

18  
7ej.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS**  
**COLEGIO DE GEOGRAFIA**



**TESIS**

**“La regionalización del paisaje y las imágenes de satélite. Su aplicación en el estudio de recursos forestales”.**

**QUE PARA RECIBIR EL TITULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFIA**

**PRESENTA:**

**JOSE DE JESUS MONTER**

**FALLA DE ORIGEN**

**1991**



## **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 está 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.

## **TEMARIO**

### **CAPITULO I GEOGRAFIA FISICA**

- 1.- El Espacio Geográfico.
- 2.- El Concepto del Criterio Fitogeomórfico.
  - 2.1.- La Regionalización del Paisaje.
  - 2.2.- Jerarquización del Paisaje.
- 3.- La Clasificación Fisiográfica de la DGG.
  - 3.1.- Jerarquización de Unidades Fisiográficas.
- 4.- Geología de la zona de estudio.
  - 4.1.- Fisiografía y Geomorfología de la zona de estudio.
- 5.- El Suelo.
  - 5.1.- Tipo de suelos en la zona y sus características.
- 6.- Hidrología de la zona de estudio.
  - 6.1.- Procesos hídricos en la zona.
  - 6.2.- Acción Antrópica en la zona.
- 7.- El Clima
  - 7.1.- Factores - Latitud - Continentalidad - Orografía.
  - 7.2.- Clasificación del Clima de la zona de estudio.

### **CAPITULO II PERCEPCION REMOTA**

- 1.- La Percepción Remota.
  - 1.1.- Los Sensores Remotos.
  - 1.2.- Barredores Multiespectrales.
  - 1.3.- Energía y Espectro Electromagnético.
  - 1.4.- Patrones de Respuesta Espectral.
  - 1.5.- Tipos de Satélite.
  - 1.6.- Tipos de Imagen y Resolución Espacial.

## **CAPITULO III PROCESAMIENTO DIGITAL**

- 1.- Procesamiento y Análisis Digital.**
- 1.2.- Equipo de computación.**
- 1.3.- El Paquete SPIPR.**
- 2.- El Caso de Estudio.**
- 2.1.- Antecedentes.**
- 2.2.- Objetivos.**
- 2.3.- Metodología.**
- 2.3.1.- Regionalización.**
- 2.3.2.- Procesamiento y Análisis Digital de la Imagen Multiespectral.**
- 2.3.3- Trabajo de Campo.**
- 2.3.4.- Resultados e Integración de la Información.**
- 2.3.5.- Conclusiones.**
- 3.4.- Bibliografía.**

**Dedico este trabajo final de recepción profesional a mi madre Paula Monter P. como agradecimiento al amor y cariño que siempre me ha brindado.**

**A mi esposa Amalia Ortiz y a mis hijos Sedna y Eder Monter Ortiz.**

**También con todo mi agradecimiento a todos mis profesores a lo largo de mi vida escolar, que dejaron parte de sí en mi formación educativa y profesional.**

**Al grupo de Profesores y Maestros  
sinodales por su asesoría que me  
ofrecieron en la consecución de  
este trabajo.**

**Especial mención debo de hacer  
para los biólogos Daniel Chapa  
y Jorge Rosales por todas las  
observaciones y sugerencias  
hechas desde el inicio de este  
trabajo.**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México  
mi infinito agradecimiento por la formación  
profesional que me otorgó.**

## Introducción

A medida que la Geografía caracteriza a la superficie terrestre con métodos cada vez más evolucionados, los países en vías de desarrollo están dependiendo grandemente de la utilización de sus recursos naturales para su inmediato progreso. Sabemos también que en los países económicamente maduros e industrializados, la importancia de los recursos naturales ha tendido a disminuir conforme la economía crece y se vuelve más diversificada, esto no debería ocurrir, si se recordará el papel que jugaron todos los recursos naturales en la historia del crecimiento económico de dichos países; actualmente en los países que permanecen en una economía tradicional en estado de desarrollo, o aquellos que se encuentran en el principio del proceso de desarrollo, o aquellos que se encuentran en el principio de modernización, la explotación de sus recursos naturales requerirán un desarrollo estimulante y permanecerán como factor dominante por muchos años hasta lograr alcanzar sus metas. En nuestro país actualmente nos encontramos en el camino de la modernización, sin embargo las técnicas de la Percepción Remota tienen poco más de 10 años que se vienen utilizando en la prospección de recursos naturales, básicamente de la vegetación ( Cámara, R. A. 1982.; Coria, R.; Larico, H.; Ramírez, A. M. y Soto, M. 1979.; Montecinos, J. A.; Ramos, H. M.; Bas, B.T. y Castillo, R. M. 1979 ), por lo que no es totalmente desconocida su utilización. Sin embargo el campo más propicio de su aplicación está en las ciencias de la Tierra como se ha demostrado en otros países ( Colwel, R. N. 1983 ). En los años pasados la problemática principal del poco uso que se

dio a esta técnica en nuestro país, radicaba principalmente en la adquisición de los equipos y la instalación de la infraestructura necesaria para su operación, ya que era sumamente costosa, a diferencia de los costos de los insumos ( cintas magnéticas, películas en negativo, despliegues en papel fotográfico etc.), que en esos años, comparando costos, resultaban muy baratos. Hoy los papeles se han invertido, el desarrollo acelerado de la tecnología ha abaratado enormemente los costos de equipo, por ejemplo el costo de las computadoras personales (PC) y el "software" ( programas de computo ) también han sufrido este cambio, no así los productos disponibles obtenidos por los satélites, cuyos costos se han elevado enormemente, tal vez en este momento esto sea uno de los principales problemas a nivel nacional a los que se enfrenten las técnicas de Percepción Remota para que su aplicación sea extendida a otras ciencias, entre ellas la Geografía, para que cuenten con otra herramienta importante que les auxilie en la determinación de los diversos eventos que están cambiando la superficie terrestre.

Por otro lado el progreso implica un cambio en la existencia del uso de recursos en niveles altos, métodos más económicos de producción, o el uso más completo de recursos que por hoy solo son parcialmente usados o completamente abandonados. La Regionalización del Paisaje se hace notoria como una aplicación más evolucionada ya que conceptualiza al Espacio Geográfico como un todo interrelacionado. Actualmente los estudios y métodos de asesoría y técnicas son adaptadas a la forma de distribución de cada factor del recurso ya que por efecto de la diversidad de casos en que los factores geográficos cambian cualitativamente

y cuantitativamente, la Regionalización del Paisaje ha sido conceptualizada de diversas formas por los estudiosos que se han dedicado a ello, sin embargo los criterios en la designación de la terminología aplicada a sus aproximaciones o clasificaciones no ha sido determinada conjuntamente por ellos.

Por otro lado debemos aprovechar los rápidos avances tecnológicos que se están experimentando en diversas ciencias como son: la Informática, la Electrónica, la Computación y técnicas como la Percepción Remota que brindan a los especialistas de las diversas ramas de las Ciencias de la Tierra, el acceso de sus técnicas, metodologías y productos, para una más barata, rápida y precisa determinación del espacio geográfico de nuestro interés. En nuestro presente es de necesidad prioritaria, debido al estado actual de desarrollo y de explotación de los recursos, realizar estudios que nos lleven a establecer con criterios propios, amplios y detallados, el conocimiento geográfico que considere de manera total a los factores de los recursos de importancia directa para el desarrollo. Es en este marco de conceptualización que se encuentra inmerso el presente estudio, cuya hipótesis de trabajo intenta demostrar que las técnicas de Percepción Remota, conjuntamente con la utilización del Criterio Fitogeomórfico son en nuestro momento herramientas muy útiles para discernir con mayor claridad un espacio geográfico determinado.

## CAPITULO I GEOGRAFIA FISICA

### 1.- El Espacio Geográfico.

El espacio geográfico, término desarrollado en las disciplinas geográficas, se aplica a una parte de la superficie terrestre, el cual se caracteriza, por el orden de magnitud e importancia de la relación, interrelación e interacción que se establece entre sus componentes tanto naturales como humanos, cada uno de los cuales presenta procesos evolutivos específicos distinguiéndose de los demás por su dimensión y por su ritmo tanto como por su naturaleza ( Pierre, George. 1973 ). Localizados sobre la superficie terrestre, constituyen la biósfera, que es la porción de la superficie terrestre en la cual se manifiesta la vida, cuyos componentes: suelo, agua, vegetación entre otros y que en el contexto de su ubicación geográfica nos permiten distinguir que un espacio es diferente de otro.

Podemos derivar de lo anterior, que el estudio del Espacio Geográfico no puede valerse de un objeto en particular, debiendo situar en esas interrelaciones la presencia del hombre, " que otro significado se puede dar a un estudio sintético del paisaje natural si no es el de definir las condiciones ofrecidas a la vida y a la acción humana por las acciones recíprocas de los factores físicos, relacionados unos con respecto a los otros " ( Pierre, G., 1973 op. sic.). Hay que recordar que la acción del hombre sobre su espacio geográfico determina los procesos evolutivos o de sucesión modificando su ritmo; importante es también la consideración de factores externos como: fuego, plagas, efectos climáticos, exposición solar entre otros. Esta

comprensión del espacio ha motivado las investigaciones que se han realizado en diferentes partes del mundo, su objetivo específico ha sido la división del espacio geográfico, realizando una cualificación de las distintas unidades de que se compone. Una de éstas investigaciones es el Criterio Fitogeomórfico elaborado por J.A. Howard y C.W. Mitchell en 1980, en el que hacen énfasis de las relaciones existentes entre las formas del relieve y su vegetación correspondiente, para establecer una regionalización del paisaje por medio de una jerarquización de unidades terrestres las cuales deben de ser homogéneas, término usado para referirse a extensiones de la superficie terrestre de diverso tamaño, las cuales son ensambladas dentro de patrones reconocibles que se repiten en el paisaje terrestre tomando como base, factores físicos como son: clima, suelo, litología, geomorfología, geología entre otros, dicho criterio se utiliza sobre todo para estudios de reconocimiento. La zona de estudio se localiza al noroeste del estado de Aguascalientes y una pequeña porción al suroeste del estado de Zacatecas, entre los paralelos 21° 55' y 22° 15' de latitud norte y los meridianos 102° 30' y 102° 40' de longitud oeste. Situada en una región montañosa de origen volcánico y flanqueada por los valles de Aguascalientes y Calvillo, presenta el área boscosa más importante del estado, con una altitud promedio de 2800 msnm. ( ver mapa # 1 ). La cual por causa de una sobreexplotación está tendiendo a disminuir su cobertura sobre el terreno, con sus consecuencias inherentes como son: asolvamiento de los cuerpos de agua, erosión de los suelos, menor captación de agua subterránea y sobre todo el cambio del tipo de vegetación.



VIAS TERRESTRES  
 CARRETERA DE MAS DE TRES CARRILES CASETA DE PASO  
 CARRETERA PAVIMENTADA  
 MONUMENTACION DE RUTA FEDERAL ESTATAL  
 TERRACERA TRANSMITANTE EN TIEMPO SECO  
 PUEBLO VEREDA  
 FERROCARRIL DE SERVICIO PUBLICO ESTACION DE CO  
 OTRO MAS 1.000 P.S.



LINEAS DE CONDUCCION  
 ELECTRICA DE TERCER O MAS TELEFONIA TELEGRAFICA  
 CONDUCCO SUPERFICIAL CONDUCCO SUBTERRANEO

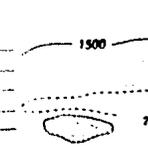
OTROS RASGOS CULTURALES  
 PLANTEL TUNEL PASO A DARNIEL  
 ESCUELA TEMPLO CENTRO DE SALUD  
 MINA POZO PETROLERO BANCO DE MONTAÑA  
 CANAL PRESA BARRIO  
 ESTACION HIDROMETRICA



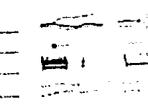
PUNTOS GEODESICOS  
 VERTICE DE PRIMER ORDEN DE SEGUNDO O TERCER ORDEN  
 BANCO DE NIVEL DE PRIMER ORDEN DE SEGUNDO O TERCER ORDEN  
 PUNTO DE NIVELACION ACOTADO (METROS)



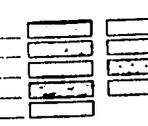
REPRESENTACION DEL RELIEVE  
 CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS  
 CURVA DE NIVEL ORDINARIA  
 CURVA DE NIVEL ALIBRADA O SUPLEMENTARIA  
 CURVA DE NIVEL SUPERADIDA  
 DEPRESIONES COSTA POGONOMETRICA EN METROS



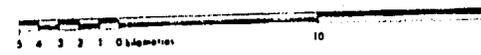
RASGOS HIDROGRAFICOS  
 CORRIENTE PERMANENTE CORRIENTE INTERMITENTE  
 MANANTIAL CORRIENTE QUE DESAPARECE  
 RAPIDOS SALTO DE AGUA  
 LECHO DE RIO SECO



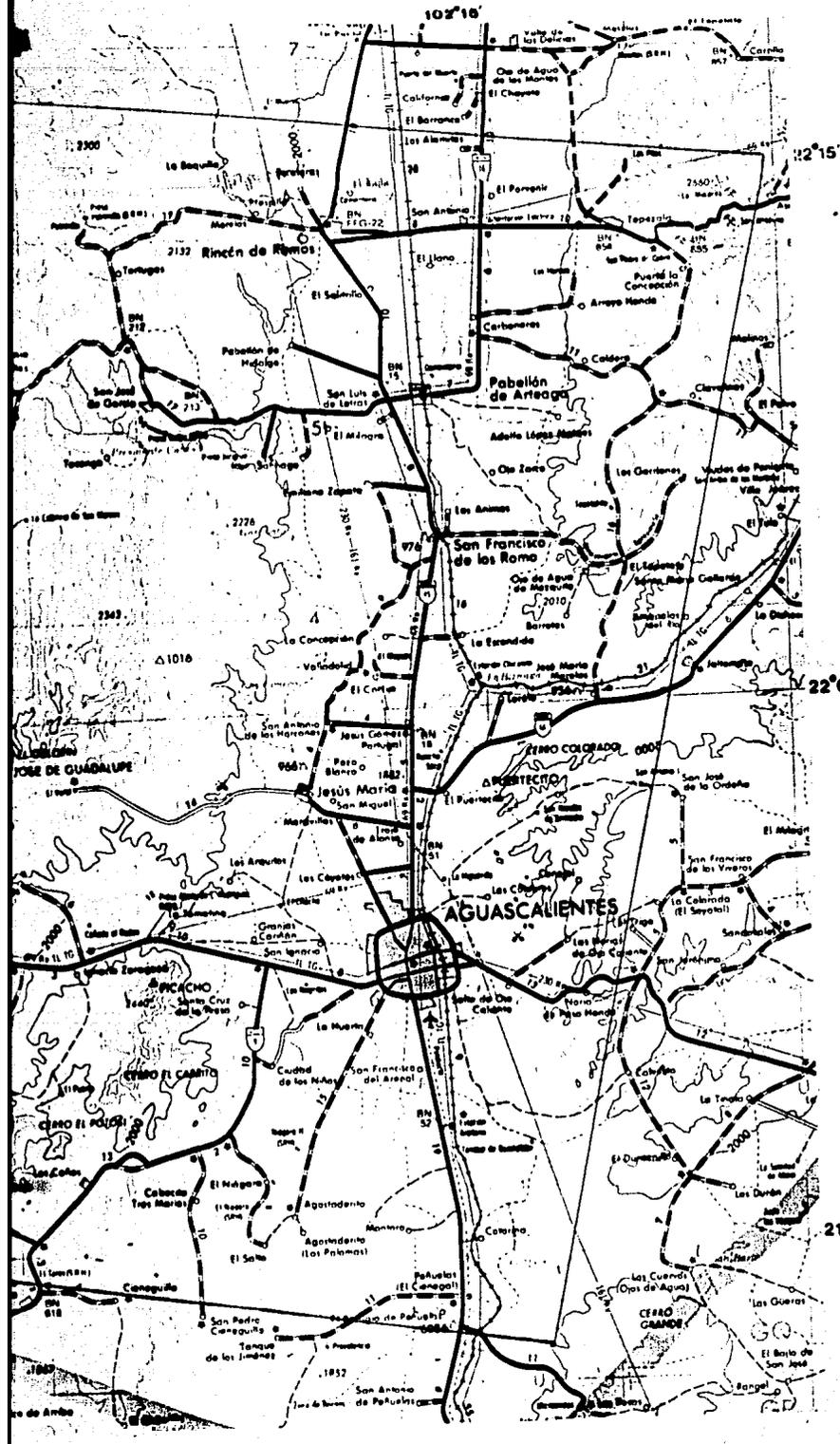
AREAS SIMBOLIZADAS  
 LAGUNA PERMANENTE LAGUNA INTERMITENTE  
 PANTANO TEMPORO SUJETO A INUNDACION  
 SACAPON MAMPARO  
 DURIAS AREIA  
 CUBIERTA VEGETAL DE BOSA



ESCALA 1: 250,000



MAPA N° 1  
 Mapa de localización de la zona de estudio  
 el recuadro demarca el área que cubre la  
 imagen de satélite SPOT.



## 2.- EL CONCEPTO DEL CRITERIO FITOGEOMORFICO.

Especialistas de diversos países han realizado investigaciones que explican y determinan los rasgos y elementos presentes en la superficie terrestre, mediante la integración de los diversos atributos que la forman.

Así, el principio teórico del Criterio Fitogeomórfico es una clasificación del paisaje terrestre que se fundamenta principalmente en la relación que existe entre las formas del relieve terrestre y la vegetación presente en ellas; dicha división del paisaje se logra al establecer una jerarquización de unidades terrestres homogéneas, para las cuales se ha establecido una escala de mapeo apropiada al tipo de investigación en particular. La principal aplicación del criterio se enfoca hacia estudios de vegetación, suelos y geomorfología. Las bases del criterio están fijadas sobre el ordenamiento genético de propiedades de los diferentes atributos que componen el relieve terrestre y sobre su distribución espacial, sobre ellos. Es fundamental dar una decisión al peso relativo que se otorga a la relación espacial de los atributos y a la relación espacial entre áreas terrestres. De ésta forma, las unidades terrestres ( extensiones de la superficie terrestre de diverso tamaño ) representan una síntesis del terreno y la vegetación, de tal manera que un sistema para el terreno puede ser concebido cuando los límites geográficos son bien definidos evitando categorías sobrepuestas, logrando establecer un sistema jerárquico, en el cual cada nivel tiene una utilidad práctica, así como interrelaciones con los niveles vecinos ( J.A. Howard

y W. Mitchell, 1980 ). Una ciencia del paisaje o como es más comúnmente usada en la U.R.S.S., Ecología del Paisaje ( Bas, Pedroli, 1983 ) se ha desarrollado, la cual reconoce la posibilidad de dividir el paisaje terrestre dentro de un sistema jerárquico de unidades del paisaje, que nos permite verlo como un fenómeno espacial, como un objeto de clasificación o mapeo. Las directrices de las investigaciones han mostrado que la elección de principios guía y criterios para la clasificación del paisaje, son un problema complejo ( Ortiz, A. Carlos y Cuanalo, E. Heriberto, 1984 ).

Geógrafos, geólogos, geomorfólogos, biólogos y otros científicos de los recursos naturales han abordado este problema desde diferentes puntos de vista, el ordenamiento de las unidades y las bases bajo las cuales se definieron pueden variar; el principio general es que la ocurrencia de unidades en una zona o región están ubicadas dentro de patrones reconocibles que se repiten sobre el paisaje terrestre. Ese es el punto de partida, sin embargo en los diferentes sistemas ideados entre unos y otros existe divergencia de terminología aplicada para explicar el significado de una misma unidad, pero este hecho no significa que tal unidad no haya sido considerada en uno u otro sistema.

## 2.1.- LA REGIONALIZACION DEL PAISAJE.

La superficie terrestre actual, en una localidad dada, es registrada como el producto final de evolución, que involucra la combinación de procesos físicos y biológicos que actúan sobre los diversos materiales que la forman y por eventos geológicos en determinados climas ( Christian, Jennings y Twidale, 1980 ).

Cambios climáticos mundiales, cambios en el nivel medio del mar, y fenómenos geológicos han cambiado una y otra vez la faz de la superficie terrestre, hechos que han interesado a disciplinas tales como: Geología, Geomorfología, Ecología de las plantas y en general el área de los recursos terrestres. De otra manera, al hombre y sus actividades económicas: ocupación del espacio geográfico, utilización intensiva de sus recursos naturales, modificación de los habitats etc., también han modificado el paisaje terrestre, en la medida de su desarrollo y la exigencia de sus necesidades, ello lo ha conducido a explotar en diversos grados de intensidad los recursos que el medio geográfico ofrece. Interpretar y explicar las unidades que conforman la variabilidad de los estudios e investigaciones que se han venido realizando desde el siglo pasado hasta el presente; su objetivo ha sido establecer inventarios, evaluaciones y la planeación del mejor uso y aprovechamiento de los recursos terrestres. De este modo la regionalización del paisaje se fija como principal objetivo el establecimiento de clasificaciones que contemplen niveles jerárquicos de reconocimiento de las diferentes unidades de que se compone ( C.S. Christian y G.A. Stewart, 1968.; Bourne, 1938.; Beckett y Webster, 1962.; J. Howard y W. Mitchell, 1980 ).

Muchos son los factores que se consideran en la investigación del paisaje terrestre, entre ellos pueden ser: suelo, formas de relieve terrestre, vegetación, clima, drenaje y el impacto del hombre entre otros. Los cuales se consideran de acuerdo a la variabilidad de la complejidad del paisaje, en términos tales como: Sitio: Bourne (1931), lo definió como un área la cual muestra para todos los propósitos prácticos proveer a través de toda su extensión condiciones similares de clima, fisiografía,

geología, suelos y factores edáficos en general. Catena: Milne (1935), lo aplico para un agrupamiento de suelos, los cuales caen en un amplio sistema de clasificación natural en los que cuentan diferencias morfológicas y genéticas fundamentales, sin embargo están unidas por condiciones de topografía y se repiten en la misma interrelación para cualquier otra, siempre que las mismas condiciones estén presentes. Sistema Terrestre: Christian y Stewart (1947), lo definieron como un área o grupo de áreas, a través de las cuales hay un patrón recurrente de topografía, suelo y vegetación. Existen muchos términos más pero no es de interés en este trabajo su descripción. Es importante mencionar también que muchos estudios se han realizado con propósitos científicos, otros han sido ampliaciones de éstos; en sus inicios se comenzaron a realizar con propósitos militares, partiendo básicamente de la fotointerpretación de fotografías aéreas en la década de los años 30, la situación ha cambiado, ahora el objetivo directo es apoyar la planeación para el desarrollo de pequeñas o grandes regiones, por medio de la aplicación inmediata de programas de planeación de uso de los recursos naturales y sobre todo de uso del suelo. Muestra de ello son las investigaciones que se han desarrollado en la URSS ( Bas, Pedroli, op. cit.; el grupo SCIRO Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization de Australia.; el NIRR National Institute for Rean Research de Sudáfrica y el grupo Mexe-Oxford Military Engennering Experimental Stablishment de Inglaterra ), cuyas metodologías se han aplicado en muchas partes del mundo ( C. Christian y W. Mitchell, op. cit. ).

En sus inicios las investigaciones acerca del paisaje terrestre se comenzaron a realizar considerando únicamente un factor del

recurso, esto implicaba por lo tanto, que un investigador especialista en una sola disciplina abordara el problema de manera aislada, sin embargo la experiencia ha mostrado que la subdivisión del paisaje y el análisis de su variabilidad, considerando no obstante que en términos potenciales cada región debe ser sin duda única en sus combinaciones de clima y rasgos terrestres superficiales ( C. Christian y W. Mitchell, 1968 ), debe de ser realizada por un grupo interdisciplinario de especialistas en diversos campos, debiendo estar relacionados en estudios de recursos terrestres, un ejemplo son los grupos de trabajo mencionados anteriormente. Hoy, a diferencia de investigaciones pasadas, se cuenta con herramientas y productos de mejor calidad y detalle que muestran los rasgos de la superficie terrestre de forma ya sea parcial o global, tal es el caso de las fotografías aéreas de diferentes tipos y resoluciones, mapas básicos y temáticos a diversas escalas y la disponibilidad de imágenes de satélite prácticamente de todo tipo y por último equipos de cómputo que han venido a facilitar el manejo de los materiales y aún más importante la extracción y manejo de información, en este trabajo se hace uso de estas herramientas.

## 2.2.- LA JERARQUIZACION DEL PAISAJE TERRESTRE.

Las unidades terrestres a las que se hizo referencia en el primer inciso de este capítulo, y que están definidas por la división de áreas extensas o por la agrupación de áreas pequeñas de la superficie terrestre, y que de acuerdo a la aplicación de criterios de diverso enfoque que pueden ser de tipo: genético,

paisajístico o morfológico que son las maneras como pueden evolucionar las formas terrestres, pueden lograr establecer una clasificación de tipo jerárquico que debe considerar que tales unidades sean de carácter uniforme, en cuanto a factores tales como: Fisiografía, Geología, Topografía, Suelo y factores edáficos en general ( Bourne, op. cit.). Sin embargo, se ha encontrado que existe diferencia al ponderar la homogeneidad que muestran las diferentes unidades terrestres en cuanto a los atributos que las componen. Diversos investigadores han encontrado que las unidades terrestres pequeñas, tienen homogeneidad suficiente que justifica plenamente el criterio, mientras que las unidades más grandes por su extensión, tienen más complejidad interna, límites y repetitividad sobre el terreno por lo común vagos. Por otro lado su valor esta en que proporciona un marco de trabajo simplificado para unidades menores correlacionadas en áreas análogas pero separadas, ayudando así al reconocimiento de grandes áreas al proporcionar una visión general de relaciones genéticas, y al exponer patrones mundiales de distribución de factores ambientales.

El problema de reconocimiento de las unidades superiores sobre la superficie se presenta más comúnmente cuando se tratan de delimitar sobre imágenes de satélite ( C.Howard y W. Mitchell. op. cit. ), sobre todo cuando se da énfasis a la vegetación sin una adecuada verificación en el terreno, en este punto es importante mencionar que el entrenamiento y experiencia del investigador son factores de suma importancia.

El Criterio Fitogeomórfico se basa en las geoformas que dan información sobre el desarrollo y condición presentes sobre el terreno, esto es resultado de la acción en el espacio y en el

tiempo de factores tales como: físicos, químicos, mecánicos, biológicos entre otros. Ahora bien la vegetación es indicativa, en un periodo corto, de condiciones ambientales existentes en el presente. Pero Howard y Mitchell proponen iniciar los trabajos de división del relieve terrestre, analizando primero la Geología- Geomorfología, así las unidades terrestres son identificadas y después estas pueden ser convenientemente subdivididas usando diferencias sobre la vegetación. El cuadro # 1 muestra diferentes sistemas de regionalización y sus niveles jerárquicos y el cuadro # 2 muestra el Criterio Fitogeomórfico y sus niveles jerárquicos.

#### SISTEMAS JERARQUICOS DE REGIONALIZACION FISIOGRAFICA

	CLASIFICACION FITOGEOMORFICA GRUPO NIRR GRUPO CP	OFICINA FEDERAL DEL MEDIO AMBIENTE (CANADA)	INEGI (D G G)	INIREB	SEDUE (D G N R E)
NIVELES MAYORES	ZONA TERRESTRE				ZONA
	DIVISION TERRESTRE				
	PROVINCIA TERRESTRE	ECORREGION	PROVINCIA FISIOGRAFICA		
	REGION TERRESTRE		SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA		PROVINCIA ECOLOGICA
NIVELES MENORES	SISTEMA TERRESTRE	ECODISTRITO		SISTEMA TERRESTRE	
	CATENA TERRESTRE	ECOSECCION	SISTEMAS DE TOPOFORMAS	PAISAJE TERRESTRE	SISTEMA TERRESTRE
	FACETA TERRESTRE	ECOSITO	TOPOFORMA		PAISAJE TERRESTRE
	ELEMENTO TERRESTRE	ECOELEMENTO	ELEMENTO TOPOGRAFICO	UNIDAD TERRESTRE	UNIDAD NATURAL

Cuadro # 1

Fuente: Regionalización Ecológica del Territorio (SEDUE).

## CLASIFICACION FITOGEOMORFICA DE HOWARD & MITCHELL

NIVELES	CRITERIOS	ESCALA
Zona terrestre -	Mayores zonas climáticas, zonas en las cuales los procesos fisiográficos son uniformes.	1: 15 000 000
División Terrestre	Formas más expresivas de las estructuras continentales y formaciones vegetales asociadas.	1: 5 000 000 1: 15 000 000
Provincia	Grandes asociaciones litológicas mas vegetación asociada.	1: 1 000 000 1: 5 000 000
Región Terrestre	Asociaciones litológicas teniendo una evolución geomórfica comparable.	1: 200 000 1:3 000 000
Sistema	Patrón recurrente de facetas unidas genéticamente con una historia uniforme geológica y geomorfológica.	1: 250 000 1: 1 000 000
Catena Terrestre	Asociación característica de suelo y subformaciones vegetales.	1: 200 000
Faceta	Asociación vegetales, litología particular y diferencias en los procesos genéticos.	

Fuente: Howard, J. A. & Mitchell, C. W. 1980. Phytogeomorphic classification of landscape. Geoforum. Vol. II. Pergamon Press, LTD. Great Britain. 85-106.

### 3.- LA CLASIFICACION FISIOGRAFICA DE LA DGG.

El Sistema Fisiográfico de la DGG ( DETENAL, 1891 ), fue concebido y llevado a cabo por el Sr. Humberto Quiñones. Dicho trabajo esta basado en tres conceptos fundamentales: elemento topográfico, topoforma y el concepto de alteración macroclimática por morfología continental. Para el desarrollo de estos conceptos, las consideraciones sobre la Litología , Climatología y los procesos genéticos son importantes en la conceptualización del sistema. Partiendo de lo anterior, consideremos que las diversas formas que presenta la superficie terrestre, continental e insular, son susceptibles de ser analizadas y descritas con base en varios tipos fundamentales de superficies de topografías homogéneas, para las cuales las curvaturas que presentan cada una de ellas poseen dos componentes: una vertical y otra horizontal, respecto a los cuales sus contornos pueden ser: cóncavos, llanos o convexos. Tomando como base lo anterior, se definen de esta manera los dos primeros conceptos; así el elemento topográfico adoptado en este sistema tiene la siguiente definición: superficie terrestre de topografías homogéneas cuyos límites son dados por cambios en el tipo de curvatura superficial ( entre cóncavo, llano o convexo ) en sentidos vertical, horizontal o ambos ( ver fig.# 1 ), o por cambios abruptos de pendiente. Esta definición es cualitativa, porque no considera la cuantificación de las áreas y pendientes, ni los cambios de convexidad y concavidad, pero en levantamientos y estudios fisiográficos esta su mayor aplicación, porque los tipos de superficie terrestre representan uno de los aspectos más significativos, ya que las

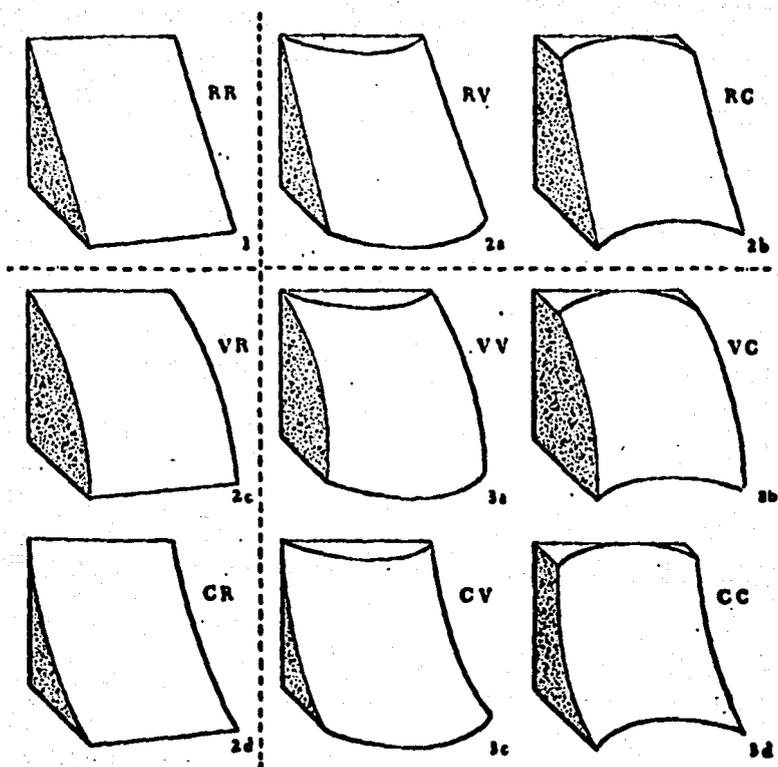


fig.1 Figura que muestra las nueve geometrías básicas de lade -  
ras clasificadas según su carácter recto (R), convexo (V) o cón -  
cavo (C) en los sentidos vertical y horizontal, (tomado de Ruhe  
R.V., 1975).

superficies están determinadas por las diferentes modalidades de flujo de las aguas de escurrimiento, también definen los patrones de distribución hídrica, y junto con el material basal los de infiltración y erosión. Por otro lado, el aspecto cuantitativo de la definición tiene importancia para los levantamientos fisiográficos, particularmente en la caracterización de sistemas de topoformas.

Lo anterior no significa que se eliminen de este sistema consideraciones genéticas, litológicas o climáticas. Diferentes vías de génesis pueden producir, en algunos casos, topoformas de morfologías convergentes. Una colina dómica (fig. # 2) por ejemplo, podría ser un pequeño volcán erosionado, un cerro

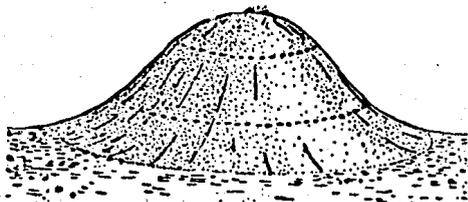


fig. # 2

de carso " cockpit", cerro-lacolito o un pliegue periclinal, presentando cada vez los mismos elementos esenciales.

El término topoforma, de topos, lugar ( forma de un lugar ) esta definido como una geoforma geoméricamente reducible a un número pequeño de elementos topográficos, en donde el término geoforma hace referencia a cualquier tipo de accidente del relieve; es amplio y ambiguo, puede ser aplicado a un continente, una cordillera, una playa o a un elemento topográfico sin incurrir en error; pero en este sistema la caracterización de las topoformas se hace con base en un número pequeño de elementos

topográficos predefinidos que hacen que las topoformas se conciban de una manera " ideal " , por ejemplo, que el cono cinerítico " ideal " está constituido siempre por los mismos elementos topográficos esenciales, (Fig. # 3). Esto permite pese a muchas condiciones diferentes de procesos que se dan en la naturaleza, analizar en el terreno una forma del relieve, identificar sus elementos esenciales y caracterizar la topoforma.

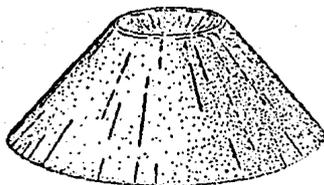


Fig. # 3

El tercer concepto fue derivado del esquema propuesto por Pedro Mosiño, 1974., el cuál se asigna a los factores determinantes del clima de una zona determinada el siguiente orden de importancia: 1.- latitud, 2.- orografía, 3.- la distribución de las tierras y los mares, 4.- las corrientes marítimas y 5.- las tormentas y sus trayectorias. De esta formulación es que se aplica en el Sistema Fisiográfico de la DGG, el concepto de alteración macroclimática por morfología continental. Las grandes unidades morfológicas que integran a un continente, figurando entre ellas extensos macizos montañosos, llegan a alterar a tal grado los patrones altitudinales de los cinturones de altas y bajas presiones atmosféricas, las fajas de los vientos y la circulación térmica, que en el conjunto del territorio nacional generan climas diferentes a los que resultarían únicamente de su

ubicación latitudinal y altitudinal (Quiñones, G.Humberto, 1981).

### 3.1.- JERARQUIZACION DE UNIDADES.

Basado en los tres conceptos anteriormente explicados Quiñones (1981), propuso la siguiente clasificación jerárquica, para la cual define cinco niveles, estos son:

- I.- Provincia Fisiográfica.
- AII.- Subprovincia Fisiográfica.
- BII.- Discontinuidad Fisiográfica.
- III.- Sistema de topoformas.
- IV.- Topoforma.
- V.- Elemento topográfico.

La integración de este sistema al presente trabajo consistió en considerar el nivel I, AII y III. A continuación se da la descripción de los niveles del sistema Fisiográfico DGG:

**Provincia Fisiográfica:** Los grandes conjuntos estructurales que integran un continente definen, generalmente con claridad, unidades morfológicas superficiales de características distintivas. Tales grandes unidades de origen y morfología propios son las Provincias Fisiográficas de las superficies continentales y son las primeras y más amplias divisiones que es posible definir sobre las mismas.

Una región se considera Provincia Fisiográfica cuando cumple los siguientes requerimientos:

- a.- Origen geológico unitario sobre la mayor parte de su área.

b.- Morfología propia y distintiva.

c.- Litología distintiva por:

\* un solo patrón litológico en toda su extensión.

\* Extensión y variación morfológica suficiente para ser divisible en subprovincias.

**Subprovincia Fisiográfica:** Es una gran área que resulta de la primera subdivisión que puede hacerse de una Provincia Fisiográfica, siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

a.- Configura una parte de la Provincia Fisiográfica que cumple los requerimientos especificados para la misma, excepto el mencionado en el último inciso.

b.- Respecto a las geoformas que la integran, son las típicas de la provincia, pero su frecuencia, magnitud o variación morfológica son apreciablemente diferentes a las dadas en el resto de la provincia en general, pero ahora asociadas con otras diferentes y que le son distintivas por no aparecer en forma importante en el resto de la misma provincia.

**Discontinuidad Fisiográfica:** Es una área enclavada dentro de una Provincia Fisiográfica cuyo origen y morfología no corresponden a la misma aún cuando cumple los requisitos especificados en los incisos a, b y c para constituir en sí una Provincia Fisiográfica aparte, pero que no puede ser considerada como tal porque carece de la extensión y variación morfológica suficiente para ser divisible en subprovincias. Solo se le puede subdividir en sistemas de topoformas.

**Sistema de Topoformas:** Las subprovincias o discontinuidades fisiográficas pueden ser subdivididas, a su vez, en Sistemas de Topoformas, que son conjuntos de topoformas asociadas entre sí, según algún(os) patrón(es) estructural(es) y/o degradativo(s) y

que además presentan un mayor grado de uniformidad paisajística que la unidad de segundo nivel de subdivisión de la que forma parte. Hay sistemas de topoformas que son producto de un solo proceso genético fundamental, correspondiente a alguno de los siguientes tipos:

a.- Sistemas de repetición múltiple de topoformas idénticas, por ejemplo: el enjambre de cerros calcáreos dómicos de carso tropicales tipo " Cockpit ".

b.- Topoformas de un mismo tipo, dispersa en una llanura, por ejemplo: inselbergs en un pedimento desértico.

c.- Sistemas de topoformas contrastantes, pero asociadas debido a un origen común y a la unidad histórica del sistema en su conjunto, por ejemplo: el complejo volcánico de la Sierra del Pinacate, Sonora.

Inclusiones: Dentro de las Subprovincias y Discontinuidades Fisiográficas pueden presentarse sistemas de topoformas o topoformas individuales que, por su origen y morfología y/o litología son extrañas a la unidad de la que forman parte.

#### 4.- GEOLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La Geología de la zona de estudio está representada básicamente por rocas ígneas y sedimentarias, de las primeras se tienen: Riolita-toba ácida del Terciario. Las riolitas alternan con tobas riolíticas, se presentan de forma masiva, estructura fluidal y esferulítica, compacta, de textura afanítica. Las tobas riolíticas son de grano fino, compactas de color rosa, y en ocasiones, se presentan muy soldadas (ignimbritas). Los pseudoestratos se encuentran dispuestos de manera sensiblemente

horizontal son del Terciario Superior y constituyen prácticamente la Sierra Fria y la Sierra del Laurel (SPP., 1981).

Basalto, roca ígnea extrusiva básica, de color gris oscuro, que presenta textura afanítica, estructura vesicular y lajeada, dispuesta en coladas de poco espesor; sobreyace en forma discordante a riolitas, tobas riolíticas, esquistos y arenisca-conglomerado.

De las rocas sedimentarias la arenisca-conglomerado es la predominante; gradualmente cambia de arenisca a conglomerado, se depositó rellenando las partes bajas. En general, la unidad presenta matriz limosa en pequeñas cantidades, escaso cementante y litificación incipiente; los fragmentos provienen principalmente de rocas volcánicas ácidas y su forma va de angulosa a subredondeada. Estos sedimentos sobreyacen concordantemente a lutita y arenisca continentales, y discordantemente a riolita, tobas ácidas, caliza, arenisca y lutita ésta última, de origen marino. El conglomerado también está presente, sus fragmentos provienen de riolita y tobas ácidas en su mayoría, y de caliza, lutita, arenisca y esquisto en menor proporción, su forma varía de angulosa a subredondeada, presenta matriz limo-arenosa, poca compactación y en la parte superior, costras de caliche que le dan una buena cementación. Sobreyace en forma discordante, principalmente a riolita y tobas ácidas, y le corresponde una edad del Cuaternario.

Los suelos aluviales son los que en mucha menor proporción se presentan en la zona, están constituidos por partículas de arcilla, limo, arena y grava de escasa compactación. En la parte superior existe una capa de suelo rico en nutrientes orgánicos, por lo que se advierte actividad agrícola donde se presentan, su

edad es reciente. (mapa geológico esc.1: 250,000 DGG., 1978 ).

#### 4.1.- FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio está ubicada en su mayor parte en la Provincia Fisiográfica denominada tanto por Erwin Raiz (1964), como por el Sistema DGG, Sierra Madre Occidental, en la Subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos, la cual comprende parte de tres sistemas de topoformas: sierra con mesetas, meseta y sierra baja. El área se caracteriza por tener un relieve abrupto en donde toda la estructura se encuentra activa tectónicamente, lo cual se manifiesta a través del arqueamiento estructural y disyunción en bloques como resultado del levantamiento ( Gómez, R., 1982 ), como reflejo de tal movimiento, más el control estructural que ejercen las fallas y fracturas pliocénico-cuaternarias, ocurre una profunda disección del relieve sobre las mesetas volcánicas piroclásticas intensamente disectadas y drenadas por corrientes fluviales, dispuestas en patrones subparalelos. De esta manera al relacionar los efectos de la actividad tectónica y las características de la morfología fluvial, se observa que la profunda disección sólo es el resultado de la acelerada erosión regresiva por efectos de un levantamiento, éste fenómeno se expresa por los profundos barrancos que se manifiestan a través de toda la unidad montañosa.

Geomorfológicamente, el área se encuentra formada por sierras con mesetas, cerros y lomeríos constituidos principalmente por material piroclástico, derrames de lava y depósitos sedimentarios. Estructuralmente los principales rasgos observables son una serie de fallas normales que dieron origen

a dos fosas tectónicas (gravens) con orientación NE-SW que flanquean a la zona (Sierra Fria), y que corresponden a los valles de Aguascalientes y Calvillo. Los que han estado en proceso de rellenado, como resultado de la erosión que sufre el área, de tal suerte que la sierra presenta escarpes debido a diferencia erosional que han dado origen a la formación de mesetas, así en general la zona se encuentra en una etapa de madurez.

#### 5.- EL SUELO.

El suelo es un cuerpo en el cual se sustenta la vegetación, es su principal fuente de nutrientes, por ello mismo controla su desarrollo y crecimiento. En la naturaleza se presenta como uno de los rasgos más obvios en las superficies agrícolas, pero lo es sin lugar a dudas, parte esencial de las regiones naturales que forman parte de la superficie terrestre ( C. Christian y W. Mitchell, 1968). La vegetación actual con la que tenemos contacto, está adaptada a las condiciones físicas del medio así como a las condiciones ofrecidas por los suelos. Si vemos las cosas desde este punto de vista, las deficiencias del suelo pueden ser superadas, siempre y cuando sean evidentes, pero muchas veces ni desde una clasificación o análisis del suelo se presentan fáciles de discernir, sin embargo sabemos que un suelo puede ser bueno o malo dependiendo del propósito de su uso, de manera intrínseca, pero extrínsecamente esta determinado realmente por factores tales como: clima, pendiente, drenaje y composición entre otros muchos, todos ellos aspectos tan importantes que en el estudio de suelos la relación suelo-clima-

vegetación expresan la significancia real de este recurso (Lacoste, N. Alain, 1974).

Los suelos buenos, considerados desde el punto de vista agrícola, pueden ser despojados de sus cualidades por mal uso, por procesos erosivos, agotamiento de la fertilidad, destrucción física, inundación etc.; por lo tanto una evaluación del potencial del suelo puede carecer de confiabilidad sino se tiene una buena cantidad de correlaciones técnicas de interpretación y experiencia técnica local.

#### 5.1.- TIPO DE SUELOS EN LA ZONA Y SUS CARACTERISTICAS.

En este sentido la información referente a los tipos de suelos presentes en el área de estudio, fue obtenida de la cartografía edafológica del INEGI, que establece que por el relieve accidentado que prevalece en la mayor parte de la zona de estudio, ha sido un factor determinante y en cierta medida limitante para un mayor desarrollo del suelo. En general la zona está ocupada casi en su totalidad por suelos poco profundos que presentan, dentro de los primeros 50 centímetros de espesor, un estrato duro y continuo (roca o tepetate) aunado a materiales fragmentados (pedregosidad) sobre la superficie. Por otro lado, la escasa cubierta vegetal y las pendientes pronunciadas propician una acción más directa de los agentes erosivos, la disección y en alguna medida las geoformas que se presentan en la zona así lo manifiestan. A continuación se presentan los diferentes tipos de suelo, estos son:

- Luvisol (albico, férrico)

- Planosol (eútrico)
- Feozem (háptico)
- Litosol
- Regosol (eútrico)
- Castañozem (háptico)
- Cambisol (eútrico, húmico)
- Fluvisol (eútrico)

## 6.- HIDROLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

El recurso hidrológico esta determinado en cualquier lugar de la superficie terrestre por factores tales como: la precipitación in situ, la evaporación y el drenaje superficial y subterráneo. Otros factores que también tienen influencia son las características de las áreas adyacentes, el tipo de drenaje característico y el control que el hombre puede ejercer a través de sus actividades.

Sabemos que la única fuente de recarga de agua superficial y subterránea es la precipitación, así por su fisiografía y latitud a la que se encuentra, en la región no es propicia la formación de nevadas o granizadas, más que ocasionalmente. De manera general la región recibe anualmente en promedio un volumen de lluvias de 3000 mm<sup>3</sup>., de los cuales, considerando las cuencas en su estado natural, unos 250 mm<sup>3</sup>., es decir el 8% escurren superficialmente, otros 120 mm<sup>3</sup>., equivalentes al 4% se infiltran alimentando los mantos acuíferos y los 2630 mm<sup>3</sup>., restantes, que corresponden al 88% retornan a la atmósfera por evapotranspiración (SARH, 1987), estos datos van de acuerdo con la característica del clima tipo semiseco en el cual la

evaporación excede a la precipitación.

#### 6.1.- PROCESOS HIDRICOS EN LA ZONA.

El drenaje superficial se caracteriza por ser de textura fina, por su alto nivel de escurrimiento (avenamiento), sustrato geológico impermeable (riolita-toba), y suelos de baja permeabilidad (luvisol, planosol eútrico, fluvisol eútrico), el patrón de drenaje presente en la zona es de tipo dendrítico, que se caracteriza por un sistema ramificado en el cual las corrientes tributarias de las corrientes principales, unen las curvas de las corrientes suavemente en ángulo agudo. La presencia de este tipo de patrón indica materiales homogéneos, suelos uniformes y basamento rocoso uniforme. La vegetación juega un papel importante como se verá más adelante en el análisis digital y del trabajo de campo. (el análisis del drenaje se realizó con base en la cartografía de la DGG.)

El drenaje superficial de la zona drena básicamente hacia dos ríos: el Río Aguascalientes llamado también San Pedro tributario del Río Verde y el Río Calvillo afluente del Juchipila, quedando todos comprendidos dentro de la cuenca del Río Santiago. El Río San Pedro recorre al estado en dirección norte sur y tiene como tributarios principales en su margen derecha al Río Morcinique, cuyos escurrimientos provienen principalmente de la Sierra del Guajolote y otra área más pequeña drena de la Sierra Fria. El Río Blanco es la corriente más importante que baja de la parte oriental de Sierra Fria y es el que alimenta a la presa Presidente Calles, que es el depósito más importante de la entidad con 350 mm<sup>3</sup>., de capacidad.

El Río Calvillo, segunda corriente en importancia es alimentado por los arroyos de la Labor y Malpaso que captan la mayor parte de los escurrimientos que bajan del lado suroeste de la Sierra Fria, este río cubre con su cuenca una superficie de 1129 Km<sup>2</sup>. en condiciones naturales, fue un río de régimen permanente cuyo cauce conducía un volumen medio anual de 50 Mm<sup>3</sup> (SARH, 1987). El drenaje subterráneo; las rocas consolidadas riolita-toba ácida de Sierra Fria, son en general poco permeables donde están fracturadas o alteradas funcionan como receptoras y transmisoras de agua que por ellas se infiltra, para la recarga de los almacenamientos subterráneos que se alojan en las partes bajas de las cuencas, pero gran parte de dichas fracturas no están comunicadas entre sí por lo que existe porosidad carente de permeabilidad, este fracturamiento aunque pudiera continuarse a grandes profundidades no produce agua económicamente costeable, no obstante se estima que en la actualidad se están explotando alrededor de 1520 pozos profundos en el estado, para todos los fines.

La precipitación pluvial que captan estas rocas, los escurrimientos superficiales que alimentan al subsuelo por infiltración a lo largo de los cauces y en los piedemontes, son las principales fuentes de recarga natural que alimentan los acuíferos de la región, con volúmenes cuya magnitud fluctúa de un ciclo anual a otro dentro del impredecible lapso que media entre la escasez y la abundancia, en función de la condición aleatoriamente variable de las lluvias. El comportamiento del flujo subterráneo es semejante del que observa la red hidrográfica, el agua del subsuelo circula de la áreas de recarga, aguas arriba, hacia zonas de descarga, aguas abajo,

controlada por la estructura geológica en los macizos montañosos, por la distribución espacial de la recarga y por la posición de los niveles base de descarga (SARH, 1987).

## 6.2.- LA ACCION ANTROPICA EN LA ZONA DE ESTUDIO.

Por el análisis de los mapas topográficos, aunque un poco desactualizados, y por los recorridos en campo, se ha observado que la presencia del hombre en la zona de estudio es casi nula, existiendo hacia el este el único poblado de cierta importancia llamado la Congoja con aproximadamente 400 habitantes, existen también ranchos y fincas de tipo temporalero esparcidos por toda el área. Entre los primeros habitantes y los segundos, la densidad de población por Km<sup>2</sup>. resulta muy baja. Lo que es de mayor importancia es la explotación del recurso forestal a que ha estado sujeta la zona desde tiempos pasados, es de hacerse notar que la población que realiza esta actividad no radica en el área, proviene de otros lugares, y aunque existe inspección de tipo forestal la extracción de madera es continua. En otros tiempos el recurso maderable se destinaba principalmente al mantenimiento de la actividad minera del municipio de Tepetzalá y como combustible de uso doméstico y otra utilidad importante que se le daba y que aún continua dándose, es como postiería para cercar potreros. Esta explotación ejerce influencia sobre varios aspectos, por ejemplo en la hidrología de la zona, cuando el soporte del suelo, básicamente el árbol y sus raíces son retirados del terreno y estos no se regeneran o no se les permite su regeneración natural, el proceso erosivo en sus diversas fases se acentúa (este proceso ya se observa en los

diferentes tipos de suelos y en el patrón de drenaje de la zona). Por otro lado la vegetación de tipo natural ha sufrido cambios, por ejemplo la vegetación de tipo secundario, matorrales en general, pero principalmente Arctostaphylos pungens (manzanita) le esta ganando la cobertura del terreno al bosque de pino-encino o de encino. Por otro lado esto tiene una consecuencia directa en la actividad ganadera, la que se ha incrementado poco a poco ejerciendo en toda la zona un sobrepastoreo, que la zona no esta en condiciones de soportar, esto también esta empezando a surtir sus efectos en los procesos erosivos, lo que a la larga tendrá una influencia mayor en la hidrología de la zona.

#### 7.- EL CLIMA.

Cada factor de un recurso tiene su propia distribución espacial y también una distribución temporal. Así, aunque los amplios aspectos del clima pueden variar geográficamente en una región, ellos también pueden variar de estación a estación a lo largo del año. Encontramos en esto importantes efectos-causas, por ejemplo, en el flujo de corrientes las cuales varían estacionalmente en función de la precipitación, corriente y filtración entre otros ( C. S.Christian y G. A.Stewart, 1968 ).

De los factores físicos de los recursos, el clima ha tenido la mayor significancia directa, por sus características generales fija el amplio patrón de actividad biológica. Aunque el uso de la tierra puede modificar el microclima, las más amplias características del clima no son cambiadas por el hombre y el patrón climático puede ser registrado como un rasgo permanente de acuerdo al tiempo en que se mide. Por otro lado los rasgos del

clima a menudo cambian zonalmente de una manera ordenada de acuerdo a las mayores influencias globales pero esta zonación es interrumpida por efectos topográficos y las interrelaciones de las masas de tierra y agua. Así el clima en una localidad particular puede diferir significativamente de la zona principal, pero también los componentes individuales del clima fluctúan considerablemente, diurnamente y sobre cortos periodos de unos cuantos días o más. Estas fluctuaciones e irregularidades son a menudo tan importantes en la determinación de los niveles de productividad como son los principales valores climáticos para una localidad ( Christian y Stewart, op. cit.).

Aunque algunas de las más grandes direcciones pueden ser predecidas para otros factores, el establecimiento preciso de los componentes climáticos requieren de un largo periodo de registros físicos en muchos sitios. Para conocer las condiciones climáticas, analizaremos sus factores y elementos principales. Antes que nada la ubicación del área de estudio es factor determinante para el clima y otros elementos inherentes a éste latitudinalmente influye en la insolación, dirección de los vientos, y su altura como efecto orográfico sobre la temperatura, los vientos y las precipitaciones. Podemos decir que el entorno climático de cualquier parte de la superficie de la tierra es el resultado en gran medida de su latitud ( Hagget, Peter, 1988 ). El clima de la región, ha tenido comportamientos varios, de manera natural evolucionó hasta obtener un clímax húmedo, pero la influencia humana desde siglos atrás, desforestó la sierra, ello afecto definitivamente esas condiciones climáticas ( Gómez, Rojas. 1981 ). La distribución de las estaciones termopluiométricas no es homogénea ni muy densa, solo cinco se

encuentran dentro de la región, pero algunas más están en su entorno. El análisis de sus datos nos permitió determinar su clasificación climática siendo aplicada la de Koeppen-García. Los demás parámetros han sido deducidos a través de estos mismos datos y de los datos contenidos en los mapas de tipo climático que edita la DGG.

#### 7.1.- FACTORES - LATITUD - CONTINENTALIDAD - OROGRAFIA.

Latitud - La zona de estudio se encuentra localizada entre los paralelos 21° 55' y 22° 15' de latitud norte, esto significa que esta dentro de la faja intertropical ( porción de la superficie terrestre limitada al norte por el Trópico de Cáncer y al sur por el Trópico de Capricornio ) por lo que se encuentra muy cerca del Trópico Norte. Todo esto tiene un efecto especial en la irradiación solar, provocando que las temperaturas máximas de la superficie terrestre no se registren en el Ecuador sino en los trópicos, entre los 17° y 23° 27' latitud norte o sur, y donde los rayos solares caen verticalmente durante 86 días consecutivos ( Barry, R.G. y R.J. Chorley, 1972 ). Por lo que respecta a estas consideraciones es importante señalar que el área de estudio se encuentra muy cerca del Trópico Norte, por lo que el ángulo de incidencia es relativamente grande. Con la bimodalidad de este efecto al año en que los rayos solares caen perpendicularmente en el lapso entre un paso y otro. Estas características repercuten en un fuerte incremento de energía calorífica y luminica por unidad de área ( Haggat, Peter. op. cit. ) y de tiempo. Esto es una característica de las áreas con clima BS ( en la actualidad).

Continentalidad - Respecto a este factor, nos encontramos ante una paradoja, ya que potencialmente recibimos más energía, pero al ser ésta el motor de: temperaturas, presiones, vientos, humedad, nubosidad, evapotranspiración, ellos mismos se convierten en factores limitantes de nuestro potencial calorífico. Es decir aunque la radiación es alta tenemos limitaciones de humedad, por la lejanía del mar.

Orografía- Otro factor importante en la captación de energía y otros elementos (lluvia, temperatura, vientos etc.), lo es el efecto orográfico, por su orientación, orientación de pendientes y barrancas, cuando las pendientes están orientadas hacia el sur en el hemisferio norte reciben mayor cantidad de energía que cualquier otra, debido a la posición (aparente) del Sol a lo largo del año, así tanto por latitud (Barry y Chorley, 1972), como por su orientación y aunado a sus condiciones de altitud, tenemos más cantidad de energía al ser menor la capa de aire atmosférica. Resumiendo los puntos anteriormente expuestos, el área de estudio tiene un elevado potencial energético factible de aprovechar en el desarrollo de una masa forestal que extienda su cobertura del terreno más ampliamente.

## 2.2.- CLASIFICACION DEL CLIMA DE LA ZONA DE ESTUDIO

De acuerdo al análisis de los factores anteriormente expuestos y a los datos de las estaciones termo-pluviométricas localizadas en la región (mapa climático de la DGG.), ver cuadro # 3 con datos e indicaciones y de acuerdo a la clasificación climática de Koeppen-García, tenemos el tipo de clima que es el siguiente: BSkv(e)g. Semiseco; templado con verano cálido con temperatura

ESTACIONES QUE DIVISION PARA CLASIFICAR EL CLIMA DE LA ZONA

RE DIVISION EN DOS GRUPOS LAS QUE CAYEN DENTRO DE LA ZONA (1) Y LAS QUE SE ENCUENTRAN EN EL ENTORNO CON UNA DISTANCIA NO MAYOR A 1,5 KM. (\*\*)

\*\*No. DE ESTACIONES 01 - AGRACULTIVENTES 32 - ZACATECAS T - TEMPERATURA  
 \*\*No. DE ESTACIONES 01 - AGRACULTIVENTES 32 - ZACATECAS P - PRECIPITACION

No. DE ESTACION	NOMBRE Y CLAVE DE LA ESTACION	CLASIFICACION CLIMATICA	PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO	MESO PERIODO												ANUAL
				ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
*1	PARRA POTRERILLOS 01-013	01-hv(e)s	T 20	12,0	13,0	10,3	10,0	20,4	20,2	10,2	10,2	10,5	17,1	15,1	12,7	17,1
			P 42	12,0	0,0	5,3	0,0	10,5	00,5	100,1	02,5	35,0	10,0	0,0	001,0	
*2	PARRA LA OCOMIZ 01-023	01-hv(e)s	T 10	10,0	10,1	10,0	10,2	21,2	21,2	10,0	10,0	10,2	17,7	15,0	12,5	17,0
			P 13	17,0	11,3	7,0	12,7	24,7	02,2	120,0	102,2	100,0	20,1	13,2	14,0	000,7
*3	RAMO VIEJO 01-030	01-hv(e)s	T 13	12,2	13,0	10,0	10,7	20,2	10,0	10,7	10,5	10,0	10,2	10,0	12,0	10,5
			P 10	17,0	12,0	12,0	11,0	24,0	24,0	100,1	120,0	104,7	21,0	0,0	0,0	000,0
*4	RAMO PIEDRA OCOMA 32-020	01-hv(e)s	T 24	12,5	13,7	10,2	10,0	20,4	20,2	10,4	10,2	10,7	17,0	14,0	12,0	17,0
			P 40	11,2	7,3	4,0	0,0	17,4	21,0	00,0	01,0	00,0	22,0	14,0	0,0	022,0
*5	PALOMA 32-072	01-hv(e)s	T 0	12,0	13,2	10,2	10,2	10,0	21,1	10,0	10,4	10,0	17,2	14,0	12,0	10,0
			P 0	22,0	0,0	17,0	1,2	21,1	20,0	111,0	100,2	00,2	22,0	0,0	0,0	000,0
**1	PARRA EL JOQUE 01-000	01-hv(e)s	T 20	12,0	10,7	10,0	10,2	20,0	20,0	10,4	10,4	10,0	17,2	15,2	12,7	17,0
			P 20	14,0	0,2	7,1	10,2	20,0	22,0	02,7	114,0	00,7	22,0	10,1	10,1	000,0
**2	LA CONCEPCION 01-020	01-hv(e)s	T 12	12,0	13,2	10,0	10,1	20,2	10,2	17,0	10,0	17,4	10,0	14,0	12,0	10,0
			P 15	24,0	0,1	11,0	12,0	24,2	22,0	04,0	114,4	02,1	41,0	10,1	10,2	022,0
**3	OZCALLENTE 32-040	01-hv(e)s	T 10	11,2	12,0	10,1	17,0	10,0	10,0	10,2	10,0	17,0	10,1	13,1	12,0	10,0
			P 10	14,0	10,2	12,2	20,0	20,0	00,0	100,2	02,2	24,0	20,0	7,0	10,0	027,2

media anual de 17°C, temperatura del mes más frío 12.5°C, temperatura del mes más cálido 20.7°C., lluvias en verano con porcentaje de lluvias invernal, respecto al total anual entre 5 y 10.2, extremoso, con oscilación térmica entre 7°C y 14°C., con marche de la temperatura tipo ganges, mes más cálido se presenta antes de junio. Según la gráfica ombrotérmica tiene cuatro meses lluviosos (junio a septiembre) los otros ocho son secos.

## CAPITULO II PERCEPCION REMOTA

### 1.- LA PERCEPCION REMOTA

La Tierra, llamada también el planeta azul, es finita respecto a sus recursos naturales limitados. Con una población en continuo crecimiento, y ésta ejerciendo una constante presión sobre sus recursos naturales base, tiende a modificar la conducta del hombre, que por mucho tiempo baso sus decisiones políticas, sociales y hechos económicos, considerando a los recursos terrestres como ilimitados y arbitrariamente de uso común. A partir de la década de los 70 el hombre se empezó a percatar que los recursos naturales son limitados y que las actividades están cambiando el medio ambiente de una forma que no puede ser reversible y en un tiempo medio peligroso para el desarrollo y existencia de la humanidad ( H. Haberle, H. Sax y R. Winter, 1979 ). Hechos de esta situación son: la desertificación en regiones subecuatoriales, la deforestación de zonas tropicales, la polución del océano abierto y las costas y sus impactos secundarios en las condiciones de vida humana. Hoy la tecnología nos puede marcar pautas en nuestras desiciones acerca del uso y

destino del planeta Tierra en su conjunto.

En un artículo Estes, Jensen y Simonett 1980, argumentan que la Percepción Remota es una realidad de nuestro tiempo, es una poderosa herramienta que no puede ser ignorada porque de su información potencial y de la lógica implícita en los procesos de razonamiento empleados para analizar los datos de la Percepción Remota y del acoplamiento de otros métodos como : la fotogrametría y fotointerpretación ( Manual of Remote Sensing, 1983 ), puede cambiar nuestras percepciones, nuestros métodos de análisis de datos, nuestros modelos y nuestras paradigmas.

El término " Percepción Remota " fue inventado en los años sesenta por geógrafos de la oficina de investigación Naval de los Estados Unidos de Norteamérica para la aplicación de la información derivada de fotografías e instrumentos no fotográficos. Así Percepción Remota se define como; el grupo de técnicas de colección de información confiable sobre las propiedades físicas de superficies-objetos y sus alrededor desde una distancia sin contacto físico de ellos ( Meritano, Arenas, 1982 ). Esto se da normalmente, levantando alguna forma de imagen la que es ampliamente procesada e interpretada para producir datos que pueden tener aplicación en diferentes campos como pueden ser: agricultura, geología, geografía, vegetación, arqueología, planeación y otros campos. Es importante mencionar que el término Percepción Remota está restringido para métodos que emplean la energía electromagnética como el medio de detección y medida de características de los objetos. Esta energía incluye a: la luz, el calor y las ondas de radio. Esta definición excluye los estudios eléctricos, magnéticos y gravimétricos que miden los campos de fuerza, más bien que la

energía electromagnética ( Floyd, F. Sabins, 1979 ).

Como ésta, es posible encontrar muchas definiciones similares; no obstante, ellas coincidirán en varios puntos fundamentales; el proceso de Percepción Remota requiere de:

- una fuente emisora de energía
- un objeto a estudiar
- un sistema capaz de captar información
- una distancia entre el objeto a estudiar y el sistema que puede captar la información ( Montoya, P.

Antonio, 1986 ). Operacionalmente las técnicas de Percepción Remota abarcan distintos aspectos a saber: planes de experimentación y aplicación, selección de instrumentos perceptores, la recepción registro y procesamiento de los datos derivados del registro de las radiaciones emitidas o reflejadas por los objetos de la superficie terrestre.

Sin embargo, de mayor importancia es el análisis de los datos obtenidos, de tal forma que el técnico analista pueda deducir el significado de sus observaciones y resultados.

### 1.1.- LOS SENSORES REMOTOS

Bajo el término de sensores remotos se agrupan a todos aquellos instrumentos que nos permiten conocer un objeto sin tocarlo y sin observarlo directamente. Es decir, se obtiene información de dicho objeto u objetos desde distancias remotas ( Meritano, Arenas. op.cit. ). Esto se logra utilizando la energía electromagnética, la cual se mueve a la velocidad de la luz  $3 \times 10^{10}$  cm/s., en un patrón armónico de ondas (ver fig.# 4). La onda consiste de un campo eléctrico (vertical) y uno magnético

(horizontal), los cuales son ortogonales uno con respecto al otro

SEALICHO MOSTRANDO UNA ONDA  
ELECTROMAGNÉTICA.

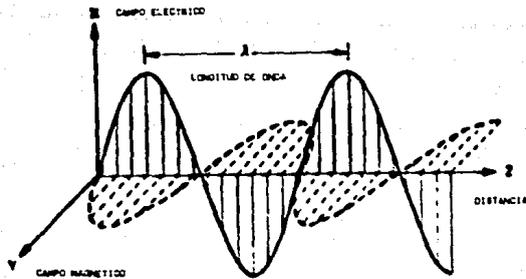


Fig. # 4.

y para la dirección de propagación de la onda, la cual se encuentra clasificada de acuerdo a su longitud de onda y a su frecuencia en el espectro electromagnético ( C.P.Lo, 1986 ). El concepto de onda explica la propagación de la energía electromagnética, pero esta energía es detectable únicamente en términos de su interacción con la materia ( Floyd F. Sabins, op.cit. ). Aviones y satélites son las plataformas más comunes desde las cuales los sensores remotos hacen las observaciones. Los sensores remotos y los productos que de ellos se obtienen han contribuido en los últimos años al desarrollo de las ciencias naturales ya que tienen un amplio rango de aplicación sobre ellas ( C.P.Lo, 1986.; Manual of Remote Sensing, 1983.; Meritano, Arenas J, 1982 ). Sobre todo, es que teóricamente podemos conocer los recursos de una región determinada, sin siquiera visitar dicha región, todo esto se logra mediante el estudio adecuado de las imágenes que nos proporcionan dichos sensores remotos: imágenes fotográficas, imágenes multiespectrales, imágenes de radar etc.. Las imágenes que nos brindan estos instrumentos son de distinta naturaleza, aunque la fotografía aérea (emulsión fotográfica) convencional es la forma original de los sensores

remotos y estas son ampliamente usadas para mapeo topográfico, ingeniería, estudios medioambientales, exploración de petróleo y minerales ( Floyd F. Sabins, op.cit. ), otras formas han sido implementadas como es la energía electromagnética grabada en cintas magnéticas, de acuerdo al instrumento utilizado. Desde luego, el uso de cualquiera de estos instrumentos (sensores) estará definido por el tipo de información que el investigador especializado en cierta área ( Geología, Botánica, Hidrología, Urbanismo etc.) espera obtener.

Los diferentes instrumentos (sensores remotos), pueden ser de diverso tipo, ( es importante señalar que el ojo humano es el mejor sensor que existe en la naturaleza ), de acuerdo a su funcionamiento estos pueden ser:

- puramente ópticos (cámaras fotográficas)
- óptico-electrónicos (cámara de televisión Vidicom)
- puramente electrónicos (radar)
- ópticos-mecánicos (barredor infrarrojo térmico )

Cada uno de ellos y su utilización está en función del tipo de información y a los rangos del espectro electromagnético que queramos sensar. Los tipos de sensores remotos que existen se pueden dividir en dos grandes grupos:

1.- Sensores remotos pasivos, son aquellos que no tienen energía propia, la mayoría pertenecen a este tipo.

2.- Sensores remotos activos, son aquellos que tienen energía propia, estos a su vez se subdividen en cuatro categorías.

2.1.- Clasificación ordinaria. Basada en principios ópticos y que nos brindan como resultado una imagen.

2.2.- Clasificación clásica. Basada en el principio del ecotiempo, estos instrumentos tienen energía propia, como resultado se obtiene una imagen.

2.3.- Sensores fijos o barreadores. Estos se basan en un principio óptico-electrónico, como resultado se obtiene una imagen.

2.4.- Los sensores que no forman imágenes. Dentro de este tipo de sensores se encuentran los llamados geofísicos tales como el gravímetro, cintilómetro entre otros, estos nos brindan información de la superficie terrestre o del subsuelo ( Meritano, Arenas, J. op.cit. )

Algunos ejemplos de sensores remotos son los siguientes:

I.- Sensores para el visible y el infrarrojo reflectivo.

A.- Skylab Multispectral Scanner (MSS). Uno de los más importantes barreadores para la investigación de firmas y respuesta de lugares para longitud de onda específica desde el espacio, ver fig. # 5. Es un barreador óptico-electromecánico que colecta energía radiante usando un espejo giratorio en el plano de la imagen para barrer de forma cónica la escena visualizada

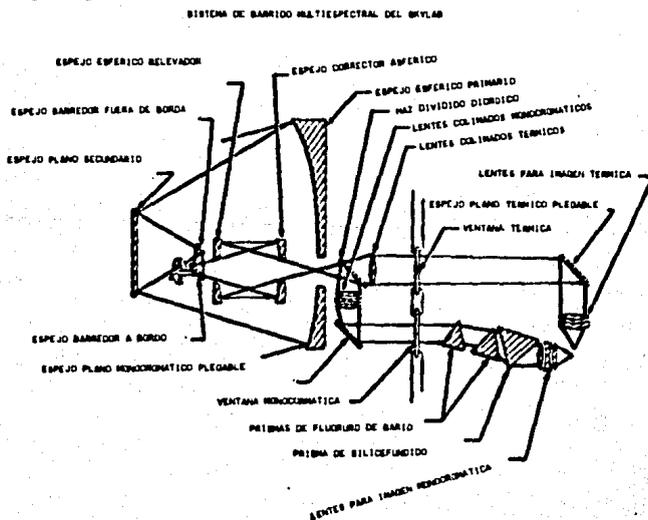
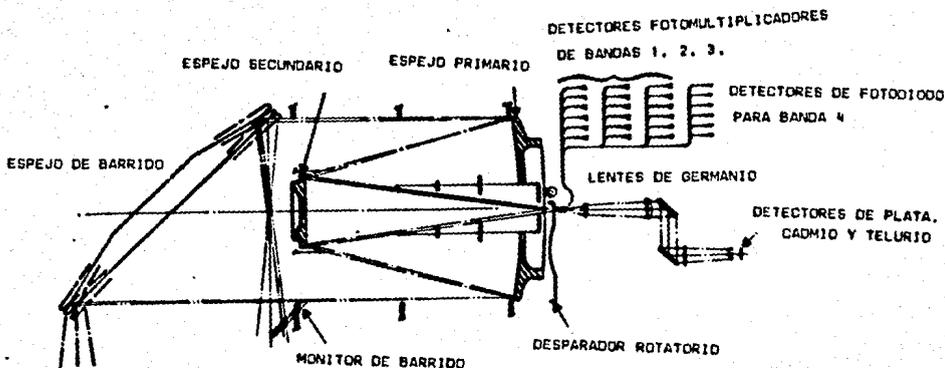


fig. 5

B.- Landsat Multispectral Scanner ( MSS ). Consiste en un telescopio del tipo de doble reflexión, un barreador de espejo, filtros detectores y la electrónica necesaria, ver fig. # 6.



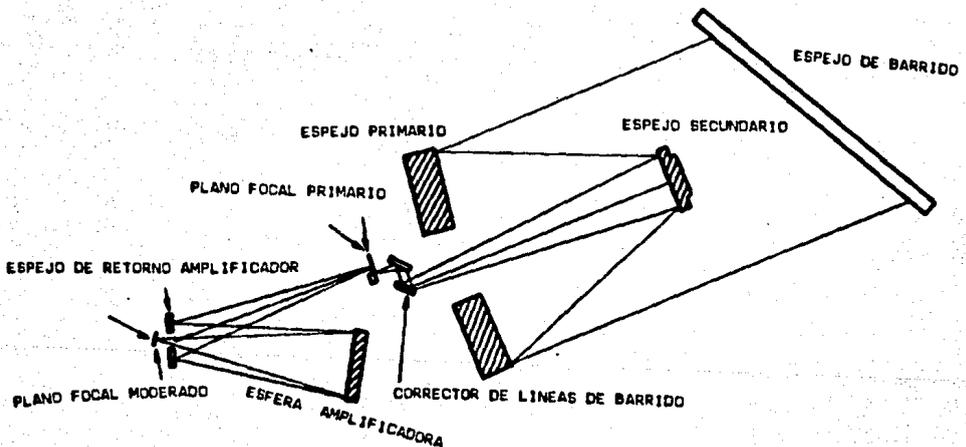
ESQUEMA DE LA OPTICA DEL MSS LANDSAT

FUENTE: Colwel, R. N. 1983 Manual of Remote Sensing, Vol. II, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, U. S. A., pp. 1232

fig. 6

C.- Thematic Mapper (TM). Es significativamente más complicado y más sofisticado que el MSS, que originalmente sirvió como el primer sensor en Landsat. El TM posee aproximadamente el doble de número de bandas espectrales que previamente existían en el

MSS. Más sin embargo, la resolución espacial en las bandas del TM situadas en el visible e infrarrojo reflectivo del espectro es dos y media veces más grande que la resolución espacial comparable a las bandas del MSS ( Manual of Remote Sensing, 1983 ). El TM y MSS fueron originalmente designados para obtener medidas sobre un rango comparable de intensidad de radiación. La señal de salida de los detectores del TM esta en el rango de 256 diferentes niveles de gris, mientras el rango de escala empleado en la cuantificación digital de los datos del MSS son solamente 64 niveles de gris. En adición, los detectores individuales dentro del TM son más sensibles a los cambios de radiación incidente que los detectores que emplea el MSS ( Szekiela, Karl H, 1988 ). El sensor se muestra en la fig. # 7 y la fig. # 8 es un esquema simplificado del mismo.

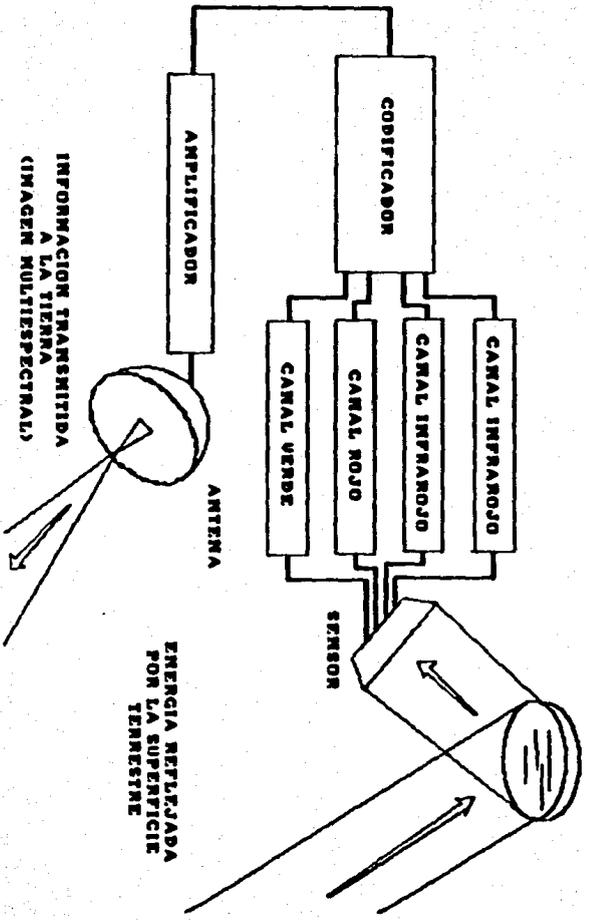


FUENTE: Colwel, R. N. 1983 Manual of Remote Sensing, Vol. II  
 American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia,  
 U. S. A., pp. 1232

fig. 7

# ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL BARREDOR MULTIESPECTRAL

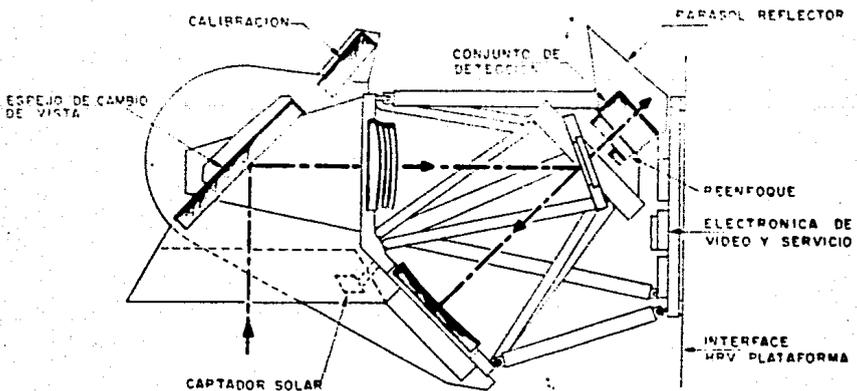
ESPEJO (BARREDOR)



ENERGIA REFLEJADA POR LA SUPERFICIE TERRESTRE

INFORMACION TRANSMITIDA A LA TIERRA (IMAGEN MULTIESPECTRAL)

D.- SPOT (sistema provatorio de observación de la Tierra). El satélite lleva dos sensores idénticos, llamados de alta resolución visible (HRV). Esta hecho de un arreglo de detectores de estado sólido y están operando en el visible y en la parte del infrarrojo cercano del espectro. Entre las innovaciones del SPOT se tiene la relativamente alta resolución de la imagen del terreno, el tamaño del pixel ( elemento de la imagen ) es de 10 x 10m. en el modo pancromático y 20m. en el modo multiespectral y la habilidad de estos sensores para tomar imágenes en forma vertical tanto como lateralmente con una inclinación de  $\pm 27^\circ$  este y oeste del eje vertical local. Esta última característica ofrecida, permite también obtener observaciones estereoscópicas combinando vistas tomadas a diferentes ángulos de la vertical y por tanto abre las posibilidades de la tercera dimensión o determinación de altitud, un requerimiento importante para aplicaciones cartográficas ( Szekiela, Karl.H. op.cit. ), ver fig. # 9 ESQUEMA FUNCIONAL DEL HRV



E.- Advanced Vidicom Camera System. Es una forma de cámara de televisión la cual puede ser considerada como la contraparte

electrónica de la cámara fotográfica, porque su principal aplicación es la percepción en las porciones del visible y infrarrojo cercano del espectro electromagnético (sobre 0.85 micras ), ésta cámara esta basada en procesos fotoconductorivos y son usadas en satélites meteorológicos ( C.P.Lo, op.cit. ).La primera cámara Vidicom (AVCS), fue montada en el satélite Nimbus

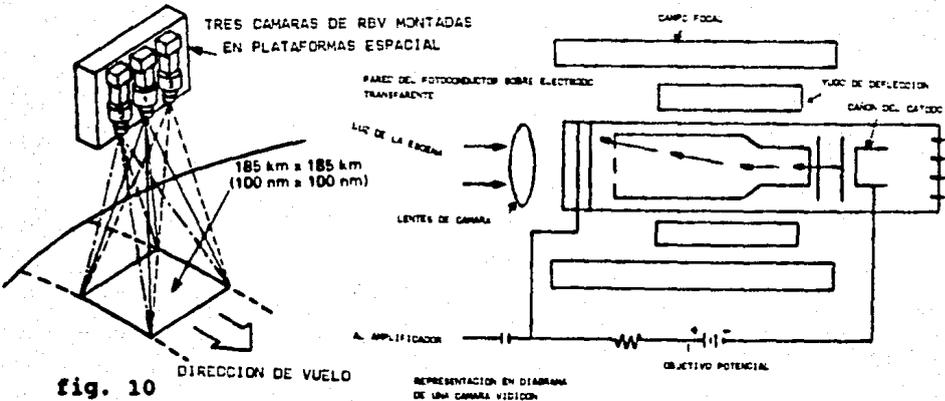


fig. 10

2 y provee imágenes de televisión de la distribución de nubes en una escala global y rasgos terrestres sobre regiones libres de nubosidad. El sistema consiste de tres cámaras Vidicom con un campo cuadrado de visión de 37'. La cámara central fue orientada inclinada a lo largo del eje de deriva, y las cámaras laterales fueron montadas en el plano de inclinación a un ángulo de 35' con respecto a la cámara central, ver fig. # 10.

**F.- Return Beam Vidicom.** Sistema de cámaras del Landsat, contiene tres cámaras independientes cubriendo las bandas espectrales desde el azul-gris (0.47-0.575 micras), hasta el amarillo-rojo (0.58-0.68 micras) al infrarrojo cercano (0.69-.83 micras), en cada sobrevista de la misma área. El campo de visión de la RBV es de 185 x 185 Km. de área.

## II.- SENSORES DE MICROONDA

Los radiómetros de microonda logran observaciones de la atmósfera, miden la emisión térmica de las amplias capas entre la superficie terrestre y la atmósfera. Hacen uso de antenas para coleccionar información de la radiación de longitud de onda corta ( en frecuencias de 0.1cm -0.3 a 300 GHz ), desde el suelo y son generalmente clasificadas en sensores de microonda pasivos y sensores de microonda activos ( Manual of Remote Sensing, 1983.; C:P:Lo, 1986. y Floyd F. Sabins, 1972 ). Los primeros coleccionan la emisión termal desde la superficie de la Tierra, en el espectro de la microonda. Las bandas espectrales comúnmente empleadas están separadas dentro de regiones de la microonda, a cada una de las cuales se le designa una letra o está designada con una letra, ver tabla # 1.

Designaciones	Frecuencia ( GHz )	Longitud de onda(cm)
P	0.225 - 0.390	133.00 - 77.00
L	0.390 - 1.550	77.00 - 19.00
S	1.550 - 4.200	19.00 - 7.10
C	4.200 - 5.750	7.10 - 5.20
X	5.750 - 10.900	5.20 - 2.80
K	10.900 - 36.000	2.80 - 0.83
Ku	10.900 - 22.000	2.80 - 1.36
Ka	22.000 - 36.000	1.36 - 0.83
V	46.000 - 100.000	0.65 - 0.54
W	56.000 - 100.000	0.30 - 0.54

Tabla # 1. Bandas y longitudes de onda de RADAR (tomado de Ulaby et. al. 1981).

En el espectro de la microonda la frecuencia de la onda es más comúnmente empleada que su longitud de onda, probablemente a causa de la asociación de las técnicas de la microonda con la tecnología de la radio. La ventaja distintiva de los sensores de microonda es su capacidad para penetrar nubes, aunque el vapor de agua y el oxígeno pueden estorbar, específicamente si se usan las microondas en sus frecuencias más pequeñas (206 Hz o longitud de onda abajo de 1.5 cm.), (Szekiolda, Karl, H. op. cit. ). Los sensores de microonda pasiva detectan radiación emitida, reflejada y transmitida dentro de las longitudes de onda de 1mm. a 300 mm. También la fuerza de la radiación de las microondas depende mucho sobre la temperatura y las propiedades dieléctricas del material que más sobre la rugosidad de la superficie (C.P. Lo , op. cit.). Las imágenes de microonda se obtienen a partir de un dispositivo de barrido mecánico el cual consiste de un reflector parabólico, al centro del reflector esta una pequeña antena la cual colecta la energía radiante la cual es alimentada dentro del receptor-amplificador. Por otro lado, la resolución espacial de la imagen resultante esta dependiendo directamente del tamaño de la antena, así que la resolución en el terreno esta determinada por la amplitud de la antena y por la altura a la cual esta el sensor y por el ángulo de barrido ( C.P. Lo, op. cit.; Szekiolda, Karl. H., op. cit.; Manual of Remote Sensing, op. cit. ).

Los sensores de microonda activos.

La Percepción Remota de microondas involucra dos procesos: la emisión de un pulso de energía (microonda) hacia un objeto desde el sensor, y por otra la medición del retorno o reflectancia de la señal enviada, ver fig. # 11.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL SISTEMA  
 UNO (RANGOS AEROTRANSPORTADOR DE VISIÓN  
 LATERAL). MOSTRANDO EL RANGO DE LONGITUD  
 LATERAL, EL RANGO DE ANCHURA,  
 EL RANGO DE ALTURA Y EL RANGO DE ANCHURA  
 Y EL RANGO DE INCLINACIÓN Y RANGO EN EL  
 TERRENO.

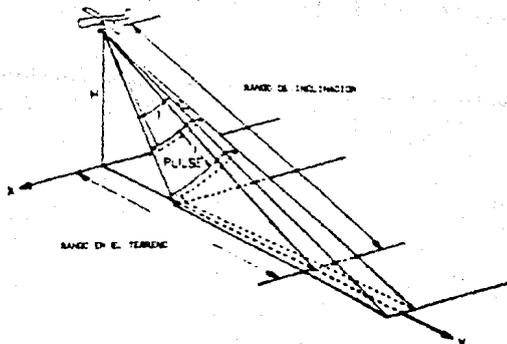


fig. 11

Este método de percepción comprende dos tipos de radar: el de apertura real y el de apertura sintética, que son radares de vista lateral los cuales producen imágenes del terreno a ambos lados de la línea de vuelo del avión, ver fig. # 12.

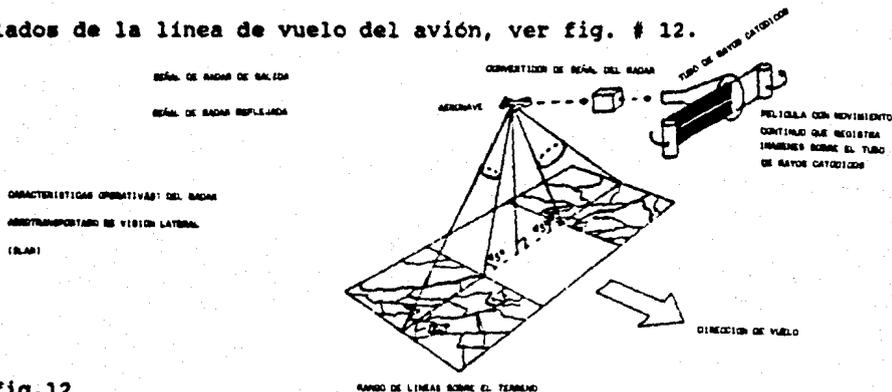


fig.12

Como su nombre lo indica, el radar fue designado para medir distancias y determinar la localización de objetos. La resolución azimutal del radar depende del tamaño de la antena que emite y recibe la señal; el radar de apertura real usa una antena física para recibir la señal, sin embargo no se puede incrementar excesivamente el tamaño de la antena para aumentar la resolución a menos que se realice un vuelo bajo, lo cual va en detrimento del rango de resolución. El radar de apertura sintética resuelve el problema usando una antena pequeña (1 metro aproximadamente), que simula una antena grande al registrar las señales de retorno

lo cual es posible almacenando las fases y amplitudes de los pulsos de retorno que son unidas posteriormente para crear una antena sintética de 60 a 90 mts. de longitud ( C.P. Lo, op.cit. ). Los sistemas de radar operan en distintas longitudes de onda ver tabla # 1. Una de las grandes ventajas del radar es su capacidad de operación independiente de las condiciones climáticas tanto de día como de noche.

### 1.2.- BARREDORES MULTIESPECTRALES

Como se comento anteriormente existen dos tipos de sensores, activos y pasivos. Los primeros son aquellos que emiten y reciben su propia energía, por lo cual pueden funcionar independientemente de las condiciones atmosféricas, un ejemplo de este tipo es el radar. En cuanto a los sensores pasivos, su funcionamiento depende de la energía electromagnética emitida por el Sol, por lo cual no pueden funcionar de noche o con presencia de nubosidad, un ejemplo de estos últimos es el barredor multiespectral, que es el que nos ocupa en este trabajo, éste puede ser de tipo civil o militar, así tenemos el MSS (Multiespectral Scanner), el TM (Thematic Mapper) y el SPOT " sistema de prueba para la observación de la Tierra " ( Szekiolda, 1988.; Manual of Remote Sensing, 1983.; C.P.Lo, 1986. ). Las características de estos sistemas se resumen en las tablas # 2 y # 3 El barredor óptico-mecánico o whiskbroom o de movimiento rápido puede operar en cualquier región de longitud de onda de tal modo que pueda usar detectores sensibilizados a la radiación en varios canales espectrales, los datos multiespectrales pueden ser colectados simultáneamente.

tablas 2 y 3.

## PRINCIPALES ESPECIFICACIONES DEL SENSOR

H R V--S P O T

ORBITA	CIRCULAR A 832 KM.; INCLINACION: 98.7 ; NODO DE DESCENSO A 10 H 30 MIN A.M.; CICLO ORBITAL: 26 DIAS.
ALTA RESOLUCION VISIBLE (HRV)	DOS INSTRUMENTOS IDENTICOS, CAPACIDAD PUNTUAL: -- 27 grados AL ESTE U OESTE DEL PLANO ORBITAL TAMAÑO DEL PIXEL: 10 M EN MODO PANCROMATICO 20 M EN MODO MULTIESPECTRAL CANALES ESPECTRALES: PANCROMATICO: 0.51- 0.73 MICRAS MULTIESPECTRAL: 0.50- 0.59 MICRAS 0.61- 0.68 MICRAS 0.79- 0.89 MICRAS
IMAGENES	DOS GRABADORAS A BORDO CON 23 MIN. DE CAPACIDAD CADA UNA.
TRANSMISION	DIRECTA EN 8 GHz (50 Mbit/s)
PESO	1750 Kg.
TAMAÑO	2 X 2 X 3.5 M MAS EL PANEL SOLAR (9M.)

TABLA COMPARATIVA DE ESPECIFICACIONES  
DEL MSS Y DEL TM DE LA SERIE LANDSAT

RESOLUCION ESPECTRAL	MAPEADOR TEMATICO			BARRIDOR MULTIESPECTRAL		
	AMPLITUD		SENSIBILIDAD	AMPLITUD		SENSIBILIDAD
	BANDA No.	DE BANDA (MICRAS)	RADIOMETRICA	BANDA No.	DE BANDA (MICRAS)	RADIOMETRICA
	1	.45- 0.52	0.8	1	0.5- 0.6	0.57
	2	0.53- 0.61	0.5	2	0.6- 0.7	0.57
	3	0.62- 0.69	0.5	3	0.7- 0.8	0.65
	4	0.78- 0.91	0.5	4	0.8- 1.1	0.70
	5	1.57- 1.78	1.0			
	6	10.42-11.66	0.5			
	7	2.08- 2.35	2.4			
CAMPO DE VISION INSTANTANEO DEL	30 M. (BANDAS 1 A 5 Y 7) 120 M. (BANDA 6)			83 M. (BANDAS 1 A 4)		

Los primeros barreadores usaron el método de haz dividido, pero los avances en la tecnología de la fabricación de detectores hacen posible la construcción de aparatos de arreglo de detectores multi-elementos ( Manual of Remote Sensing, 1983.; C.P.Lo, 1986. ). Un método popular es usar un espectrómetro de dispersión cuya abertura de entrada sirve como el campo estático de barrido. Por la colocación del arreglo de los detectores en

el plano de la imagen del espectrómetro, cada vector ve la misma imagen de apertura en su propia región espectral. Es posible hacer barridos multiespectrales para sensar en 24 canales espectrales separados pero es tan grande la cantidad de datos espectrales que normalmente se requiere el uso de una computadora digital de alta velocidad para auxiliar en el análisis. Claramente, muchos de los datos espectrales son redundantes, así para una aplicación práctica un pequeño número de bandas espectrales es usada. Un buen ejemplo es el sistema de barrido multiespectral (MSS) empleado en el Landsat 1, 2, 3 y 4 el cual fue designado para proveer imágenes de la Tierra simultáneamente en cuatro bandas espectrales ( 0.5-0.6 micras, 0.6-0.7 micras, 0.7-0.8 micras y 0.8-1.1 micras ) un conjunto de 24 detectores son usados, 6 en cada banda ( C.P.Lo, op.cit.; "Agustín Codazzi ", Instituto Geográfico, 1989. ).

Otro método nos permite hacer uso de los detectores de estado-sólido operando en el modo " pushbroom " o barredor de cepillo. En este tipo de barrido solo es usado el movimiento hacia adelante del sensor, en una plataforma para barrer un arreglo lineal de detectores orientados perpendicularmente a la dirección del vuelo a través de una escena tomada. Un arreglo es usado por cada canal espectral. De este modo, aquí no hay partes en movimiento en este sistema, esto eliminará las distorsiones geométricas complejas inherentes en el sistema óptico-mecánico de barrido. La razón señal a ruido es también mejorada significativamente con este sensor debido a que es posible la integración más grande del tiempo. Sin embargo el sistema de barrido de cepillo sufre de la necesidad de tener muchos más detectores para el arreglo por ejemplo ( 6300 detectores por

banda espectral se requieren para alcanzar una resolución de 30 metros).

### 1.3.- ENERGIA Y ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

La radiación electromagnética (EMR), encontrada en el espectro electromagnético (EM) es una limitada fuente de energía capaz de transmitir y propagar información. La Percepción Remota esta muy relacionada en gran medida con la forma por la que esta energía puede ser utilizada por el ser humano ( Manual of Remote Sensing, op. cit.). Amplias y estrechas bandas de esta radiación electromagnética son seleccionadas por los sensores remotos para la observación y estudio de la Tierra y su atmósfera. Estos mismos sensores se encuentran sobre satélites lanzados para observar la superficie y atmósfera de varios planetas en el Sistema Solar. La fig. # 13 muestra un espectro electromagnético simplificado y la fig.# 14 la extensión total del espectro electromagnético.

#### Amplitud total del espectro electromagnético. (Ondas de fotones)

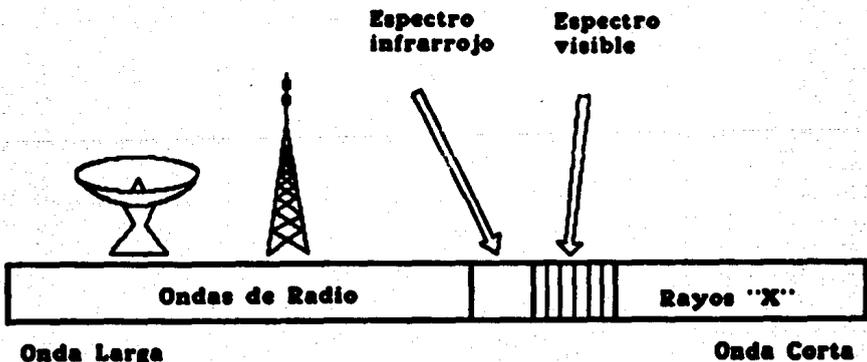
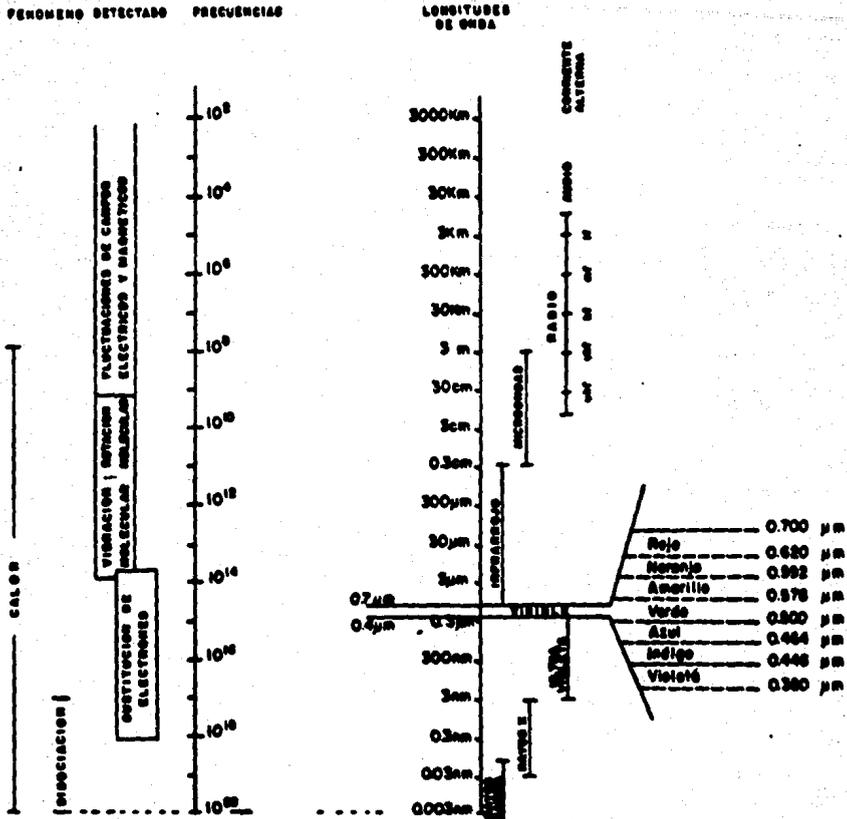


fig. # 13.

# EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO



Regiones del espectro electromagnético según las propiedades físicas de la radiación electromagnética.

FUENTE: Montoya, P.J. ANTONIO, 1989. SPOT y otros programas especiales dedicados al estudio de los Recursos Naturales, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Bogotá, Colombia.

Las bandas llamadas ( ultravioleta, visible, infrarrojo, radar, etc. ), las trasmittancias de la atmósfera terrestre para este EMR y los efectos causados por su interacción o presencia. Así, el conocimiento de las propiedades de esta EMR como una función de longitud de onda y otras variables pertinentes es vital para el análisis de los datos de los sensores remotos.

Las longitudes de onda de la energía reflejada usadas por las técnicas de la percepción remota generalmente están en el rango que va de 0.4 a 3.0 micras, mientras la energía emitida generalmente predomina sobre las 3 micras. La energía recibida por un instrumento de percepción remota, tales como cámaras fotográficas y barradores multiespectrales, es modificada por la atmósfera a través de la cual la energía es transmitida hacia el sensor. Por lo tanto, la percepción remota desde altitudes satelitarias o aéreas necesitan tomar en cuenta simultáneamente las condiciones atmosféricas.

Para la parte visible del espectro electromagnético (EMS), la naturaleza de la luz reflejada es un producto de la luz incidente tanto como las propiedades de absorción y reflectancia de los objetos ( Szekiela, Karl H., op.cit.; Manual of Remote Sensing, op. cit. ). La mayoría de las imágenes naturales sufren cambios temporales debidos a la fisiología de la vegetación y a su cubrimiento sobre el terreno. Por lo tanto, su estudio es esencial para determinar sus características específicas de absorción, transmisión y reflectancia espectral de objetivos a ser investigados bajo condiciones de laboratorio y campo.

Las unidades de medida en el espectro electromagnético son longitud de onda y frecuencia: la longitud de onda es la distancia entre dos crestas de onda, y frecuencia es el número

de ondas o ciclos pasando en un punto fijo ( Manual of Remote Sensing, op. cit. ). El EMS se extiende desde ondas muy cortas, rayos gama de alta frecuencia hasta longitud de onda de radio comunicación de baja frecuencia y onda larga. En este rango, las ondas viajan normalmente a la velocidad de la luz  $3 \times 10^8$  Km/s y la relación entre frecuencia y longitud de onda esta dada por la expresión general  $f = c/\lambda$ , donde  $f$  es la frecuencia,  $c$  es la velocidad de la luz, y  $\lambda$  es la longitud de onda. La energía electromagnética considerada en la percepción remota abarca un amplio rango del espectro desde  $10^{-10}$  a  $10^5$  micras, la porción más usada en el espectro electromagnético estando en el rango de longitudes de onda ópticas desde 0.3 a 15.0 micras.

La radiación que se origina desde el Sol y es reflejada por objetos es referida como energía reflectiva y cubre en general el espectro entre 0.38 y 3.0 micras que esta subdividida entre 0.38 a 0.72 micras, de acuerdo a la respuesta del ojo humano. La región entre 0.72 y 3.0 micras, referida como infrarrojo reflectivo (IR), esta subdividida dentro del infrarrojo cercano, 0.72 a 1.3 micras y el infrarrojo medio (IR), 1.3 a 3.0 micras. La región espectral entre 7.0 a 15.0 micras es llamado infrarrojo lejano, emisivo o infrarrojo térmico, aunque la reflexión de la radiación solar ocurre en ésta región de longitud de onda.

La radiación electromagnética en el espacio vacío se propaga sin límites, pero dentro de un medio atmosférico, la radiación ocurre en un medio cambiante, especialmente desde altas latitudes. Para la percepción remota en la parte visible del espectro electromagnético, el Sol es usualmente la fuente de iluminación para el monitoreo de la superficie terrestre. Así los ángulos de iluminación se refieren como una función de latitud, hora del

día y época del año. Deben ser tomadas dentro de sus consideraciones, por ejemplo, si consideramos una superficie elevada orientada hacia la radiación solar, el ángulo recto para esta superficie estará muy iluminado, mientras que el lado opuesto estará en la sombra. Muy temprano o muy tarde los rayos del Sol hacen un pequeño ángulo con la superficie terrestre. En consecuencia, montañas, por ejemplo, no orientadas a lo largo de la cara frontal del Sol estarán sujetos a variar sus grados de iluminación solar diferencial. Areas localizadas en latitudes altas en el norte o sur, donde los rayos del Sol inciden en la Tierra perpendicularmente en la tarde, son iluminados en ángulos de incidencia solar progresivamente más bajos para una hora particular del día.

Los objetos reflejan, absorben y transmiten radiación electromagnética como se muestra en la ecuación  $P + \alpha + T = 1$  en donde  $P$ =radiación reflejada entre la radiación incidente,  $\alpha$  =radiación absorbida entre la radiación incidente y  $T$ = a la radiación transmitida entre la radiación incidente, si el objeto es opaco entonces  $\tau$  es igual a 0 y entonces la ecuación se convierte en  $P + \alpha = 1$  o alfa a  $1 - P$  suponiendo que un observador ideal sea un radiador ideal obtenemos  $\epsilon = 0.1 - P$ .

Esta ecuación expresa la radiación de Kirchoff la cual puede aplicarse solamente a aquella porción del espectro en que los materiales en cuestión son opacos, así detectando la emisión, reflectancia y absorción espectral y o propiedades de enmascaramiento de una superficie podemos identificar el material que constituye el objetivo observado ( Szekiela, Karl H., op. cit.; Manual of Remote Sensing, op. cit. ). Toda la materia arriba de cero absoluto, es una fuente de energía

electromagnética y cuando la materia esta en equilibrio termal con su entorno absorbe energía radiada o la emite en igual cantidad. En este caso se dice que el objeto es un radiador de cuerpo negro, donde los que no absorben toda la radiación incidente son llamados cuerpos grises. La ley de distribución de Planck predice que la radiación de un cuerpo oscuro se distribuye de acuerdo a la longitud de onda. Las radiaciones de microondas que son emitidas térmicamente por un objeto es llamada temperatura de brillo tb es expresada en unidades de temperatura, por que, para radiaciones de longitud de onda en el rango de las microondas, la radiación emitida de un emisor perfecto, es proporcional a su temperatura física T, sin embargo muchos objetos reales emiten solamente una fracción de la radiación que emitiría un emisor perfecto a la misma temperatura física, esta fracción define la emisividad del objeto. ( Szekiolda, Karl H., op. cit.; Manual of Remote Sensing, op. cit.; Floyd, Sabins, op. cit. ).

#### 1.4.- RECONOCIMIENTO DE PATRONES

Bajo la perspectiva del reconocimiento de patrones, el mundo a sensar se compone de unidades (pixel) definidas por el sensor. Como una primera aproximación, se pueden concebir como áreas pequeñas que no tienen traslape sobre la superficie terrestre, esto es, un área para cada elemento del paisaje (pixel) en la imagen (Manual of Remote Sensing, 1983). El elemento de imagen pixel tiene dos cualidades: una espacial y una espectral, la espacial define el tamaño aparente de la celda de resolución ( por ejemplo el área de un terreno representada por valores de

datos ), y la espectral define la intensidad de la respuesta espectral que tiene cada una de dichas celdas en una banda de longitud de onda particular ( Jensen John R, 1986 ). Para esto el sensor realiza un conjunto ordenado de dimensionamientos en cada unidad sensada el cual recibe el nombre de vector de dimensionamiento o patrón de dimensionamiento, así cada valor dimensionado en ese conjunto es un número entre 0 a 255 proporcional a la energía recibida por el sensor en alguna banda del espectro electromagnético a cierto tiempo específico de observación.

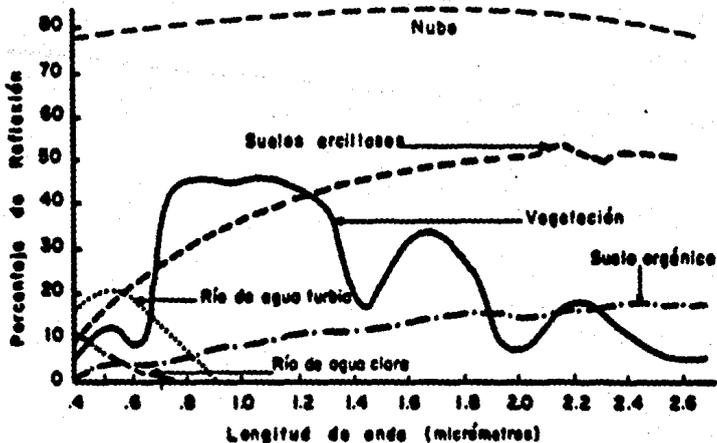
El problema básico del reconocimiento de patrones, es primero determinar automática y consistentemente la clase de información o categoría de cada distinta porción de la Tierra usando el conjunto de dimensionamiento-patrón del sensor y segundo, estimar el porcentaje de error para la asignación determinada automáticamente ( Manual of Remote Sensing, 1983). El reconocimiento de patrones para aplicaciones de sensores remotos incluye:

- composición de árbol-especies en un bosque.
- sitios calientes de fuegos forestales incipientes.
- tipos de cobertura de vegetación natural.
- tipos de siembra.
- estado de salud de la vegetación o stress.
- porcentaje de sedimentación en un río o lago.
- formación geológica y tipo de rocas.
- patrones de lineamientos.
- patrones urbanos de uso de la tierra.
- etc.

En un sentido amplio, el reconocimiento de patrones es

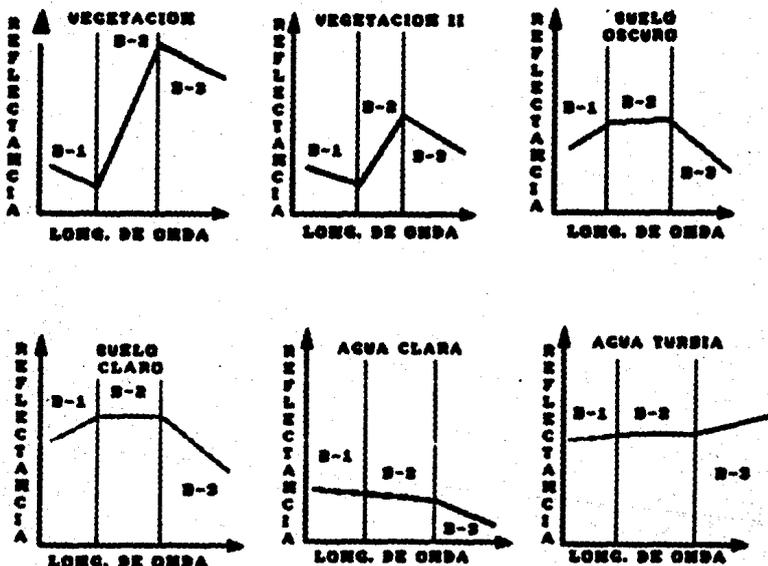
considerado como una técnica que identifica objetos dentro de una imagen que pueden ser difícilmente identificados por el ojo humano en fotografías aéreas y imágenes de satélite a escalas superiores a 500,000. Pero pueden ser hechos visibles a través de técnicas de reconocimiento de patrones de respuesta espectral, que pueden representarse graficando el porcentaje de reflectancia contra las longitudes de onda que el sensor sea capaz de registrar (ver fig.# 15). En general el reconocimiento de patrones se hace con ayuda de una computadora principalmente basados sobre datos digitales procesando y acumulando técnicas para una variedad de procesos de clasificación (Szekiolda Karl-Heinz, op. cit.).

Utilizando datos multiespectrales colectados por técnicas de percepción remota, el reconocimiento de patrones es el acto de clasificar un objeto desconocido o serie de datos como pertenecientes a una categoría o clase específica de datos. Para automatizar el reconocimiento de patrones, debemos definir las clases de entidades de interés, que es, la clase de objetos entre los cuales nosotros debemos discriminar, esto nos lleva necesariamente a elegir los instrumentos o sensores que puedan medir el medio ambiente en el cual los objetos de nuestro interés se encuentran. También es importante construir un modelo de decisión el cual decidirá después de un proceso que clase de objeto(s) en particular es, sobre las bases de las medidas hechas desde las pequeñas áreas de terreno observadas (píxeles) (Szekiolda Karl-Heinz, op. cit. ). Pero esto no es muy sencillo ya que desde el sensor no se puede coleccionar suficiente información para deducir la discriminación total de un lugar. Para lograr esto necesitamos emplear un proceso de agrupamiento



REFLEXION ESPECTRAL DE ALGUNOS TIPOS BASICOS DE COBERTURA  
 FIG. 18 FUENTE: SZEKIEDA, KARL-HEINZ, 1988. SATELLITE MONITORING OF THE EARTH

**GRAFICAS MAS COMUNES DE PATRONES DE RESPUESTA**



EN ESTE CASO BANDA CARAL

que nos diga que las clases que naturalmente se distinguen están dadas por los datos del sensor.

Al escoger los instrumentos de medición y diseñar posteriormente un proceso (estandarizar, normalizar y seleccionar la información relevante en su forma más simple de los instrumentos), de modo tal que los objetos de interés puedan ser fácilmente diferenciados de los que no tienen interés, están entre los problemas más difíciles del reconocimiento de patrones. Estos problemas son llamados problemas de preproceso y están relacionados con algunas medidas y forman la única más simple y más importante información a la regla de decisión (Manual of Remote Sensing, op. cit. ). Por último el problema para estructurar una regla de decisión la llamamos problema de discriminación de patrones, esto se basa en un modelo de probabilidad el cual nos debe permitir estimar los rangos de error en un proceso de decisión automática. La mayoría del reconocimiento de patrones de las imágenes de datos es hecha procesando la información de cada pixel con base en su propia información, el proceso para clasificar una imagen se efectúa pixel por pixel y cuando la información del pixel consiste solamente del patrón de medición del sensor obtenido en una vez de observación el patrón de medición es llamado un vector de rasgos multiespectrales. Cuando las entradas de información espectral de más de una información para la misma área de terreno son conjuntadas en el mismo vector de patrón de medición, a este tipo de reconocimiento de patrones se llama reconocimiento de patrones multiespectral-multitemporal. Cuando el patrón de medición para cada pixel contiene información espectral de sus áreas de terreno asociadas así como las áreas circundantes

(vecinas), o cuando la regla de decisión que asigna las categorías se vale de la información de un pixel y algo de sus pixeles circundantes, el reconocimiento de patrones es llamado reconocimiento de patrones espacial o reconocimiento de patrones espacio-espectral (Manual of Remote Sensing, op. cit.; Szekiela Karl-Heinz, op. cit.)

### 1.5.- TIPOS DE SATELITE

La observación sistemática de la Tierra desde el espacio exterior se inició en 1957, con la colocación en órbita de la nave soviética SPUTNIK 1 y posteriormente en 1960 fue lanzado el satélite TIROS 1 norteamericano, que produjo las primeras imágenes meteorológicas. El desarrollo tecnológico ha avanzado tanto en este campo, que una gran diversidad de satélites, programas, misiones y agencias han surgido por el mundo entero. Estos van desde el campo de la meteorología hasta los de uso militar, de estos últimos los civiles no tienen acceso a dicha información, de lo anterior se inicia en forma definitiva la observación secuencial con enfoque directo hacia la evaluación y prospección de los recursos naturales terrestres ( Moya, Antonio Jesús, op. cit. ). De los programas y misiones que de ellas derivaron, muchos satélites han dejado de funcionar otros continúan en funcionamiento, las figuras 16 y 17 muestran solo una pequeña parte del número real de eventos satelitarios. Considerando al programa LANDSAT como el principal productor de datos para la prospección de recursos naturales y generador de usuarios y también al satélite francés SPOT de más reciente programación, nos abocaremos a una descripción más detallada de ellos.

**CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES ESPACIALES  
PARA RECURSOS NATURALES**

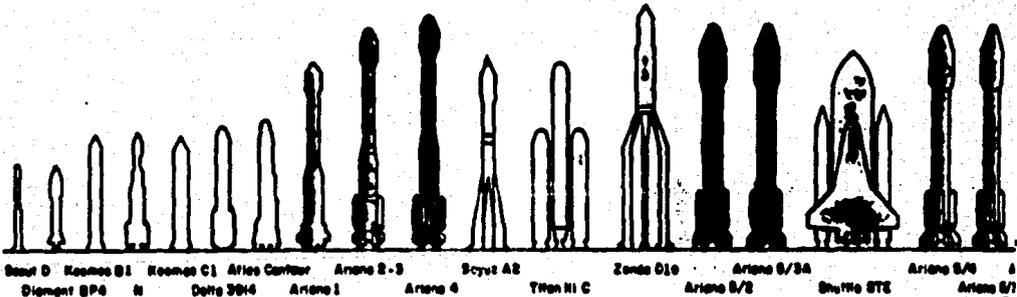
LANDSAT 1. 23 - 7 - 72 a 6 - 1 - 70, NSS-ABV				TDSS - A. LANZADO 5 - 4 - 83 En órbita: 29 - 6 - 83 Operacional: 26 - 3 - 83					
	LANDSAT 2. 22-1-5-75 a 5-11-79, NSS + ABV		6-6-80 a 27-7-85	SPOT 1. 2-1-86 SPOT 2. 89 REV 1 y 2	SPOT 3 REV + YBC		SPOT 4. REV + YBC		
		LANDSAT 3. 5 - 9 - 78 a 7-9-83 NSS + ABV				LANDSAT 6. (GEOSAT) 3 - 89 NSS + ABV		LANDSAT 7. 2 - 93 NSS + STN + ALA*	
			LANDSAT 4. 16-7-83 NSS + ABV						
SEASAT (6-78 a 11 - 78)				LANDSAT 5. 1-3-84 NSS + TB		ISS 1. ISS 11 - 89			
						ISS BRASIL			
						ISS INDIA			
						ISS (ISS + LOS)			
						ISS JAPON			
						RADAR SAT CANADA			

RESUMEN DEL CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES EN  
PERCEPCION REMOTA: 1972 - 1986.

\* REV=alta resolución visible  
NSS=ISS mejorado  
STN=TB mejorado  
ALA=Arreglo lineal múltiple

Fig. No 18

Fig. No 17



**FUENTE:** Montoya, P. J. ANTONIO, 1989. SPOT y otros programas especiales dedicados al estudio de los Recursos Naturales, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Bogotá, Colombia.

El programa LANDSAT o serie de satélites conocidos como Landsat, es un programa de evolución o de un concepto que nació de las observaciones fotográficas de los vuelos orbitales Mercurio y Géminis. Las observaciones y análisis que de allí se derivaron permitieron a la NASA ( National Aeronautic Space Administration) a través de su programa de satélites a desarrollar el " Earth Resource Technology Satellite " (ERTS 1), que más tarde tomó el nombre de Landsat y Seasat. Los sensores que utiliza la serie LANDSAT son de tipo pasivo, estos es, captan solo energía reflejada. La fuente básica de energía es el Sol que emite radiación electromagnética. Esta radiación sufre una serie de transformaciones en su interacción con la atmósfera y con la superficie terrestre, desde donde es reflejada, ésta es captada por los sensores y registrada en forma digital; estos datos pueden ser enviados directamente a tierra (tiempo real) o trasmitidos por medio de un sistema de telemetría, a través de satélites colocados en órbita geostacionarios, ver fig. # 18

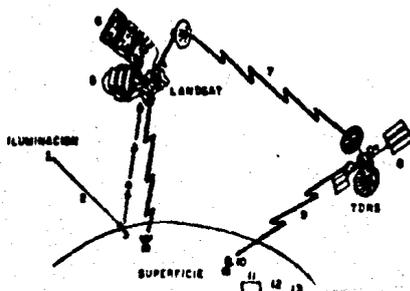


fig. # 18

Sistema Landsat, satélite para muestreo, retransmisión de datos - y estaciones receptoras.

La órbita seleccionada para los satélites Landsat corresponde a una órbita circular, casi polar, repetitiva, de tal modo que

pasa por el mismo sitio cada 16 días (para Landsat 1, 2, 3, la repetitividad fue de 18 días) es sincrónica con el Sol con el objeto de tener iluminación constante, la altura de la órbita en el Ecuador 705 Km., (para Landsat 1, 2, y 3 fue de 913 Km.), pasando por el Ecuador aproximadamente a las 9:30 am, tiempo local. Las órbitas logradas en un mismo día están separadas entre sí 2752 Km., (para Landsat 1, 2 y 3, 2869 Km. ), que corresponde al espacio recorrido por la Tierra en dirección occidente-orientado, durante el tiempo que dura cada órbita, ver fig. # 19. Este espacio es cubierto en pasos sucesivos en diferentes días.

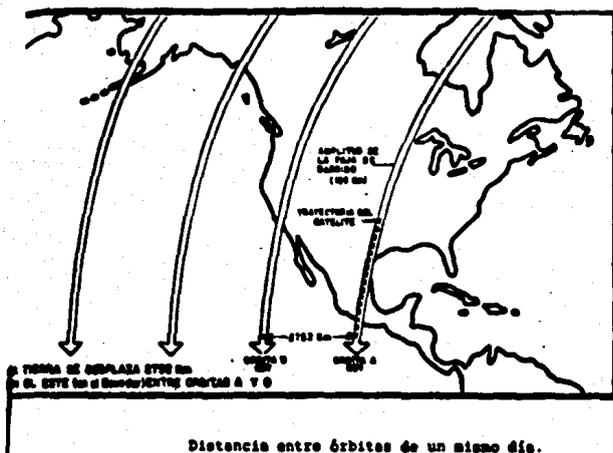


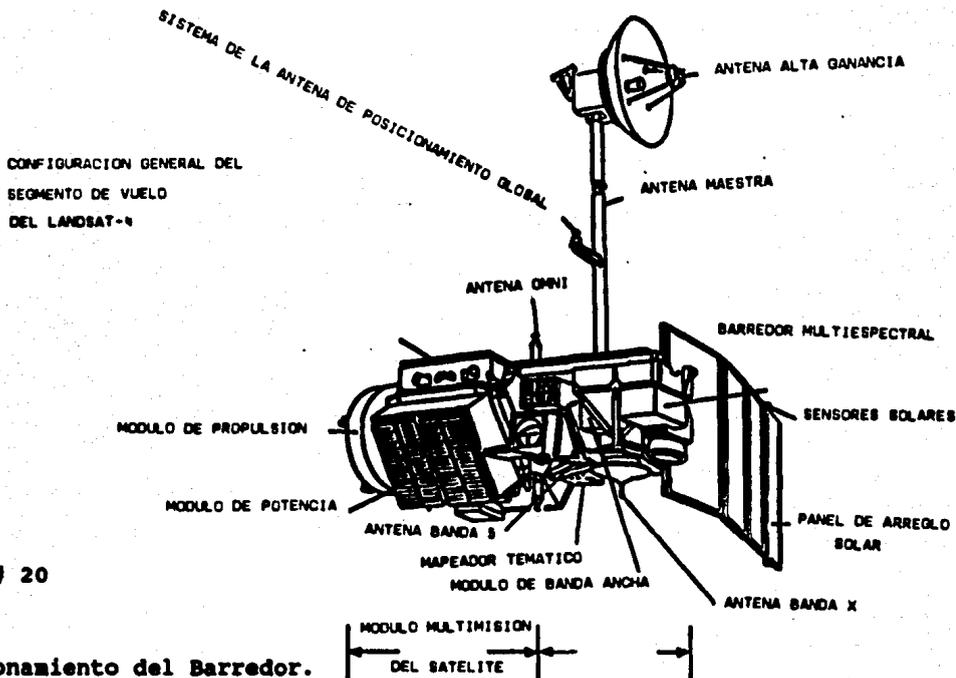
fig. # 19

La captación de información por parte del satélite, se efectúa solo en sentido norte-sur, cuando se desplaza de sur a norte recorre el lado oscuro de la Tierra, por lo tanto, es imposible obtener información. Cada órbita se cumple en 99 minutos, con un promedio de 14.5 órbitas por día. La figura # 20 muestra la configuración de la nave Landsat.

Los componentes del sistema son los siguientes:

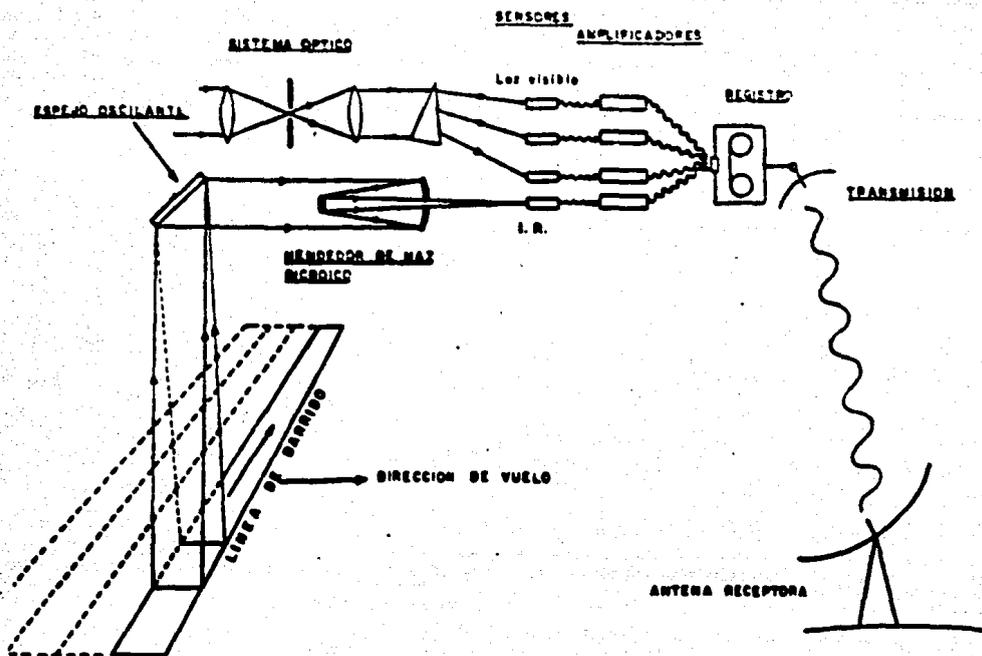
- espejo oscilante
- sistema óptico

- sistema detector/sensor
- amplificador y sistema de registro
- sistema de transmisión y almacenamiento de datos



La radiación solar reflejada por los objetos es captada por el espejo oscilante. Las oscilaciones del espejo tienen lugar en una dirección perpendicular a la línea de vuelo u órbita y cubre un ángulo de  $11.56^\circ$ . Este ángulo, que determina el campo de vista, en combinación con la altura de 705 Km., del satélite, define la longitud de la franja de barrido, que es de 185 Km., ( Montoya, Jesús Antonio, op. cit. ), ver fig. # 21.

La captación de datos tiene lugar solamente durante la parte de la oscilación que mueve el espejo hacia el este. El retorno de la oscilación se utiliza para calibrar los sensores. Durante cada



Sistema del barredor óptico-mecánico.

FIG. No. 21

FUENTE: Montoya, P.J. ANTONIO, 1989. SPOT y otros programas espaciales dedicados al estudio de los Recursos Naturales, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Bogotá, Colombia.

oscilación se barre simultáneamente seis líneas, ver fig. # 22.

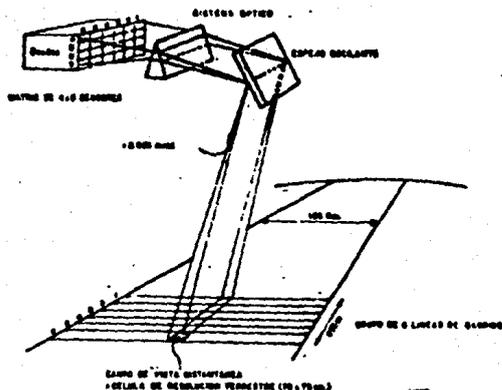


Fig. # 22

### El Sistema Optico.

La energía captada por el espejo pasa por un sistema óptico, este separa la energía a través de un arreglo de prismas " DICHROIC GRATINGS " (hendedor de haz dicroico) en cuatro o cinco bandas de longitudes de onda. Luego una serie de espejos parabólicos enfoca cada haz de cada banda sobre el detector respectivo. Las bandas en el espectro visible son separadas por un prisma, las del infrarrojo por un sistema de " DICHROIC GRATING ". Las bandas son:

	Landsat 4 y 5	Landsat 1, 2, 3
espectro visible	banda 1 : 0.5-0.6 mm verde	banda 4
	banda 2 : 0.6-0.7 mm rojo	banda 5
infrarrojo cercano	banda 3 : 0.7-0.8 mm	banda 6
	banda 4 : 0.8-1.1 mm	banda 7
infrarrojo termal	banda 8 : 10.4-12.6 mm	Landsat 3

En 1967 el principal sensor del Landsat fue la cámara Vidicon de

haz de retorno (RBV), el cual tomaría imágenes aparentemente similares a las fotografías aéreas solo que estas serían enviadas a través de telemetría a una estación receptora en la Tierra. Con el tiempo se vio que las imágenes RBV ofrecían una buena resolución espacial más no así una buena resolución espectral, por lo cual se adicionó un barredor multiespectral (MSS, multiespectral scanner system), este último ha sido la clave del éxito de Landsat. El programa considera siete satélites. El primero de ellos fue lanzado el 23 de julio de 1972 y el siete esta programado para ser lanzado en el año de 1993. De los anteriores sólo el cuarto y el quinto siguen funcionando, los demás fueron cancelados y el sexto y séptimo aún no han sido puestos en órbita.

Tres satélites inicialmente llamados Earth Resources Technology Satellites (ERTS), lanzados por NASA entre 1972 y 1978 comprendieron la primera generación de la serie Landsat. Estos satélites emplearon dos sensores, la Return Beam Vidicon (RBV) Camera y el MSS ( Multiespectral Scanner System ). El sensor RBV utilizaba las bandas 1, 2, 3 y el MSS las bandas 4, 5, 6 y 7. La segunda generación de satélites de la serie Landsat fue iniciada en julio de 1982 con el lanzamiento del Landsat 4 al cual se le adicionó el sensor TM ( Thematic Mapper ), el cual registra datos en siete bandas, por problemas técnicos dejó de funcionar en febrero de 1983, pero el MSS sigue operando. El Landsat 5 fue lanzado el primero de marzo de 1984 y sus sensores MSS y TM están en operación ( Segundo curso Latinoamericano " La Teledetección Aplicada a la Neotectónica ", IGAC, Bogotá, Colombia, 1989 ). Aunque los satélites Landsat 6 y 7 aún no han sido puestos en órbita, estos contemplan llevar otros sensores por ejemplo: el

Landsat 6 será el más grande de la serie, llevando grabadoras de banda amplia y dos sensores primarios el realizador del TM y el sensor de campo amplio para la observación del mar SEA-WIFS, las características orbitales serán similares a las de Landsat 4 y 5, de esta manera la continuidad de los datos que se venían obteniendo con el 4 y 5 estarán asegurados. Otras innovaciones con que contará son: una banda pancromática con 15 metros ( PAN ), otro sensor será el EMSS que es el emulador del barredor multiespectral, la resolución en el terreno será de 30 metros, 6 canales ( banda 1-5 y 7 ) , canal térmico infrarrojo con 120 mts., de resolución etc. El Landsat 7 se calcula poner en órbita en 1993, llevará el ETM teniendo capacidad de 4 bandas en el infrarrojo térmico ( segundo curso Latinoamericano " La Teledetección Aplicada a la Neotectónica ", tomo 4, IGAC, Bogotá, Colombia, 1989 ).

El programa francés SPOT ( Systeme Polyvalent D' Observation de la Terre ) es actualmente uno de los más importantes programas espaciales para el estudio de los recursos naturales. Las innovaciones que presenta el satélite han originado una gran demanda de sus productos, las innovaciones más importantes que presenta son:

- cobertura sistemática de la Tierra con alta resolución espacial
- incremento de la frecuencia de observación local gracias a la mira lateral
- posibilidad de cobertura estereoscópica
- carácter operacional del sistema diseñado para satisfacer los requerimientos de los usuarios

En febrero de 1986 fue puesto en órbita SPOT 1 y el Spot 2 ya está listo para continuar el programa de adquisición de imágenes cuando la vida útil de SPOT 1 termine; se encuentran en fase experimental las naves SPOT 3 y 4 en las cuales se introducirán algunos mejoramientos ( Montoya, P.J., op. cit. ). La nave espacial SPOT está constituida del acople de varios módulos básicos Fig. 23, en sus versiones más avanzadas SPOT conservará

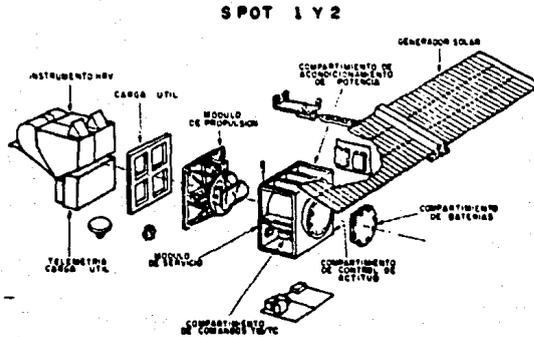
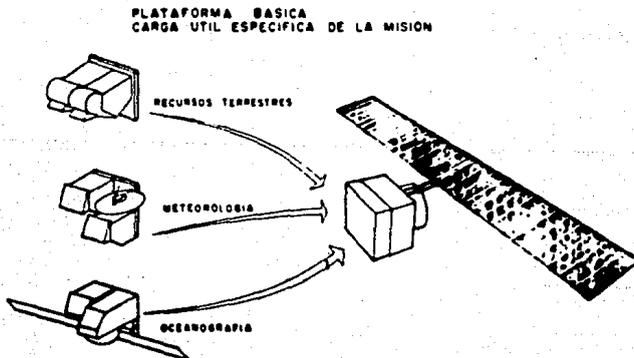


Fig. # 23

una plataforma básica con todos los módulos indispensables para el comportamiento y control en órbita y se cambiará la carga útil; en el presente se diseñan tres tipos Fig. # 24



- a.- Para Recursos terrestres
- b.- Para Meteorología
- c.- Para Oceanografía

La carga útil del satélite está constituida esencialmente por los sistemas sensores, denominados para SPOT, alta resolución visible HRV ( Haute Resolution Visible ) fig. 25. El satélite lleva dos de estos sistemas completamente idénticos, cada uno

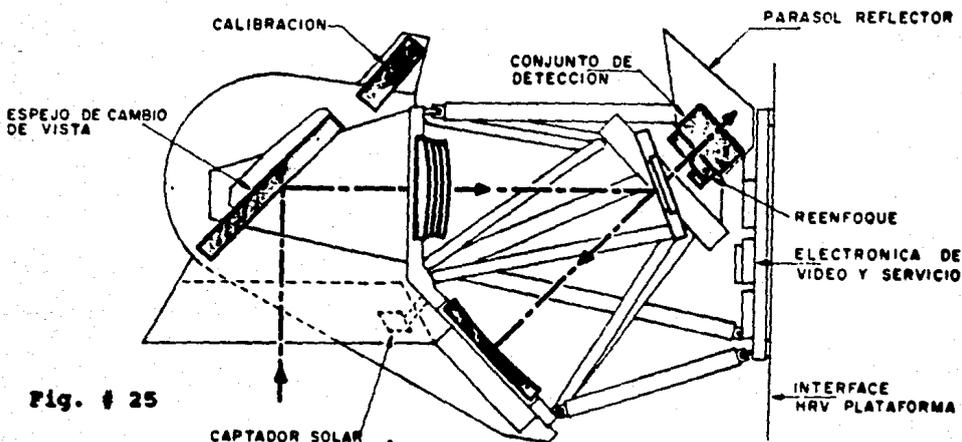


Fig. # 25

cubre una franja de 60 Km., sobre el terreno fig. 26, hay una **COBERTURA SISTEMÁTICA DE LA TIERRA**

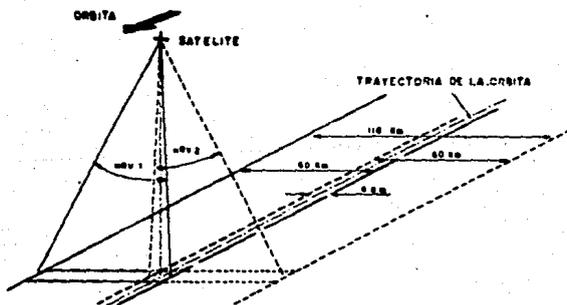


Fig. 26

ligera sobreposición de 4 Km., entre las franjas observadas por

por el HRV 1 y el HRV 2, con lo cual la cobertura total es una franja con amplitud del orden de 116 Km., o de 60 Km., según los requerimientos, ya que es posible operar simultáneamente ambos sistemas sensores o bien uno solo de ellos. La radiación reflejada por los objetos es captada por un espejo, que a diferencia de los barredores óptico-mecánicos no oscila; toda la radiación conducida a través de los sistemas ópticos incide sobre el separador espectral donde es fraccionada según los rangos espectrales, en información pancromática y espectral.

El espejo captador de la radiación puede orientarse bien sea para observación vertical ( nadiral ) de la Tierra o para visión oblicua, la orientación puede variar ampliamente su resolución temporal, no obstante, la mira oblicua introduce variaciones en el formato original de la imagen. Con la mira vertical, se obtienen productos en formato 60 x 60 Km. La observación oblicua hace que este cuadrado se transforme en un rectángulo, cuyas máximas dimensiones serían 60 x 80 Km., en caso de utilizar la máxima inclinación del espejo ( 27' ) ; como consecuencia las proyecciones tanto planimétricas como altitudinales sufrirán variaciones que será necesario corregir, especialmente cuando se utilizan los productos para realizar trabajos cartográficos. SPOT IMAGE entrega al usuario los productos con las correcciones básicas según el nivel de procesamiento solicitado por el usuario.

Cualquiera de los dos sensores HRV está en capacidad de producir información en modo pancromático o modo multiespectral, sus características se muestran en la tabla # 4.

Las órbitas y coberturas son como sigue; la altura orbital nominal es de 850 Km. ( SPOT 1 y 2 ), las órbitas son

heliosincrónicas, casi polares, con inclinación de  $98.7^\circ$ , el satélite capta información en el modo descendente ( trayectoria norte - sur ). Para observación vertical la nave pasa cada 26 días sobre el mismo punto de la superficie terrestre, con observación lateral esta frecuencia puede aumentarse, así para latitud 0 es posible obtener información los días 5, 10, 15, 21, 16, 11; para la latitud 45 las observaciones serían los días 5, 10, 15, 20, 25 y 21, 16, 11, 6, 1 ( ver fig. 27 ).

**INSTRUMENTO HRV  
(ALTA RESOLUCIÓN VISIBLE)**

• CARACTERÍSTICAS

	MODO ESPECTRAL	MODO PANCRÓMATICO
RESOLUCIÓN ESPACIAL	20m x 20m	10m x 10m
NUMERO DE PÍXELES POR LINEA	3000	6000
LONGITUD DE LA ESCENA	60 x 60km	60 x 60km
LONGITUD DE ONDA	0,500 a 0,55µm 0,610 a 0,68µm 0,780 a 0,90µm	0,50 a 0,75µm
CODIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN	8 BITS LINEAL	6 BITS LINEAL

**la frecuencia de las observaciones**

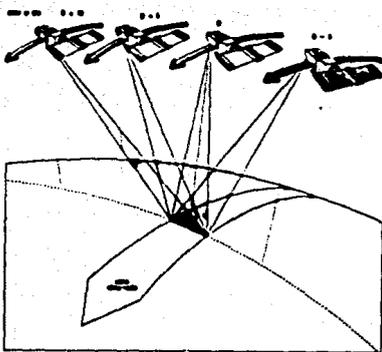


TABLA N° 4

Fig. # 27

Si el satélite pudiese efectuar solamente miras verticales sería necesario esperar 26 días entre dos observaciones de una misma región, corriendo el riesgo, entonces, que en el momento de un pasaje la nebulosidad impida las tomas. Esta espera sería de todos modos, inaceptable en el caso de la observación de un fenómeno de evolución relativamente rápida ( algunos días o

algunas semanas. Cual es el intervalo de tiempo que se podría tener entre dos observaciones de un mismo punto ? si se tiene en cuenta las posibilidades de mira del instrumento durante el periodo de 26 días ( tiempo entre dos pasajes sucesivos del satélite a la vertical de un mismo punto ) un punto podrá ser observado 7 veces si está al nivel de Ecuador y 11 veces si está a la latitud de 45.

Además la observación lateral permite un mejor aprovechamiento de la infraestructura, ya que es posible programar la obtención de datos hacia la izquierda ( occidente ) o derecha ( oriente ) de la trayectoria según el interés de los usuarios. Esta posibilidad de observación lateral es también utilizada para la obtención de imágenes con visión estereoscópica.

La estereoscopia se obtiene por observación de la misma franja del terreno desde dos órbitas diferentes fig. # 28, con lo cual se obtiene suficiente diferencia del paralaje para la observación tridimensional. La principal limitante en este caso es la necesidad de utilizar imágenes de fechas diferentes ( Montoya, P. J. op. cit. )

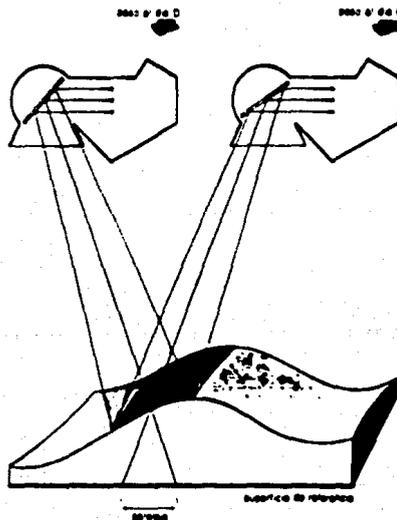


Fig. # 28

## **La Estereoscopia.**

Las miras laterales permiten también obtener pares de imágenes estereoscópicas de una misma vista; estas imágenes son tomadas bajo ángulos diferentes durante las sucesivas revoluciones orbitales del satélite. Se puede ver en la figura anterior que dos observaciones pueden ser obtenidas por una y otra parte de la vertical después de un intervalo de un día. Las aplicaciones posibles son: la fotogrametría y la fotointerpretación que utilizan la percepción del relieve ( Geomorfología, estudios hidrográficos,.... ).

### **1.7 TIPOS DE IMAGEN Y RESOLUCION ESPACIAL**

Los productos obtenidos de las diferentes misiones de Percepción Remota abarcan una amplia gama, pero es importante mencionar que no todos los productos están disponibles a los usuarios, algunos tienen ciertas restricciones para su uso.

Los datos obtenidos por los sensores se pueden registrar de la siguiente manera:

- emulsión negativa
- emulsión positiva
- papel impreso
- cinta magnética
- fotografía
- productos especiales

Los anteriores productos se pueden encontrar en el mercado en una gama muy extensa de modalidades como por ejemplo: películas en blanco y negro o en color, fotografías en modo pancromático y color, cintas magnéticas en formato digital en modo pancromático

o multiespectral, las imágenes en papel impreso pueden ser en blanco y negro, color, falso color y otros. Como el desarrollo de estas tecnologías es muy rápido y para mantenerse al día en cuanto a diferentes productos, es recomendable acudir a los distintos centros de ventas que cada empresa ha distribuido en diferentes países; podrá verse de esta manera como SPOT IMAGE, EOSAT, SOJUZKARTA, entre los principales, ofrecen a los usuarios una serie de productos que tanto en composición, formato, presentación y resolución difieren unas y otras. Los siguientes cuadros tratarán de dar una idea mejor acerca de los tipos de imágenes que se obtienen y sus diferentes resoluciones espaciales.

### CAPITULO III PROCESAMIENTO DIGITAL

#### 1.- PROCESAMIENTO Y ANALISIS DIGITAL

Con la introducción del procesamiento digital con equipos de cómputo de los datos sensados remotamente, los límites actuales entre el procesamiento de datos y la interpretación de los mismos se ha difundido mucho más, porque en los recientes sistemas de procesamiento de imágenes los datos contenidos en la cinta y que se decodifican para obtener una imagen, ya forman parte de la interpretación de donde los especialistas en recursos extraen hechos específicos de los datos originales ( Szekiolda, op. cit. ).

Para que los productos de las imágenes puedan ser interpretados por los analistas humanos, estos deben permitir la detección y correcta identificación de rasgos de interés. La detección

COMPARACION ENTRE FOTOGRAFIAS AEREAS, IMAGEN DE RADAR, LANDSAT MSS - TM Y SPOT

Por tratarse de representaciones del terreno, los cinco tipos de imágenes parecen perfectamente comparables, sin embargo, las escalas, el proceso de formación de la imagen y el rango de longitud de onda empleados son tan diferentes que en todo momento deben ser tenidos en cuenta, especialmente en lo referente a calidad y precisión de la información.

ELEMENTOS DE COMPARACION	FOTOGRAFIA AEREA	SLAR - GEMS	LANDSAT MSS	LANDSAT TM	SPOT
SISTEMA	PASIVO (DIA)	ACTIVO (DIA Y NOCHE)	PASIVO (DIA) LANDSAT 3	PASIVO (DIA)	PASIVO (DIA)
RANGO DE ESCALAS	1:2.000-1:120.000	1:250.000-1:400.000 AMPLIACIONES A 1:1000.000	1:1.000.000 Y AMPLIACIONES 1:250.000	1:1.000.000 Y AMPLIACIONES 1:250.000	1:400.000 Y AMPLIACIONES 1:125.000
REGISTRO DE IMAGENES	EMULSIONES FOTOBENSIBLES.	DIGITAL	DIGITAL	DIGITAL	DIGITAL
PROCESAMIENTO DE <u>IMA</u>	REVELADO	DIGITAL (CORRELATOR) GRAFICA	DIGITAL GRAFICA	DIGITAL GRAFICA	DIGITAL GRAFICA
FORMACION DE IMAGEN	INSTANTANEA	CONTINUA	CONTINUA	CONTINUA	CONTINUA
RESOLUCION ESPECTRAL	PANORAMATICA 0.38- 0.75mc INFRARROJO 0.6 N 0.38 - 0.8mc	MICRO-ONDAS 3.12 y ± 23-25cm	0.5 - 1.1mc. CANALES 1, 2, 3 y 4 10.4-12.8mc BANDA 6 (LANDSAT 3)	0.45 - 12.5mc 7 BANDAS	0.55 - 0.65mc MODO MULTIESPECTRAL 0.5- 0.75 PANORAMATICA, 3 BANDAS
RESOLUCION ESPACIAL	1 - 10 METROS	10 - 20 M		30 M	10 M (PANORAMATICA) 20 M (MULTIESPECTRAL)
MEJORAMIENTO DE LA IMAGEN	FILTROS Y PROCESO DE REVELADO	CORRELACION (DIGITAL)	DIGITAL FOTOGRAFICA (CORRECCIONES RADIMETRICAS)	DIGITAL	DIGITAL
INFORMACION CARTOGRAFICA	MAPAS TOPOGRAFICOS (ALTIMETRIA Y PLANIMETRIA, ORTOFOTOS Y MOSAICOS)	INFORMACION PLANIMETRICA INFORMACION ALTIMETRICA RELATIVA, MOSAICOS	MOSAICOS	MOSAICOS	MOSAICOS INFORMACION PLANIMETRICA INFORMACION ALTIMETRICA
TIPO DE LAVANTAMIENTO RECONOCIMIENTO	EXPLORATORIO RECONOCIMIENTO	EXPLORATORIO RECONOCIMIENTO	EXPLORATORIO RECONOCIMIENTO	EXPLORATORIO RECONOCIMIENTO	EXPLORATORIO RECONOCIMIENTO

FUENTE: Montoya, P.J. ANTONIO, 1980. SPOT y otros programas especiales dedicados al estudio de los Recursos Naturales.  
Institute Geográfico "Agustín Cedezi". Bogotá, Colombia.

	SEMIDETALLADO DETALLADO		SEMIDETALLADO (CON LIMITACIONES)	SEMIDETALLADO
DATOS PARA AUTOMATIZACION DE LA INTERPRETACION.	COORDENADAS X Y Y TONO Y COLOR	INFORMACION ORIGINAL DIGITAL	INFORMACION ORIGINAL DIGITAL	INFORMACION ORIGINAL DIGITAL
LIMITANTES	CONDICIONES ATMOSFERICAS, LLUVIA NUBES, NIEBLA ATMOSFERICA COLOR: COSTO	LLUVIA O NUBES MUY DENSAS. GEOMETRIA Y RESOLUCION ESPACIAL	NUBES, LLUVIA, NIEBLA ATMOSFERICA, RESOLUCION ESPACIAL. ESTEREOSCOPPIA	NUBES, LLUVIA NIEBLA RESOLUCION ESPACIAL (EN ALGUNOS NIVELES DE DETALLE) ESTEREOSCOPIA
MANEJO PARA GRANDES AREAS.	RAZONABLE	BUENA	BUENA	BUENA
EFICACIA EN CLIMAS HUMEDOS TROPICALES	RAZONABLE	BUENA	REGULAR	REGULAR
COSTOS PARA USUARIOS	PANORAMATICA: 1:5,000 US\$75 1:100,000 US\$4.0	SIN RECURRIMIENTO: US\$ 6 - 7	0.0025 PRODUCTOS ORIGINALES, 0.02 C.C.T.	0.008 PRODUCTOS ORIGINALES 0.10 C.C.T.
CARACTERISTICAS	PANORAMATICA: LA MAS UTILIZADA PARA ESTUDIOS DE RECURSOS NATURALES, BAJOS COSTOS. PELICULA DE ALTA RESOLUCION.  BUENA RESOLUCION Y PRECISION ESTEREOSCOPICA, FACILES DE ADQUIRIR.  INFRORROJO B G N Y COLOR: ALTO CONTRASTE. SE UTILIZA EN VUELOS A BAJA ALTURA BAJO CIERTAS CONDICIONES DE NIEBLA, INTENSIFICA LAS BOMBAS.	INDEPENDENCIA DE CONDICIONES ATMOSFERICAS. BUENA VISION DEL CONJUNTO. RESALTA ASPECTO FISICOGRAFICO Y GEOMORFOLOGICO DEL TERRENO. MEDIANTE TECNICAS DE POLARIZACION SE PUEDEN OBTENER INFORMACION ADICIONAL COMPLEMENTARIA.	BAJOS COSTOS. BUENA VISION DE CONJUNTO. TOMA DE IMAGENES REPETITIVA CADA 18 DIAS SE PUEDE AUTOMATIZAR LA INFORMACION. POSIBILIDAD DE MEJORAMIENTO.	NIVEL INTERMEDIO DE RESOLUCION ESPACIAL. AMPLIA RESOLUCION ESPECTRAL. COBRIMIENTO CADA 18 DIAS. AMPLIAS POSIBILIDADES DE MEJORAMIENTO Y AUTOMATIZACION DE LA INFORMACION.
				0.21 MODO PANORAMATICO (PRODUCTO STANDAR), 0.08 MODO MULTIESPECTRAL 0.04 OCT (MODO PANORAMATICO O MULTIESPECTRAL)  ESTEREOSCOPIA POSIBLE. RESOLUCION TEMPORAL VARIABLE (A SOLICITUD DEL USUARIO) PRECISION A NIVEL DE CARTOGRAFIA 1:50 000. AMPLIAS POSIBILIDADES DE MEJORAMIENTO Y AUTOMATIZACION.

requiere al menos el simple reconocimiento o conocimiento de que un rasgo esté presente, en nuestro caso la cubierta boscosa. La identificación de un rasgo detectado requiere una síntesis posterior de características, espaciales, texturales y asociativas ( Hag, 1982 ).

Las imágenes provenientes de los sensores remotos son adquiridas por sistemas de avanzada tecnología, pero normalmente son interpretadas mediante técnicas clásicas que han avanzado poco más allá de los estereoscopios utilizados durante los primeros años de la interpretación de fotografías aéreas. Sabemos que los métodos fotográficos de realce y de composición en falso color permiten al intérprete extraer más y mejor información, pero carecen de las ventajas de las técnicas digitales. Las principales ventajas de los métodos de procesamiento digital son su versatilidad, su repetibilidad y la preservación de la calidad original de los datos ( Cámara, op. cit., Floyd, F. op. cit. )

La disponibilidad de imágenes digitales multiespectrales de el programa Landsat aceleró el desarrollo y aplicación del procesamiento de imágenes digitales a mediados de los años 70s, este campo contempla grandes avances en tecnología y aplicación. La estructura de una imagen puede ser concebida como formada por pequeñísimas áreas iguales, llamadas elementos de imagen ( pixeles ), arregladas en renglones y columnas regulares Fig. 29, así la posición de cualquier elemento de la imagen esta determinada por un sistema de coordenadas X y Y, cuyo origen está ubicado en la esquina superior izquierda de la imagen. La brillantes ( tono ) de cada pixel tiene un valor numérico que puede ir desde cero para el negro, hasta el 63 o 127 para el blanco ( resolución radiométrica ), en el caso de las imágenes

Landsat MSS y las TM Landsat y Spot va desde 0 para el negro y 255 para el blanco. De está forma, cualquier imagen puede ser descrita y procesada en términos estrictamente numéricos, mediante un sistema de tres coordenadas, con X y Y dando la posición del pixel, y Z su intensidad de grises ( Cámara, op., cit., Floyd, op.,cit. ).

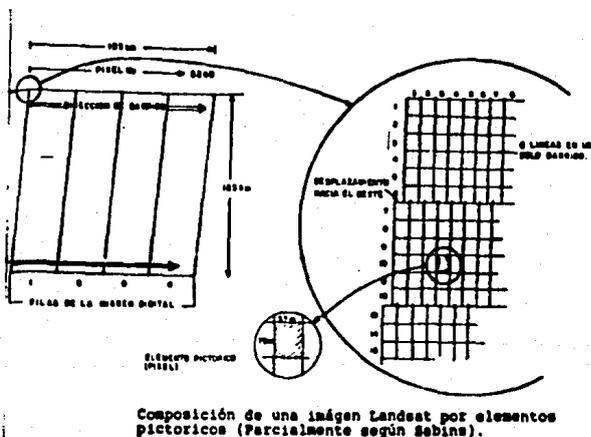


Fig. # 29

Es también importante saber que una imagen inicialmente registrada en emulsión fotográfica puede ser convertida dentro de un formato numérico por un proceso conocido como digitalización que es el proceso de convertir la película fotográfica dentro de un arreglo ordenado de números ( Floyd, op.,cit. ).

Los métodos de procesamiento de imágenes son principalmente de tres tipos: Métodos de Restauración, Realce y Extracción de Información. Los de restauración permiten detectar y corregir parte de los errores, ruido y distorsiones geométricas introducidas durante la adquisición y transmisión de los datos. Los métodos de restauración son sencillos, ya que son aplicados

por separado a cada una de las bandas de una imagen multiespectral. El realce es la modificación de una imagen para alterar su impacto sobre el observador. Casi todos los métodos de realce modifican los valores digitales originales; por lo que generalmente son aplicados y una copia de la imagen original, o una vez que se han llevado a cabo los demás procesos. Como los métodos de restauración, los métodos de realce son aplicados a cada banda por separado. Ambos tipos de procesos utilizan las computadoras para proveer al intérprete humano de imágenes corregidas y mejoradas, pero la computadora no toma ninguna decisión en éstos procesos. Los métodos de extracción de información utilizan las computadoras para identificar y extraer fragmentos específicos de información, aquí el analista ( cualquier profesional relacionado al área de los recursos naturales ), provee a la computadora de cierta información y de instrucciones, y debe así mismo evaluar el significado y confiabilidad de la información generada. Los métodos de extracción de información operan simultáneamente sobre dos o más bandas. Esto es fácil de realizarlo en imágenes en las cuales los datos se registran espacialmente por haber sido adquiridos y almacenados por el mismo sistema de barrido, Landsat y Spot, ( Cámara, op., cit., Floyd, op., cit. ).

Las imágenes en formato digital contienen, para cada uno de los elementos, un patrón de respuesta espectral que es un vector cuyos componentes están en función del tipo de sensor y por lo tanto de las bandas que éste maneje. Estos componentes son valores que representan la intensidad de la energía reflejada por el terreno ( objetos que forman la superficie terrestre ) en cada una de las bandas espectrales. Así, cada pixel puede ser

concebido como un punto en un espacio de  $X$  dimensiones. Los valores del pixel determinan su posición exacta dentro de este espacio espectral. El problema de la clasificación multispectral se resume en la división de este espacio en regiones o subespacios, y en la asignación de cada uno de los elementos de la imagen a una de las regiones. En términos generales, el objetivo es, dado un conjunto de objetos, asignar cada objeto a alguna de las clases del conjunto. Para nuestro propósito los objetos, los píxeles en una imagen y las clases son las distintas categorías que se presentan en la imagen. La aplicación más común es para imágenes de percepción remota en que las categorías son clases tales como: trigo, maíz, arroz y otros tipos de cultivos o agua, áreas urbanas entre otras ( Niblack, Wayne, 1986 ).

Hay dos categorías de métodos de clasificación: supervisado y no supervisado. En los métodos supervisados el usuario supervisa el proceso seleccionando inicialmente algunos píxeles de cada categoría o clase de objetos o rasgos a diferenciar, basado en el hecho de que tiene un buen conocimiento del área representada en la imagen, de ésta manera estructura el esquema de clasificación. A continuación selecciona muestras de cada categoría a las cuales se les llama campos de entrenamiento, debido a que la regionalización del espacio espectral se lleva a cabo con base en las estadísticas ( media y desviación estándar para cada clase ) de las muestras definidas por el analista ( Cámara, op., cit.). Las muestras individuales se agrupan de acuerdo a la afinidad de sus valores de reflectancia, para constituir las clases espectrales. En este punto resulta conveniente analizar la separabilidad estadística de estas clases, para determinar si las categorías que se desean

diferenciar presentan patrones espectrales exclusivos. Si el analista no cuenta con un programa que calcule la separabilidad estadística de las clases, es necesario clasificar la imagen, y entonces determinar, mediante trabajo de campo o con ayuda de mapas y/o fotografías aéreas, si el proceso de análisis digital logró separar las categorías de interés.

En los métodos no supervisados, las clases son determinadas utilizando algoritmos de agrupamiento ( Clustering Algorithms ) para encontrar los agrupamientos naturales de los datos, y describir las diferentes clases espectrales mediante medias y covarianzas. El vector de medias define las coordenadas del centro de gravedad de la nube de datos ( clase espectral ), y la respectiva matriz de varianzas describe el tamaño y la forma de la nube ( Cámara, op., cit. ). El siguiente paso es clasificar la imagen y se determina la identidad de cada una de las clases espectrales, ya sea mediante trabajo de campo o correlacionando la imagen clasificada con mapas o fotos aéreas. Después cuando se ha definido el valor informativo de todas y cada una de las clases espectrales, se deben de agrupar en categorías informativas, de acuerdo a los criterios que se adapten mejor al interés de su investigación.

## 1.2 EQUIPO DE COMPUTACION

Los antecedentes del análisis tanto analógico como digital de imágenes satelitarias en México, tienen cerca de diez años practicándose, su aplicación ha sido en diferentes trabajos de prospección de recursos naturales. En la Dirección General de Geografía, el análisis digital de imágenes multiespectrales

comenzó a partir de 1981, debido a que se contaba en su tiempo con una herramienta bastante buena para este tipo de trabajos.

El sistema de cómputo y los programas con que se contaba fue desarrollado por el Laboratorio de Recursos Terrestres de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio ( NASA ). Constaba de dos minicomputadoras ( Zarco, M. A., 1983 ), Perkin-Elmer Interdata 8/32 de 512K de memoria central, las cuales tenían como periféricos dos pantallas para despliegue de imágenes ( COMTAL 8100 ), seis pantallas para operación interactiva, con seis unidades de disco de 300mb cada uno, dos unidades de cinta magnética y dos impresoras de línea.

Los programas de cómputo con que se contaba se denominaba ELAS (EARTH RESOURCES LABORATORY APPLICATIONS SOFTWARE). Sin embargo, actualmente el análisis digital de imágenes de Percepción Remota se ha hecho más accesible, debido principalmente al gran desarrollo tecnológico de la microcomputación, los sistemas grandes han sido desplazados por los microcomponentes, tanto en tamaño como en poder de trabajo, ya que tienen una gran capacidad de almacenamiento de información y una alta velocidad de procesamiento. En el mercado existe una amplia diversidad, tanto de equipo de cómputo como de paquetes de aplicaciones que ayudan al analista a desempeñar con mayor rapidez y precisión su trabajo.

En este momento en la Dirección General de Geografía ( INEGI ), se cuenta con un equipo de cómputo para el análisis digital de imágenes multiespectrales, que consta de una microcomputadora con 2mb de memoria en RAM, un procesador 80-386 y una tarjeta de gráficos para el video, cabe hacer notar que son equipos portátiles de fácil manejo.

### 1.3 EL PAQUETE SPIPR

El sistema de procesamiento de imágenes en Percepción Remota SPIPR se desarrollo en la Dirección General de Geografía conjuntamente con el Centro Científico de IBM, es un sistema diseñado para proporcionar una serie de funciones en el proceso digital de imágenes multiespectrales, en un ambiente interactivo para lograr resultados de diversa índole como pueden ser: despliegues, filtrado, realces, generación de estadísticas etc. SPIPR lleva al usuario a través de menús en los cuales puede seleccionar las operaciones que deseé. Los diferentes menús también piden parámetros para la ejecución de programas que brindan resultados de manera interactiva. Una vez que se ha comenzado la ejecución del sistema, la comunicación con el usuario es muy intensa, éste debe de dar indicaciones para que ésta se lleve a cabo de una forma eficiente; para elegir una opción del menú, solo basta oprimir el número de la opción que se deseé. Hay también menús que aceptan parámetros variables, y estos funcionan de manera que el usuario quede protegido de cualquier posible error en cuanto a nombres o caracteres inválidos. Se puede navegar a través de las pantallas utilizando las flechas y/o el ratón, lo cual permite corregir o verificar los datos que se han introducido. Cuando SPIPR detecta algún error, despliega un mensaje, y espera un mensaje como señal de reconocimiento del error, aquí el usuario debe tomar una acción para solucionarlo ( Vásquez, Antonio. 1989 ).

El sistema cuenta con un " menú " principal ver cuadro # 4 a la vez cada opción del " menú " principal, contiene sub-menús con diversas opciones, ver cuadro # 5 , para los propósitos de este



Kalensky y Scherk, 1975 ). Esto quiere decir que la determinación y /o cuantificación de los tipos de bosque puede ser llevado a cabo mediante el uso de imágenes de satélite, su aplicación continua para la administración del recurso forestal, radica en el monitoreo ( vigilancia, seguimiento continuo ) de aquellas áreas donde la cubierta vegetal esta sujeta a alteraciones debidas a actividades humanas o por causas naturales ( Williams y Miller, 1979 ), estas alteraciones casi siempre causan una notable disminución de la biomasa en pie por unidad de superficie.

Diversos trabajos han demostrado que es posible detectar variaciones de la cantidad de materia foliar por unidad de área, conocida también como indice de área foliar, esto se logra mediante el registro de la cantidad de energía reflejada en las porciones visibles e infrarrojo cercano, en las que trabajan los sensores remotos multiespectrales de los satélites ( Tucker, 1979; Wiegand\_et.al., 1979 ), se sabe también que la cubierta vegetal es uno de los elementos más difíciles de categorizar en unidades discretas. Porque las variaciones florísticas, morfológicas y fenológicas son tales que, en muchos casos, no es posible tener certeza si una comunidad vegetal dada pertenece a tal o cual tipo de vegetación, aún para un observador en tierra, más difícil es este proceso de clasificación y delimitación para quién trabaja con imágenes de satélite, donde la escala y la falta de tercera dimensión obligan a trabajar con categorías más generales ( con Spot la tercera dimensión ha sido resuelta ).

Un problema común a los proyectos de inventario forestal y /o producción cartográfica de recursos, es la elaboración del esquema de clasificación a utilizar, es decir, cuales van a ser

las categorías informativas que van a representarse en el producto final. Sin embargo debido a que la clasificación automática se basa en la cantidad de energía reflejada por los objetos del terreno en las cuatro regiones ( bandas ) del espectro electromagnético en las que registran los barredores multiespectrales, esto denota que para llevar a cabo la clasificación automática es necesario que las categorías de interés presenten diferentes valores en la imagen.

A este respecto, las investigaciones han ido más allá de la " firma espectral " para mejorar el desempeño del análisis automatizado, y acercarse más al entendimiento y utilización de los elementos espaciales y temporales de las imágenes. La mayoría de los algoritmos de clasificación multiespectral involucran técnicas de estadísticas multivariada, pero también en la mayoría de los procedimientos de clasificación, los factores relativos al sitio generalmente son empleados a través de técnicas de estratificación y /o de probabilidad a priori de las clases. Así la división de una imagen en estratos permite el uso de patrones de respuesta espectral o probabilidades a priori más locales. Por otro lado, aunque las variaciones fisiográficas limitan la posibilidad de relacionar una señal de radiación específica ( un patrón de respuesta espectral ) a alguna propiedad o característica del terreno dada la variabilidad espacial y temporal de todos los elementos que conforman el terreno aunado al hecho de que las propiedades reflectivas de los mismos cambian en espacio y tiempo, por efecto de factores del medio ambiente, enfatiza el hecho de que el analista conozca a fondo los aspectos físicos del área de estudio, es aquí donde la aplicación del Criterio Fitogeomórfico de regionalización del paisaje, junto con

el Sistema Fisiográfico de la D. G. G., justifican su uso, puesto que de antemano nos brindan el entendimiento y reconocimiento de las relaciones y distribuciones de las geoformas y las plantas, ambas proveen el marco espacial ( cartográfico ) para la identificación de las áreas, dentro de las cuales, cabe esperar que las mediciones de radiación ( radiancia ) sean susceptibles de tener valor predictivo ( Saivigear, 1977 ). La causa principal del porque se eligió la zona de estudio, es porque representa el recurso forestal más importante, con que cuenta el estado de Aguascalientes y que estando sujeto a una constante explotación, tiende drásticamente a disminuir su extensión espacial y su cubrimiento temporal.

En este trabajo nos hemos fijado como objetivos particulares, la aplicación de dos sistemas de regionalización del paisaje, descritos anteriormente, en los que como vimos su utilidad esta en el hecho de que en el estudio de los recursos naturales brindan información sintética del ámbito geográfico en estudio, conocimiento que es esencial en el análisis digital de imágenes satelitarias multiespectrales, que en el contexto de este trabajo tienen como objetivo mostrar una de las muchas aplicaciones que pueden tener, así como su utilidad en el reconocimiento de recursos naturales, tanto en estudios de gran visión o de conjunto, así como también en estudios más locales, como es el caso del presente trabajo.

## 2.1 ANTECEDENTES DEL USO DE IMAGENES MULTIESPECTRALES PARA EL MONITOREO FORESTAL EN MEXICO

En nuestro país se han realizado varios proyectos encaminados a

desarrollar productos cartográficos que representen la extensión y ubicación de áreas boscosas en distintas regiones del país, utilizando el procesamiento y análisis digital de imágenes multiespectrales de satélite ( Cámara op.,cit.; Rosales, H. J. 1987.; Soto op.,cit.; Montesinos op.,cit.; Coria op.,cit. ) En dichos trabajos se observó que, debido a la gran cantidad de terreno que abarca cada imagen ( 185 x 185 Km<sup>2</sup> ) en el caso de las imágenes landsat que son con las que se realizaron esos trabajos, las áreas representadas resultaban ser muy heterogéneas en sus condiciones de terreno, por lo cual, las clasificaciones de los datos multiespectrales presentaban confusiones que requerían una revisión manual posterior. Tomando como base lo anterior decidimos utilizar en nuestro trabajo el Criterio Fitogeomórfico ( cuadro 2 ) conjuntamente con el Sistema Fisiográfico D.G.G. Por que ello brinda una visión de conjunto de las condiciones del terreno, además de que el análisis digital se realizó con una imagen SPOT, que tiene una resolución del terreno mucho mayor.

## 2.2 OBJETIVOS

Realizar la regionalización del paisaje, basado primero en información cartográfica de tipo temática y básica a diferentes escalas y a continuación transferirla a una imagen de satélite Spot.

Efectuar el procesamiento digital de la imagen multiespectral SPOT para localizar el recurso forestal y su cobertura, en lo que es la Sierra Fría, utilizando el paquete de programas SPIPR ( Vásquez A y Martínez J., 1989 ).

Correlacionar las informaciones derivadas de la regionalización del paisaje, del trabajo de campo y de la derivada del análisis digital de la imagen , para poder definir las categorías ( tipos de vegetación ) de interés forestal.

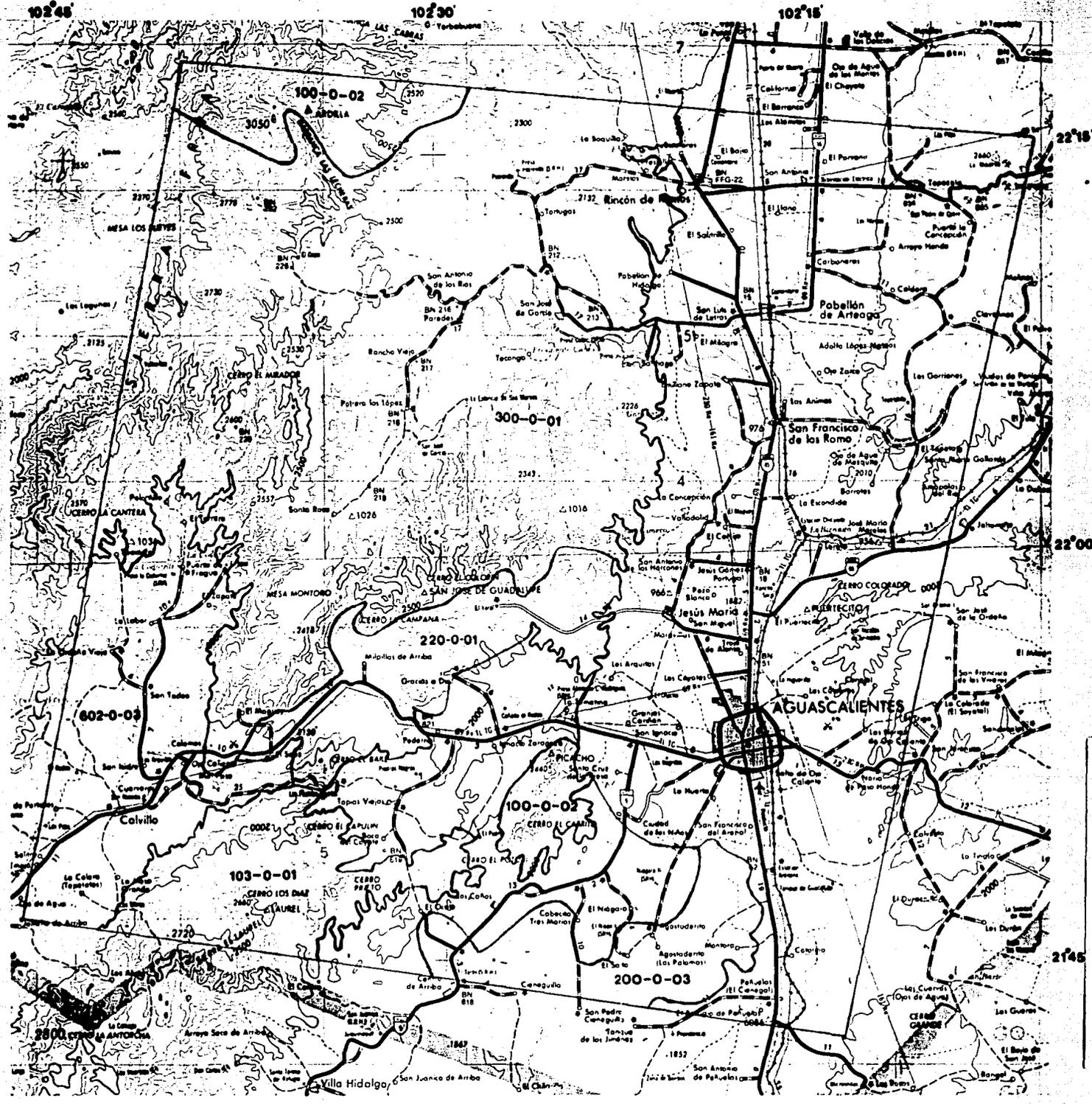
### 2.3 METODOLOGIA

Como ya habíamos comentado, debido al aumento de resolución espacial de las imágenes SPOT respecto a las de la serie LANDSAT ( Taranik, J. V., 1978 ) es factible obtener mayor cantidad de información de los elementos que forman la superficie terrestre en un punto determinado. Por lo anterior en este trabajo se intenta establecer una metodología integrada por cuatro pasos:

- regionalización del área de estudio
- procesamiento y análisis de la imagen multiespectral
- trabajo de campo
- obtención y análisis de resultados

#### 2.3.1 REGIONALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

Para llevar a cabo este paso se subdividió el paisaje en unidades fitogeomórficas sobre mapas topográficos a escala 1:250,000 y 1: 50,000. Esto consistió primero, en realizar la transferencia de los límites de las unidades de Provincia, Subprovincia y Sistema de topoformas que marca el mapa Fisiográfico del sistema D.G.G., a los mapas topográficos ( ver mapa # 2 ). El tipo climático que le corresponde al área de estudio se estableció del análisis realizado de los datos del cuadro # 3 y del mapa climático escala 1:1000,000. Con este análisis se estableció la



VIAS TERRESTRES

CARRILERA DE MAS DE DOS CARRILES CABOTA DE PASO	
CARRILERA PAVIMENTADA	
INDICACION DE RUTA FEDERAL ESTATAL	
TERRACERA TRANSMISIBLE EN TODO TIEMPO	
TERRACERA TRANSMISIBLE EN TIEMPO SECO	
BRECHA VIEJERA	
LEMPICAPITO DE SERVICIO PUBLICO ESTACION FIJO	
OTRAS VIAS FERREAS	

LINEAS DE CONDUCCION

ELECTRICA DE 330V O MAS TELEFONICA TELEGRAFICA	
CONDUITO SUPERFICIAL CONDUITO SUBTERRANEO	

OTROS RASGOS CULTURALES

PUNTEO LUMEN PASO A DESNIVEL	
ESCUELA TEMPLO CENTRO DE SALUD	
MINA PESO PETROLERO BANCO DE MATERIAL	
CANAL PRESA BARRIO	
ESTACION HIDROMETRICA	

PUNTOS GEODESICOS

VERTICE DE PRIMER ORDEN DE SEGUNDO O TERCER ORDEN		Δ GUANGOCHE Δ 836
BANCO DE NIVEL DE PRIMER ORDEN DE SEGUNDO O TERCER ORDEN		Ca 85
PUNTO DE NIVELACION ACOTADO (METROS)		1321

REPRESENTACION DEL RELIEVE

CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS		1500
CURVA DE NIVEL ORGANICARIA		
CURVA DE NIVEL AUXILIAR O SUPLEMENTARIA		
CURVA DE NIVEL APRESIADA		
DEPRESIONES COTA FOTOGRAFICA EN METROS		2410

RASGOS HIDROGRAFICOS

CORRIENTE PERMANENTE CORRIENTE INTERMITENTE	
MANANTIAL CORRIENTE QUE DESAPARECE	
RAPEDES SALTO DE AGUA	
LECHO DE RIO SECO	

AREAS SIMBOLIZADAS

LAGUNA PERMANENTE LAGUNA INTERMITENTE	
PANTANO TERRENO SUAVIZADO A HUMIDACION	
SALINAS SALINAS	
DUNAS ARENAS	
CLUBERIA VEGETAL DENSA	

ESCALA 1: 250,000

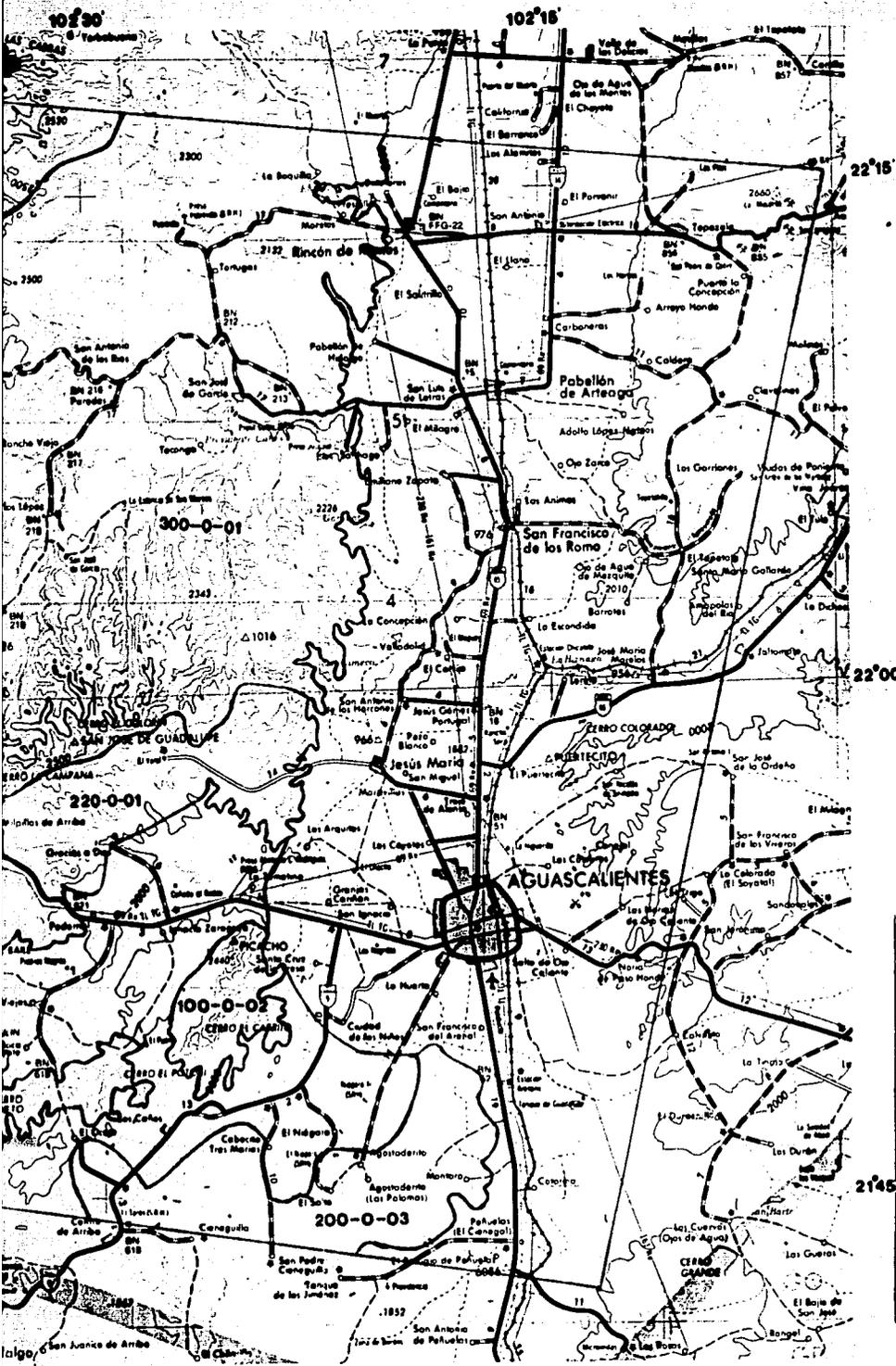


Mapa de límites de Sistemas de Topoformas que establece la carta Fisiográfica D.O.O. Las claves numéricas corresponden a cada uno de los sistemas de Topoformas.

- 100-0/02 -- sierra sin fase, asociada con lomeríos.
- 300-0/02 -- meseta sin fase, asociada con sierras.
- 602-0/03 -- Valle sin fase, asociado con mesetas.
- 220-0/01 -- lomerío sin fase, asociado con sierras.
- 103-0/01 -- sierra sin fase, asociada con mesetas.
- 200-0/03 -- lomerío sin fase, asociado con mesetas.

Toda la zona de estudio está comprendida dentro de la Subprovincia de Sierras y Valles Zacatecos nos de la Provincia Sierra Madre Occidental.

DIRECCION GENERAL DE ESTUDIOS DEL TERRITORIO NACIONAL



Zona Terrestre de acuerdo al Criterio Fitogeomórfico de Howard y Mitchell, ver cuadro # 2.

El Sistema Terrestre se delimitó sobre mapas topográficos, considerando criterios de homogeneidad con respecto a la historia geológica y litología, atributos que se consultaron de los mapas geológicos a escalas 1: 250,000 y 50,000.

A continuación se procedió a discernir las facetas para cada Sistema Terrestre utilizando la información del mapa de uso del suelo y de la información recabada de los muestreos del trabajo de campo, que consistió en verificar 18 puntos al azar. En seguida se procedió a diseñar una clave de identificación para cada faceta que permitió correlacionar cada Sistema Terrestre con sus características asociadas y con las otras unidades de la jerarquía. Un paso siguiente fue el de analizar los resultados obtenidos, ordenando la serie de Sistemas Terrestres con respecto a cada una de sus características como: Sistema de topoformas, Geología, Litología, altitud y Clima, observando las relaciones que se presentaron por medio de una tabla que se construyó para tal efecto, ver cuadro # 5.

De ésta manera la regionalización efectuada, es un híbrido formado por la unión del Sistema Fisiográfico de la D.G.G. y el Criterio Fitogeomórfico propuesto por Howard y Mitchell, ver cuadro # 2 .

### 2.3.2 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA IMAGEN MULTIESPECTRAL

Este paso se divide en varias etapas:

1.- Obtención de datos. Se adquirió una imagen multiespectral SPOT, del estado de Aguascalientes del 18 de abril

TABLA N° MUESTRA LOS 10 PUNTOS SELECCIONADOS Y SU REGIONALIZACION ASI COMO SUS ATRIBUTOS FISICOS QUE FUERON OBTENIDOS DE LA CARTOGRAFIA CONSULTADA.

NOMBRE DEL PUNTO	So. Te	Pro. Te	Sub-Te	Sis-Te	Topo	Sis-Te	Mis-Cuo	Litología	Suelo	Altitud	Vegeta
1.- PLAYA MARIQUITAS	BSIKw(e)g	III	17	100-0/02	LADERA	I	Te	R - Te	<u>Lh + Lg</u> 2a	2620	BSPPSP4PKR
2.- PLAYA MARIQUITAS	BSIKw(e)g	III	17	100-0/02	PLANICIE	I	Te	R - Te	<u>Lh + Lg</u> 2a	2600	BSb-BSA+BSCH
3.- LAS ALMAS OLVIDADIZAS	BSIKw(e)g	III	17	300-0/01	LADERA	II	Te	R - Te	<u>Lg + wh</u> 2c	2430	BSI-ESP-BSF
4.- EL BAJIO	BSIKw(e)g	III	17	300-0/01	LADERA	II	Te	R - Te	<u>Lg + wh</u> 2c	2600	BSB+BSG+BSH BSF
5.- EL BAJIO DE LA TIENDA	BSIKw(e)g	III	17	300-0/01	LADERA	II	Te	R - Te	<u>Lg + wh</u> 2c	2600	BSF-BSR-BSF
6.- BARRANCA JUAN FRANCISCO	BSIKw(e)g	III	17	300-0/01	LADERA	I	Te	R - Te	<u>Lg + wh</u> 2c	2700	BSA-ES-BS-BS- BSI
7.- EL BEPO	BSIKw(e)g	III	17	300-0/01	LADERA	I	Te	R - Te	<u>Lg + wh</u> 2c	2650	BSAR-ES7-PAR- BSBPR
8.- EL ANUELO	BSIKw(e)g	III	17	300-0/01	PLANICIE	II	Te	R - Te	<u>Lg + Ah</u> 2a	2640	BSBIP
9.- PARAJE DON PEPE	BSIKw(e)g	III	17	300-0/01	LADERA	IV	Te	R - Te	<u>Lf + Hn</u> 2b	2700	BSR-ESBSBSB BSR
10.- LAGUNA BECA	BSIKw(e)g	III	17	300-0/01	LADERA CAÑADA	II	Te	R - Te	<u>Lf + Hn</u> 2b	2620	BSRBSA
11.- LAGUNA BECA 2.	BSIKw(e)g	III	17	300-0/01	LADERA	III	Te	R - Te	<u>Lf + Un</u> 2b	2620	BSJ-ESPRBS BSR



de 1988.

2.- Obtención de información de referencia. Utilizada primero para la regionalización y segundo para correlacionarla con el resultado del procesamiento del análisis digital de la imagen digital.

- mapas geológicos a escalas 50,000 y 250,000
- mapas de uso del suelo a escalas 50,000 y 250,000
- mapas topográficos a escalas 50,000 y 250,000
- mapa fisiográfico a escala 1000,000
- mapas climáticos a escala 500,000

Los mapas son ediciones de 1978 a 1981.

### 3.- PREPROCESO

Cambio de formato. Consiste en cambiar los datos numéricos de la imagen, de una cinta compatible con computadora ( CCT ) a una serie de diskettes ( discos ) que pueden ser leídos por microcomputadoras y que por cuestión de capacidad de este tipo de equipos, se hace necesario cortar la imagen original en subimágenes, se logra con esto un manejo más adecuado de los datos contenidos en una imagen, el mapa # 3 muestra como queda este corte.

A continuación se inicia propiamente a manejar el paquete de programas SPIPR, el cual comienza por crear un archivo de encabezado, para cada una de las bandas ( tres en este caso ), este encabezado crea las estadísticas ( media y desviación estándar de cada banda ), sin este encabezado no se puede procesar la imagen, el paso siguiente es crear tablas de asignación de tonos de gris y de color que permiten la

102°45'

102°30'

102°15'



# SIGNOS CONVENCIONALES

## VIAS TERRESTRES

CARRERA DE MAS DE DOS CARRILES CASA DE PAGO	
CARRERA PAVIMENTADA	
NUMERACION DE RUTA FEDERAL ESTATAL	
TERMINACION TRANSITABLE EN TODO TIEMPO	
TERMINACION TRANSITABLE EN TIEMPO SECO	
SEÑAL DE VEREDA	
TERMINACION DE SERVICIO PUBLICO ESTACION DE CO	
OTRAS VIAS TERRESTRES	

## LINEAS DE CONDUCCION

ELECTRICA DE 330V O MAS TELEFONICA TELEGRAFICA	
CONDUCCIO SUPERFICIAL CONDUCCIO SUBTERRANEO	

## OTROS RASGOS CULTURALES

PLANTE TUNEL PASO A DESNIVEL	
ESCUELA TIEMPO CENTRO DE SALUD	
MINA PICO PERICERO BARRIO DE MATERIAL	
CANAL PRESA BARRIO	
ESTACION METEOROLOGICA	

## PUNTOS GEODESICOS

VERTICE DE PRIMER ORDEN DE SEGUNDO O TERCER ORDEN		Δ GUANGOCHÉ Δ 830
BANCO DE NIVEL DE PRIMER ORDEN DE SEGUNDO O TERCER ORDEN		Co 28 1927
PLANTO DE NIVELACION ACOTADO (METROS)		

## REPRESENTACION DEL RELIEVE

CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS		1500
CURVA DE NIVEL ORDINARIA		
CURVA DE NIVEL ALZARAB O SUPLEMENTARIA		
CURVA DE NIVEL APROXIMADA		
DEPRESIONES COTA FOTOGRAFICA EN METROS		7410

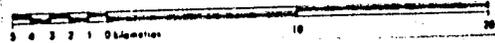
## RASGOS HIDROGRAFICOS

CORRIENTE PERMANENTE CORRIENTE INTERMITENTE	
MANANTIAL CORRIENTE QUE DESAPARECE	
BAHONCIL SALTO DE AGUA	
LECHO DE RIO SECO	

## AREAS SIMBOLIZADAS

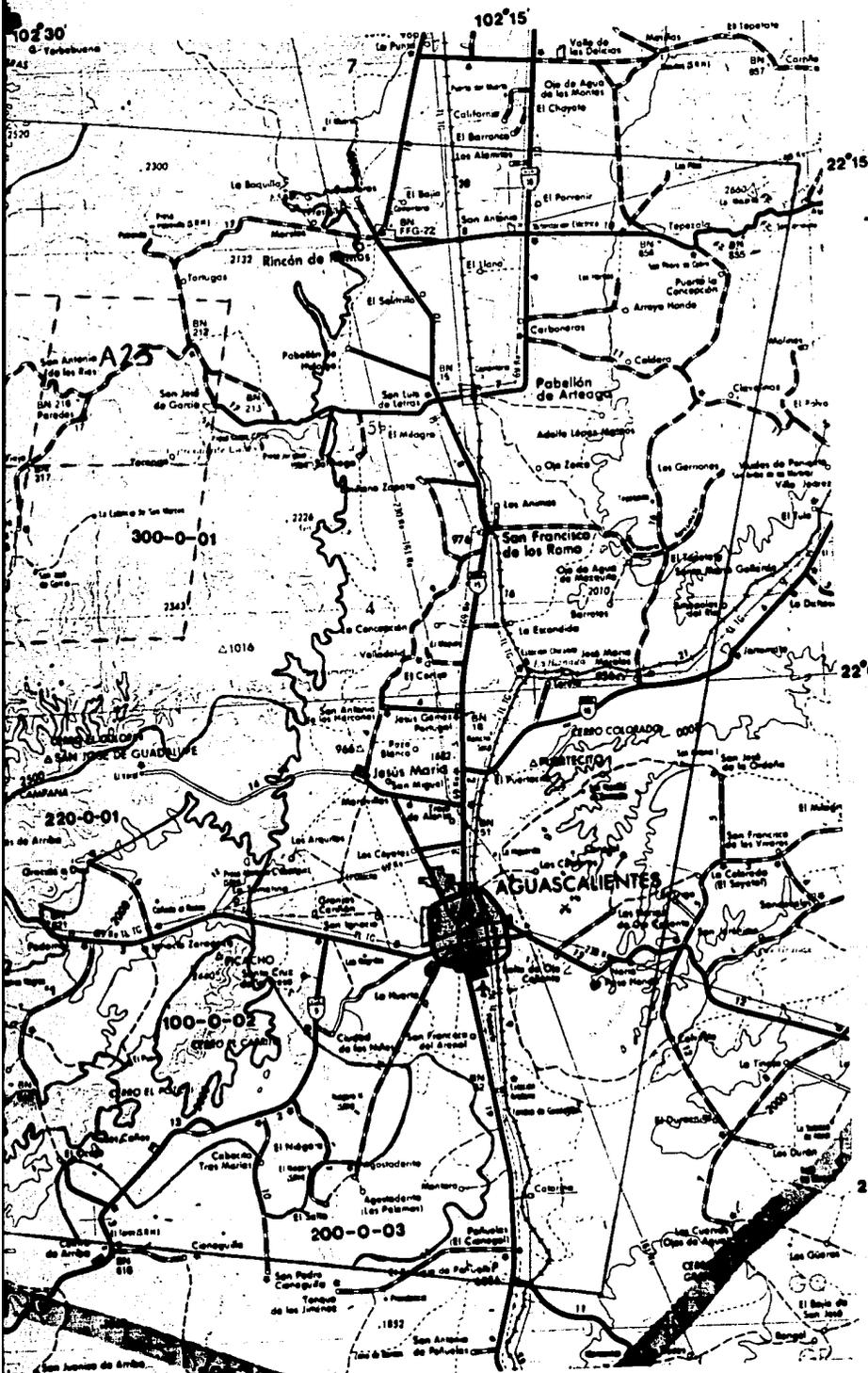
LAGUNA PERMANENTE LAGUNA INTERMITENTE	
PANTANO LLENADO SALTO A RECONSTRUCCION	
SALINERA BARRIO	
BARRIO ABERRA	
CUBIERTA VEGETAL DE NEVA	

ESCALA 1: 250,000



MAPA N° 3  
Este mapa muestra los submódulos, con un código alfanumérico, cada cuadro pintado mide sobre el terreno aproximadamente 10 km. por lado.

DIRECCION GENERAL DE ESTUDIOS  
DEL TERRITORIO NACIONAL



representación gráfica de los datos por pantalla ( despliegue ). Despliegue y revisión de la imagen. Este paso consiste en realizar un análisis detallado de cada una de las bandas ( verde, rojo e infrarrojo ) y se revisan sus histogramas respectivos, estos también desplegados en el monitor.

#### 4.- PROCESO

Consiste en el uso de una computadora para obtener información a partir de una imagen SPOT dentro de un enfoque supervisado de clasificación, en ésta el analista define un grupo de categorías o clases a diferenciar, es decir estructura el esquema de clasificación a utilizar. Posteriormente selecciona muestras de cada una de estas categorías, llamadas también campos de entrenamiento, debido a que la regionalización del espacio espectral se lleva a cabo con base en las estadísticas de estas muestras definidas por el analista.

Las muestras individuales se agrupan de acuerdo a la afinidad de sus valores, para constituir las clases espectrales ( Lintz & Simonet, 1979; Cámara op., cit.; Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W. 1979 ) para que el producto final tenga una calidad cartográfica aceptable, es necesario referir los datos de la imagen a una proyección cartográfica determinada ( Transversa Universal de Mercator, UTM, en este caso ), ( Bernstein, R., 1983 ).

Generación de estadísticas de clase. Estas se obtienen a partir de los polígonos trazados sobre la pantalla de despliegue, los cuales contienen áreas con condiciones homogéneas con respecto a la vegetación, el suelo, etc., asignándole a cada polígono un identificador que lo correlaciona con una condición específica

del terreno. De este modo se generan polígonos para todas las condiciones reconocibles sobre la imagen y se procede a la obtención de estadísticas de clase.

**Clasificación.** Cuando las estadísticas de clase ya han sido obtenidas, se procede a la clasificación total de la imagen ( datos que contiene esta ) mediante un algoritmo de máxima verosimilitud, en donde cada punto de la imagen ( pixel ) es asignado a alguna de las clases espectrales generadas ( Swain & Davis, 1978 ).

**Evaluación del desempeño de la clasificación.** En este punto los resultados de la clasificación se comparan contra la información obtenida en campo y la generada a partir del análisis cartográfico. Si el resultado no es aceptable, se regresa al paso, generación de estadísticas de clase.

**Derivación de categorías informativas.** Consiste en la identificación de las clases espectrales generadas y la integración a una o a otra clase de aquellas que estén describiendo condiciones similares del terreno, dichas categorías serán representadas en un producto final. Cabe señalar que cada categoría corresponde a una faceta dentro al Criterio Fitogeomórfico de regionalización del paisaje, y está vinculada a las distintas características que las definen dentro de dicho sistema.

Por último el resultado que se obtiene es una edición final y respaldo de la información, quedando lista para ser graficada o fotografiada desde la pantalla.

## 2.4 TRABAJO DE CAMPO

Este consistió en dos etapas:

a.- prospección preliminar

b.- verificación detallada

**Prospección preliminar.** El objetivo de ésta fue observar de manera general el área de estudio, tratar de identificar los tipos de paisaje, su accesibilidad y definir un itinerario hacia los sitios más representativos de interés forestal.

**Verificación detallada.** Su objetivo fue la obtención de información sobre las áreas con vegetación homogénea con respecto a su estructura, para lo cual se aplicó un muestreo subjetivo ( Krebs, J. C., 1978 ), en el que se contó el número de individuos y la frecuencia de aparición de cada especie. Para esto se trazaron lotes, los cuales se seleccionaron básicamente considerando dos cosas; su carácter de representar ciertas asociaciones vegetales y su condición de perturbado o no perturbado. En trabajos de inventario forestal, el muestreo sistemático es hecho frecuentemente utilizando líneas o transectos que permiten un muestreo continuo dentro de rectángulos definidos sobre el terreno. La amplitud del rectángulo depende del tamaño de los árboles y de su espaciamiento. De este modo se facilita convenientemente el conteo de los árboles ( Muller-Dumbois, Ellenberg, H., 1974 ).

Por otro lado, cada una de las especies que se encontraron fue identificada por personal especializado de la dirección General de Geografía. Cabe hacer notar la gran ayuda de personal de SEDUE que ayudo en la diferenciación de las distintas especies presentes, dado su profundo conocimiento del área y de los

Toda la información referente a estructura y formas de vida presentes en cada lote, se tomo usando el llamado registro fitocenológico ( Kuchler, A. W., 1967 ), los cuadros # 6 y 7 son ejemplos de los 18 puntos verificados en el trabajo de campo, este registro permite adquirir información para ser usada en una gran variedad de consideraciones teóricas y prácticas con las siguientes ventajas:

- puede ser usada sobre mapas a cualquier escala
- se expresa en una terminología clara e inequívoca
- puede emplearse con rapidez, ya que no requiere de conocimientos taxonómicos

#### 2.3.4 RESULTADOS E INTEGRACION DE LA INFORMACION

Este punto comprende tres actividades:

- análisis del trabajo de campo
- resultados del procesamiento y análisis de la imagen
- integración de la información

Análisis del trabajo de campo. Aunque la aplicación del muestreo subjetivo y el registro fitocenológico se ha aplicado a consideraciones de tipo biológico ( fitocenología comparativa, estudios de comunidades vegetales etc. ), para los fines que persigue este trabajo que son el de localizar el recurso forestal y su cobertura sobre el terreno, nos permitió no solo quedarnos en este paso, su aplicación determinó discernir entre otras cosas lo siguiente; en los dieciocho puntos verificados las especies arbóreas presentes en la zona son las siguientes:

Quercus syderoxila H. et B.

REGISTRO FITOCENOLOGICO

LOCALIDAD CERRO LOS DIAZ

COORDENADA 755200 E - 243800 N (UTM)

ALTITUD 2350 m snmm

MAPA F13-B88 TOP. 1:50 000

PENDIENTE Y EXPOSICION >20° NE

FORMULA ESTRUCTURAL S7R6P5R4R-E6R5P

ST. DE TOPOFORMA MESETA S/FASE 300-0/01

TIPO Y TAM. DE LA MUESTRA TRANSECTO 50m

TOPOFORMA CAÑADA

TIPO DE SUELO 1e + Hr  
2c

ESTRATO GEOLOGICO ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS

Cuadro N<sup>o</sup>. 3

ANALISIS ESTRUCTURAL

FORMAS BIOLÓGICAS ESTRATOS	B LATIFOLIUMS SIEMPRE VERDES	D LATIFOLIUMS DECIDUOS	E ACICULIFOLIUMS SIEMPRE VERDES	N ACICULIFOLIUMS DECIDUOS	O AFILAS	S ESPOROCITARIAS S. O. D.	M MIXTAS D. O. E.	G ESPOROCITOS	H MISRIAS	L LIGULARES MISRIOS	C TREPANADOS	K CORONALES	T ARBORETADAS POLIUMS	V BACULARES	X EPIFITAS
8- 35m.															
7-20 a 35m.						R									
6-10 a 20m.			R			P									
5-5 a 10m.			P			R									
4-2 a 5m.						R									
3-0.5 a 2m.															
2-0.1 a 0.5m.															
1- 0.1m.															

COBERTURAS: C= 750, I=51-750, P=25-500, R=6-250, A= 10, B=1-50

CARACTERISTICAS POLIARES: N=ESCLEROFILAS, R=SUCCULENTAS, L=MEGAPILAS ( 400cm<sup>2</sup>)

A= NANOPILAS ( 4cm<sup>2</sup>)

REGISTRO FITOCENOLOGICO

LOCALIDAD Playa Mariquitas

COORDENADA 744500 E -2463250 N (UTM)

ALTITUD 2820 msnmm

MAPA F13-B78 Top.1:50,000

PENDIENTE Y EXPOSICION < 89 Ne

FORMULA ESTRUCTURAL S5P S4P

ST. DE TOPOFORMA Sierra Baja S/fase 300-0/01 TIPO Y TAM. DE LA MUESTRA transecto 50m.

TOPOFORMA ladera

TIPO DE SUELO Bh+le

ESTRATO GEOLOGICO rocas igneas extrusivas

2a

Cuadro N°. 2

ANALISIS ESTRUCTURAL

FORMAS BIOLÓGICAS ESTRATOS	B	D	E	N	O	S	M	G	H	L	C	K	T	V	X
	LATIFOLIUMS BIEMPRE VERDES	LATIFOLIUMS DECIDUOS	ACTINIFOLIUMS BIEMPRE VERDES	ACTINIFOLIUMS DECIDUOS	AFILAS	ESCLEROFILAS B. D.	MIXTAS O. E.	ESMIFITOS	MIERMAS	LIGULAS NUMBOS	TRIFOLIUMS	COMBUSTIBLES	ARBORETUMS POLIAS	BAMBULES	EPIFITAS
8- 35m.															
7-20 a 35m.															
6-10 a 20m.															
5-5 a 10m.						P									
4-2 a 5m.						P									
3-0.5 a 2m.															
2-0.1 a 0.5m.															
1- 0.1m.															

COBERTURAS: C= 750, I=51-750, P=25-500, R=6-250, A= 10, B=1-50

CARACTERISTICAS POLIARES: B=ESCLEROFILAS, R=SUCULENTAS, L=MEGAFILAS ( 400cm<sup>2</sup>)

A= NANOFILAS ( 4cm<sup>2</sup>)

FUENTE:

Juniperus deppeana Stand.

Arbutus xalapensis H.B.K.

Quercus rugosa Mu.

Quercus potosina Trel.

Pinus teocote.

Arbutus glandulosa Mart. & gal.

Quercus grisea Liebm.

Pinus leiophila.

Quercus eduardi Trel.

Cupressus lindleyi Klotsch.

Litsea glaucescens H.B.K.

Juniperus flaccida Schlecht.

Salix sp.

Importante determinación de la composición de la masa boscosa cuando esta se relaciona con las actividades económicas de los hombres.

También del análisis de los datos de campo se dedujo que la especie de Quercus hyderoxila H. et B., es la mejor representada en la zona, tiene una alta frecuencia ( 12 de 18 lotes ), a diferencia de Quercus potosina Trel. que esta menos representada. Las especies más frecuentes son: Arbutus xalapensis H.B.K. ( 14 de 18 lotes ); Quercus potosina Trel. ( 13 de 18 lotes ); Arbutus glandulosa Mart & Gal ( 12 de 18 lotes ); Juniperus deppeana Stand ( 11 de 18 lotes ).

Con respecto a las especies de pino, se vio que Pinus teocote es poco frecuente ( 6 de 18 lotes ), pero en donde se presenta posee en general altos valores de importancia; por otra parte Pinus leiophila es menos frecuente aún ( 4 de 18 lotes ). La especie Cupressus lindleyi Klotsch está limitada a solo 3 de 18 lotes,

presentándose principalmente en cañadas.

Las especies restantes que son Litsea glaucescens, Juniperus flaccida, Salix sp y Quercus grisea son ocasionales y solo fueron observados pocos individuos. En general del trabajo de campo y del análisis de los datos recabados, se deduce que toda el área ha sufrido una intensa perturbación y lo que originalmente se presentaba como una extensa zona poblada por comunidades de encino asociadas ocasionalmente con pinos, en la actualidad a quedado reducida a manchones aislados de individuos jóvenes rodeados y entremezclados con vegetación secundaria, como lo indica la presencia de las ericáceas de los géneros Arbutus y Arctostaphylos. Por otro lado el registro fitocenológico cuadros 6 y 7 da las bases para caracterizar las comunidades desde un punto de vista jerárquico. En este sistema se pueden separar dos amplias categorías de vegetación:

a.- vegetación básicamente leñosa

b.- vegetación básicamente herbácea

Del mismo registro también se obtiene la exposición solar a la que están sujetas las distintas comunidades que componen la masa forestal de la zona, así tenemos que, los bosques mixtos aparecen con mayor frecuencia hacia el oeste, hacia el suroeste o hacia el noroeste, pero también aparecen con exposición este, noreste y sureste. Por otro lado, las latifoliadas semidecíduas aparecen con mayor frecuencia orientadas hacia el noreste, este y sureste, pero también llegan a estar presentes con exposiciones oeste y noroeste, de estas observaciones se puede deducir que la orientación parece no ser un factor que determine la composición florística del área de estudio.

También se estimó la cobertura del follaje de las masas vegetales

del estrato arbóreo, esto se hizo considerando los distintos rangos de cobertura que considera dicho registro, el análisis nos mostró que la mayoría de las coberturas caen en los rangos de : P= 25 a 50 % y R = 6 a 25 % de cobertura; en pocos casos se presentó la categoría I = 50 a 75 % y en menor proporción la categoría C = 75 a 100 %, siendo esta última un caso digno de mencionarse, esta se presenta en poblaciones de Quercus microphylla que es muy abundante y no llega a crecer más de un metro de altura, estando en su mayoría formada por individuos jóvenes. De esto último se deduce que en general se trata de bosques abiertos en los que se intercalan poblaciones de plantas arbustivas y herbáceas de tipo secundario en la mayoría de los casos.

Resultados del procesamiento y análisis de la imagen. Siguiendo los pasos propuestos en la metodología se obtuvieron los siguientes resultados:

a.- Cambio de formato. La imagen original se subdividió en subimágenes que abarcan 10 x 10 km., ver mapa # 3 explicado anteriormente porque se hizo esto, también nos permite tener mayor certidumbre de que cada sector sea completamente uniforme respecto a las unidades fitogeomórficas consideradas para este trabajo: Zona Terrestre, Subprovincia Terrestre y Región Terrestre ( Sistema de topoformas ), esto permitió reducir al máximo las confusiones que se presentan durante el proceso de clasificación. Cada subimagen tiene un identificador literal y numérico, siendo siete en total.

b.- Colecta de estadísticas. Cada subimagen fue observada detenidamente mediante el manejo de los submenús que contiene el paquete SPIPR, a continuación se procedió a trazar los polígonos

( campos de entrenamiento ) en aquellos sitios en que se determinó, con ayuda de la información de campo y de los mapas temáticos, que existía una cobertura homogénea de vegetación o de otro atributo ( suelo, pastizal, agua etc. ), un ejemplo de este paso se muestra en el cuadro # 8. Se continua con la clasificación del contenido de cada polígono lo cual genera las clases espectrales y sus medias, un ejemplo se muestra en el cuadro # 9. Acto seguido se obtiene un reporte sumario de todos los campos aceptando solamente aquellos que tuviesen más del 90 % de acierto, para cada uno de los sectores, considerando además sus características propias, un ejemplo se muestra en el cuadro # 10.

c.- Clasificación. Del procedimiento seguido se obtuvieron 7 archivos en los que se presentan las categorías informativas, las cuales se encuentran almacenadas en formato digital, obteniéndose de ellas el área correspondiente, ver cuadro # 11.

d.- Derivación de categorías informativas. El análisis de los patrones de respuesta espectral de cada clase generada en la clasificación se hacen necesario hasta aquí, de acuerdo con estos, se tiene un patrón típico de cada clase, ver fig.30. De todo el trabajo anterior, las categorías finales que se obtuvieron fueron las siguientes:

- bosque de encino. Incluye comunidades de latifoliadas semideciduas.
- bosque mixto. Incluye comunidades de latifoliadas semideciduas mezcladas con elementos aciculifolios y viceversa.
- matorral. Incluye matorral subtropical y vegetación secundaria.

I N E G I

MODULO DE CLASIFICACION DE IMAGENES  
MCREP004

I B M

REPORTE DE CAMPOS SELECCIONADOS

IDENTIFICADOR DE LA CLASIFICACION: a21c\_\_\_ IMAGEN CLASIFICADA: a21\_\_\_

BANDAS SELECCIONADAS : 3\_\_\_ CAMPOS SELECCIONADOS: 15\_\_\_

USANDO ESTADISTICAS DE LA IMAGEN: \_\_\_\_\_

LISTA DE CAMPOS SELECCIONADOS

agu21a___	bm21c___	pi21b___	_____	_____
be21a___	mat21a___	pi21c___	_____	_____
be21b___	mat21b___	sue21a___	_____	_____
be21c___	mat21c___	sue21b___	_____	_____
bm21b___	pi21a___	sue21c___	_____	_____

RETURN - Para regresar

INEGI

MODULO DE CLASIFICACION DE IMAGENES  
MCEST006

IBM

REPORTE DE CLASES

NOMBRE DE LA IMAGEN: a11\_\_\_\_\_  
NOMBRE DE LA CLASE :bosex\_\_\_\_\_

POBLACION DE PÍXELES: 298\_\_\_\_\_

BANDA	MEDIA	DE-ST
A11.B-1_____	37.805_____	3.373_____
A11.B-2_____	34.936_____	3.670_____
A11.B-3_____	51.178_____	2.846_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

RETURN = Ver otra clase

ESCAPE = Salida

INEGI

MODULO DE CLASIFICACION DE IMAGENES  
MCREP007

IBM

REPORTE SUMARIO DE CAMPOS

IDENTIFICADOR DE LA CORRIDA: a1b_____						
IMAGEN CLASIFICADA : all_____			REPORTE DE CAMPO : pazaci_____			
CLASE : pasto_____			NUMERO DE PIXELES: 44_____			
PIXELES NO CLASIFICADOS: 0_____			% NO CLASIFICADO : 0.00_____			
CLASE	P	PIXELES	%	CLASE	P	PIXELES
encino	0		0.00	_____	_____	_____
olmos	0		0.00	_____	_____	_____
pasto	44		100.00	_____	_____	_____
agua	0		0.00	_____	_____	_____
bosmx	0		0.00	_____	_____	_____
suelo	0		0.00	_____	_____	_____
mator	0		0.00	_____	_____	_____
vegri	0		0.00	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

RETURN = PARA VER OTRO CAMPO

ESCAPE = PARA SALIR

INEGI

MODULO DE CLASIFICACION DE IMAGENES  
MCREP009

IBM

REPORTE DE AREAS DE LA IMAGEN CLASIFICADA

IDENTIFICADOR DE LA CORRIDA: a23c\_\_\_\_\_ IMAGEN CLASIFICADA: a23\_\_\_\_\_

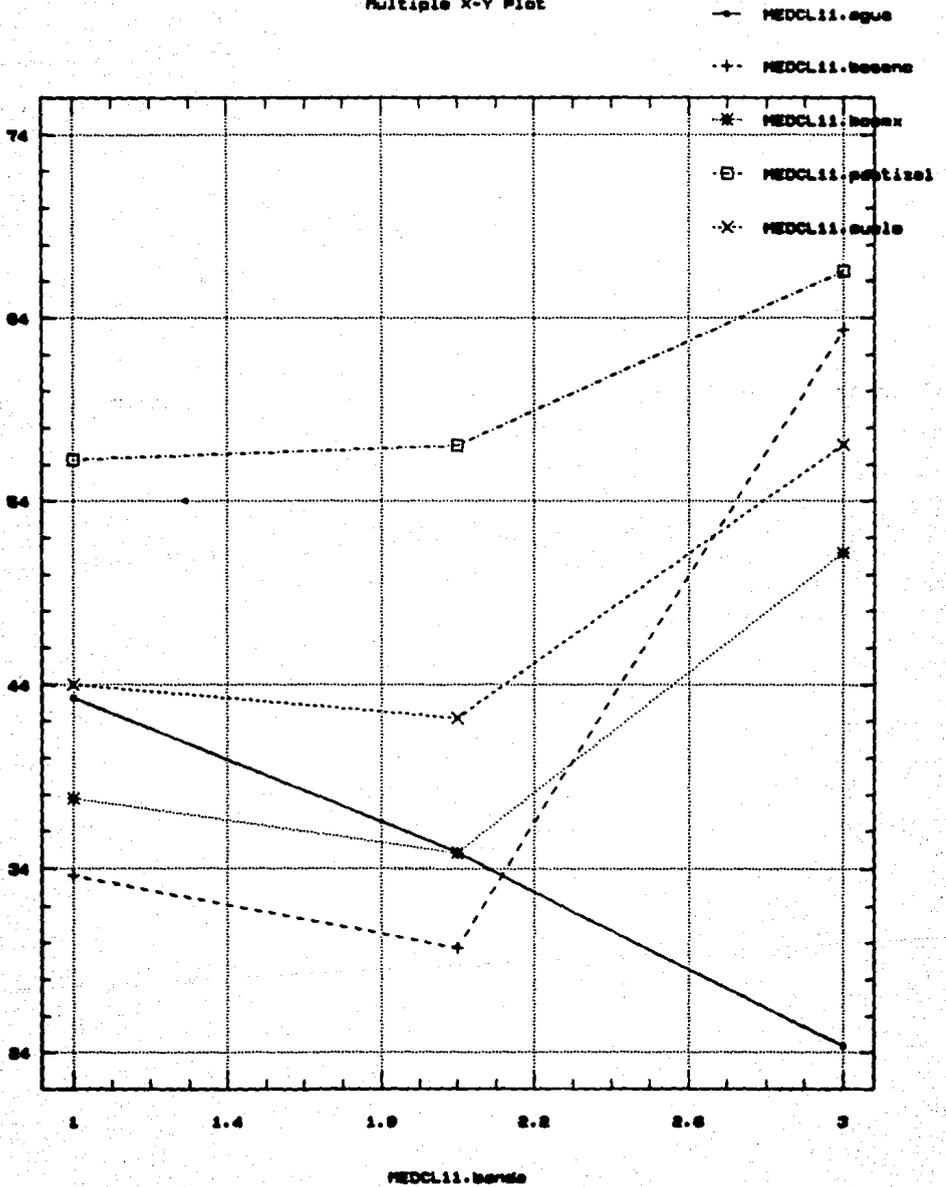
PIXELS EN LA IMAGEN: 262144\_\_\_\_\_

CODIGO PARA PÍXELES NO CLASIFICADOS: 0\_ PÍXELES NO CLASIFICADOS: 20615\_\_\_\_\_

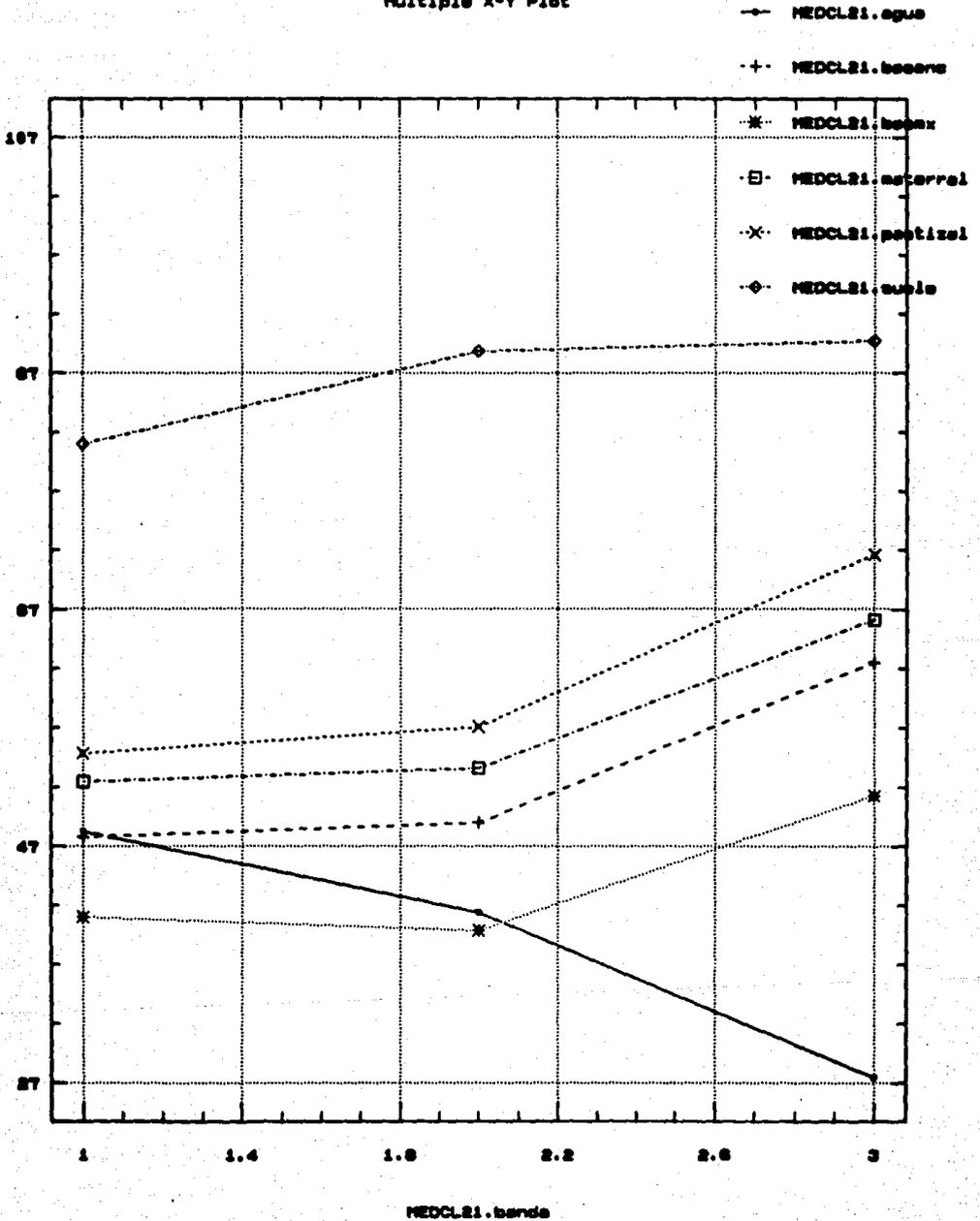
PARA OBTENER AREAS INTRODUZCA EL AREA SIMPLE DE UN PIXEL: 400\_\_\_\_\_

CLASE	CODIGO	PIXELES	AREA	CLASE	CODIGO	PIXELES	AREA
agu	1	10280	4.112000E+006				
bmj	2	2568	1.027200E+006				
be	3	6454	2.581600E+006				
mat	4	21744	8.697600E+006				
pi	5	18303	7.321200E+006				
sue	6	174136	6.965440E+007				
agu	7	8044	3.217600E+006				

Multiple X-Y Plot



Multiple X-Y Plot



Multiple X-Y Plot

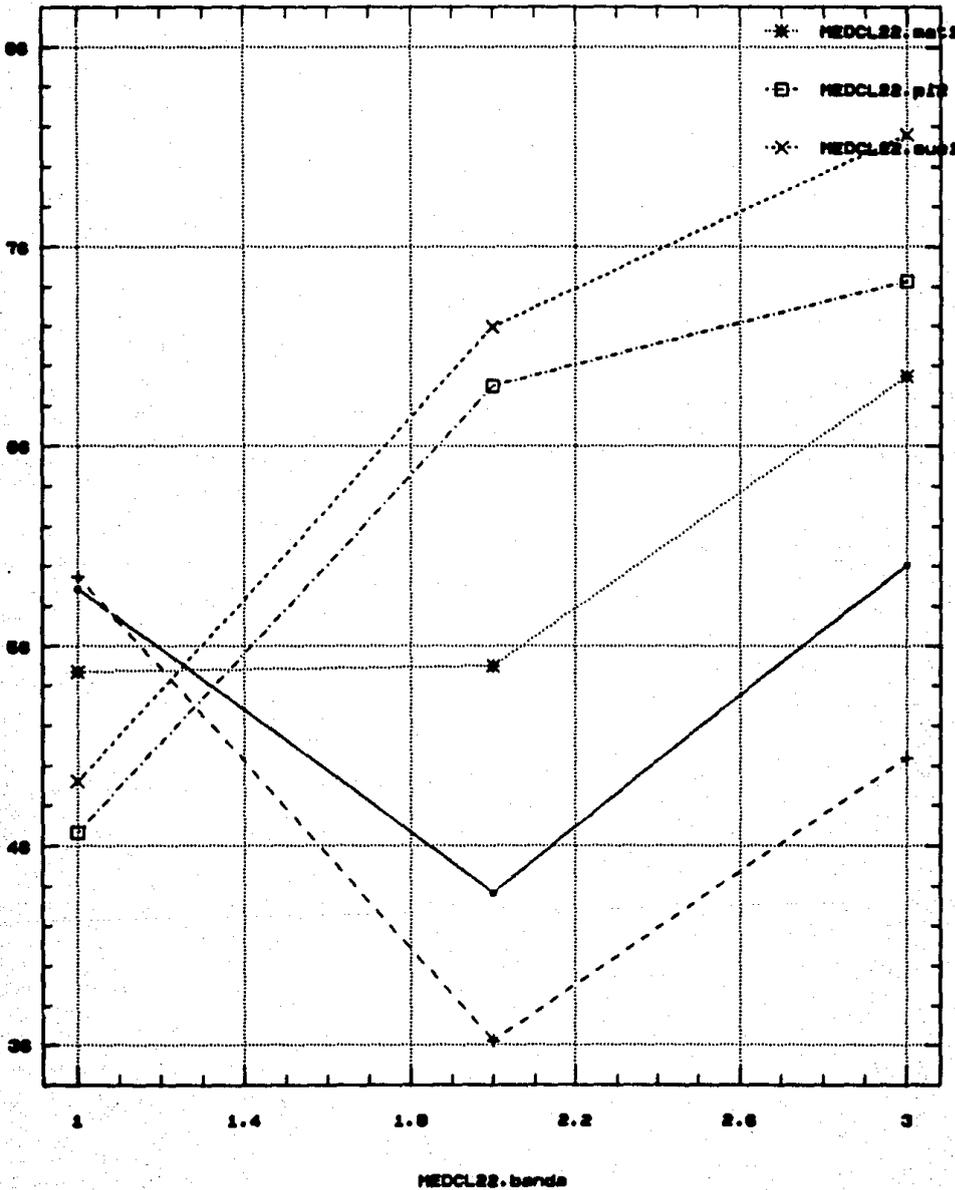
—•— MEDCL22.band1

-+ MEDCL22.band3

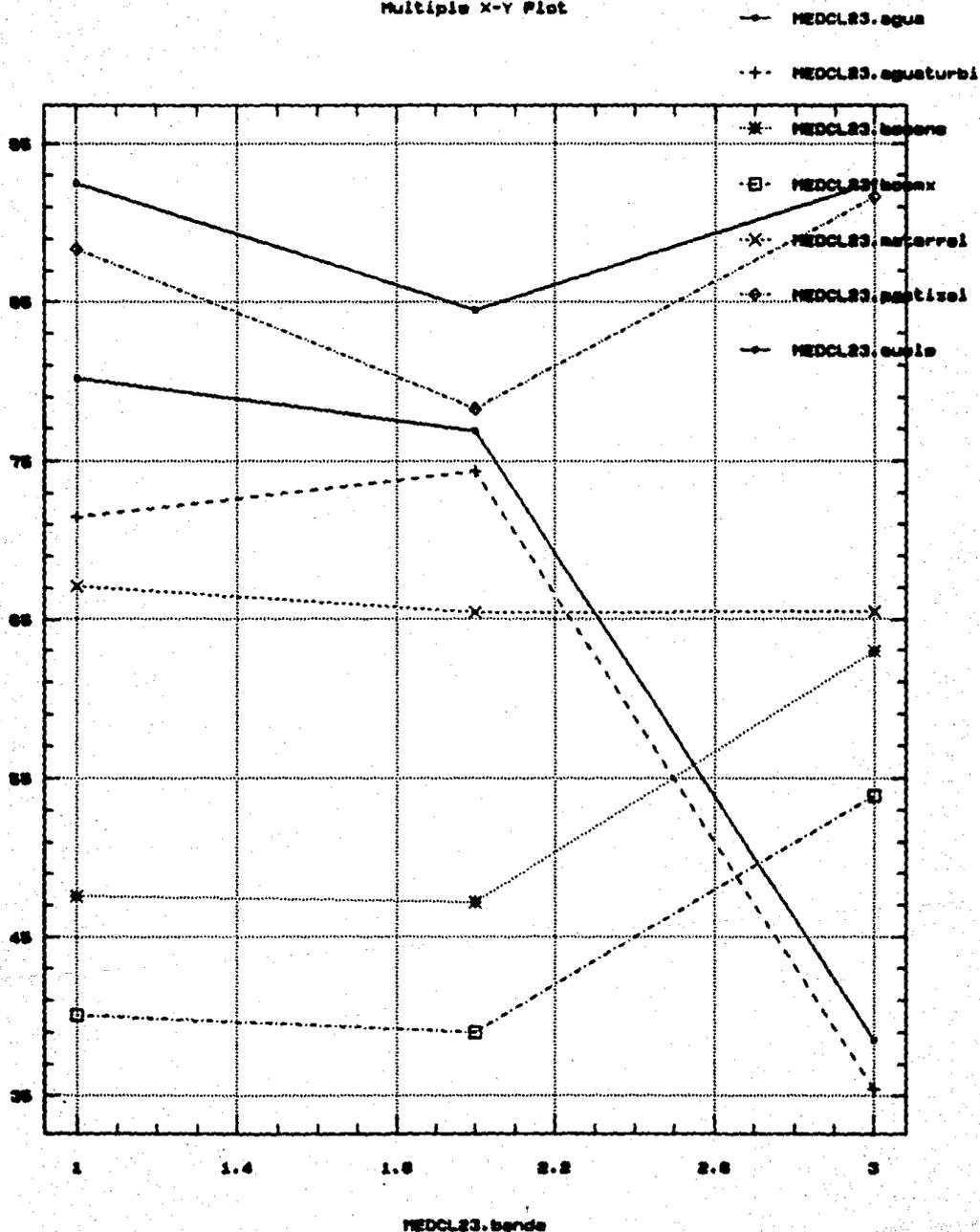
\* MEDCL22.band1

□ MEDCL22.band3

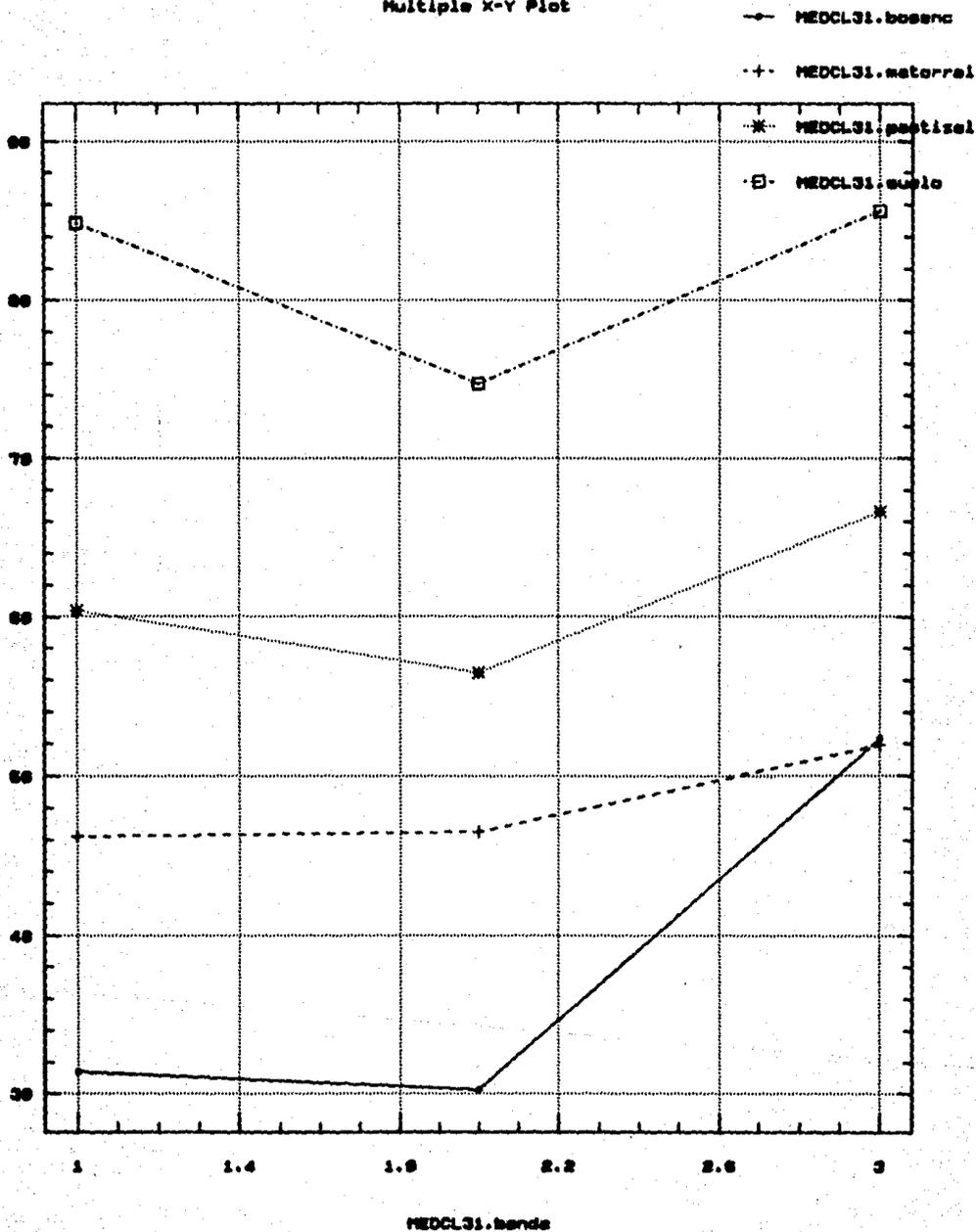
× MEDCL22.band1



Multiple X-Y Plot



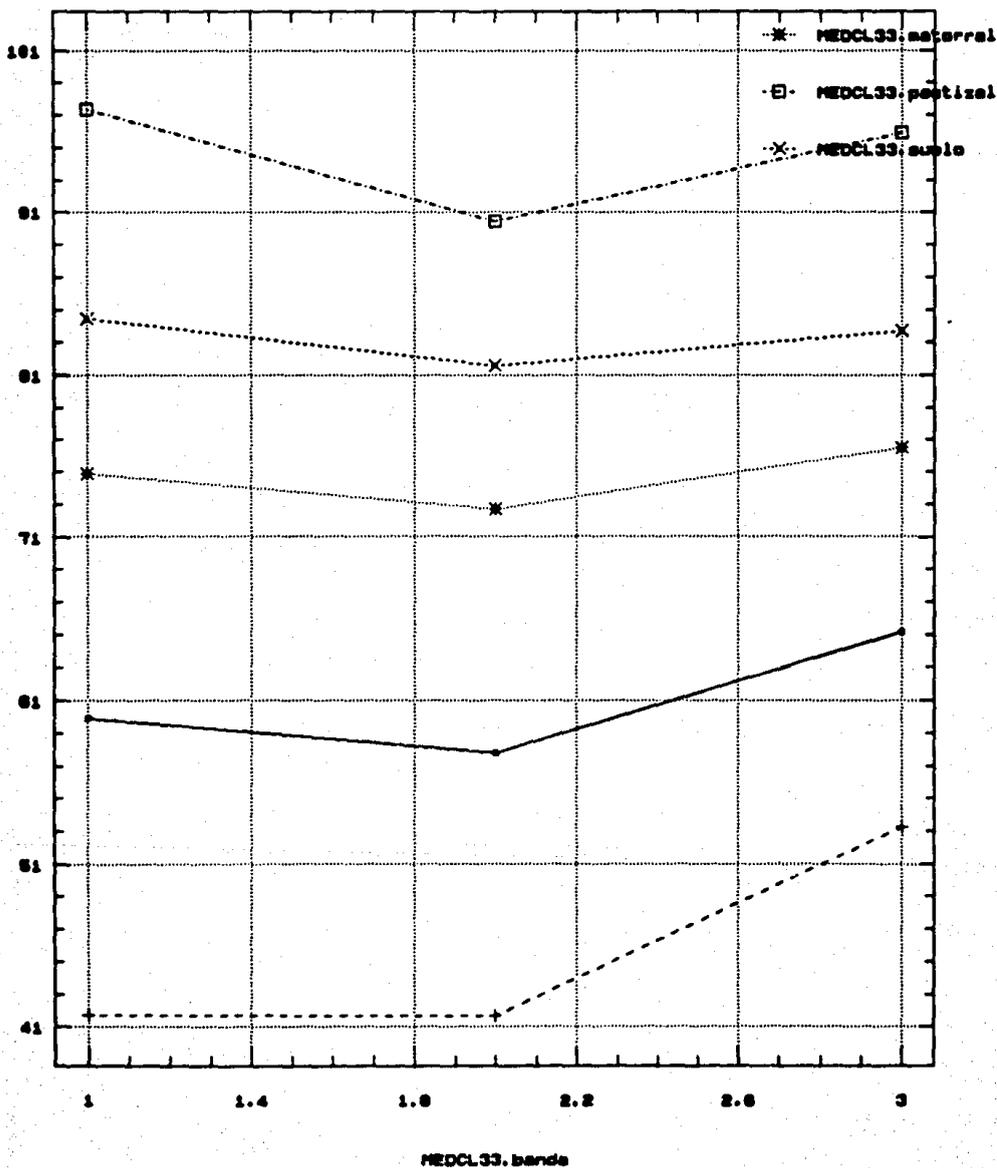
Multiple X-Y Plot



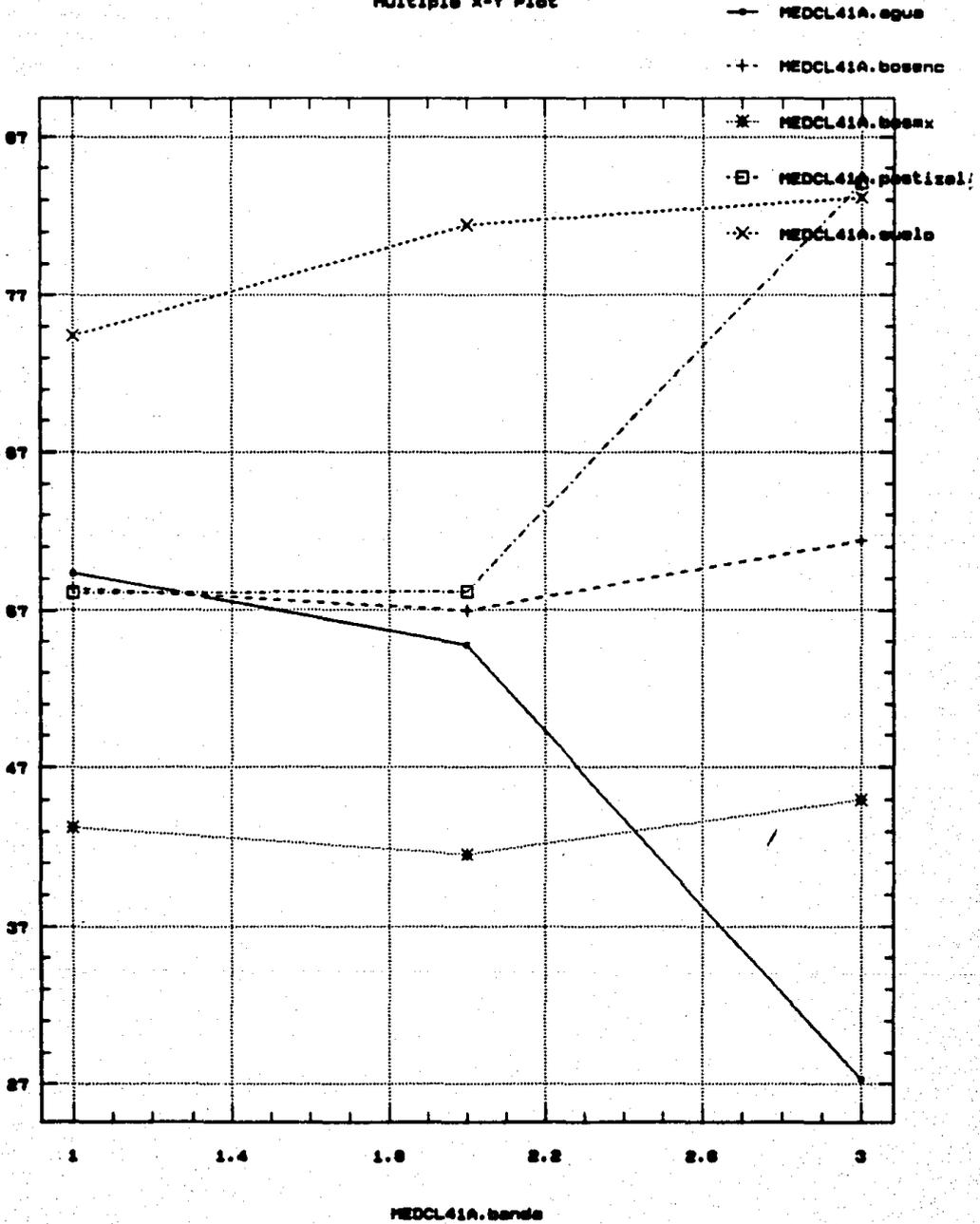
Multiple X-Y Plot

— MEDCL33.boene

-+ MEDCL33.boemx



Multiple X-Y Plot



- suelo desnudo. Incluye zonas desprovistas de vegetación
- y vegetación caducifolia.
- cuerpos de agua. Incluye presas y bordos.
- sin clasificar. Incluye sombras del relieve o

características escasamente representadas en el área.

Hay que recalcar que éstas categorías se derivaron tanto del análisis estructural como del mismo procesamiento y análisis de la imagen, existiendo cierta restricción debido al poder de resolución del sensor y a la exactitud del desempeño de la clasificación. El producto final obtenido se muestra en la fig.# 31.

De acuerdo con el enfoque fitogeomórfico las unidades resultantes son los Sistemas Terrestres. El criterio para realizar tales subdivisiones fue que cada sistema terrestre presentará una historia geomórfica y geología uniforme, así como los patrones de facetas recurrentes que lo forman y éstas formadas por las asociaciones vegetales presentes, tomando en cuenta su estructura y composición, y la litología particular del sitio, como lo proponen Howard y Mitchell (1980).

En este trabajo, como ya se mencionó, cada categoría informativa derivada del análisis multiespectral coincide con las unidades naturales derivadas del análisis de campo.

Un ejemplo de esta categorización sería como la siguiente:

Zona Terrestre ----- Clima BS1kw(e)g semiseco  
templado.

Provincia Terrestre ----- Sierra Madre Occidental.

Subprovincia Terrestre --- Sierras y Valles Zacatecanos.

Sistema de Topoformas ---- Sierra baja.

Sistema Terrestre ----- I

Geología ----- Rocas ígneas extrusivas.

Historia geológica ----- Terciario Superior.

Litología ----- Riolitas y Tobas ácidas.

Faceta ----- Bosque de latifoliadas ( Quercus  
sp.), vegetación secundaria,  
pastizal.

#### 2.3.5. CONCLUSIONES

De la culminación del presente estudio podemos expresar que la utilización de algunas unidades jerárquicas del Sistema Fitogeomórfico de Regionalización del Paisaje y del Sistema Fisiográfico D.G.G., resultan ser de gran utilidad para el estudio y regionalización del paisaje geográfico ( espacio ), ya que permiten delimitar e integrar de una manera clara y precisa las unidades del terreno y la información inherente de cada uno de sus recursos ( sus atributos ), además de que en la utilización de las imágenes de satélite y de su procesamiento ( manejo de los datos contenidos en ellas ), permiten al analista realizar más eficientemente el procesamiento digital obteniendo resultados sin altos grados de confusión.

Podemos concluir también, que en esta metodología aplicada, la utilización del mapa sigue siendo imprescindible, por otro lado

# Agua Salientes. Sierra de Baza

## Clasificación



1. Arenas y gravas

2. Arenas y gravas

3. Arenas y gravas

4. Arenas y gravas

5. Arenas y gravas

6. Arenas y gravas

7. Arenas y gravas

8. Arenas y gravas

9. Arenas y gravas

10. Arenas y gravas

11. Arenas y gravas

12. Arenas y gravas

13. Arenas y gravas

14. Arenas y gravas

15. Arenas y gravas

16. Arenas y gravas

17. Arenas y gravas

18. Arenas y gravas

19. Arenas y gravas

20. Arenas y gravas

21. Arenas y gravas

22. Arenas y gravas

23. Arenas y gravas

24. Arenas y gravas

25. Arenas y gravas

26. Arenas y gravas

27. Arenas y gravas

28. Arenas y gravas

29. Arenas y gravas

30. Arenas y gravas

**Imagen Clasificada -  
Agua caliente 1988**

Barque de encino  
Boque mixto





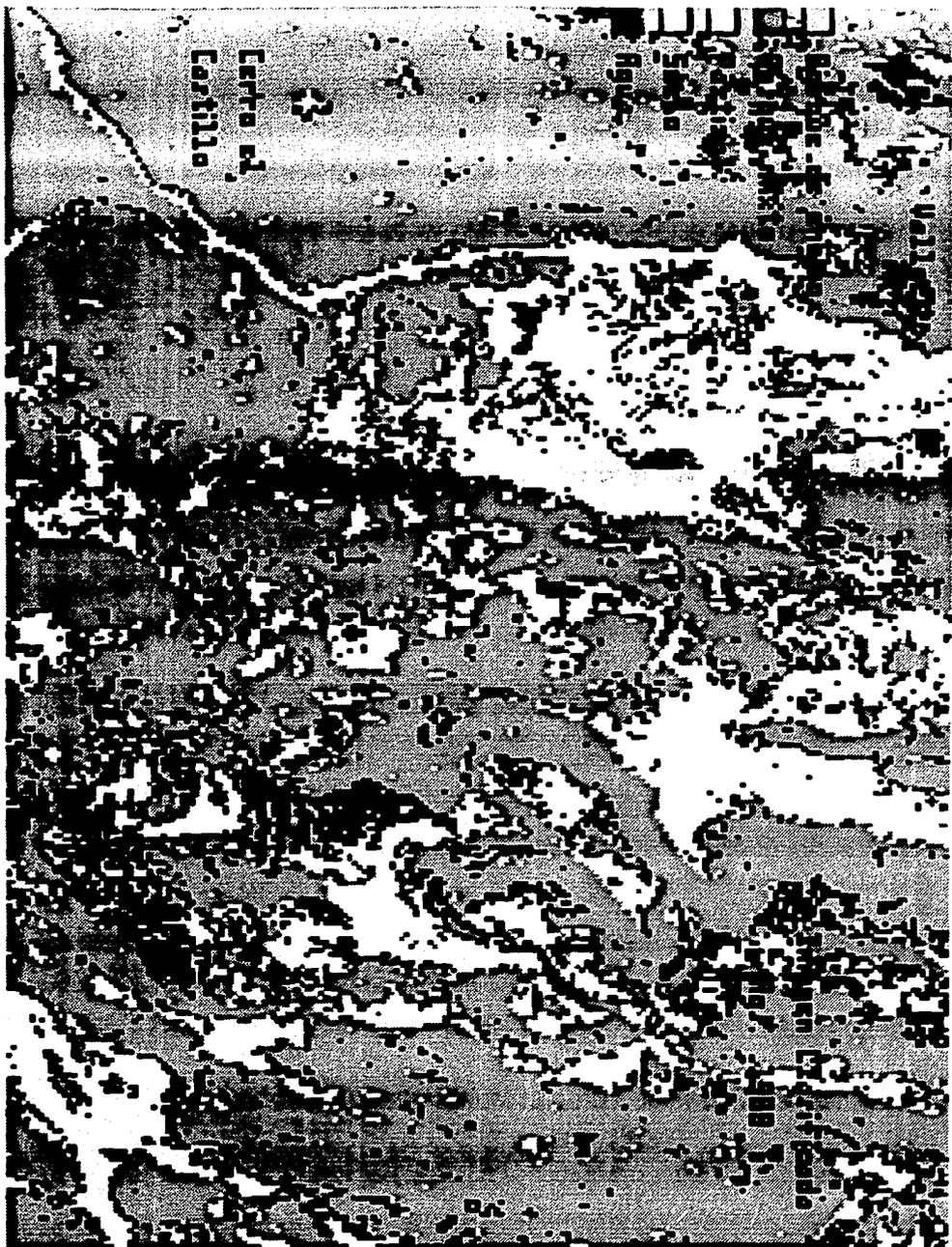
Imagen Clasificada

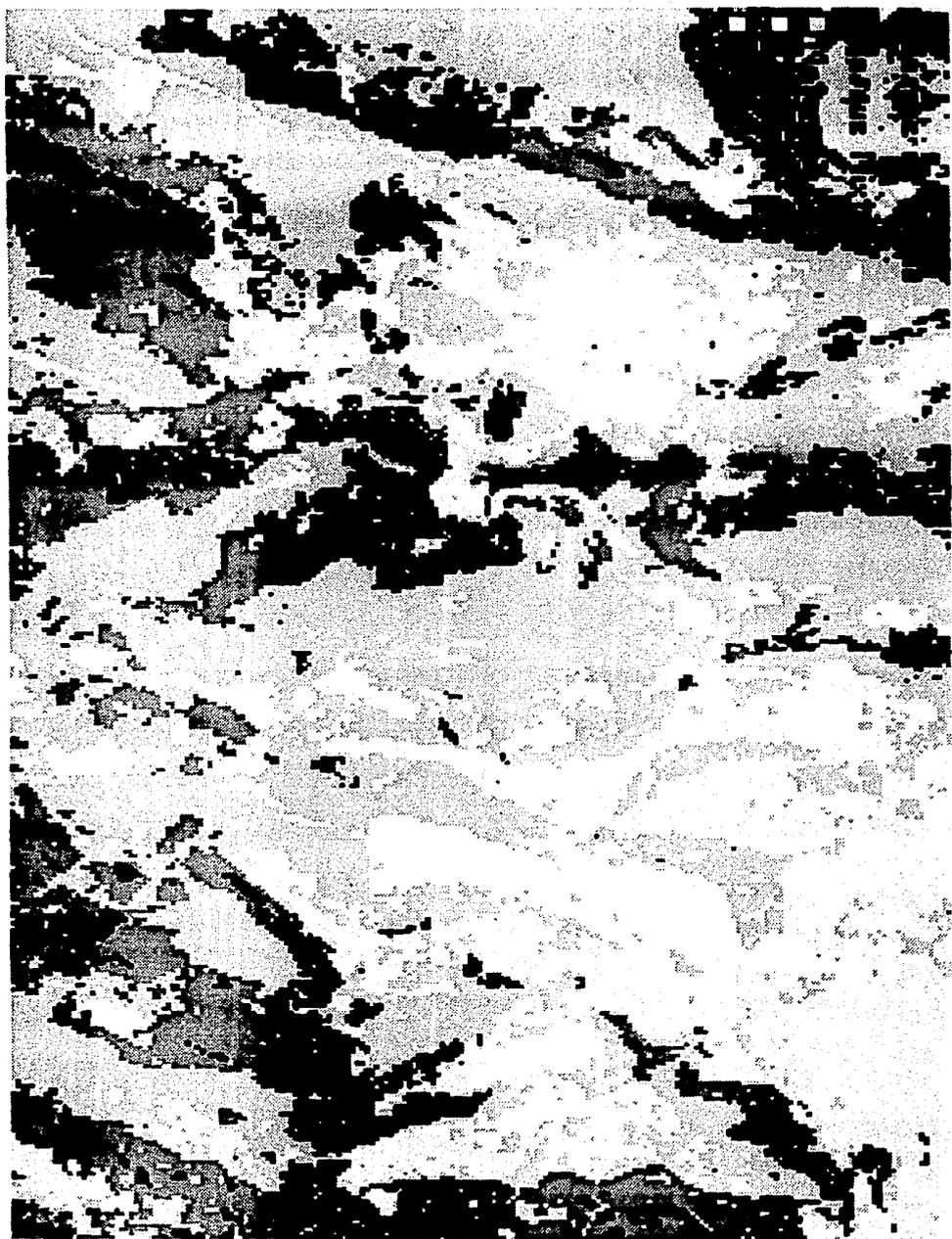
Agosto 1988

- Arbolado
- Nopalera
- Pastizal
- Suelo
- Matorral
- Agua



Preso Presidente Collor







el trabajo de campo complementa cambiando o reforzando las hipótesis, así como los análisis y resultados obtenidos en todo el proceso. Del trabajo de campo se pudo deducir que la zona se encuentra altamente perturbada debido a factores de carácter natural y estos provocados principalmente por los de carácter humano. Se encontro que no existen profundas variaciones en cuanto a la composición florística dentro del área sino que las variaciones son principalmente en la frecuencia de aparición de las especies encontradas, suponiendo que cada una de ellas tenga un rango de distribución específico.

Cabe aclarar en este momento que aunque el objetivo de este estudio fue localizar el recurso forestal y su cobertura, se aprovecho el trabajo de campo para saber de que especies se compone dicho recurso forestal, importante aspecto por las implicaciones que puede determinar tanto en su explotación como en su conservación. Los dos pasos anteriores fueron importantes, ya que facilitaron el análisis digital de la imagen de satélite, ésta demostró ser un material de gran utilidad por su cobertura sinóptica a nivel regional y la cantidad de información que de ella se puede obtener, es importante mencionar que como no se tienen restricciones de escala en este tipo de insumos, su aplicación en áreas pequeñas resulta ser muy buena.

Cabe recalcar que ellos esta en función del conocimiento que tenga el analista sobre las técnicas de Percepción Remota, del paquete de procesamiento de imágenes digitales y del equipo de procesamiento con que cuente, no debiendo caer por ningun motivo en la idea, de que por si solo, el paquete, la computadora y la imagen daran los resultados deseados.

El resultado final del proceso es una imagen categorizada en

formato digital con sus tabulares correspondientes que muestran los resultados de cada proceso realizado. El paquete de programas SPIPR es de fácil manejo, con sus limitaciones, inherentes a estos paquetes, los cuales están destinados a sistemas personales ( PC ). Debido al incremento en resolución espacial logrado con las imágenes SPOT y a sus características de su sensor multiespectral, fue posible obtener mayor cantidad de información, en lo referente a cada una de las categorías derivadas, a partir del enfoque supervisado y del análisis multivariado, demostrando que la aplicación del algoritmo de clasificación por máxima verosimilitud fue el adecuado.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bas, Pedroli. 1983. Landscape concept and rangeland surveys in de Soviet Union, ITC, Journal, 1983-4.
- 2.- Barry, R. G., R. J. Chorley, 1972. *Atmósfera, tiempo y clima*. Ed. Omega, Barcelona, España.
- 3.- Bernstein, R. 1983. Image geometry and rectification, in Colwel, R. N. (ed): *Manual of Remote Sensing*, second ed., American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, 890-910.
- 4.- Bennet, Ronald, Humphries, David. 1981. *Introducción a la ecología de campo*, ed. H. Blume, Madrid, España.
- 5.- Beckett, P. H. T.; Webster, R. 1962. *The storage and collaction of information on terrain ( an interim report*, Military Engineering Experimental Establishment. Christchurch, England.
- 6.- Bourne, R. 1931. *Regional survey and its relation to stock taxing of the agricultural and forest resources of the British Empire*, in Howard, J. H. & Mitchell, W. C. 1980. *Phitogeomorphic classification of landscape*, Geoforum. Vol. II, Pergamon Press, LTD. Great Britain, pp. 85-106.
- 7.- Bryant, E., Dodge, A. G. Jr. & Warren, S. 1980. *Landsat for practical forest type mapping: a test case*. *Photo. Eng. & Remote Sensing*, 46 : 1575-1584.
- 8.- Cámara, R. A. 1982. *Estudio cartográfico de la vegetación del sureste de Jalisco mediante Percepción Remota*, Tesis, Facultad de Ciencias, UNAM, México, p. 146.
- 9.- Coria, R.; Larios, H.; Ramirez, A. M. y Soto, M. 1979. *El*

uso de la Percepción Remota en el estudio de las comunidades vegetales del norte de Veracruz. Mem. II Seminario Internacional sobre el uso de los Sensores Remotos. México D.F., pp. 169-199.

- 10.- Colwel, R. N. 1983. Manual of Remote Sensing, Vol. II, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, U. S. A., pp.1232.
- 11.- Christian, C. S. and Stewart, G. A. 1968. Methodology of integrated survey, Proceedings of UNESCO Conference on Aerial Surveys an Integrated Studies, Toulouse ( UNESCO-Paris ), pp.233-80.
- 12.- Christian, C. S.; Jennings, J. N.; Twidale, C. R. 1957. Geomorphology. Guide to research data for arid zone development, in Christian, C. S. and Stewart, G. A. 1968. Methodology of integrated survey, Proceedings of UNESCO Conference on Aerial Survey and Integrated Studies, Toulouse (UNESCO-Paris), pp. 233-80.
- 13.- Floyd, F. S. 1977. Remote Sensing, principles and interpretation, W. H. Freeman & Company, San Francisco, U. S. A., p. 275.
- 14.- Fox, II, L. & Mayer, K. E. 1979. Using guided clustering techniques to analyze landsat data for mapping forest land cover in northern California. Proc. 5Th. Int'l. Symp. on machine processing of remotely sensed data. Purdue Univ. West. Laffayette. Indiana. pp.364-367.
- 15.- Gomez, R. J. 1981. Método climático de Fina en la aplicación de la agricultura en el estado de Aguascalientes, Facultad de Filosofía y Letras , Colección Cuadernos. UNAM., México.
- 16.- H. Haberle,; H. Sax y R. Winter. 1979. Remote Sensing

- possibilities and limitations, prepared on the occasion of the United Nations Conference on Science and Technology for Development, Viena, 1979.
- 17.- Hagget, Peter. 1988. Geografía ( una síntesis moderna ), ed. Omega, pp.77.
  - 18.- Howard, J. A. & Mitchell, C. W. 1980. Phitogeomorphic Classification of Landscape. Geoforum. Vol. II. Pergamon Press, LTD. Great Britain. pp. 85-106.
  - 19.- Jensen, John. 1986. Introductory digital image, processing a remote sensing perspective, departament of Geography, University of South Carolina, Prentice- Hall, Englewood New Jersey.
  - 20.- Kalensky, Z. y Schek, L. R. 1975. Accuracy of forest mapping from landsat computer compatible tapes. Proc. 10 Th. Int'l, Symp. on Rem. Sens. of the Env. Vol.2, pp.1159-1167.
  - 21.- Kuchler, A. W. 1967. Vegetation mapping. The Ronald Press Co. New York. pp.472.
  - 22.- Krebs, J. C. 1978. Ecology: The experimental analysis of distributions and abundance., second ed. Harper & Row, Publishers, New York.
  - 23.- Lo, C. P. 1986. Applied Remote Sensing, ed., Longman Scientific & Technical, New York, pp. 388.
  - 24.- Lacoste, A. Robert. 1978. Biogeografía, ed., Oikos-tau, Barcelona, España, pp. 271.
  - 25.- Meritano, A. Jacinto. 1982. Los sensores remotos, sus imágenes y su aplicación en Geología, Departamento de Irrigación, UACH, México.
  - 26.- Montoya, P. J. Antonio, 1989. Spot y otros programas

- espaciales dedicados al estudio de los recursos naturales, Instituto Geográfico " Agustín Codazzi ", Bogotá, Colombia.
- 27.- Montecinos, J. A.; Ramos, H. M.; Bas, B. T. y Castillo, R. M. 1979. Clasificación de las áreas agrícolas y uso del suelo mediante procesamiento digital. Memorias del Segundo Seminario Internacional sobre el uso de los sensores remotos. México, D.F., pp.109-128.
- 28.- Instituto Geográfico " Agustín Codazzi ", 1989. La Teledetección aplicada a la neotectónica, ed. Subdirección docencia e investigación, Bogotá, Colombia.
- 29.- Ortiz, A. Carlos y Cuanaló, E. Heriberto. 1984. Metodología del levantamiento fisiográfico, ( un sistema de clasificación de tierras ). Segunda ed., Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- 30.- Pierre, George. 1970. La acción del hombre y el medio geográfico, ed., Península, serie Universitaria, Barcelona, España. pp. 247.
- 31.- Mueller- Dombois, D. & Elleberg, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology., John Wiley & Sons, pp. 547.
- 32.- Rosales, H. J.; Chapa, B. D. y Martínez, V. F. 1987. El uso de los datos Landsat en el estudio de las áreas boscosas del estado de Durango. Memorias del Primer Congreso Nacional de Ingeniería Topográfica. Morelia, Michoacán, México.
- 33.- SARH., 1987. Sinópsis Geohidrológica del estado de Aguascalientes, ( Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos ), México.
- 34.- Savigear, R.A. B. 1977. An operational earth resource

- monitoring and management system some problems and solutions relating to the land areas. in Clough, D. J. and Morley, L. W.: Earth observation systems for resource management and environmental control. NATD. Conference Series, Plenum Press, New York. pp. 365- 372.
- 35.- Soto, M.; Lozano, F.; Dies, A. P.; Mejía, C. y Villa, J. 1977. Estudio piloto de la vegetación en la región Alchichica-Perote por medio de la Percepción Remota. Flora de Veracruz, contribución # 24. Sobre tiro de publicación del Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.
- 36.- Tucker, C. J. 1979. Red and photographic
- 37.- Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of the environment B. pp. 127-150.
- 38.- Vazquez, A. y Martínez, J. 1989. SPIPR. Sistema de procesamiento de imágenes en percepción remota. Memorias del IV Simposio Latinoamericano sobre Sensores Remotos, SELPER, ed. San Carlos de Bariloche, Argentina.
- 39.- Williams, D. L. & Miller, L. D. 1979. Monitoring forest canopy alterations around the world with digital analysis of Landsat imagery. NASA, Goddard Space Flight Center, pp. 45.
- 40.- Wiegand, C. L.; Richardson, A. J. & Kanemasu, E. T. 1979. Leaf area index estimates for wheat from Landsat and their implications for evapotranspirations and crop modeling. Agronomy Journal, pp. 336-342.
- 41.- Zarco, M. A. 1983. Procesamiento de imágenes en el Sistema Digital de Análisis Multiespectral SIDAM 2 APDS. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, pp. 11.

- 42.- Swain, P. H. & Davis, S. M. (eds.) 1978. Remote sensing the quantitative approach. M.c. Graw-Hill, N. Y.
- 43.- Hay, C. M. 1982. Remote sensing measurement technique for use in crop inventories. In Szekiolda, Karl-Heinz. 1988. Satellite monitoring of the earth, John Wiley & Sons, U.S.A, pp. 326.
- 44.- Szekiolda, Karl-Heinz, 1988. Satellite monitoring of the earth. John Wiley & Sons. U.S.A., pp. 326.