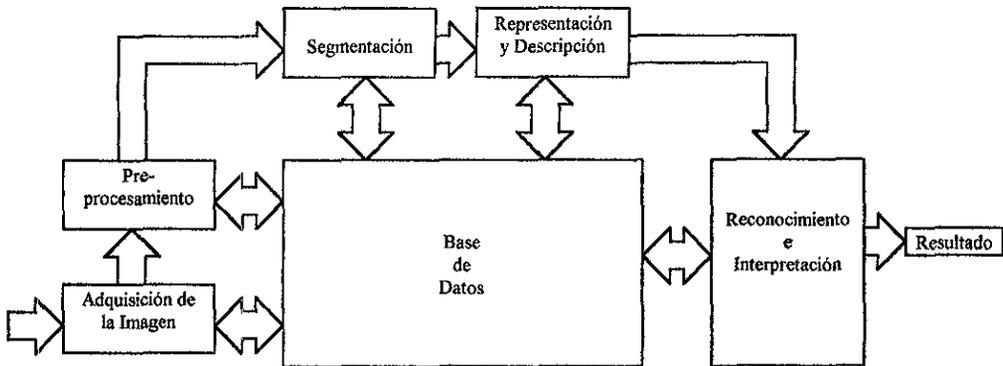


Fig. 2.6 Diagrama de Bloques del Procesamiento de Imágenes

La primera etapa de este proceso es la adquisición de la imagen, para lo cual se requiere un sensor de imagen y la capacidad de digitalizar la señal producida por el sensor.

El pre-procesamiento de la imagen constituye la segunda etapa, aquí el objetivo principal es depurar la imagen mediante diversos medios, con el fin de incrementar la posibilidad de éxito de las etapas posteriores.

La siguiente etapa es la segmentación, donde se realiza la partición de la imagen de entrada en sus partes u objetos que la constituyen. En general la segmentación es una de las tareas más difíciles en el procesamiento de imágenes, ya que si la segmentación se realiza mediante un procedimiento complejo los procesos posteriores sobre la imagen

requerirán de un tiempo mayor de proceso, pero si en la segmentación se emplean algoritmos simples el resultado obtenido no es satisfactorio. En términos de reconocimiento de caracteres la segmentación se realiza extrayendo individualmente los caracteres y palabras de la imagen.

El resultado final de la segmentación es una información burda del pixel. Este resultado puede convertir los datos a una forma apropiada para el proceso de cómputo si se requiere. Por lo que la primera decisión que se debe tomar es la de si un dato debe ser representado como un límite o como una región completa.

La representación como un límite es apropiada cuando la distancia focal (foco) está sobre una característica de la forma externa, como por ejemplo, una esquina o una inflexión. Por otro lado la representación como una región completa se recomienda cuando la distancia focal está sobre una propiedad interna, tal es el caso de la textura o el esqueleto de una forma.

La cuarta etapa es la descripción también llamada selección de características, aquí se extraen las características que resultan de una información cuantitativa y cualitativa de interés o características que son básicas para diferenciar una clase de otra. En términos de reconocimiento de caracteres la descripción se realiza como hoyos y valles, los cuales permiten diferenciar por ejemplo una letra del alfabeto de otra.

El último paso en el procesamiento de imágenes involucra el reconocimiento y la interpretación. El reconocimiento es el proceso que asigna una etiqueta a un objeto basándose en la información provista por la etapa de descripción. La interpretación por su parte, realiza una asignación significativa de etiquetas a un conjunto de objetos reconocidos.

Por lo que se refiere a la base de conocimiento, la información a priori acerca del dominio del problema es codificada dentro de un sistema de procesamiento de imágenes en forma de una base de datos de conocimientos.

Esta base de información puede ser tan simple como los detalles de la región de una imagen, donde la información de interés es conocida con el fin de ser localizada fácil y rápidamente, ya que se limita la región donde se realizará la búsqueda, o también puede ser tan compleja como una lista que interrelaciona principalmente a todos los posibles defectos en un problema de inspección de materiales o una base de datos de una imagen de alta resolución, como lo es una imagen de satélite.

En suma, la base de conocimientos también controla la interacción entre cada módulo del procesamiento de imágenes.

Sin embargo, si no se contara con ningún conocimiento a priori sobre la zona de estudio, se pueden asignar probabilidades a priori constantes e iguales. Para nuestro caso en particular, el método de clasificación requiere de un cierto valor de probabilidad a priori para cada una de las instancias que conforman la imagen, por lo que este valor puede ser constante e igual para cada una las instancias, esto implicaría que todas ellas tienen la misma probabilidad de ocurrencia dentro de la imagen, lo cual es válido, de hecho las únicas restricciones que se tienen para los valores de probabilidad es que no sean menores a cero, ni mayores de uno y que la suma de todas las probabilidades de las instancias sea uno

### **2.5.5 Errores Comunes en Imágenes Digitales.**

Cuando una imagen se obtiene por medio de sensores localizados en un satélite, o bien, desde un aeroplano como son las imágenes empleadas en la Percepción Remota, estas imágenes presentan principalmente dos tipos de errores, independientemente de los que puedan existir a partir de los instrumentos empleados, los cuales afectan el valor de brillantez de un pixel.

El primer tipo de error radiométrico se produce por la interferencia de componentes de la atmósfera; es decir, el sensor llega a captar una cantidad de energía diferente de la que el punto refleja realmente. En la figura 2.7 se muestra un esquema representativo de este tipo de error.

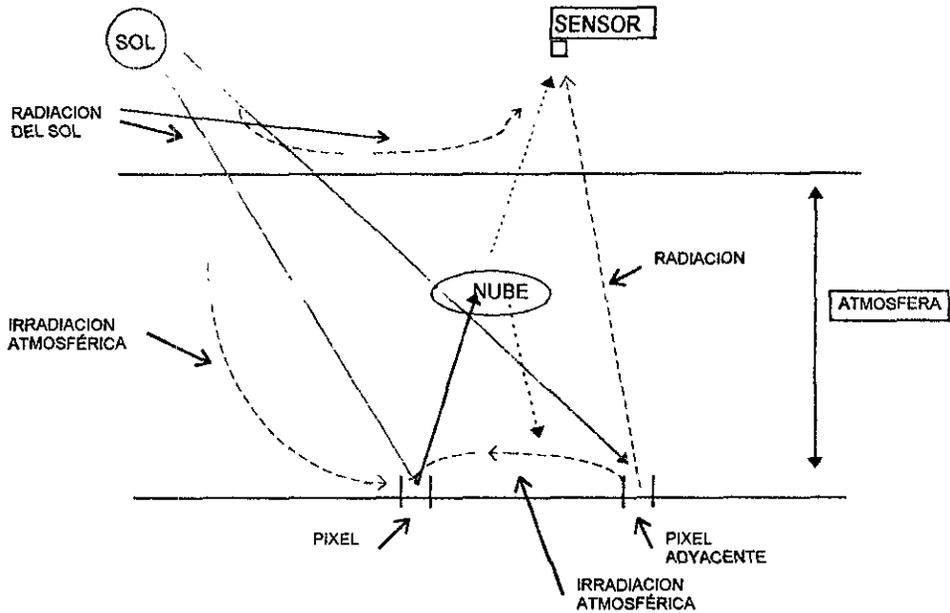


Fig. 2.7 Esquema Representativo de la Forma de Viajar de las Ondas Electromagnéticas

El segundo tipo de error es el denominado geométrico y es generado por diversas causas, tales como:

- ◆ La rotación de la Tierra mientras es registrada la información.
- ◆ El ancho de la visión del campo de los sensores.
- ◆ La curvatura de la Tierra.
- ◆ Empleo de sensores no lineales.
- ◆ Variaciones en la altitud, velocidad e inclinación del satélite.
- ◆ Efectos panorámicos.

En el caso de la rotación de la Tierra el error se debe a que los sensores tardan un determinado tiempo en adquirir la información de un cuadro de ella, por lo que al pasar a

otro cuadro, ésta ya ha girado de oeste a este, lo cual trae como consecuencia que la imagen sufra distorsiones, como se muestra en la figura 2.8.

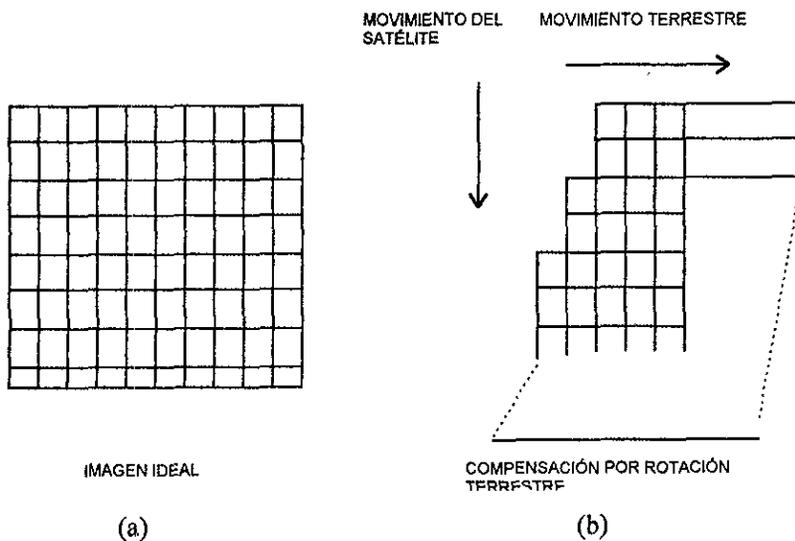


Fig. 2.8 (a) Forma de la Imagen Ideal. (b) Rango de Compensación para las Líneas Sucesivas al Oeste para corregir la Rotación de la Tierra.

Por otro lado, cuando el error se genera por las variaciones en la altitud, velocidad e inclinación de un satélite de Percepción Remota tal y como se muestra en la figura 2.9 se tiene lo siguiente:

- ◆ Si llega a existir un incremento en la altitud del satélite, la imagen presentará un cambio de escala a lo ancho de la imagen.
- ◆ Al incrementarse la velocidad del satélite, la imagen presenta un cambio en la escala a lo largo de la imagen.
- ◆ Los cambios debidos a la postura o inclinación del satélite, dan como resultado que los datos de la imagen obtenida tengan una rotación o desplazamiento.

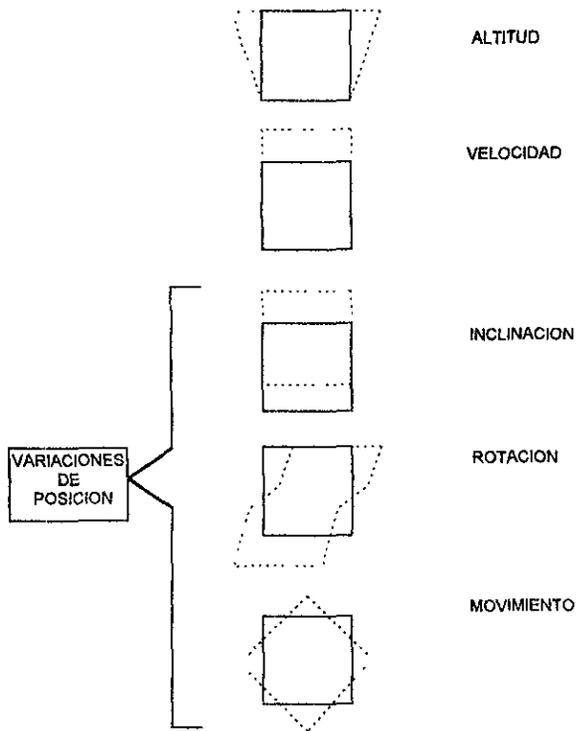


Fig. 2.9 Errores Geométricos por Altura, Velocidad, Rotación, Inclinación y Movimientos del Satélite.

### 2.5.6 Transformaciones Geométricas de Imágenes.

En la representación de imágenes los principales problemas surgen al realizar la rotación, traslación y escalamientos de una imagen. A continuación se presenta el desarrollo de dichas transformaciones expresadas para un sistema cartesiano de tres dimensiones (3-D), en donde  $X, Y, Z$  denotan las coordenadas de un punto en el plano cartesiano.

### ◆ Traslación.

Una traslación implica un desplazamiento de un punto en el plano cartesiano. Esta transformación es fácilmente representada por la ecuación (2.8).

$$\begin{aligned} X^* &= X + X_0 \\ Y^* &= Y + Y_0 \\ Z^* &= Z + Z_0 \end{aligned} \quad \text{ecu. (2.8)}$$

En donde  $(X^*, Y^*, Z^*)$  representan las nuevas coordenadas del punto. La ecuación 2.8 puede ser representada de forma matricial (ecuación 2.9).

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{ecu. (2.9)}$$

Es frecuente aplicar varias transformaciones de manera consecutiva, ya sea traslación, rotación o escalamiento, de tal forma que al emplear matrices cuadradas se simplifica la notación, como se observa en la ecuación 2.10.

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{ecu. (2.10)}$$

De tal forma la ecuación de traslación esta dada por:

$$v^* = Av \quad \text{ecu. (2.11)}$$

Donde  $v^*$  es el vector de coordenadas finales del punto,  $A$  es la matriz de transformación y  $v$  es el vector de coordenadas iniciales del punto a transformar.

### ◆ Escalamiento.

El escalamiento se efectúa multiplicando por un factor  $S_x, S_y, S_z$  a cada una de las coordenadas del punto a lo largo de los ejes. Por lo tanto, la matriz de transformación se escribe como.

$$\begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{ecu (2 12)}$$

Cabe hacer notar que si el factor es menor que uno y mayor que cero, la escala se reduce, pero si el factor es mayor que uno la escala aumenta.

### ◆ Rotación.

Las matrices de transformación usadas en la rotación en tercera dimensión son inherentemente más complejas que las anteriores. La forma de rotación más simple se presenta cuando se desea rotar un punto con respecto a uno de los ejes coordenados. El rotar un punto con respecto a cualquier otro punto implica una serie de tres transformaciones, la primera es trasladar el punto arbitrario al origen, segundo rotar dicho punto según se desee y tercero trasladar el punto a su posición original.

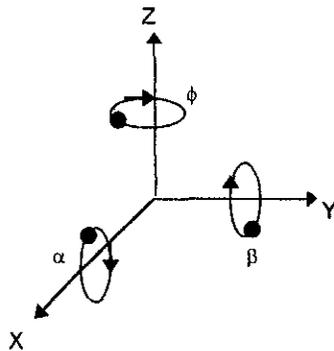


Fig 2 10 Rotaciones de un Punto con Respecto a los Ejes Coordenados

Tomando como referencia la figura 2.10, la rotación de un punto con respecto al eje de coordenadas  $Z$  ésta representada por el ángulo  $\phi$ , con lo que su matriz de transformación se expresa de la siguiente forma:

$$R_{\bar{\varphi}} = \begin{bmatrix} \text{COS } \phi & \text{SEN } \phi & 0 & 0 \\ -\text{SEN } \phi & \text{COS } \phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{ecu. (2.13)}$$

Como se puede apreciar en la ecuación anterior, el valor de la coordenada del eje  $Z$  no se ve afectado.

La rotación de un punto con respecto al eje  $X$  está representado por el ángulo  $\alpha$  y su matriz de transformación queda:

$$R_{\bar{\alpha}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{COS } \alpha & \text{SEN } \alpha & 0 \\ 0 & -\text{SEN } \alpha & \text{COS } \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{ecu. (2.14)}$$

Finalmente la matriz de transformación para la rotación de un punto con respecto al eje  $Y$  se expresa de la forma:

$$R_{\bar{\beta}} = \begin{bmatrix} \text{COS } \beta & 0 & -\text{SEN } \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \text{SEN } \beta & 0 & \text{COS } \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{ecu. (2.15)}$$

### 3. TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES.

En la Percepción Remota existen varios métodos para la clasificación o procesamiento de imágenes; sin embargo, en este trabajo sólo nos enfocaremos al estudio de las técnicas clásicas de clasificación supervisada, las cuales llevan por nombre “Máxima Verosimilitud”, “Paralelepípedos” y “Mínima Distancia”.

Antes de continuar con la explicación de lo que es una clasificación supervisada, cabe aclarar que la definición coloquial de la palabra clasificación, nos indica identificar objetos bajo determinados criterios. Adecuando dicha definición a nuestro propósito en particular, podemos decir que la clasificación de imágenes en la Percepción Remota, **implica reconocer las características y tendencias espectrales de cada uno de los componentes de la imagen (píxeles), ordenándolos de acuerdo con dichas características, en lo que se denominan clases, las cuales han sido previamente determinadas por el analista.**

#### *3.1 Clasificación Supervisada.*

La Clasificación Supervisada es un procedimiento frecuentemente empleado para el análisis cuantitativo y cualitativo de la información contenida en las imágenes digitales. Este análisis se lleva al cabo a través de algoritmos basados en un conocimiento a priori de la imagen y/o en modelos de distribución probabilística adecuados a las clases de interés, por lo que se hace necesario dividir el espacio multiespectral de la imagen en regiones específicas.

Independientemente del algoritmo empleado en este tipo de clasificación, los pasos generales son:

- 1. Seleccionar el número deseado de clases** de acuerdo con la aplicación; es decir, se divide la imagen en zonas visiblemente diferentes y de las cuales se tiene un conocimiento a priori de sus características espectrales.

**2. Se obtienen muestras (Trainings<sup>2</sup>),** por lo menos una por cada una de las clases en las que se halla dividido la imagen para su estudio; sin embargo, entre mayor sea el número de trainings seleccionados y distribuidos equitativamente en toda la imagen, para cada una de las clases, el resultado de la clasificación será más preciso. Cada training debe estar formado de por lo menos  $n+1$  pixeles<sup>3</sup>, donde  $n$  es número de bandas espectrales que conforman a la imagen. En la práctica se emplean de  $10n$  a  $100n$  pixeles en cada muestra.

Una vez obtenidos los trainings de cada clase, se debe verificar que su función de Densidad de Distribución de los datos contenidos en la muestra presenten un comportamiento Normal; es decir, que la función de densidad tenga una Distribución Normal. La verificación del comportamiento de los trainings seleccionados, se lleva al cabo por inspección visual de los histogramas de frecuencia, de no tener una distribución normal se tendrán que volver a seleccionar los trainings de la clase que no cumplan con esta condición.

**3. Se estiman los parámetros de clasificación** necesarios de acuerdo con los modelos probabilísticos usados o a las ecuaciones que definen la partición del espacio multispectral. Por ejemplo, para el método de Máxima Verosimilitud, los parámetros a obtener son la media y la varianza, denotados por  $\mu$  y  $\sigma^2$  respectivamente.

Empleando una determinada clasificación de muestreo, **se etiquetan o clasifican los pixeles** de la imagen dentro de alguna de las particiones establecidas. Cuando se presenta el caso de pixeles con valores atípicos, se recomienda crear tantas clases como sea necesario o crear sólo una clase en donde se asignarán dichos tipos de pixeles.

**4. Elaborar la presentación de los resultados** de la clasificación por medio de imágenes, tablas o mapas temáticos.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques representativo del algoritmo general de la clasificación supervisada de imágenes digitales.

---

<sup>2</sup>Training.: conjunto de pixeles representativos, empleados para determinar los parámetros necesarios en la clasificación.

<sup>3</sup> Lillesand/Kiefer "Remote Sensing and Image Interpretation".

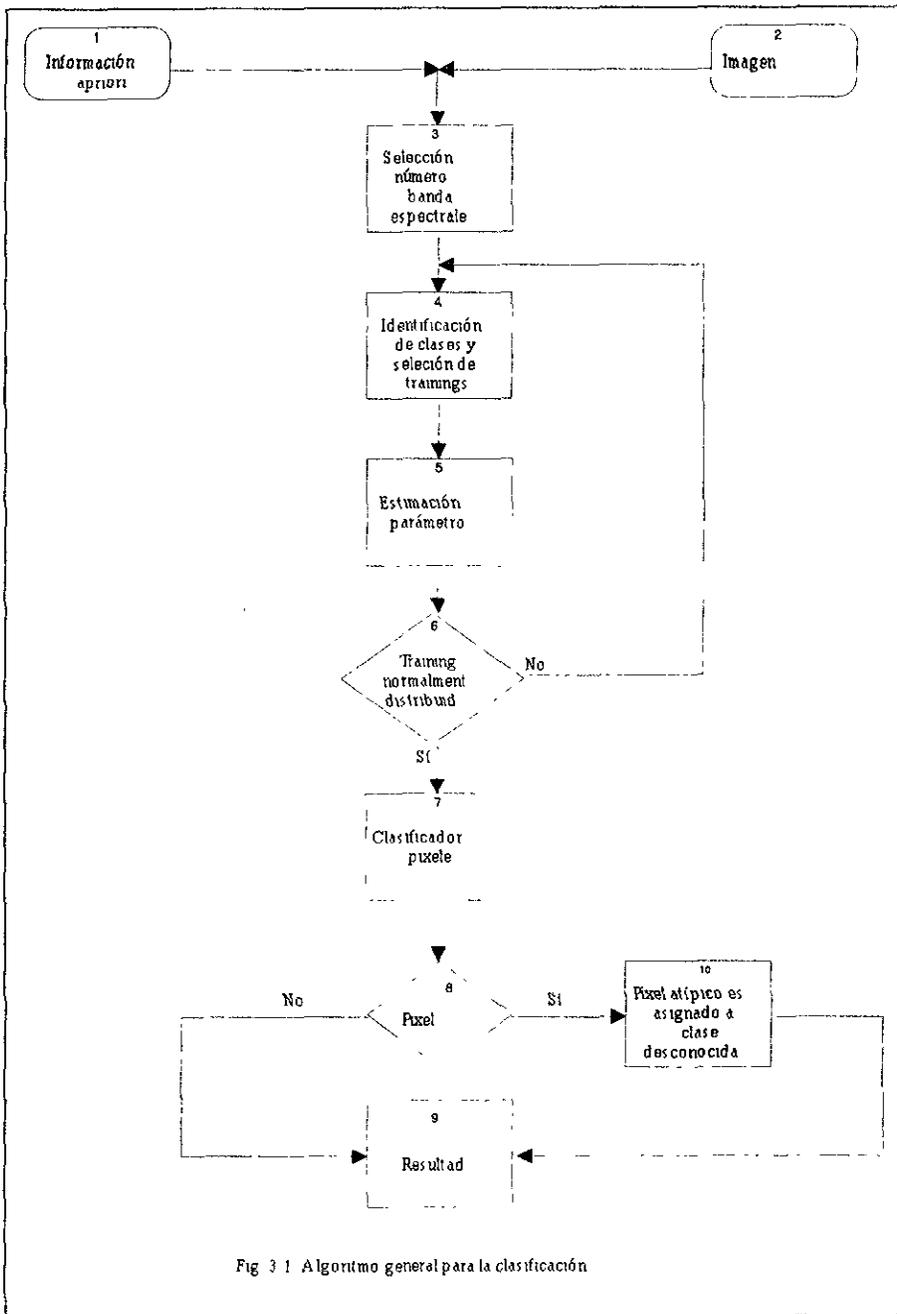


Fig 3 1 Algoritmo general para la clasificación

### 3.2 Algoritmo de Máxima Verosimilitud.

La base teórica de este algoritmo es el teorema de Bayes, lo que implica una clasificación probabilística. Este método se recomienda emplearlo cuando se tienen pixeles con características espectrales semejantes a dos o más clases, debido a que se requiere determinar con la mayor precisión posible el comportamiento de los valores de los pixeles de una banda espectral, con respecto a las demás bandas.

Los parámetros estadísticos que se deben estimar para cada una de las clases espectrales son la media ( $\mu$ ) y la covarianza ( $\sigma^2$ ). En el caso de una imagen multi-espectral, la media se podrá visualizar como un arreglo de valores medios de cada una de las bandas espectrales que conforman la imagen o bien con las que se desea realizar la clasificación, mientras que la covarianza se representa como una matriz de magnitudes donde estas magnitudes expresan las variaciones de los pixeles que hay entre dos bandas o canales del conjunto de datos seleccionados.

Con la ayuda de información preliminar se calcula la probabilidad a priori, esto es, la probabilidad de que ocurra cada una de las clases en las que se quiere clasificar la imagen, de esta forma y empleando el teorema de Bayes, podemos obtener la probabilidad de que un determinado pixel pertenezca a cada una de las diferentes clases. Todo lo anterior se realiza para cada uno de los elementos que conforman la imagen, no obstante, hay que recordar que para una imagen formada con dos bandas espectrales se emplea la *Función Normal Bivariada*, así mismo, si se trata de una imagen multi-espectral se obtendrá por medio de la *Función Normal Multivariada*.

El siguiente paso consiste en aplicar la regla de decisión, la cual nos dice que un pixel pertenece a la clase en donde se obtuvo una mayor probabilidad, empleando el teorema de Bayes, lo anterior se expresa como (ecuación 3.1):

$$X \in W_i \quad \text{Si} \quad P(X/W_i)P(W_i) > P(X/W_j)P(W_j) \quad \forall j \neq i \quad \text{ecu. (3.1)}$$

donde  $W_i$  es la clase y  $X$  es cada uno de los elementos de la imagen.

### 3.3 Algoritmo de Paralelepípedos.

El algoritmo de Paralelepípedos es una clasificación supervisada determinística muy simple, para aplicar este método lo único que se necesita es determinar los límites de los *clusters* en el histograma n-dimensional que forman la posición de los trainings. Donde un

*cluster* es un conjunto de píxeles definidos dentro de un training y que abarca todas las bandas espectrales que conforma la imagen, describiendo de esta forma un paralelogramo. La figura 3.2 nos muestra un ejemplo de la clasificación por paralelepípedos para dos bandas espectrales.

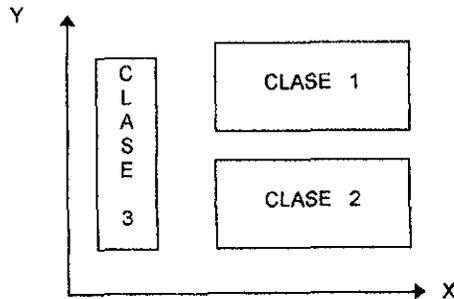


Fig 3 2 Ejemplo de Paralelepípedos en Dos Dimensiones

La clasificación se realiza por medio de una inspección visual, en la cual se observa si los dos valores del píxel (tratándose de un caso de dos dimensiones), están dentro del paralelogramo que representa a una clase, entonces se concluye que dicho píxel pertenece a esa clase. En el caso de tres dimensiones, el paralelogramo se describirá como una caja, formando de esta manera un paralelepípedo

En este algoritmo generalmente existe un conjunto de píxeles no clasificados, debido a que se presenta una ambigüedad en las clases a las que pueden pertenecer o simplemente no existe una clase a la que puedan ser asignados. Bajo esta situación, lo que se hace es asignarlos a una clase desconocida.

### **3.4. Clasificación por Mínima Distancia.**

La clasificación por Mínima Distancia se utiliza generalmente cuando el número de trainings por clase es limitado. Esta clasificación depende solamente de la posición media de las clases espectrales, lo cual trae consigo una estimación más exacta que utilizar la información proveniente de las covarianzas.

En este tipo de clasificación los trainings son sólo usados para determinar las posiciones medias de cada clase. Aquí un píxel se asigna a la clase cuya posición media

sea más cercana a la posición de éste, es decir, el pixel es asignado a aquella clase que minimice la distancia entre ese pixel y la posición media de dicha clase.

La distancia a la que se hace referencia no es una distancia geográfica, sino espectral y resulta de comparar los ND (Niveles Digitales o Nivel de Grises) de cada pixel con los del centro de las distintas clases para cada una de las bandas que intervienen en el análisis.

Este método de clasificación es más rápido que el de Máxima Verosimilitud, sin embargo, debido a que esta técnica no utiliza los datos de la covarianza, esta clasificación no es tan flexible como podría serlo una técnica más lenta, a partir de esto, el modelo de las clases es simétrico en el dominio del espectro, por lo que en clases muy grandes no se obtendría un buen modelado.

**Para la regla de decisión de esta clasificación se tiene lo siguiente:**

Existen varias formas de medir la distancia espectral entre pixeles y clases, pero la más utilizada es la distancia euclidiana, la cual es representada por la ecuación 3.2.

$$(d_{x,A})^2 = \sum_{k=1}^m (ND_{X,k} - ND_{A,k})^2 \quad \text{ecu. (3.2)}$$

donde  $d_{x,A}$  es la medida de la distancia entre el pixel  $x$  y la clase  $A$ , que se calcula como la raíz cuadrada de la sumatoria de las diferencias entre el ND medio de cada clase  $A$ , para las  $m$  bandas que intervienen en la clasificación. Calculando esta medida para todas las clases, se obtiene el valor  $d_{x,A}$  más pequeño, asignando el pixel a dicha clase. Esto se puede comprender mejor observando la figura 3.3.

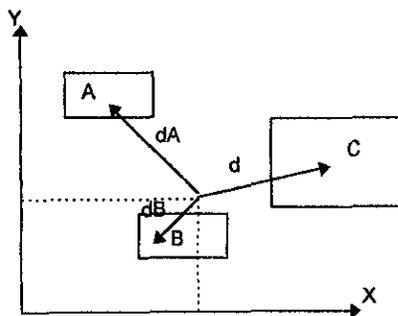


Fig 3.3 Ejemplo de Mínima Distancia en Dos Dimensiones

### ***3.5 Diferencia entre la clasificación de Máxima Verosimilitud y Mínima Distancia.***

La principal diferencia entre la técnica de Máxima Verosimilitud y Mínima Distancia radica en el uso de la información proveniente de la covarianza. Considerando la regla de decisión del clasificador de Mínima Distancia, un pixel pertenece a una clase en particular dependiendo de la distancia que existe entre éste y el valor de la media de dicha clase, sin considerar la dirección de esta media. Por otro lado, la regla de decisión del clasificador de Máxima Verosimilitud realiza esta decisión basándose en la dirección proveniente de la información de la matriz de covarianza. Como resultado de esto, la clasificación por Máxima Verosimilitud generalmente resulta superior que la de Mínima Distancia.

### ***3.6 Comparación de los Métodos de Clasificación.***

Considerando las tres técnicas de clasificación mostradas anteriormente (Máxima Verosimilitud, Mínima Distancia y Paralelepípedos) la clasificación por Paralelepípedos resulta la más rápida, esto se puede observar desde que son comparados los componentes espectrales de cada pixel.

En la regla de decisión del método de Mínima Distancia (ecuación 3.2) se requiere realizar una evaluación para cada pixel. En la práctica  $2m_i$  y  $m_i \cdot m_i$  podrían ser calculados de antemano, por lo que se tendrían,  $N$  multiplicaciones y  $N$  sumas para verificar la potencia de cada pixel en una clase, donde  $N$  es el número de componentes en 'x'.

Por otro lado, en la regla de decisión de máxima verosimilitud (ecuación 3.1) se requiere  $N^2+N$  multiplicaciones y  $N^2+2N+1$  sumas para verificar si un pixel pertenece o no a una clase, dado que (ecuación 3.3).

$$-1/2 \ln |\hat{\Sigma}_i| + \ln p(w_i) \quad \text{ecu. (3.3)}$$

pero esto podría ser calculado de antemano.

Ignorando las sumas al comparar, ésta se realizará sólo por medio de multiplicaciones; la clasificación por Máxima Verosimilitud toma  $N+1$  tiempos al igual que la clasificación por Mínima Distancia. Esto significa que el tiempo de clasificación y de costo, se incrementan cuadráticamente con el número de componentes espectrales para la clasificación por Máxima Verosimilitud y linealmente para la clasificación por Mínima Distancia y Paralelepípedos

### **4. Análisis del Sistema.**

El análisis del sistema define el papel de cada uno de los elementos que integran un sistema de tecnología de información y proporciona las bases para la toma de decisiones con respecto a la viabilidad de realizar o no un proyecto de acuerdo con las necesidades planteadas por los usuarios.

#### ***4.1 Definición del problema.***

Los alumnos de la Maestría en Planeación del área de Percepción Remota de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI) de la UNAM necesitan contar con una herramienta que les permita reafirmar los conceptos que intervienen en la clasificación de imágenes digitales en el estudio de la Percepción Remota.

Por tal motivo es necesario implantar un sistema que permita al estudiante realizar la clasificación de imágenes digitales de satélite orientado a la Percepción Remota, con el cual se pueda reconocer el tipo de superficies o áreas geográficas que conforman la imagen de una manera fácil, confiable y que además emita informes adecuados a los requerimientos de los planes de estudio de dicha Maestría.

#### ***4.2 Soluciones propuestas.***

Conociendo los recursos con los que cuentan los alumnos de la DEPFI y sus necesidades académicas se tienen contempladas las siguientes soluciones.

##### **◆ Alternativa I.**

Diseñar el sistema para que trabaje sobre computadoras personales (386/sx o superiores, 4 MB de RAM, 120 MB en Disco Duro, monitor VGA de 640 x 480) y bajo un ambiente amigable a los usuarios, tal como lo es Windows, apoyándose principalmente en una de sus utilerías para gráficos llamada GDI (Graphics Design

Interface), las cuales se encuentra dentro del API<sup>4</sup> (Application Programming Interface).

◆ Alternativa II.

Implantar el sistema de tal forma que sea utilizado en ambiente de red, con un sistema operativo UNIX sobre una plataforma SILICON GRAPHICS modelo Indigo, empleando la interfaz gráfica propia de dicha plataforma.

En ambos casos, las rutinas de procesamiento de las imágenes se realizarán en el lenguaje de programación “C++”.

En la siguiente tabla (tab. 4.1) se muestra un análisis comparativo de las características más relevantes de los equipos donde se sugiere desarrollar el sistema (Pc's y Silicon Graphics).

PROPIEDAD	SILICON GRAPHICS	COMPUTADORAS PERSONALES
Capacidad de Procesamiento	Mayor	Menor
Resolución Gráfica	Mayor	Menor
Utilerías Gráficas	Mayor	Menor
Disponibilidad del Equipo		
Desarrollo	Menor	Mayor
Uso	Menor	Mayor
Costo	Mayor	Menor
Tiempo de Desarrollo	Mayor	Menor

Tabla 4.1 Análisis Comparativo Entre Equipos.

Una vez concluido con el análisis comparativo y observado las ventajas y desventajas de cada una de las soluciones presentadas que surgen a partir de éste, se llegó a la

<sup>4</sup>API (Application Programming Interface) es el conjunto de todas las utilerías disponibles dentro de las aplicaciones Windows

conclusión de que el sistema se desarrollará bajo lo establecido en la primera alternativa; es decir, el sistema podrá ser ejecutado desde computadoras personales.

#### ***4.3 Descripción del sistema.***

El sistema estará formado de dos módulos, uno de entrada/salida de datos y uno más de procesamiento de información.

El primer módulo será el encargado de recabar y validar todos los datos necesarios para clasificar la información contenida en las imágenes digitales, además será capaz de presentar los resultados de dicha clasificación de manera gráfica, tanto en video como en papel.

El módulo de procesamiento de información realiza las operaciones lógicas y matemáticas necesarias para llevar al cabo el análisis de la información.

#### ***4.4 Análisis del sistema.***

El sistema requerirá como datos de entrada una imagen digital de satélite e información a priori de la zona geográfica que comprende la imagen.

En general todas las imágenes de satélite están formadas por bandas espectrales, para que estas bandas puedan ser manejadas dentro del sistema, deberán estar contenidas en un archivo bajo un formato específico (en este caso el formato será Raster). Cuando los archivos que contienen a las bandas espectrales no se encuentren en este formato, se realizará un procedimiento previo, en el cual se extraerá el cuerpo de la información de la imagen y se convertirá a un formato Raster.

Por lo que respecta a la información a priori ésta será proporcionada por el usuario; sin embargo, si el usuario no cuenta con ésta el sistema será capaz de calcularla considerando los teoremas de probabilidad establecidos.

Como se mencionó en el Capítulo Tres el método de clasificación se encarga de determinar el tipo de zona geográfica de la imagen que se está procesando de acuerdo con la información a priori y con los parámetros que se estén utilizando, es por ello que en el sistema se deberán obtener y validar los parámetros propios del método de clasificación

que se esté utilizando. La validación de estos parámetros la realizará el usuario tras la visualización de gráficas, las cuales mostrarán el comportamiento de dichos parámetros.

A partir de la imagen original proporcionada como un parámetro de entrada, el sistema generará una imagen clasificada, en donde se mostrarán las diferentes clases de objetos encontradas en ella. Sin embargo, dentro de esta imagen clasificada no podrán ser observados los aspectos y/o formas físicas de la imagen original; es decir, la imagen clasificada se presentará como un mapa temático.

Este sistema deberá ser utilizado en una computadora personal con una interfaz gráfica que facilite la interacción del sistema con el usuario.

Se propone que el desarrollo del sistema se realice mediante el lenguaje de programación C, debido a que éste nos permite crear aplicaciones gráficas para ambiente Windows de manera rápida, sencilla, eficiente y económica, gracias a que C++ tiene el poder y la flexibilidad del lenguaje C, maneja la interfaz de hardware y software, ofrece una administración óptima de memoria dinámica y lo más importante es un lenguaje orientado a objetos.

#### **4.5 Diseño del Sistema.**

El sistema será denotado por las siglas SCIPR, las cuales representan las iniciales de las siguientes palabras **Sistema de Clasificación de Imágenes para Percepción Remota**. El sistema constará de dos módulos como se muestra en la figura 4.1.

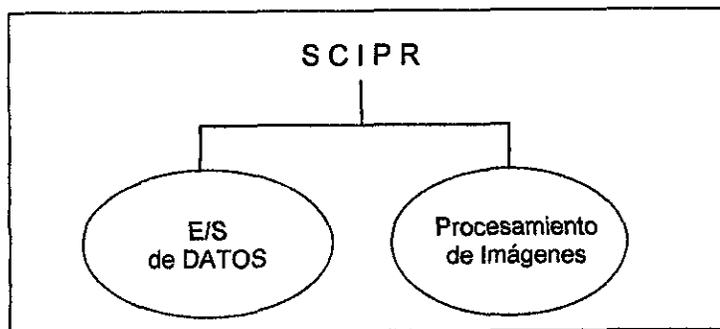


Fig. 4.1 Módulos del SCIPR (Sistema de Clasificación de Imágenes para Percepción Remota).

El primer módulo será el de Entrada y Salida de Datos; es decir, este módulo será la Interfaz Gráfica mediante la cual se realizará la interacción con el usuario. En este módulo además de recibir los datos de entrada (imagen digital e información a priori), se mostrarán los resultados de la clasificación, así como también se validará el comportamiento de los parámetros requeridos por el Método de Clasificación.

El segundo módulo realizará el Procesamiento de la Imagen; es decir, los programas que se utilizarán en esta fase realizan los cálculos probabilísticos, estadísticos y matemáticos que se requieren para llevar a cabo la clasificación de la imagen.

Para la construcción del sistema SCIPR se tienen contemplados cuatro submódulos los cuales se presentarán como un menú tradicional de Windows (figura 4.2) y serán descritos a continuación:

1. Archivo.
2. Ver.
3. Clasificación.
4. Ayuda.

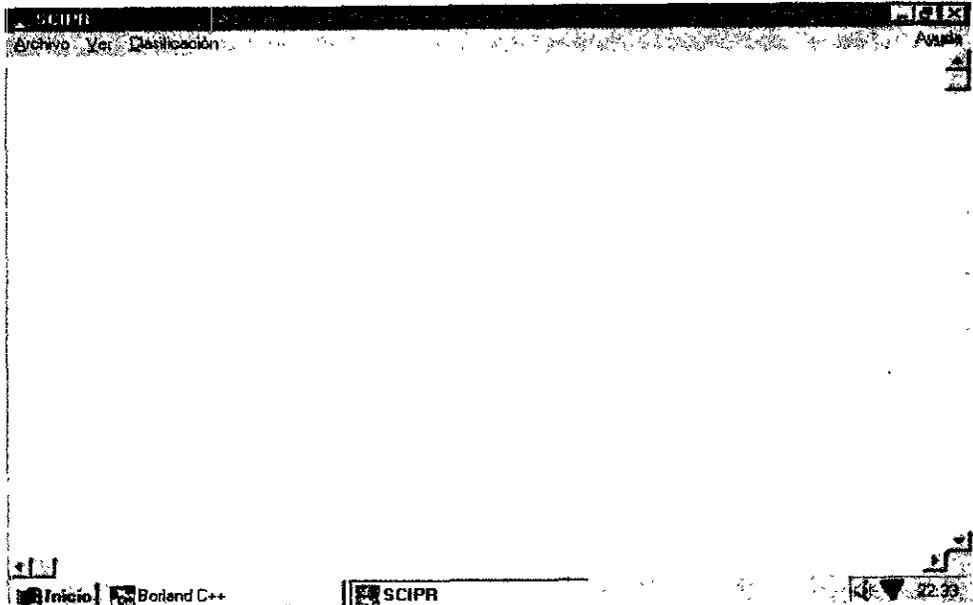


Fig. 4.2 Pantalla del Menú del SCIPR.

Mediante el submódulo de **Archivo** el usuario podrá interactuar con el sistema e introducir información requerida para la clasificación de la imagen, las tareas que conformarán este submódulo son (figura 4.3):

- ◆ Abrir
- ◆ Cerrar
- ◆ Salvar
- ◆ Información
- ◆ Detalles
- ◆ Salir

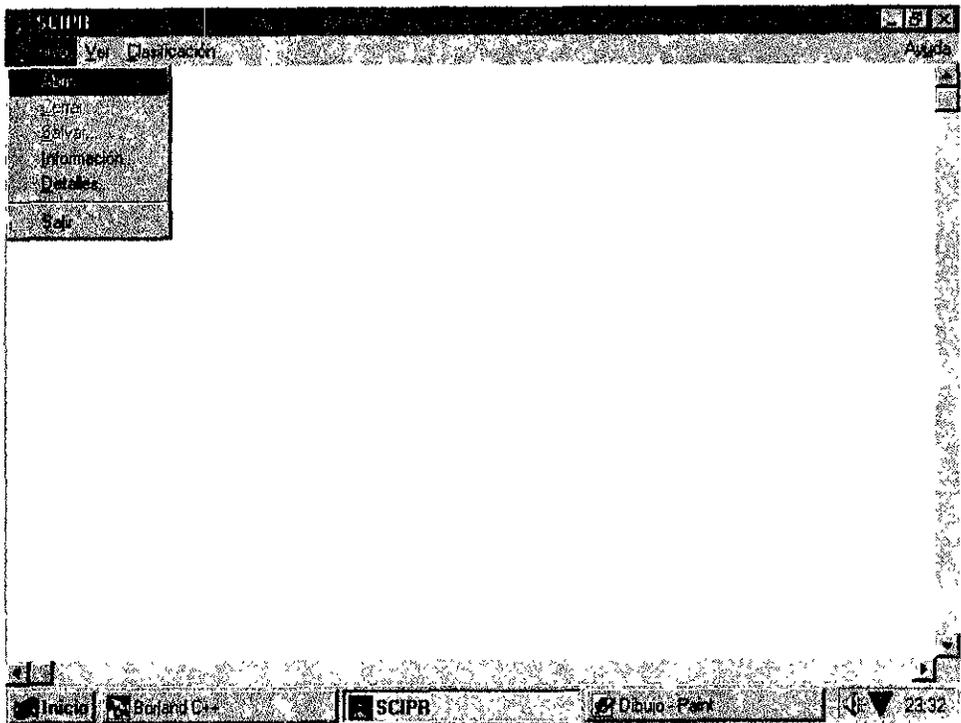


Fig. 4.3 Pantalla que muestra las tareas del Submódulo Archivo.

**Abrir (figura 4.4):** permitirá seleccionar el nombre del archivo de alguna de las bandas espectrales que conforman la imagen que será clasificada, con el fin de cargar en la memoria de la computadora dicho archivo. Una vez seleccionado el archivo deseado se validará que la imagen se encuentre en alguno de los siguientes formatos: BMP, PCX, GIF, TIF y RASTER, la extensión que identifica a este formato es **.IMA**.

Al abrir una imagen bajo el formato RASTER es necesario introducir las dimensiones de ésta (figura 4.5) con el fin de determinar el tamaño de la matriz que se utilizará para realizar el proceso de clasificación.

El sistema debe contemplar la posibilidad de que los archivos se encuentren almacenados en cualquiera de las unidades de disco disponibles dentro del sistema de cómputo. Dentro de esta tarea se debe contar con las siguientes opciones:

- ◊ *Cancelar* la operación. No se cargará ninguna imagen aunque haya sido seleccionada.
- ◊ *Abrir*. Una vez seleccionado el archivo que se utilizará, esta opción lo cargará a la memoria de la computadora (figura 4.6).

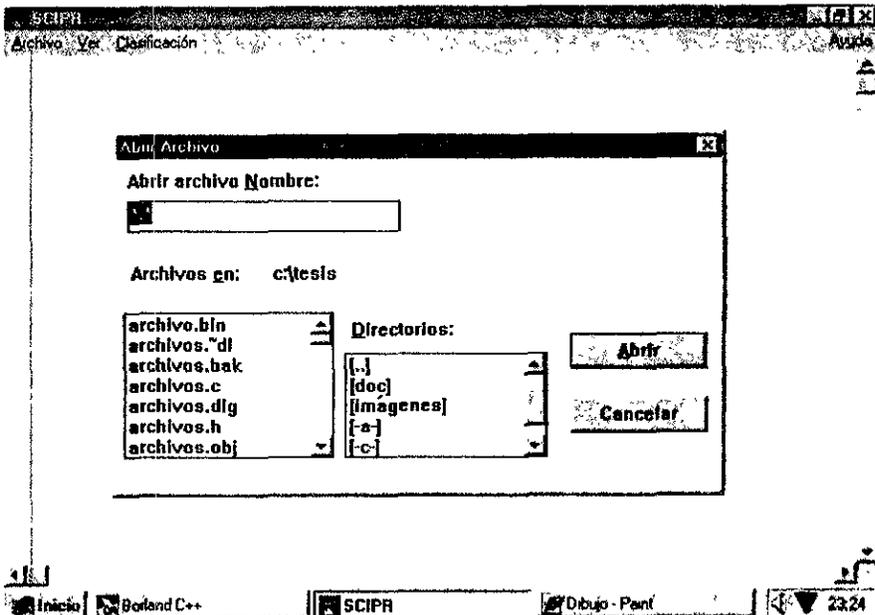


Fig. 4.4 Pantalla del Sistema utilizando la Tarea Archivo.

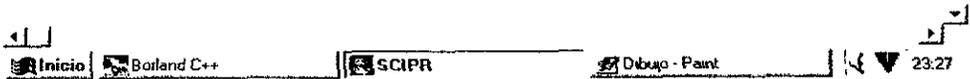
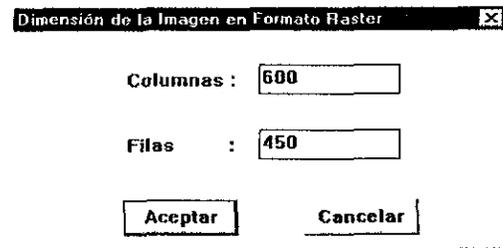


Fig. 4.5 Pantalla del Sistema para definir la dimensión de la matriz.

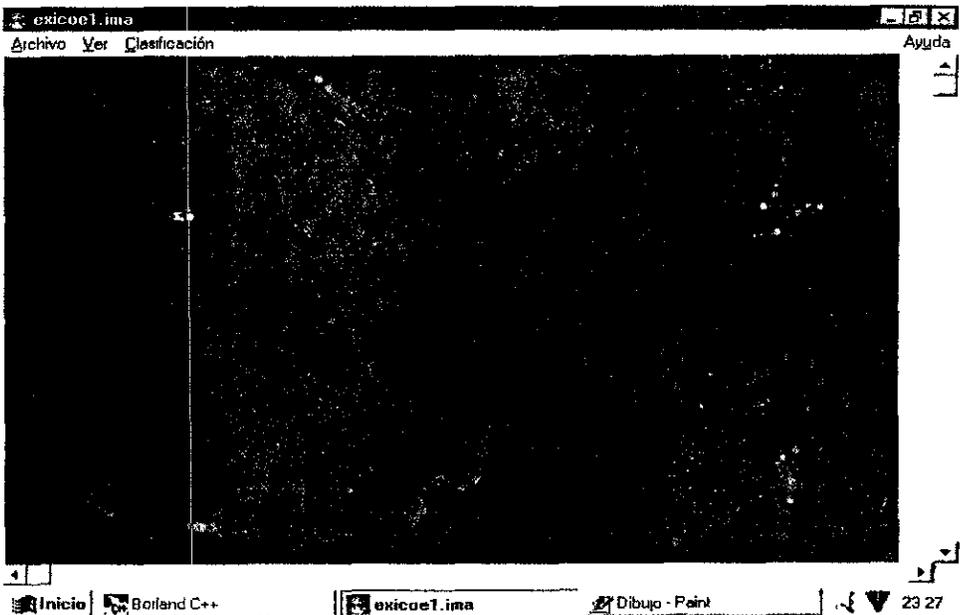


Fig 4 6 Pantalla del Sistema una vez cargada la imagen.

Cerrar (figura 4.7) liberará la memoria de la computadora del archivo que se había seleccionado previamente

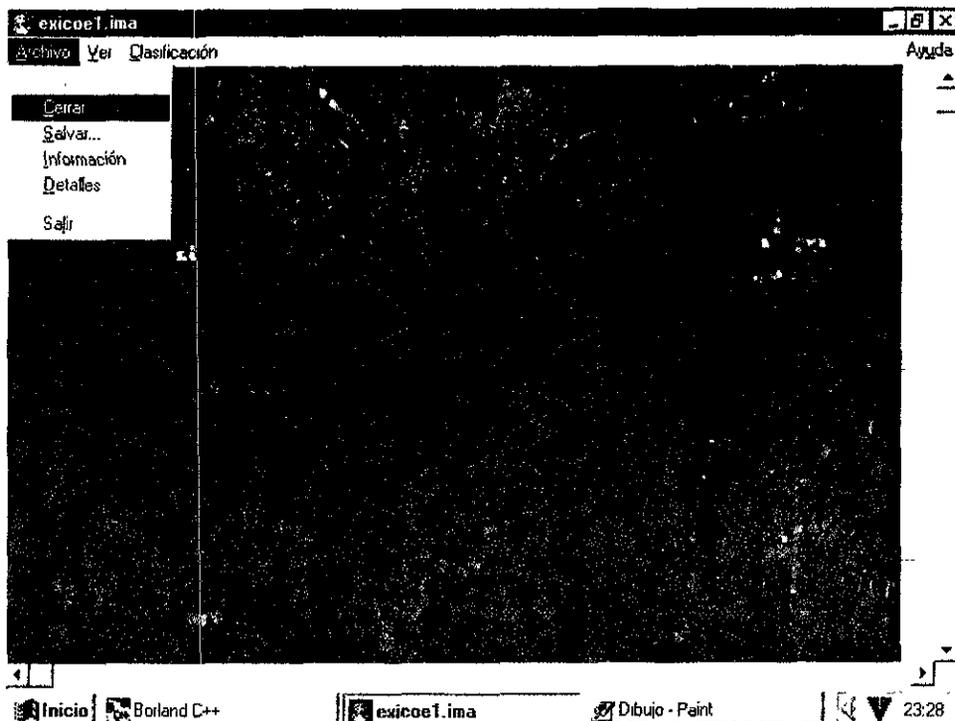


Fig 4.7 Pantalla del Sistema utilizando la tarea Cerrar.

Salvar (figura 4.8): almacenará la imagen activa con el nombre, formato, subformato y en el directorio que el usuario determine. Las opciones de esta tarea serán:

- ◇ *Cancelar* la operación. No se almacenará la imagen.
- ◇ *Salvar*. La imagen que se tiene cargada bajo los criterios definidos por el usuario será almacenada.

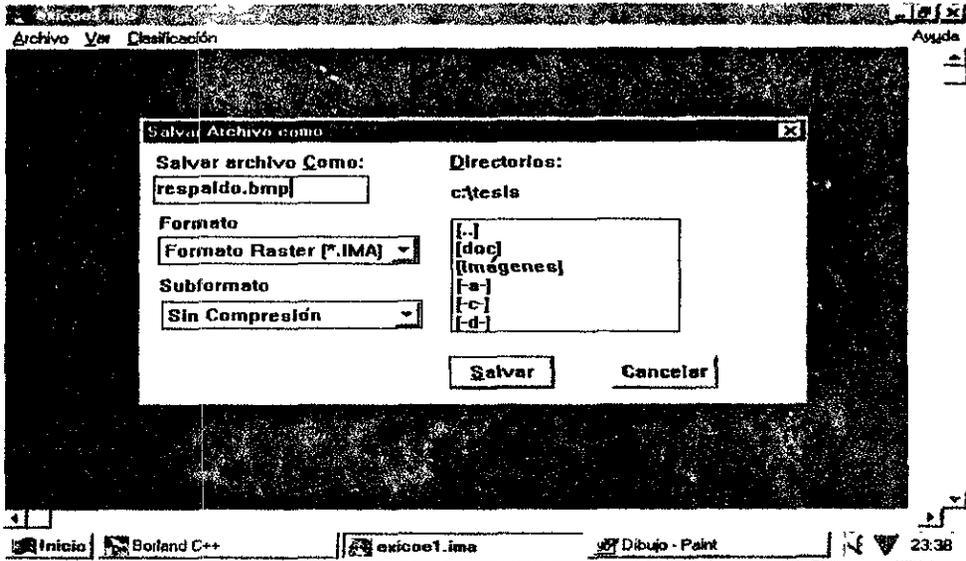


Fig. 4.8 Pantalla del Sistema mostrando las características de Salvar.

Información (figura 4.9): proveerá el nombre, dimensión, número de colores, tamaño, formato, subformato y algunos comentarios de la imagen, así como el tamaño del archivo.

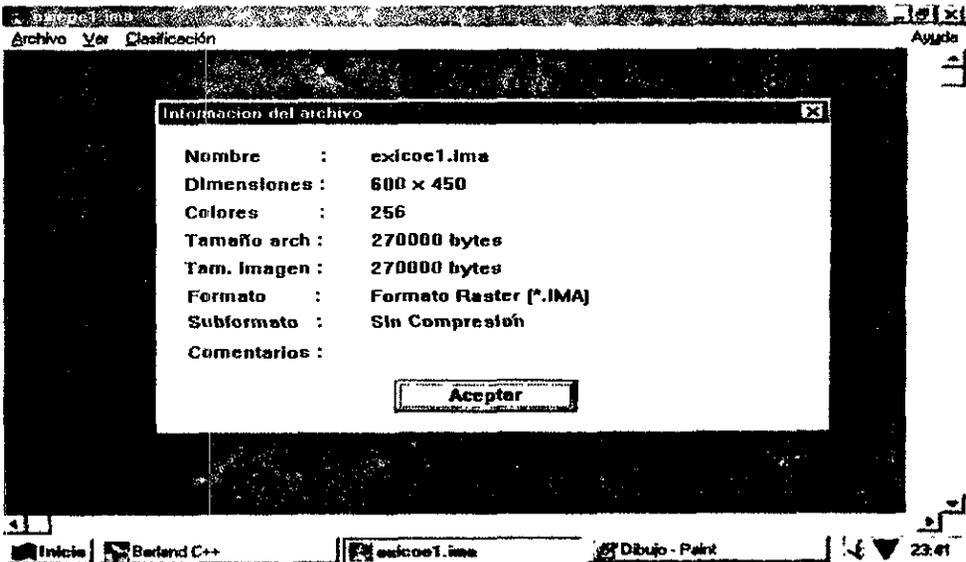


Fig. 4.9 Pantallas del Sistema utilizando la Tarea Información.

Detalles de la imagen (figura 4.10): los cuales se mostrarán si es que el formato en el que se encuentra ésta los contempla.

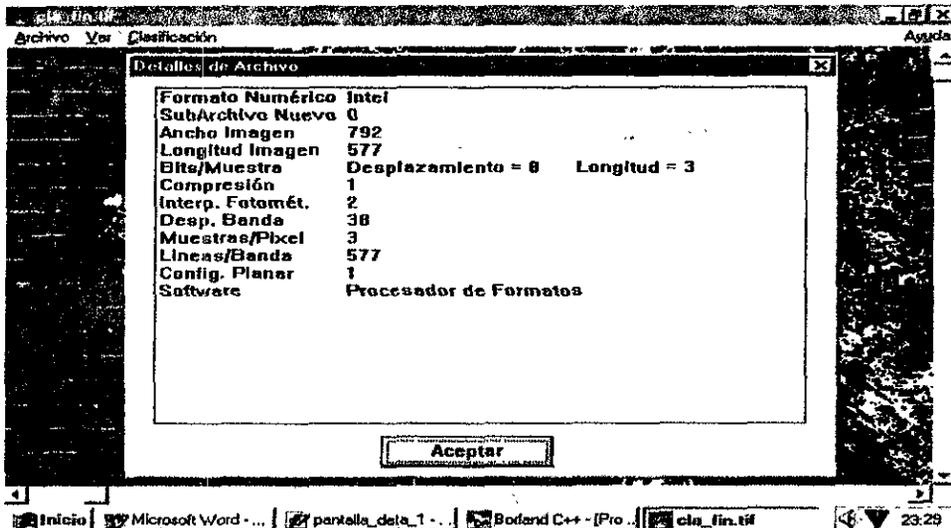


Fig. 4.10 Pantallas del Sistema utilizando la Tarea Detalles.

Salir (figura 4.11): cerrar la aplicación si el usuario así lo desea y éste se quedará trabajando en el ambiente de Windows.

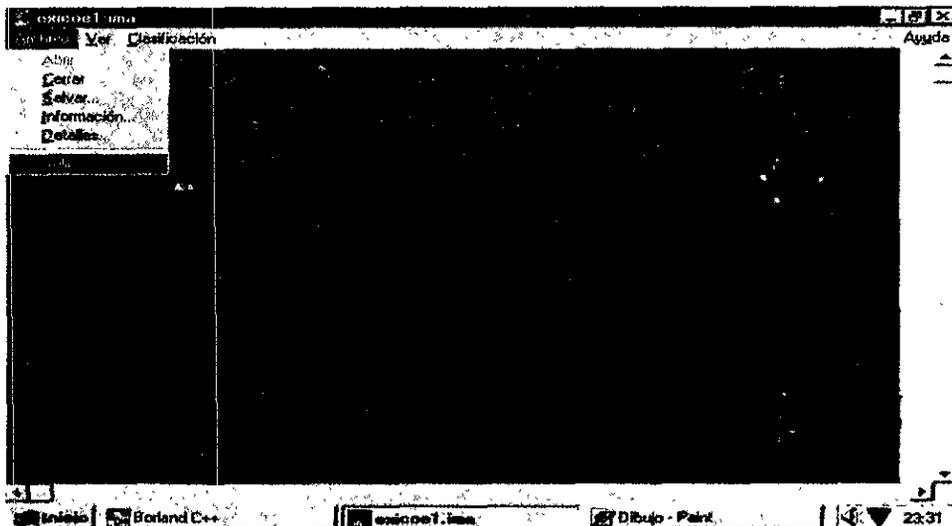


Fig. 4.11 Pantalla del Sistema utilizando la Tarea Salir.

En el submódulo de **Ver** se podrá cambiar la paleta de colores en el que aparece la imagen, con el fin de facilitar la visualización de ésta en zonas específicas. Las tareas de que constará este submódulo se explican a continuación (figura 4.12).

- ◆ Tonalidades de Gris
- ◆ Arco Iris
- ◆ Arco Iris Inverso

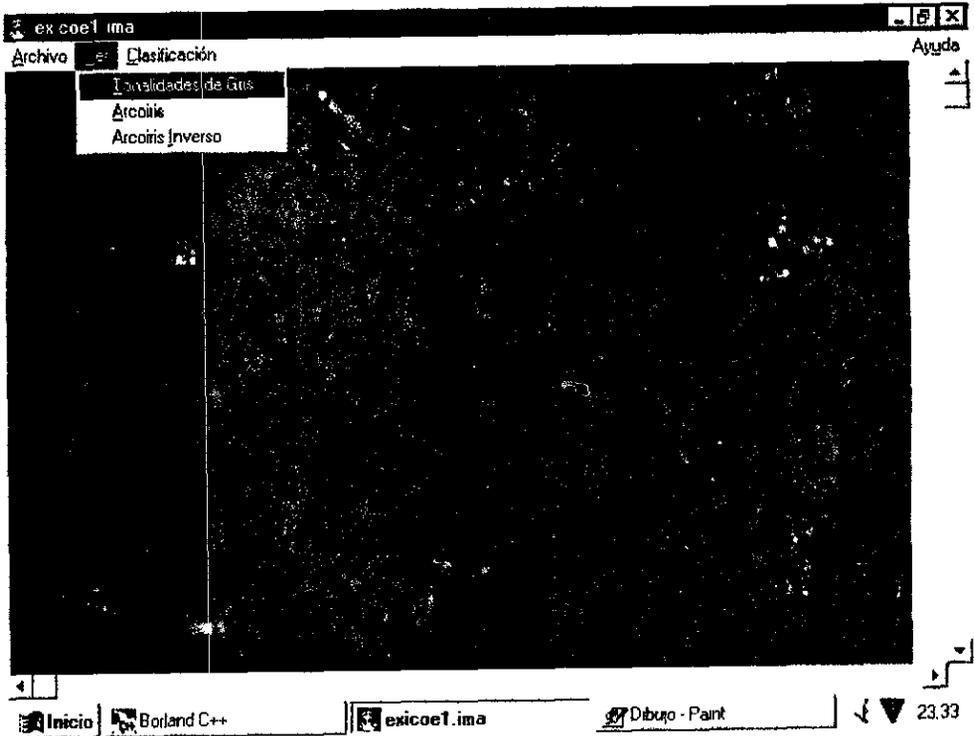


Fig 4.12 Pantalla que muestra las tareas del submódulo Ver

Tonalidades de Gris (figura 4.13): permitirá visualizar la imagen en una paleta de colores con tonalidades de grises.

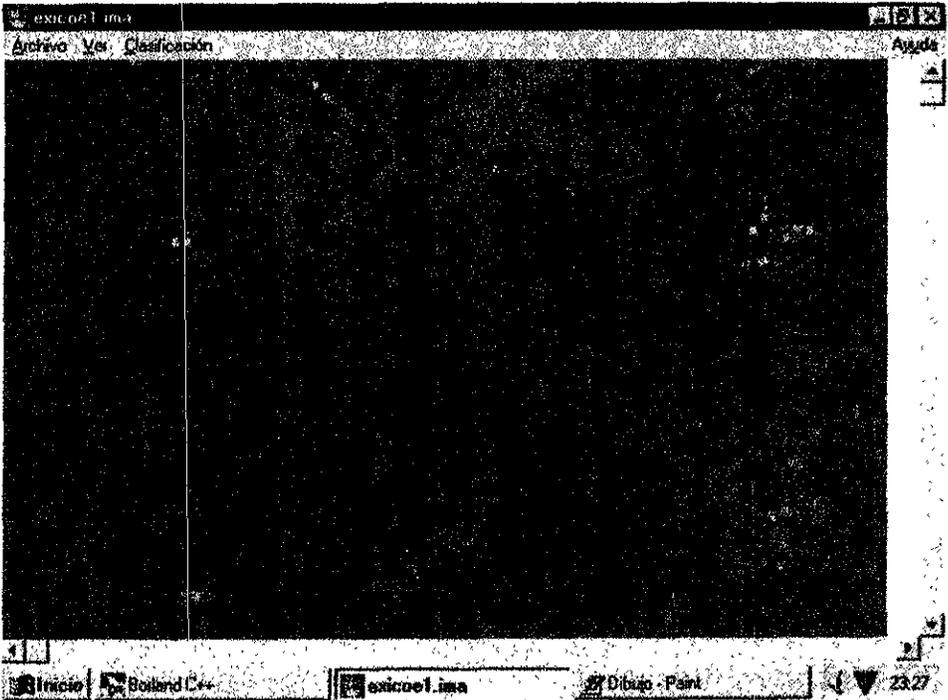


Fig. 4.13 Pantalla que muestra la tarea de Tonalidades de Gris.

Arco Iris (figura 4.14) mostrará la imagen bajo una paleta de colores del arco iris.



Fig. 4.14 Pantalla que muestra la tarea de Arco Iris.

Arco Iris Inverso (figura 4.15): presentará la imagen con una paleta de colores inversos a los del arco iris.



Fig. 4.15 Pantalla que muestra la tarea de Arco Iris Inverso.

El submódulo de **Clasificación** con el que contará el sistema tendrá como función realizar la clasificación supervisada de la imagen que se desee. Las tareas con las que contará este submódulo para llevar al cabo su objetivo se describen en seguida (figura 4.16).

- ◆ Selección de Bandas
- ◆ Obtener Training
- ◆ Despliegue del Histograma
- ◆ Ver Banda
- ◆ Clasificar Imagen

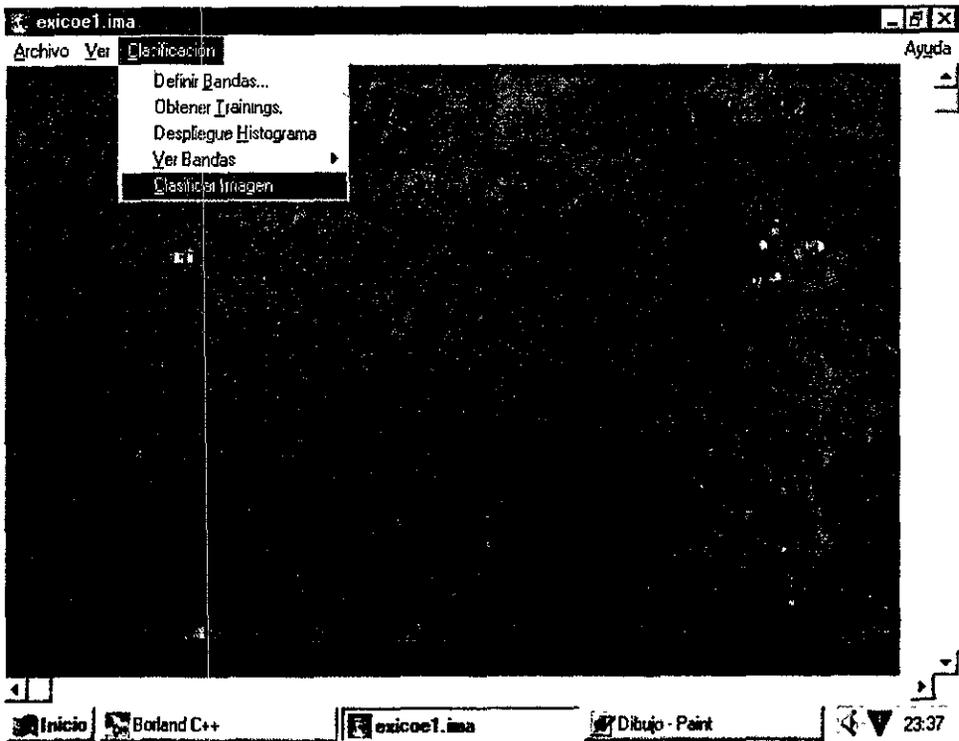


Fig. 4.16 Pantalla que muestra las tareas del submódulo Clasifica.

Selección de Bandas (figura 4.17): el sistema proveerá al usuario una pantalla en donde éste indique las bandas espectrales que integran la imagen y que intervendrán en la clasificación de ésta. El número máximo de bandas espectrales que consideraremos en este trabajo son cinco. Cabe mencionar que las bandas espectrales estarán almacenadas en un archivo en alguno de los formatos de imágenes que se mencionaron en el capítulo dos. Para esta tarea se contemplarán las siguientes opciones:

- ◇ *Cancelar* la operación. No se seleccionará ninguna banda espectral.
- ◇ *O.K.* Se almacenará en un arreglo el nombre de los archivos que contienen las bandas espectrales seleccionadas.

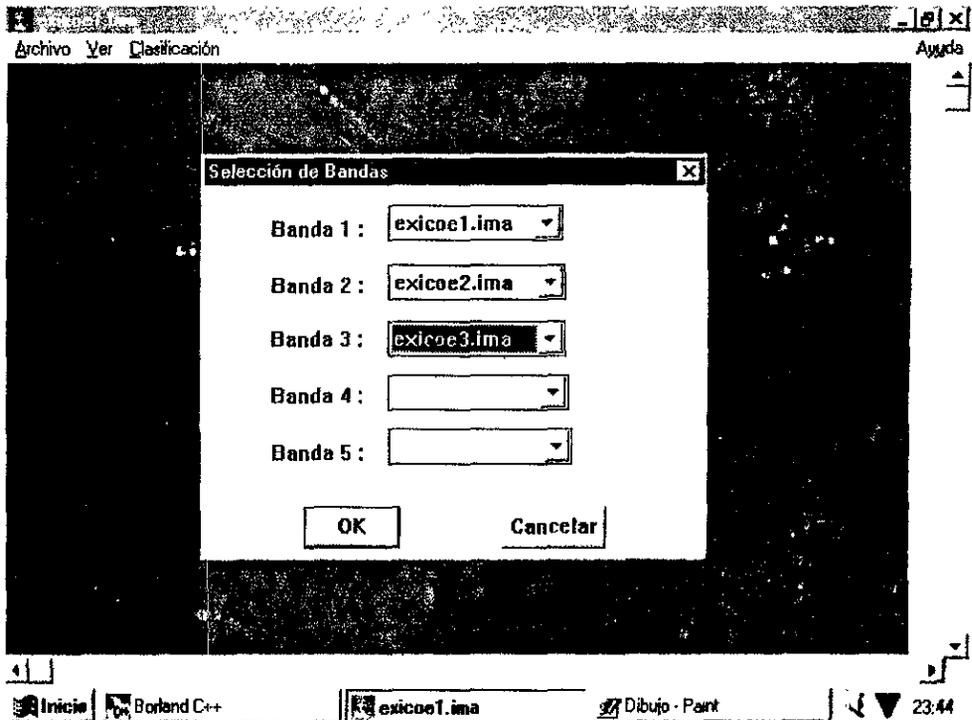


Fig. 4.17 Pantalla que muestra la tarea Selección de Banda

**Obtener Training:** esta tarea tendrá dos funciones, la primera de ellas es permitir al usuario definir el número de clases a partir de las cuales se clasificará la imagen. Para cada una de las clases que se definan se deberá de introducir número, nombre, color característico y la probabilidad a priori (figura 4.18). La segunda función consiste en marcar los píxeles que conformarán los trainings de cada clase definida, éstos se almacenarán en un arreglo matricial (figura 4.19). Las opciones en esta tarea serán:

- ◇ *Cancelar* la operación. La clase que se haya definido no será considerada en el momento de la clasificación y no se podrán seleccionar los trainings de la clase.
- ◇ *O.K.* La información de la clase definida y los valores de cada training serán almacenados y tomados en cuenta en el proceso de la clasificación.

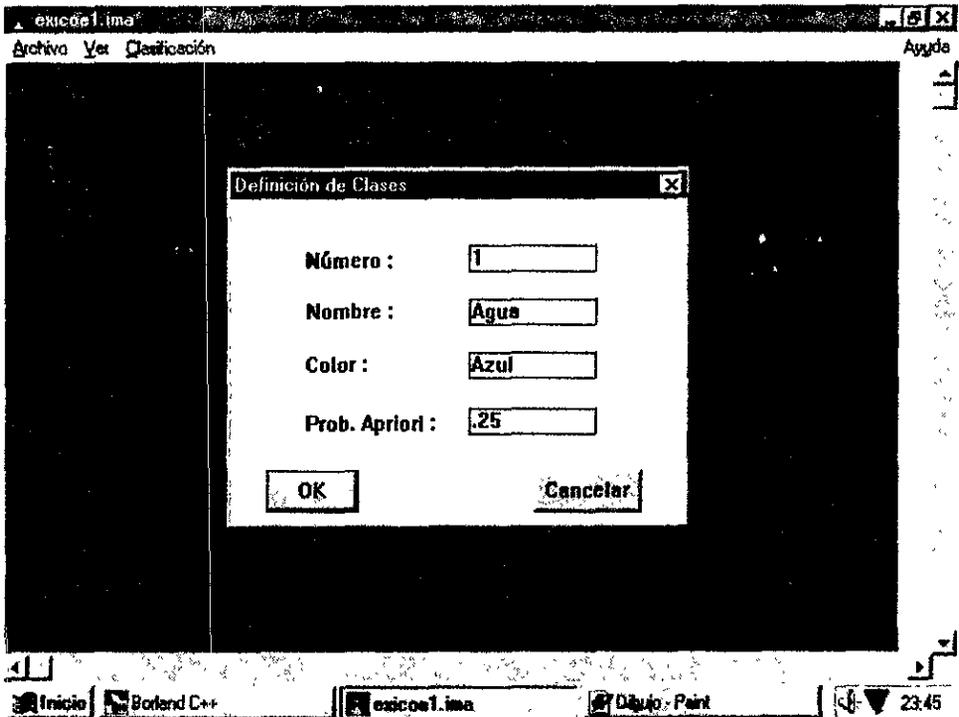


Fig. 4.18 Pantalla que muestra la definición de Clases .

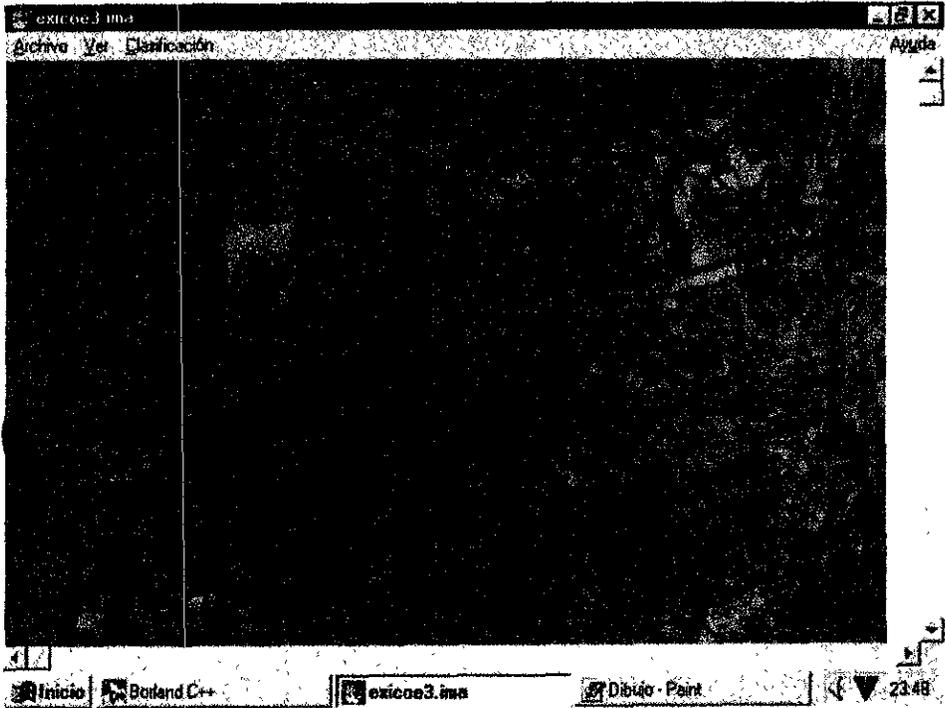


Fig. 4.19 Pantalla que muestra la selección de Trainings.

Despliegue del Histograma (figura 4.20): una vez seleccionados los trainings para cada clase definida se desplegará el histograma de probabilidad y su correspondiente curva normal sobrepuesta, los cuales nos permitirán visualizar el comportamiento de la muestra y si ésta presenta un comportamiento Normal (Campana de Gauss) se procederá con la clasificación de la imagen, en otro caso se deberán tomar de nuevo los trainings de dicha clase.

Ver Banda (figura 4.21): mediante esta tarea podremos observar cada una de las bandas que fueron seleccionadas.

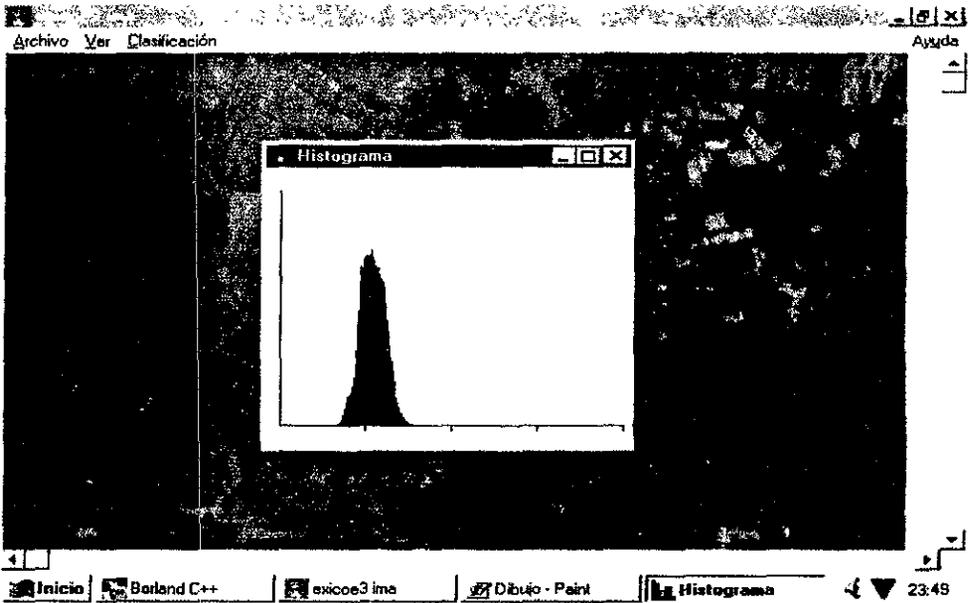


Fig. 4.20 Pantalla que muestra la tarea Despliegue del Histograma .

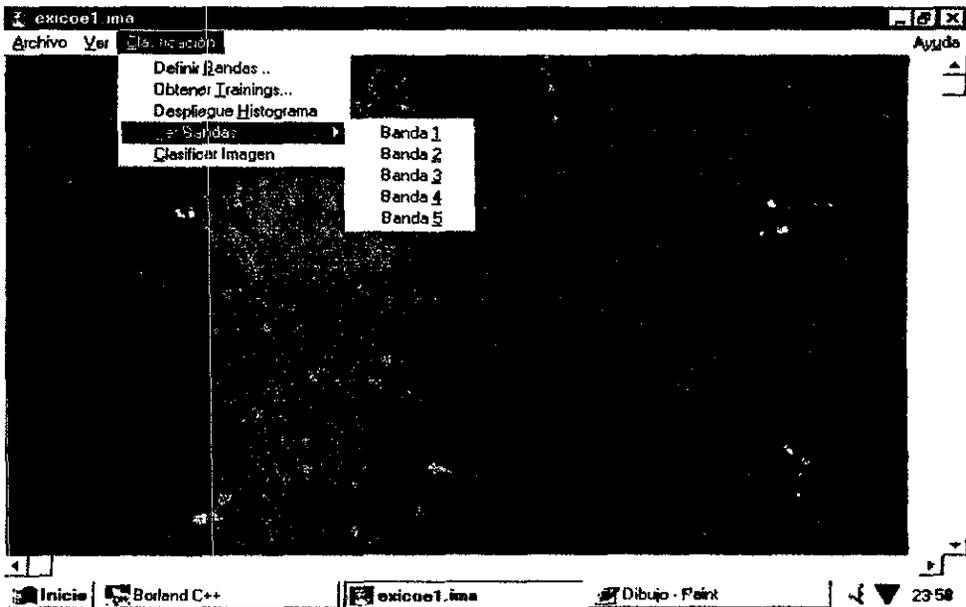


Fig. 4.21 Pantalla que muestra la tarea Ver Banda

Clasificar Imagen (figura 4.22): considerando toda la información definida en las tareas anteriores se procederá a la clasificación de la imagen mediante el método de Máxima Verosimilitud.

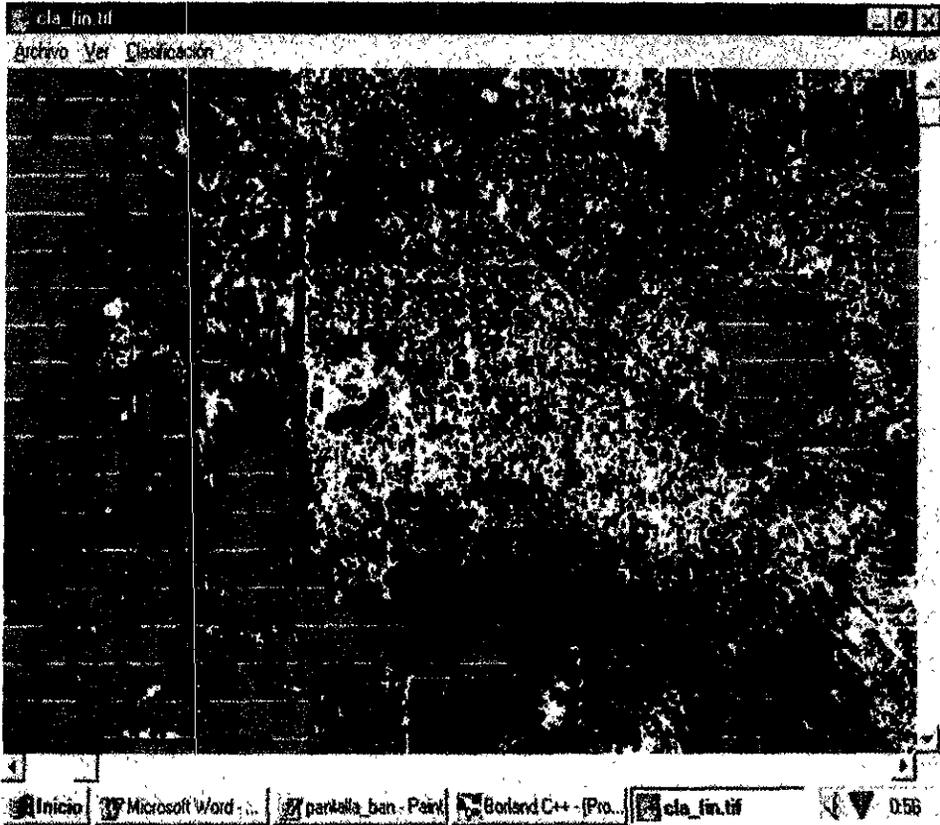


Fig. 4.22 Pantalla que muestra la tarea Clasificar Imagen.

El último submódulo que conformará al sistema será el de **Ayuda**, en donde se desplegará información relevante del sistema. La tarea con la que contará este submódulo se menciona a continuación.

Acerca de (figura 4.23): la información que se presentará contempla el nombre completo del sistema, versión y el nombre del autor de la aplicación.

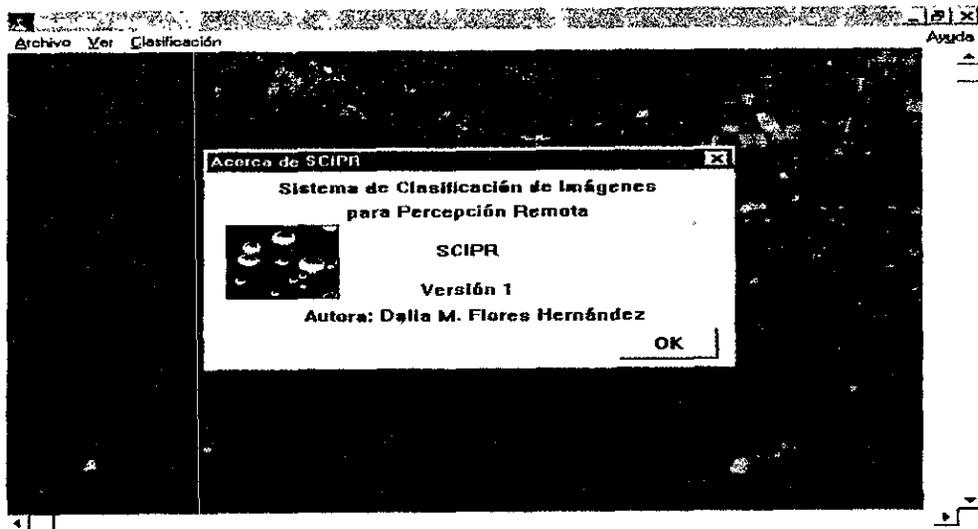


Fig. 4.23 Pantalla que muestra la tarea Clasificar Imagen.

#### 4.6 Tiempos en el Desarrollo del Sistema.

En la tabla 4.2 presentamos los tiempos estimados y reales en los que se llevarán a cabo cada una de las tareas que conforman al sistema.

Nombre de las Tareas	Tiempo Estimado (Semanas)	Tiempo Real (Semanas)
Entrevista	1	1
Descripción del sistema	.5	1
Análisis detallado del sistema	1.5	1.5
Especificación de funciones	1	1
Aprobación de las especificaciones del sistema	.5	.5
Planificación del proyecto de software	1	1
Análisis de requerimientos	.5	.5
Construcción de prototipos	2.5	3
Pruebas	1	1
Modificación del prototipo	1	1.5
Prototipo aceptado	.5	.5
Tiempos Totales	11	12.5

Tabla 4.2 Tabla de Estado de Tareas.

#### **4.7 Codificación del Sistema.**

Como ya se mencionó en la sección 4.2 el desarrollo del sistema se realizará bajo el lenguaje de programación C++, por lo que es necesario dar una breve introducción del desarrollo de aplicaciones Windows utilizando dicho lenguaje de programación.

Los lineamientos para la construcción de programas en una plataforma Windows son los mismos que los utilizados en el desarrollo de programas bajo DOS; sin embargo, el archivo objeto difiere de un programa ordinario de DOS porque contiene un código de prólogo y epílogo de Windows, además el editor de enlace (Linker) une los archivos objeto con las bibliotecas y los archivos de definición de los módulos relacionados.

Las aplicaciones en C++ están formadas por cuatro archivos fuente, los cuales se describen a continuación.

- Archivo de Definición : contiene información técnica acerca de la estructura del archivo ejecutable; es decir, este archivo contiene prólogos, epílogos e información de exportación para el compilador; la extensión que los denota es **.def**.
- Archivo de Recursos : contiene las herramientas necesarias para personalizar nuestra aplicación y la extensión de estos archivos es **.rec**.
- Archivo #include : comprende las funciones, parámetros y los valores que el sistema necesita, su extensión es **.h**.
- Archivo Fuente : como su nombre lo dice es el archivo donde se encuentran todas las funciones que se requieren para que la aplicación realice las tareas para la que fue construida, se denotan por **.c**.

Una vez dada esta pequeña introducción, mostraremos el contenido de estos archivos creados para nuestra aplicación.

## \* Archivo SCIPR.def

```
; Archivo de definición para el programa SCIPR

NAME          SCIPR ; Nombre del módulo de la aplicación

DESCRIPTION 'SCIPR'

EXETYPE      WINDOWS ; Requerido para todas las aplicaciones Windows.

PROTMODE

;El código puede ser movido y descargado de la memoria.
CODE PRELOAD MOVEABLE DISCARDABLE

;Los datos deben ser MULTIPLE si el programa puede ser invocado más de una vez.
DATA PRELOAD MOVEABLE MULTIPLE

HEAPSIZE     1024
STACKSIZE    5120 ; Mínimo recomendado para las aplicaciones

; Todas las funciones de callback deben exportarse

EXPORTS
MainWndProc @1
ProcDlgInfo @2
ProcDlgDetalles @3
AbrirArchivoDlg @4
SalvarComoDlg @5
ProcDlgAcerca @6
RasterDlgProc @7
```

## \* Archivo SCIPR.rc

```
#include "windows.h"
#include "defines.h"

ECO1 ICON S_EARTH.ICO
SATELITE BITMAP BURBUJAS.BMP

FOTO1 CURSOR CURSOR1.CUR

#include "SCIPR.dlg"
#include "Archivos.dlg"
#include "Dialras.dlg"
#include "Bandas.dlg"
```

## AceleraFormatos ACCELERATORS

```
BEGIN
VK_A,   IDM_ABRIR,      VIRTKEY, CONTROL
VK_S,   IDM_SALVAR,    VIRTKEY, CONTROL
VK_I,   IDM_INFORMACION, VIRTKEY, CONTROL
VK_P,   IDM_IMPRIMIR,  VIRTKEY, CONTROL
END
```

## MenuFormatos MENU

```
BEGIN
  POPUP "&Archivo"
  BEGIN
    MENUITEM "&Abrir...", IDM_ABRIR
    MENUITEM "&Cerrar", IDM_CERRAR, GRAYED
    MENUITEM "&Salvar...", IDM_SALVAR, GRAYED
    MENUITEM "&Información...", IDM_INFORMACION
    MENUITEM "&Detalles...", IDM_DETALLES
    MENUITEM SEPARATOR
    MENUITEM "Sa&lr", IDM_SALIR
  END

  POPUP "&Ver"
  BEGIN
    MENUITEM "&Tonalidades de Gris", IDM_TONALGRIS
    MENUITEM "&Arcoiris", IDM_COLARC
    MENUITEM "Arcoiris &Inverso", IDM_COLARCINV
  END

  POPUP "&Clasificación"
  BEGIN
    MENUITEM "Definir &Bandas. .", IDM_DEFBANDAS
    MENUITEM "Obtener &Trainings...", IDM_DEFCLASES
    MENUITEM "Despliegue &Histograma", IDM_HISTOGRAMA
    POPUP "&Ver Bandas"
    BEGIN
      MENUITEM "Banda &1", IDM_BAND1
      MENUITEM "Banda &2", IDM_BAND2
      MENUITEM "Banda &3", IDM_BAND3
      MENUITEM "Banda &4", IDM_BAND4
      MENUITEM "Banda &5", IDM_BAND5
    END
  END

  MENUITEM "&Clasificar Imagen", IDM_CLASIFICA
END

  POPUP "Ay&uda", HELP
  BEGIN
    MENUITEM "&Acerca...", IDM_ABOUT
  END
END
```

\* Archivo SCIPR.h.

ARCHIVO DE CABECERA CON TODOS LOS DEFINE Y MACROS NECESARIOS  
PARA EL PROGRAMA.

```
/* Elementos de los menús */
#define IDM_HISTOGRAMA 211
#define IDM_TONALGRIS 131
#define IDM_COLARC 132
#define IDM_COLARCINV 133
#define IDM_ECUALHIST 123
#define IDM_CLASIFICA 192
#define IDM_DEFBANDAS 190
#define IDM_DEFCLASES 191
#define IDM_BAND1 201
#define IDM_BAND2 202
#define IDM_BAND3 203
#define IDM_ABRIR 100
#define IDM_CERRAR 102
#define IDM_SALVAR 104
#define IDM_INFORMACION 106
#define IDM_DETALLES 108
#define IDM_ABOUT 114
#define IDM_SALIR 116

/* Tabla de aceleradores */
#define VK_A 65
#define VK_S 83
#define VK_I 73
#define VK_P 80

/* Controles para el diálogo de despliegue de información */
#define INFO_NOMBRE 118
#define INFO_DIMENSIONES 120
#define INFO_COLORES 122
#define INFO_TAMANO_ARCHIVO 124
#define INFO_TAMANO_IMAGEN 126
#define INFO_FORMATO 128
#define INFO_SUBFORMATO 130
#define INFO_COMENTARIOS 132

/* Códigos de los resultados */
#define EXITO 500
#define ERROR_ABRIR_ARCHIVO 501
#define MAL_ARCHIVO 502
#define ERROR_LECTURA 503
#define ERROR_MEMORIA 504
#define ERROR_CREAR_ARCHIVO 505
#define ERROR_ESCRITURA 506
#define ERROR_IMPRIMIR 507

#define CANCELAR_DESPLIEGUE 508
```

```

#define          FORMATO_INVALIDO  509
#define          ERROR_DESPLIEGUE  510
#define          COMP_NO_SOPORTADA  511

/* Controles en el diálogo de impresión */
#define          IMPRE_CONFIGURAR    134
#define          IMPRE_NOMBRE         136
#define          IMPRE_FACTOR         138
#define          IMPRE_100            140
#define          IMPRE_200            142
#define          IMPRE_300            144
#define          IMPRE_400            146

/* Defines para el despliegue de detalles */
#define          IDC_DETALLES         170
#define          MAX_DETALLES         256
#define          TAMANO_DETALLE      64
#define          SUBRAYADO            " _____ "

/* Entradas de la paleta */
#define          RGB_ROJO             0
#define          RGB_VERDE            1
#define          RGB_AZUL             2
#define          WRGB_ROJO            2
#define          WRGB_VERDE           1
#define          WRGB_AZUL            0
#define          RGB_TAMANO           3

/* Largo de las cadenas de caracteres */
#define          TAMANO_CADENA        64

/* Valores de la cuantización */
#define          TAM_ARREGLO_COLOR    4096
#define          BITS_POR_COLOR_PRIM  4
#define          MAX_COLOR_PRIMARIO   0x0F

/* Formatos y subformatos de imágenes */
#define          FORMATO_BMP          "Mapa de Bits (*.BMP)"
#define          FORMATO_PCX          "ZSoft PCX (*.PCX)"
#define          FORMATO_GIF          "CompuServe GIF (*.GIF)"
#define          FORMATO_TIF          "Tiff (*.TIF)"
#define          FORMATO_TGA          "Targa (*.TGA)"
#define          SUBFORM_LZW          "Compresion LZW"
#define          SUBFORM_PACKED       "Bits Empacados"
#define          SUBFORM_RLE          "Compresion RLE"
#define          SUBFORM_NO_COMP      "Sin Compresion"
#define          FORMATO_RASTER       "Formato Raster (*.IMA)"

/* Macros */
#define          PixelsBytes(n) ((n+7)/8)
#define          Mensaje(s) MessageBox(NULL,s,NombrePrograma,MB_OK | MB_ICONSTOP)
#define          MensajeNumero(f,s) {char b[128];\

```

```

sprintf(b,f,s);\

        MessageBox(NULL,b,NombrePrograma,\
        MB_OK | MB_ICONSTOP);}
#define PrenderItem(Item) DigHandle=GetDlgItem(hWnd,Item);\
        EnableWindow(DigHandle, TRUE)
#define ApagarItem(Item) DigHandle=GetDlgItem(hWnd,Item);\
        EnableWindow(DigHandle, FALSE)
#define PrenderMarca(Item) SendDlgItemMessage(hWnd,Item, BM_SETCHECK, 1, 0L)
#define ApagarMarca(Item) SendDlgItemMessage(hWnd,Item, BM_SETCHECK, 0, 0L)
#define EstaltemMarcado(Item) SendDlgItemMessage(hWnd,Item, BM_GETCHECK, 0,
0L)

#define ValorGris(r,g,b) ((r*30)/100) + ((g*59)/100) + ((b*11)/100)
#define ValorGris24(r,g,b) (((b*30)/100) + ((g*59)/100) + ((r*11)/100))

```

\* Archivo SCIPR.c.

```

/*****
FUNCIONES:
    WinMain() - Llama a las funciones de inicialización y procesa el
                ciclo de mensajes.
    InitApplication() - Registra la clase para esta aplicación.
    InitInstance() - Crea y despliega la ventana de la clase registrada
                    anteriormente.
*****/

/*****
                ARCHIVOS DE CABECERA
*****/
#include <windows.h>          /* Requerido para las aplicaciones en Windows */

/*****
                DEFINES
*****/
#define Mensaje(s) MessageBox(NULL,s,NombrePrograma,MB_OK | MB_ICONSTOP)

/*****
                PROTOTIPOS DE FUNCIONES LOCALES
*****/
int PASCAL WinMain(HANDLE hInstance, HANDLE hPrevInstance, LPSTR lpCmdLine,
int nCmdShow),
BOOL InitApplication(HANDLE hInstance);
BOOL InitInstance(HANDLE hInstance, int nCmdShow),

```

```
LONG FAR PASCAL MainWndProc(HWND hWnd, unsigned message, WORD wParam,
LONG lParam);
```

```
*****
VARIABLES GLOBALES
*****
```

```
HANDLE hInst; /* Instancia actual */
HWND hWnd; /* Manejador de la ventana principal */
HANDLE hAceleradores; /* Manejador de la tabla de aceleradores */
char NombrePrograma[]="SCIPR";
```

```
*****
FUNCION: int PASCAL WinMain(HANDLE hInstance, HANDLE hPrevInstance,
LPSTR lpCmdLine, int nCmdShow)
```

```
PROPOSITO. Inicializa la clase y la ventana para esta aplicación y
procesa el ciclo de mensajes.
```

```
COMENTARIOS: Por medio de la variable hPrevInstance se conoce si se
están ejecutando otras instancias de este programa y de
esta manera se controla la inicialización o no de otra
instancia.
```

```
*****
int PASCAL WinMain(HANDLE hInstance, HANDLE hPrevInstance, LPSTR lpCmdLine,
int nCmdShow)
```

```
{
    MSG msg;
    if (!hPrevInstance) {
        if (!InitApplication(hInstance)) {
            Mensaje ("No se puede inicializar la aplicación");
            return (FALSE);
        }
    }
}
```

```
/* Lleva a cabo inicializaciones específicas de esta instancia */
```

```
if (!InitInstance(hInstance, nCmdShow)) {
    Mensaje ("No se puede inicializar la instancia");
    return (FALSE);
}
```

```
hAceleradores = LoadAccelerators(hInst, "AceleraFormatos");
```

```
/* Lee y despacha mensajes hasta que se reciba una mensaje WM_QUIT */
```

```
while (GetMessage(&msg, /* Estructura tipo Mensaje */
NULL, /* Manejador de la ventana que recibe el mensaje */
NULL, /* Mensaje más bajo para examinar */
NULL)) /* Mensaje más alto para examinar */
{
    if (!TranslateAccelerator(hWnd, hAceleradores, &msg)) {
        TranslateMessage(&msg); /* Traduce los códigos virtuales de
las teclas */
        DispatchMessage(&msg); /* Despacha los mensajes de la ventana */
    }
}
```

```

    }
}
return (msg.wParam);          /* Regresa el valor del mensaje PostQuit */

/*****
FUNCION: BOOL InitApplication(HANDLE hInstance)
PROPOSITO: Inicializa los datos de la ventana y registra la clase.
COMENTARIOS: Esta función se llama en tiempo de inicialización solamente
si no están corriendo otras instancias de la aplicación.
Esta función realizar tareas de inicialización que solamente
se pueden ejecutar una vez para cualquier número de
instancias.
*****/
BOOL InitApplication(HANDLE hInstance)
{
    WNDCLASS wc,
    /* Llena la estructura de la clase de la ventana con los parámetros que
    describen la ventana principal */

    wc.style = CS_HREDRAW | CS_VREDRAW, /* Estilo de la clase */
    wc.lpszWndProc = MainWndProc; /* Función de "callback" */
    /* para procesar mensajes */

    wc.cbClsExtra = 0; /* No hay datos extras para la clase */
    wc.cbWndExtra = 0; /* No hay datos extras para la ventana */
    wc.hInstance = hInstance, /* Instancia a la que pertenece la clase */
    wc.hIcon = LoadIcon(hInstance, "ÍCO1"); /* Icono para la aplicación */
    wc.hCursor = LoadCursor(NULL, IDC_ARROW); /* Cursor para la aplicación */
    wc.hbrBackground = GetStockObject(WHITE_BRUSH); /* Selecciona un fondo gris
    LTGRAY */

    wc.lpszMenuName = "MenuFormatos"; /* Name of menu resource in .RC file */
    wc.lpszClassName = "ClaseFormatos"; /* Name used in call to CreateWindow. */

    /* Registra la clase de la ventana y devuelve el resultado */
    return (RegisterClass(&wc));
}

/*****
FUNCION: BOOL InitInstance(HANDLE, int)
PROPOSITO: Salva el manejador de la instancia y crea la ventana principal.
COMENTARIOS: Esta función se llama en tiempo de inicialización para cada
instancia de esta aplicación. Esta función lleva a cabo
tareas de inicialización que no pueden ser compartidas por
instancias múltiples.
En este caso se salva el manejador de la instancia en una
variable estática y se despliega la ventana principal.
*****/
BOOL InitInstance(HANDLE hInstance, int nCmdShow)
{

```

```

/* Se salva el manejador de la instancia en una variable estática, la
cual será usada en subsecuentes llamadas de esta aplicación a
Windows */
hInst = hInstance;
/* Crea la ventana principal para esta instancia del programa */
hWnd = CreateWindow(
    "ClaseFormatos", /* Nombre de la clase registrada */

    "SCIPR", /* Título de la ventana */
    WS_OVERLAPPEDWINDOW, /* Estilo de la ventana */
    CW_USEDEFAULT, /* Posición horizontal por omisión */
    CW_USEDEFAULT, /* Posición vertical por omisión */
    CW_USEDEFAULT, /* Ancho por omisión */
    CW_USEDEFAULT, /* Altura por omisión */
    NULL, /* Ventana "Overlapped" y por lo tanto no tiene padre */
    NULL, /* Use el menú de la clase de la ventana */
    hInstance, /* La instancia a la que pertenece esta ventana */
    NULL /* Apuntador nulo porque no es una aplicación MDI */
);

/* Si no se pudo crear la ventana regresa "error" */
if (!hWnd)
    return (FALSE);

/* Hace visible la ventana, actualiza el área de cliente y
regresa "éxito" */
nCmdShow = 3;
ShowWindow(hWnd, nCmdShow);
UpdateWindow(hWnd);
return (TRUE);
}

```

## 5. PRUEBAS

Una vez terminada la codificación se procederá a realizar las pruebas pertinentes para validar la funcionalidad del sistema, para lo cual se utilizará una imagen del sur de Chiapas proporcionada por el Instituto de Geografía de la UNAM.

Esta imagen se encuentra en formato Raster y consta de tres bandas espectrales cuyas dimensiones son 600 x 450 píxeles cada una, éstas se encuentran almacenadas en un archivo diferente.

Como primer paso de la clasificación se deberán seleccionar las bandas de la imagen a clasificar (figuras 5.1, 5.2 y 5.3).

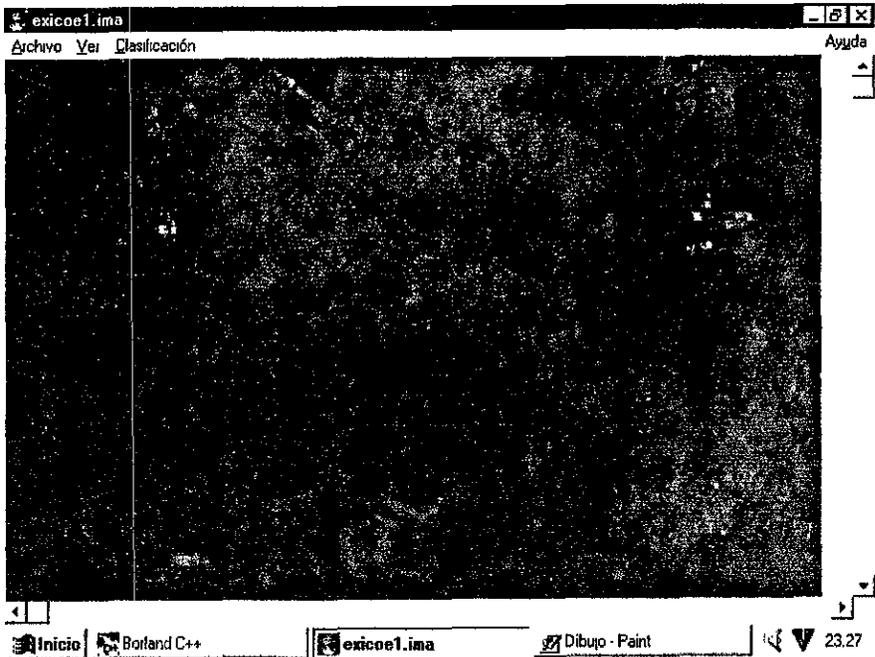
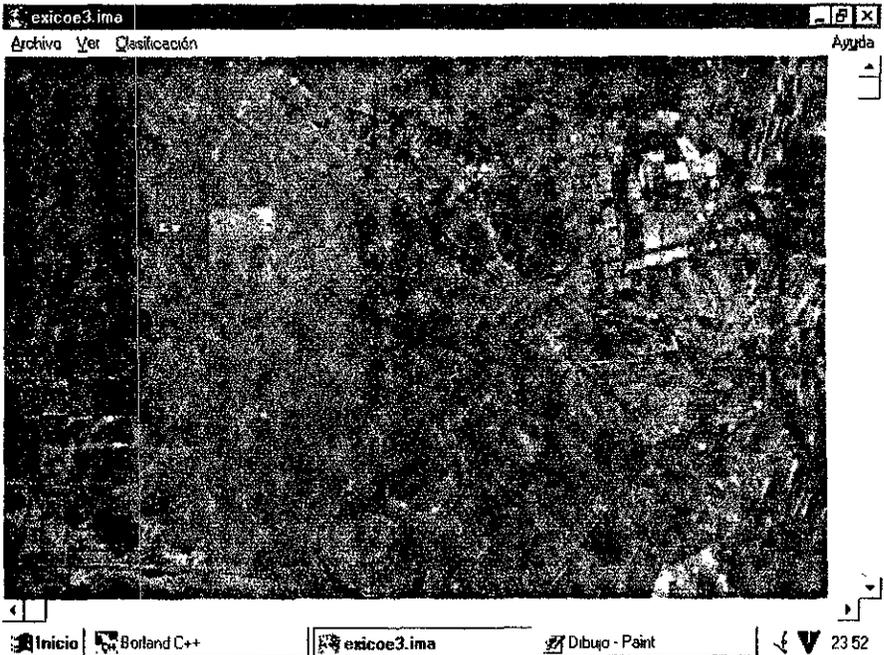
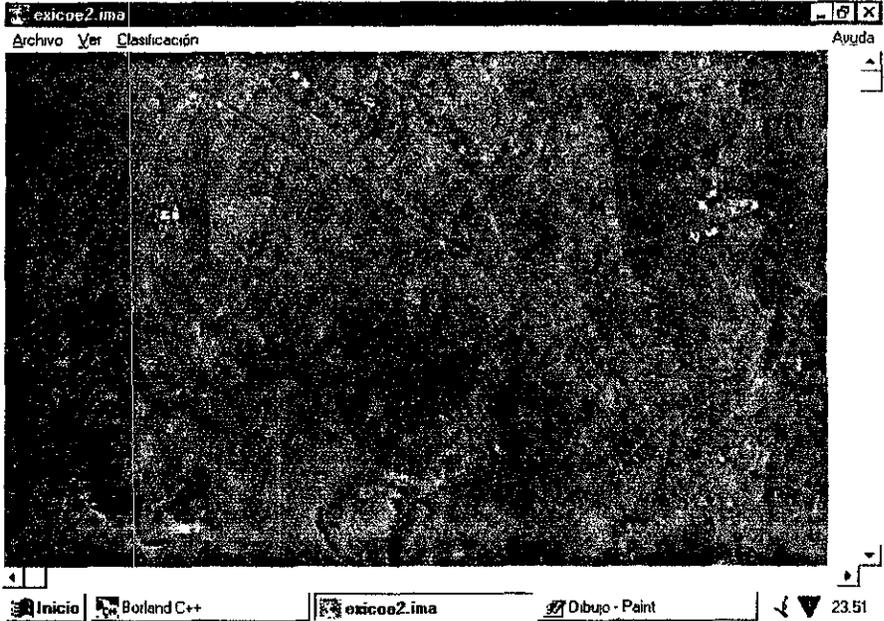


Fig. 5.1 Pantalla que muestra la primera banda de la imagen.



Figs. 5.2 y 5.3 Pantallas que muestran la segunda y tercera banda de la imagen

Habiendo seleccionado las bandas de la imagen se definen las clases que intervendrán en la clasificación de la misma (figura 5.4), para este ejercicio se consideraron cinco clases.

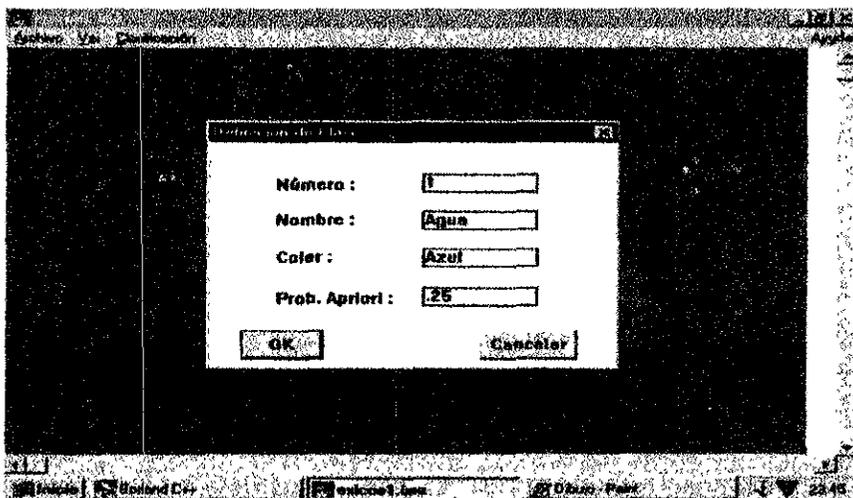


Fig. 5.4 Pantalla que muestra la definición de clases.

Posteriormente se marcaron los pixeles que formarán parte de los trainings de cada clase (figura 5.5).

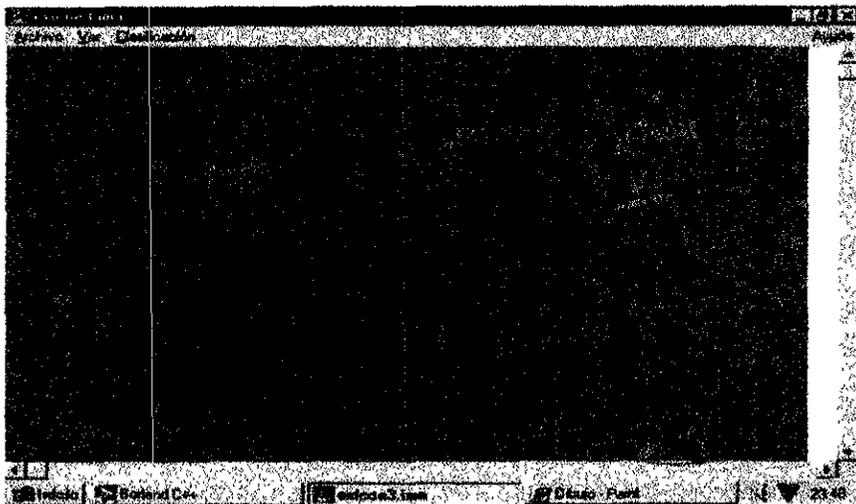


Fig. 5.5 Pantalla que muestra la selección de trainings.

Al finalizar la selección de trainings se visualizó mediante un histograma (figura 5.6) si la muestra presentaba un comportamiento normal o no, como se puede observar la muestra seleccionada mostró una distribución de probabilidad normal por lo que se continuó con el proceso de clasificación, cabe mencionar que si el training no hubiera presentado el comportamiento deseado se habría tenido que repetir la selección de muestra.

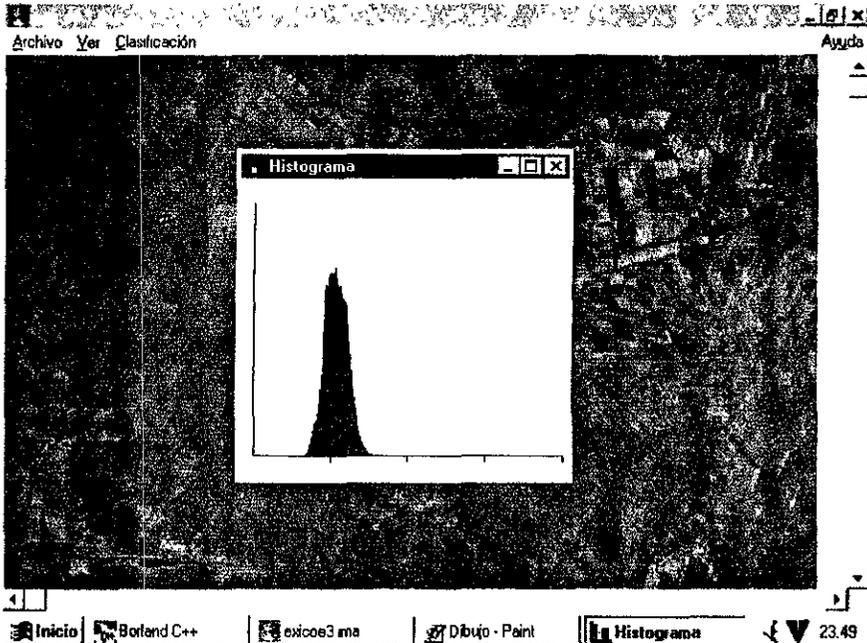


Fig. 5.6 Pantalla que muestra el comportamiento del training.

Por último se realizó el proceso de clasificación supervisada de la imagen bajo la técnica de Máxima Verosimilitud discutida en el capítulo tres (figura 5.7).

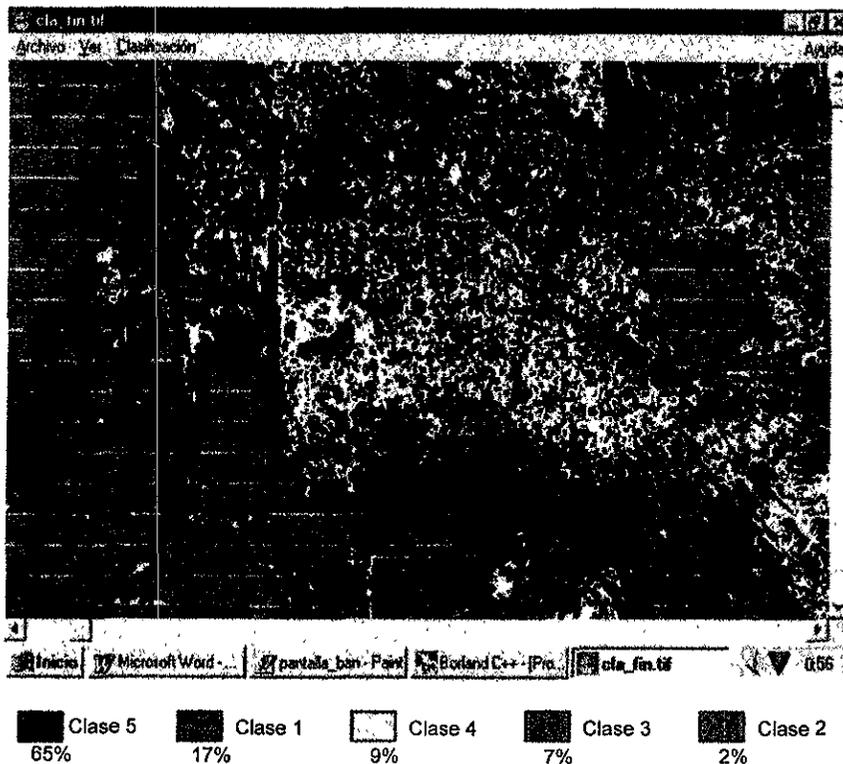


Fig. 5.7 Pantalla que muestra la imagen clasificada.

El sistema además de realizar la clasificación de la imagen genera un archivo de resultados en donde se muestra la información más importante dentro del proceso de clasificación, tal como lo es el valor medio, la desviación estándar y el número de píxeles pertenecientes a cada clase, este archivo se muestra a continuación.



## INFORMACION SOBRE CLASIFICACION DE LA IMAGEN

El número de clases involucradas en la clasificación fueron: 5

El vector medio de la clase 1 es:

54.800  
55.000  
55.633

La matriz de covarianza de la clase 1 es:

1.959 0.207 0.131  
0.207 1.793 0.414  
0.131 0.414 2.240

El valor del determinante para la clase 1 es:

7.428

El vector medio de la clase 2 es:

21.600  
35.300  
37.967

La matriz de covarianza de la clase 2 es:

4948.456 -850.255 -53.497  
-850.255 3509.044 179.252  
-53.497 179.252 2930.447

El valor del determinante para la clase 2 es:

48614064128.000

El vector medio de la clase 3 es:

90.467  
113.100  
105.800

La matriz de covarianza de la clase 3 es:

2475.844 151.434 -24.559  
151.434 58.300 -10.979  
-24.559 -10.979 1430.303

El valor del determinante para la clase 3 es:

173400176.000

El vector medio de la clase 4 es:

50.133  
49.900  
50.233

La matriz de covarianza de la clase 4 es:

1.844 -0.228 -0.136  
-0.228 2.162 0.610  
-0.136 0.610 1.633

El valor del determinante para la clase 4 es:

5.737

El vector medio de la clase 5 es:

72.167  
70.267  
73.367

La matriz de covarianza de la clase 5 es:

1006.764 36.264 -28.098  
36.264 983.030 -123.998  
-28.098 -123.998 1026.654

El valor del determinante para la clase 5 es:

998705472.000

Número de píxeles pertenecientes a la clase 1: 40800

La probabilidad a priori de la clase 1 es: 0.15

Número de píxeles pertenecientes a la clase 2: 4800

La probabilidad a priori de la clase 2 es: 0.05

Número de píxeles pertenecientes a la clase 3: 16800

La probabilidad a priori de la clase 3 es: 0.10

Número de píxeles pertenecientes a la clase 4: 21600

La probabilidad a priori de la clase 4 es: 0.10

Número de píxeles pertenecientes a la clase 5: 156000

La probabilidad a priori de la clase 5 es: 0.60

## CONCLUSIONES.

El desarrollo del estudio de la Percepción Remota hoy en día es sorprendente y esto se debe principalmente a la conjunción de la evolución de las computadoras digitales (hardware), los lenguajes de programación (software) y la búsqueda de métodos de análisis para la clasificación de información de objetos.

Lo anterior lo pudimos constatar al utilizar como nuestro lenguaje base de programación el lenguaje C++, ya que éste nos proporcionó las herramientas necesarias para facilitarnos la creación de una aplicación bajo el ambiente Windows.

Por otro lado, se observó que entre más complejo sea el sistema de análisis que se utilice para el proceso de información en la Percepción Remota mejores serán los resultados obtenidos; esto es, que los resultados que se logren tendrán una mayor precisión y el tiempo de procesamiento para obtenerlos se verá reducido. Dentro de las técnicas principales de Clasificación Supervisada de Imágenes en la Percepción Remota encontramos que las más eficientes son la técnica de Paralelepípedos y la de Mínima Distancia, sin embargo debido a la difícil implantación de éstas sus tiempos de respuestas y costos se incrementan de manera considerable.

La técnica de clasificación de información que se utilizó dentro de nuestro sistema fue la de Máxima Verosimilitud, esto se debió principalmente a la facilidad de implantar esta técnica y a que la precisión de los resultados que ésta nos arroja son suficientes para las necesidades del Plan de Estudios de la Maestría de Planeación en el área de Percepción Remota de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI) de la UNAM.

A pesar de que ya mencionamos nuestra definición de Percepción Remota en el capítulo uno consideramos conveniente enunciarla nuevamente como parte de las conclusiones de este trabajo. Percepción Remota: "Es la ciencia que se encarga de analizar las características espectrales que representa la superficie terrestre, por medio de imágenes digitales de satélites tomadas dentro de un rango del espectro electromagnético".

Como trabajo futuro consideramos interesante estudiar técnicas de Clasificación No Supervisada de Imágenes en la Percepción Remota e implantarlas dentro de este mismo sistema, así como también un módulo que se encargue de la corrección de imágenes digitales, para lograr un Sistema de Clasificación de Imágenes para Percepción Remota (SCIPR) más completo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Deluxe Edition National Bestseller Multimedia Madness, Experience the Excitement of Multimedia, Ron Wodaski, Ed. Sams Publishing.
- Dictionary of Scientific and Technical Term. Segunda Edición Mc Graw-Hill. Daniel N. Lapedes Editor in Chief.
- Diccionario Científico y Tecnológico . Chambers T.C. Collocott, M. A. Director de Edición . Tomo I. Ed. Omega S.A.
- Digital Image Processing and Computer Vision. Robert J. Shalkoff, Ed. Wilay.
- Flying with Instruments: Characterizing the NCAR MSS-III Wordload, Sloan J. L., National Center for Atmospheric Research Scientific Computing Division.
- Foundations of Medical Imaging, Zang-hee cho, Joee P. Singh, Ed. Awiley-Interscience Publication.
- IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms. Segunda Edición. Frank Jay Editor in Chief.
- Ingeniería del Software : Un Enfoque Práctico. Tercera Edición. Roger S. Pressman
- Introduction to Enviromental, Remote Sensing, E.c. Barret, L. F. Curtis.
- Introduction to Remote Sensing. A.P. Cracknell and L.V. B. Hayes, Ed. Taylor & Francis.
- Introduction to Remote Sensing of the Enviroment, Benjamin F. Richarson, Jr., Ed.Kendall/Hunt Publishing Company.
- The Landsat Program: Recent History and Prospects, E. J. Sheffner, Universities Space Research Association, Washintong, D.C.
- Matrix Structured Image Processing, Eduard R. Dougherty, Charles R. Giardina, Ed. Prentice-Hall.

- La Percepción Remota y el Procesamiento de Imágenes Digitales en la Gestión, Informática para la planeación. Tesis-UNAM GAR.  
Principles of Remote Sensing, Paul J. Corran, Ed. Longman.
- Probabilidad y Estadística para Ingenieros, R. E. Walpole, R. H. Myers, Ed. McGraw-Hill.
- Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, John A. Richards, Ed. Springe Verlay.
- Satelite Remote Sensing An Introduction, Ray Harris.
- Técnicas de Organización y Análisis de Sistemas, Alfredo Rodríguez Cuadrado, Antonio Márquez Serrano. Ed. McGraw-Hill.
- Teoría Moderna de Probabilidades y sus Aplicaciones, Parzen, Ed. Limusa.
- Remote Sensing of Enviroment 2, 141-163(1972)  
The Multispectral Concept as Applied to Marine Oil Spills  
John E. Estes and Leslie W. Senger (Geography Program, University of California, Santa Barbara)
- Remote Sensing of Enviroment 2, 141-163(1972)  
Computer-Based Remote Sensing Technoogy- A look to the Future  
David Landgrebe (Department of electrical Engineering and Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University, West Lafayette, Indiana)
- Remote Sensing of Enviroment 3, 3-13(1974)  
Combined Spectral and Spatial Processing of ERTS Imagery Data  
Robert M. Haralick and K. Sam Shanmugan  
University of Kansas Center for Research Inc., Remote Sensing Laboratory
- Symposium on Remote Sensing for Resources Development and Enviromental Management/Enschede/August 1986  
Development and State of the Art of Remote Sensing  
Konecny (President of ISPRS for Photogrammetry, University of Hannover, FR Germany).

- Symposium on Remote Sensing for Resources Development and Environmental Management/Enschede/August 1986  
EARTHSCAN - A Range of Remote Sensing Systems  
D. R. Sloggett & C. McGeachy (Environment and Space Systems Group, Software Sciences Limited, Farnborough, Hampshire)