

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS



ESTUDIO CARTOGRAFICO DE LA VEGETACION
DEL SURESTE DE JALISCO MEDIANTE
PERCEPCION REMOTA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A:

ALFREDO CAMARA ROSADO

MEXICO, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

C O N T E N I D O

1. INTRODUCCION.
2. OBJETIVOS.
3. ANTECEDENTES.
 - 3.1. Que es un mapa de vegetación.
 - 3.2. Importancia de los mapas de vegetación.
 - 3.3. Enfoques en la cartografía de la vegetación.
 - 3.4. Que es la percepción remota.
 - 3.5. La fotografía aérea y su interpretación.
 - 3.6. La fotografía aérea a color, infrarojo-color, y la fotografía espacial.
 - 3.7. Los barredores multiespectrales.
 - 3.8. Las imágenes Landsat y sus aplicaciones.
 - 3.9. El procesamiento digital de imágenes.
 - 3.10. Antecedentes sobre el uso de las técnicas digitales en México.
4. CARACTERISTICAS AMBIENTALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.
 - 4.1. Localización geográfica.
 - 4.2. Hidrografía y Orografía.
 - 4.3. Regionalización fisiográfica.
 - 4.4. Climas.
 - 4.5. Geología.
 - 4.6. Suelos.

5. MATERIALES Y METODOS.

5.1. Materiales y equipo utilizados.

5.2. Diagrama a bloques de la metodología.

5.3. Inspección preliminar.

5.4. Análisis preliminar de las fotografías aéreas y selección de los sitios de muestreo.

5.5. Levantamiento de registros fitocenológicos y colecta de material botánico.

5.6. Interpretación de las fotografías aéreas y elaboración de los mapas a escala 1:50000.

5.7. Procesamiento digital de los datos Landsat y elaboración del mapa general de la zona de estudio.

6. RESULTADOS.

6.1. Fisonomía, estructura y especies dominantes de las comunidades vegetales.

6.2. Mapas detallados de algunas zonas.

6.3. Resultados del análisis de los datos Landsat.

6.4. Mapa general de la zona de estudio a escala 1:250000.

7. DISCUSION.

8. CONCLUSIONES.

9. BIBLIOGRAFIA.

10. APENDICES.

10.1. Construcción de la proyección y la rejilla UTM.

10.2. Descripción del algoritmo "BUSQUEDA"

10.3. Lista de especies vegetales.

1. INTRODUCCION.

Un desarrollo económico equilibrado requiere del adecuado manejo y administración de los recursos naturales. A su vez, la toma de decisiones y el establecimiento de las políticas necesarias para garantizar un óptimo aprovechamiento de estos recursos, deben estar basadas en información confiable y actualizada sobre la ubicación, extensión, y estado actual de los mismos.

Los mapas de vegetación, al mostrar la ubicación y extensión de las diferentes comunidades vegetales que conforman la cubierta vegetal de un área determinada, constituyen una herramienta útil para el administrador de los recursos vegetales. Asimismo, al mostrar las características de los diferentes biotopos directamente o por implicación, los mapas de vegetación también resultan útiles en la planeación del uso adecuado de la tierra.

Dado el alto dinamismo que ha alcanzado el proceso de destrucción de los bosques y otros tipos de vegetación, resulta oportuno investigar el potencial de nuevas tecnologías que permitan acelerar y actualizar el inventario de los recursos vegetales del país.

En el presente trabajo se analiza el potencial de la interpretación de fotografías aéreas infrarojo-color, y el procesamiento digital de datos multiespectrales Landsat, para cartografiar la vegetación de un área de aproximadamente 6000 Km², ubicada en el Sureste del Estado de Jalisco.

2. OBJETIVOS.

El presente trabajo se planteó los siguientes objetivos:

1. Analizar y describir la fisonomía y la estructura de las comunidades vegetales presentes en la zona de estudio.
2. Colectar y determinar las especies dominantes de estas comunidades.
3. Preparar mapas de vegetación, a escala 1:50000 de algunas áreas, extendiendo las observaciones realizadas sobre el terreno mediante la interpretación de fotografías aéreas infrarrojo-color.
4. Investigar cuales son las comunidades que pueden ser identificadas y cartografiadas mediante el procesamiento digital de datos multiespectrales Landsat.
5. Elaborar un mapa general de la zona de estudio, a partir de los datos Landsat.

3. ANTECEDENTES

3.1. Que es un mapa de vegetación.

Es un mapa que muestra la vegetación de un área determinada (Kuchler 1967). Este autor define "vegetación" como "el mosaico de las comunidades vegetales en el paisaje". Esta definición implica que la vegetación consiste de varias unidades más o menos diferentes, susceptibles de ser mapeadas.

El término de "comunidad vegetal" debe ser entendido aquí en un sentido neutro y amplio. Kuchler (op. cit.) sostiene que "una comunidad vegetal es una parte de la vegetación que es relativamente uniforme en su estructura y en su composición florística, que consiste de plantas que compiten entre ellas y que dependen y modifican a su vez su medio ambiente".

Mueller-Dombois y Ellenberg (1974) consideran que "una comunidad vegetal es inconcebible sin el espacio que ocupa. Consecuentemente, una comunidad vegetal es un fenómeno geográfico con variación espacial. Estas variaciones no son al azar, sino que están relacionadas con las combinaciones recurrentes de hábitats, que tienden a formar un patrón o mosaico".

Así pues, se puede concluir que un mapa de vegetación es una representación cartográfica de la ubicación, extensión y distribución de las diferentes comunidades que conforman la cubierta vegetal de un área determinada de la superficie terrestre. El término "representa-

ción cartográfica" implica el uso de una proyección cartográfica definida, así como la presencia de una escala específica, y la existencia de una rejilla de coordenadas. A este respecto, Kuchler (op.cit.) opina que "muchos fitocenólogos preparan mapas de vegetación pero tienen poca experiencia en cartografía. El resultado es que ocasionalmente omiten la escala, o la rejilla, o ambas. Si ambas están ausentes resulta imposible hacer mediciones en el mapa, reduciendo su valor seriamente. Si falta la escala pero no la rejilla, esta última puede servir de escala, puesto que las distancias entre los paralelos son conocidas, o pueden ser determinadas. Sin una rejilla, el mapa de vegetación no puede ser comparado con mapas análogos, porque las localidades individuales no pueden ser determinadas precisamente sin una rejilla. Esto sigue siendo cierto aún cuando el mapa vaya a ser comparado con otros de la misma zona, si estos están contruidos en una proyección diferente".

El Colloquium de Tolouse de 1960 recomienda en su resolución No. 11, que cada mapa de vegetación tenga su rejilla, la escala en forma fraccional y en forma lineal, y se mencione el nombre de la proyección utilizada (Gaussen 1961).

Con respecto a la realización misma del mapa, Margalef (1974) sostiene que "Es imposible construir y consultar mapas sin un rígido convencionalismo en cuanto al

uso de símbolos y colores, que corresponden a un proceso de tipificación. Se trata de una parte, de dar el mismo nombre o de aplicar el mismo color a comunidades que se encuentran en puntos distintos y que tienen unas características comunes; de otra parte hay que trazar de la forma mas adecuada que sea posible las fronteras o límites entre manchas homogéneas. Si toda cartografía presupone cierta tipificación, cualquier tipificación resulta imprecisa si no es capaz de comprender a todos los puntos del mapa y si no presta atención a como son las transiciones entre unos y otros tipos, en el espacio".

3.2. Importancia de los mapas de vegetación.

En relación a la importancia de los mapas de vegetación, Margalef (1974) afirma que "Tipificación y cartografía se nos imponen por razones prácticas. Se requieren mapas como base de cualquier programa de evaluación de recursos y planificación de su uso".

Con respecto a su importancia en los estudios botánicos, hay que estar de acuerdo con Kuchler (op.cit.) cuando afirma que "El trabajo de los botánicos solo puede ser comprensivo si incluye una consideración de las plantas en el espacio, es decir, en diferentes tipos de paisajes. En este punto, el trabajo de los geógrafos adquiere importancia mediante el desarrollo de mapas como herramientas para determinar y analizar

distribuciones en el espacio".

El reconocimiento de las comunidades (fitocenosis) y su distribución resulta fundamental para entender la vegetación. El tamaño y la extensión de las comunidades, su estructura, su composición, así como las relaciones entre ellas y con el medio ambiente, forman las bases mismas de la fitocenología. Los mapas de vegetación son una herramienta excepcionalmente útil en el estudio de la vegetación y sus relaciones con el medio, ya que las estrechas relaciones entre las comunidades y algunos factores físicos del medio (como suelo, altitud, pendiente, exposición, etc.) frecuentemente se hacen evidentes en los mapas, sobre todo si éstos presentan también información topográfica.

Mueller-Dombois y Ellenberg (op.cit.) citan algunas de las aplicaciones de los mapas de vegetación en los estudios ecológicos, como las siguientes:

- para proveer de un marco de trabajo a la investigación.
- para la localización de los sitios de muestreo.
- para auxiliar en la clasificación de la vegetación.
- para brindar una representación detallada de la estructura espacial de un patrón o mosaico vegetal.
- para estudios sobre sucesión.
- para mostrar la distribución geográfica de una unidad específica de vegetación.

--- para contribuir a la investigación causal-analítica de las comunidades vegetales.

--- para propósitos de ecología aplicada.

La relevancia que adquieren los mapas de vegetación en el proceso de administración de los recursos naturales radica en el hecho de que proporcionan información sobre la ubicación, extensión y características de los recursos vegetales. Por otra parte, dado que la vegetación reacciona al efecto conjunto de los factores que inciden sobre ella, los mapas de vegetación muestran asimismo las características de los diversos biotopos, directamente o por implicación (Kuchler op.cit.). Un uso adecuado de esta información debe permitir tomar mejores decisiones en cuanto al uso adecuado de la tierra, así como en lo referente al aprovechamiento de los recursos vegetales existentes.

La utilidad de cualquier mapa de vegetación depende en gran medida del nivel de detalle y del esquema de clasificación empleado. Estos a su vez se ven limitados por la escala y por la cantidad y calidad de la información disponible para la elaboración del mapa.

3.3. Enfoques en la cartografía de la vegetación.

El o los criterios empleados en la clasificación de la vegetación, en gran medida determina(n) la diversidad de usos a los que puede ser sometido un mapa de vegetación (Kuchler, op.cit.).

Mueller-Dombois y Ellenberg (op.cit.) afirman que "El mapeo directo de la vegetación existente debe ser claramente distinguido del mapeo de la vegetación potencial, la cual puede nunca llegar a existir". Sin embargo, la escala del mapa determina en gran medida que tanto puede ser mostrada exclusivamente la vegetación actual, ya que a escalas pequeñas (menores de 1:250000), la información debe ser generalizada a tal grado, que muchas veces el mapa muestra la vegetación actual en algunos sitios, y la vegetación potencial o antiguamente existente, en otros.

Aun tratándose de mapear exclusivamente la vegetación actual a escalas grandes, varios factores influyen en el contenido de información del mapa. Uno de ellos es el conocimiento que se tenga de la flora regional. Los estudios florísticos, y la existencia de claves de identificación apropiadas, permiten el uso de criterios florísticos en el proceso de clasificación de las comunidades.

En cuanto a los diferentes criterios utilizados para la clasificación de la vegetación, Mueller-Dombois y Ellenberg (op.cit.) manifiestan que "es sugestivo para unidades amplias de vegetación el enfatizar criterios fisonómico-ecológicos o estructurales, sin los cuales no serían posibles las comparaciones de la vegetación mundial. Los criterios florísticos ga-

nan significado en una escala geográfica mas estrecha".

Mueller-Dombois y Ellenberg (op.cit.) y Whittaker (1978), parecen estar de acuerdo en que todos los sistemas de clasificación tienen ventajas y desventajas propias, y consideran importante conservar la flexibilidad al máximo. En este sentido Whittaker (op.cit.) afirma que "Los tipos de comunidades, o unidades que resultan de aplicar diferentes enfoques, pueden no corresponder en sus fronteras y en sus membricias. Las unidades de un sistema pueden no tener una relación simple con las de otro. Este hecho hace interesante la aplicación de diversos métodos a un problema dado, con el fin de que los efectos de los diversos enfoques puedan ser comparados".

Mueller-Dombois y Ellenberg (op.cit.) agrupan los diferentes criterios para clasificar la vegetación, de acuerdo a las propiedades que reciben mayor énfasis: propiedades de la vegetación misma, propiedades ajenas a la vegetación, propiedades que combinan la vegetación y el medio ambiente.

A su vez, dividen los criterios basados en propiedades de la vegetación misma en: criterios fisonómicos y estructurales, criterios florísticos, y criterios de relación numérica.

Whittaker (op.cit.) señala que "aunque las escuelas de ecología y fitosociología son muchas, los enfoques

principales para la clasificación no son tantos". Este autor distingue doce diferentes enfoques.

3.4 Que es la percepción remota.

"Percepción remota" puede ser definido laxamente como "el conjunto de técnicas para obtener información confiable sobre las propiedades de superficies y objetos a distancia". Sin embargo, la acepción más frecuentemente utilizada del término, se limita a aquellas técnicas que mediante mediciones de la energía electromagnética reflejada y emitida por la superficie terrestre, permiten obtener información sobre sus características y estado actual de sus recursos (Reeves et. al. 1975).

A partir del año de 1840, en que se tomaron las primeras fotografías aéreas para la elaboración de mapas topográficos (Fischer 1975), el número de aplicaciones y la complejidad de los métodos de análisis han ido en constante aumento, dando lugar al desarrollo de la fotogrametría y la fotointerpretación.

El desarrollo de sensores cada vez más sofisticados, como los barredores multiespectrales y los radares de apertura sintética, así como la capacidad de procesamiento automático de los datos, han hecho cada vez más necesario acuñar un término más amplio, que abarque todo el espectro de técnicas para la obtención, despliegue y análisis de esta información. Es así como

el término de "percepción remota" ha ganado popularidad. Así También resulta provechoso hablar de imágenes y análisis de imágenes, en vez de utilizar los términos más restrictivos de fotografía aérea y fotointerpretación (Colwell, 1975).

3.5 La fotografía aérea y su interpretación.

Es hasta la década de los 30's cuando la fotografía aérea empieza a ser utilizada con fines interpretativos, por investigadores de todas las ramas de las ciencias terrestres (Fischer op.cit.). A partir de entonces la fotointerpretación ha sido utilizada para mapear las comunidades vegetales (Burks y Wilson 1939, Weislander y Wilson 1942, Rey 1957, Wickens 1966, Wimbush et al. 1967, Peterson et al. 1969); en el conocimiento y evaluación de los recursos forestales y pecuarios (Wright 1939, Wilson 1948, Garver y Moessner 1949, Clouston 1950, Colwell 1960, Sayn Wittgenstein y Aldred 1967, Szilinsky 1964, Young et al. 1963, Avery 1968, Cardoza 1970); en el mapeo de hábitats y biotópos (Losee 1942, Ives 1939, Hills 1950, Mueller-Dombois 1965, Way 1973); y para estudiar los cambios ocurridos debido al proceso normal de sucesión o a la influencia de factores externos, como el fuego, las plagas o la intervención humana (Heller et al. 1959, Ciesla et al. 1967, Aldrich y Heller 1969, Turner 1971, Thomas y Oerther 1977, Murtha 1978, Lillesand et al. 1981).

La interpretación de imágenes puede ser definida como el acto de examinar las imágenes con el propósito de identificar objetos y juzgar su significado. Los intérpretes estudian los datos adquiridos por los sensores remotos, y pretenden detectar, identificar, medir y evaluar el significado de las relaciones espaciales, patrones y objetos naturales y culturales (Estes y Simonett 1975).

Para llevar a cabo su labor, el intérprete se vale de los llamados "elementos de la interpretación", que se describen a continuación:

1. Tamaño.- El tamaño relativo de los objetos en la imagen, es fundamental para identificar y entender el objeto o fenómeno bajo observación.
2. Forma.- Muchos objetos pueden ser identificados por su forma, como un cruce de carreteras en forma de trébol o un estadio de fútbol. Buena parte del entrenamiento de un intérprete se enfoca a reorientar sus percepciones de manera que pueda reconocer los objetos viéndolos desde la perspectiva aérea.
3. Tono y color.- El tono, ya sea el tono de gris de una imagen en blanco y negro, o la combinación de tinte, croma y saturación de una imagen a color, es el elemento que mayor información aporta a un intérprete entrenado (Estes y Simonett op. cit.). Sin embargo, en la mayoría de los casos, lo más im-

portante es la diferencia de tono o color entre los objetos, o entre un objeto y su entorno.

4. Textura.- La impresión visual de aspereza o tersura, se crea en las imágenes por las repeticiones tonales de grupos de objetos, los cuales frecuentemente son demasiado pequeños para ser discernidos como objetos individuales. Avery (1968) define la textura como "la frecuencia de cambio y el arreglo de los tonos".

La textura, así como el tamaño, está íntimamente relacionada con la escala de la imagen.

5. Patrón.- El patrón o repetición es característico de muchos objetos hechos por el hombre, así como de algunas características naturales. Los estudiantes de las ciencias de la tierra siempre han puesto énfasis en el patrón o arreglo espacial de los objetos, como clave para interpretar su origen y/o función. Un huerto puede ser diferenciado de un bosque principalmente por la disposición espacial de los árboles.
6. Localidad.- La posición de los objetos con respecto a las características del terreno es una guía importante en su identificación.
7. Sombra.- La sombra que proyectan los objetos contribuye a una correcta interpretación de los mismos.

8. Asociación.- Algunos objetos están tan comunmente asociados a otros, que la presencia de unos tiende a indicar o confirmar la presencia de otro(s). Es importante señalar que, durante la interpretación visual o analógica de las imágenes, es la convergencia de la evidencia la que da confianza de una correcta interpretación.

Muller-Dombois y Elleberg (op.cit.) afirman que "el mapeo de la vegetación se ha vuelto más sencillo durante las últimas décadas, con los grandes avances en la fotografía aérea". También agregan que "una de sus principales ventajas radica en que mediante su análisis tridimensional, con la ayuda de un estereoscopio, permite reconocer pequeñas variaciones en la topografía, la altura relativa de los árboles, y bajo ciertas condiciones, hasta la estratificación vertical de los bosques poco espesos".

Kuchler (op. cit.) opina que "las fronteras y el patrón de distribución de las fitocenosis pueden ser observadas y reconocidas más fácilmente desde un avión que desde el suelo". Asimismo señala que "la fotografía indica la localización exacta de los tipos de vegetación. Esto le permite al autor (de un mapa) correlacionarlos con el paisaje, y establecer la ruta más conveniente para visitar una o varias comunidades, lo que le ahorra tiempo y esfuerzo durante su trabajo de campo".

3.6 La fotografía aérea a color, infrarojo-color y la fotografía espacial.

Debido a que el ojo humano es capaz de diferenciar muchas más tonalidades de color que tonos de gris, la fotografía a color permite discriminar objetos con diferencias tonales muy pequeñas (Estes y Simonett op. cit.).

A pesar de la superioridad de la fotografía a color en los estudios geológicos, edafológicos y de vegetación, muchos tipos de follaje reflejan la energía visible en forma muy similar (Estes y Simonett op. cit.).

La alta reflectancia del follaje en la región del infrarojo cercano (0.72 a 1.3 micrones) y las grandes diferencias de reflectancia entre especies (Hoffer y Johannsen 1969), explican en parte el gran valor de la fotografía infraroja en el estudio de la vegetación. Así como en la fotografía a color se utilizan tres emulsiones diferentes para registrar la energía de los tres colores del espectro visible (azul, verde y rojo), en la fotografía infrarojo-color se utilizan emulsiones sensibles al verde (0.5 a 0.6 micrones), al rojo (0.6 a 0.72), y al infrarojo cercano (0.72 a 0.9 micrones). Aunque la "región" del infrarojo cercano va de 0.72 hasta los 1.3 micrones de longitud de onda, las emulsiones fotográficas sensibles a la energía infraroja, sólo registran hasta 0.9 micrones (Lillesand y Kiefer 1979).

Otra ventaja de la fotografía infrarojo-color sobre la de color, es que la primera sufre menos pérdida de información a causa de la dispersión atmosférica, lo cual

adquiere mayor importancia a medida que la fotografía es tomada a mayor altura (Estes y Simonett op. cit.). La fotografía espacial abrió nuevas perspectivas en el estudio de los recursos terrestres, ya que muchos rasgos, características o fenómenos, que por su gran extensión no podían ser observadas en las fotografías aéreas, se hicieron evidentes en la fotografías tomadas a cientos de kilómetros de la tierra. El excitante futuro de la teledetección (percepción remota) espacial se manifestó durante las misiones tripuladas de los programas Mercurio, Géminis y Apollo (Lillesand y Kiefer op. cit.).

3.7 Los Barredores multiespectrales.

Paralelamente al desarrollo de la fotografía espacial, importantes avances en óptica y electrónica permitieron la construcción de los sofisticados sensores llamados "barredores multiespectrales". Estos sensores "observan" la superficie terrestre a través de un campo instantáneo de visión (CIV) del orden de miliradianes, lo que en tierra equivale a un área de varios metros cuadrados, dependiendo esto de la altura a la que se encuentre el sensor y de su CIV (Lillesand y Kiefer op. cit.). Como se puede apreciar en la Fig. 3.1, un espejo giratorio permite al barredor dirigirse a todos los puntos a lo largo de una "línea de barrido", que es perpendicular a la dirección de vuelo. El movimiento de la plataforma sobre la cual va montado el sensor

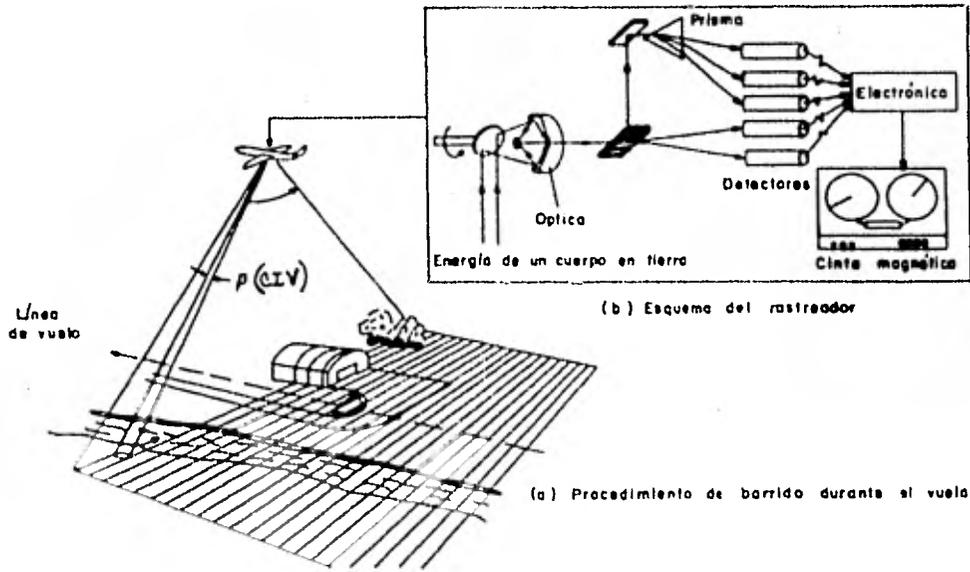


FIG 3.1. Sistema de operación de los barreadores multispectrales .

(avión o satélite, según el caso) va generando líneas de barrido sucesivas, que van formando una imagen. La energía proveniente de tierra es separada en "bandas" y reflejada o transmitida, según el caso, a un arreglo de detectores que generan una señal electrónica proporcional a la intensidad de la energía que reciben. Esta señal es amplificada electrónicamente y almacenada en cinta magnética (en el caso de aviones) o transmitida a tierra por telemetría (como en el caso de los satélites Landsat).

Al registrar la intensidad de la energía reflejada y/o emitida por la superficie terrestre en cada una de las diferentes regiones o "bandas" del espectro, para cada uno de los puntos observados se genera un patrón de respuesta espectral, el cual es un vector de mediciones. Así pues, la imagen multispectral es almacenada como una serie de números. Estas imágenes "numéricas" pueden ser procesadas y analizadas con ayuda de una computadora, mediante las técnicas conocidas como técnicas digitales de procesamiento de imágenes (Sabins 1978).

Gracias a los modernos dispositivos de despliegue, es posible visualizar pictóricamente las imágenes, y optimizar la retroalimentación entre el análisis visual o analógico y el numérico o digital.

Lillesand y Kiefer (op.cit.) mencionan algunas de las

ventajas de los barredores multiespectrales (BME):

---los sistemas fotograficos están limitados al rango de sensibilidad de las películas fotograficas, que va de 0.3 a 0.9 micrones. Al utilizar detectores electrónicos, los BME pueden censar en un rango de longitudes de onda que va desde 0.3 a 14 micrones.

---los sistemas fotograficos multibanda utilizan sistemas ópticos separados para registrar la imagen de cada una de las bandas, lo que acarrea problemas para registrar las imágenes individuales espacial y radiométricamente. Los BME utilizan un único sistema para coleccionar los datos en todas las bandas simultáneamente, por lo que resulta innecesario registrarlos.

---los datos fotograficos son difíciles de calibrar radiométricamente pues estriban en los procesos fotoquímicos de la fotografia. Los datos multiespectrales generados electrónicamente por los BME son más susceptibles de calibración y pueden ser almacenados en un rango más amplio de valores.

---los sistemas fotograficos requieren de un suministro de película, que después debe ser traído a tierra para ser procesado. Los datos generados por los BME pueden ser transmitidos a tierra mediante telemetría, lo cual es sumamente importante en la prospección desde plataformas espaciales.

---los sistemas fotográficos multibanda rinden imágenes pictóricas que, generalmente, son interpretadas mediante un visor aditivo de color que permita analizar hasta tres bandas simultáneamente; en algunas aplicaciones esto puede ser insuficiente. Los datos de los BME pueden ser procesados numéricamente por computadora, mediante técnicas que tienden a ser más cuantitativas y más automáticas que la interpretación visual.

3.8 Las imágenes Landsat y sus aplicaciones.

El 23 de Julio de 1972 es puesto en órbita el primer satélite equipado con sensores diseñados especialmente para el estudio de los recursos de la tierra, el entonces llamado Satélite Tecnológico de los Recursos Terrestres (ERTS-A), que posteriormente fue rebautizado como Landsat-1 (Taranik 1978). Este satélite fue el primero de una serie de tres. El ERTS-B o Landsat-2, y el Landsat 3, fueron puestos en órbita en Enero de 1975 y en Marzo de 1978, respectivamente. El Landsat-1 dejó de funcionar en Enero de 1978, por lo que sólo quedan activos los Landsat 2 y 3.

Cada uno de estos satélites es capaz de generar un cubrimiento completo del planeta (entre los 80°N y los 80°S.) cada 18 días (Taranik op.cit.). Esta capacidad de cubrimiento repetitivo es una de las más importantes bondades del sistema de datos multiespectrales

Landsat, ya que ha permitido la observación periódica de fenómenos geográficos de gran escala, como los cambios fenológicos de la vegetación a lo largo del año (Rouse et al. 1973, Wiegand et al. 1973).

El análisis analógico (visual) de las imágenes Landsat ha demostrado ser útil en una amplia gama de aplicaciones, como son: la interpretación de tectónica de placas (Sabins 1978), estudios de geología estructural (Gold 1980), geomorfología (Lowman y Lattman 1980), mapeo de litologías (Abrams y Siegal 1980), prospección de minerales y uranio (Smith 1977), mapeo geoquímico (Vincent 1977), estudios geográficos regionales (Peplies 1974), cartografía de la vegetación (Morain 1974), cartografía de uso del suelo (Munnally 1974), estudios hidrológicos (Skibitzke 1976), entre otros. Landgrebe (1976) afirma que "la percepción remota tiene dos ramas principales, que se originan de dos tecnologías diferentes. Los dos sistemas están basados en (1) la orientación de imagen, y (2) la orientación numérica". Esta última tiende al uso de las computadoras en el proceso de extracción de información, y por lo tanto genera resultados más objetivos, en el sentido de que dependen menos del criterio y de la habilidad de un intérprete humano (Hajic y Simonett 1976). Sin embargo, el análisis digital de imágenes es un campo relativamente reciente, que no ha demostrado ser supe-

rior al análisis analógico, en la gran mayoría de las aplicaciones ya mencionadas.

Dado que el análisis digital se basa casi exclusivamente en los valores de reflectancia relativa, o sea en los patrones de respuesta espectral, obtenidos para cada una de las pequeñas áreas observadas por el campo instantáneo de visión del sensor, resulta lógico que las aplicaciones más exitosas de esta tecnología sean justamente aquellas donde se desean diferenciar los elementos de superficie, como son el agua, el suelo y la vegetación. La capacidad de discriminar estos tres materiales en forma automática, mediante reconocimiento de patrones espectrales, fue demostrada hace más de 10 años (Hoffer & Johannsen 1969). La alta precisión lograda en el mapeo de estos materiales se debe a las diferencias de reflectancia espectral que presentan. A partir de estos primeros estudios, las aplicaciones del reconocimiento de patrones espectrales han ido en constante aumento en el campo de la identificación y cuantificación de cultivos (Gausman et al. 1975, MacDonald et al. 1975, Richardson et al. 1976, Heilman et al. 1977, Kanemasu et al. 1977, Bauer et al. 1978, Kauth et al. 1979, Malila et al. 1980, Hixson et al. 1980, Dailey et al. 1980, Arredondo et al. 1982); así como en la cartografía de uso del suelo y la vegetación (Murai 1975, Risley 1975, Titus et al. 1975, Hoffer et al. 1975, Kalensky y Scherk 1975, Reeves

et al. 1976, Fleming y Hoffer 1977, Mead y Meyer, 1977, Gaydos y Newland 1978, Hoffer y Fleming 1978, Miller y Williams 1978, Algazi et al. 1979, Ernst y Hoffer 1979, Everitt et al. 1979, Fox y Mayer 1979, Hielkema 1979, Logan et al. 1979, Beaubien 1980, Bryant et al. 1980, Peterson et al. 1980, Hoffer y Bartolucci 1980, Crist y Malila 1980, Santos et al. 1980, Byrne y Crapper 1980, Strahler et al. 1980, Pettinger 1980, Miller 1980, Meyer y Fox 1981).

3.9 Procesamiento digital de imágenes.

Las imágenes provenientes de los sensores remotos son adquiridos por sistemas de avanzada tecnología, pero comunmente son interpretadas mediante técnicas clásicas que han avanzado poco más allá de los estereoscópios utilizados durante los primeros años de la interpretación de fotografías aéreas. 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. Según Sabins (1978), las principales ventajas de los métodos de procesamiento digital son su versatilidad, su repetibilidad y la preservación de la calidad original de los datos.

Cualquier imagen puede ser concebida como formada por pequeñísimas áreas iguales, llamadas elementos de imagen (pixels), arregladas en renglones y columnas regu-

lares. La posición de cualquier elemento de la imagen está determinada por un sistema de coordenadas X y Y, cuyo origen está ubicado en la esquina superior izquierda de la imagen. La brillantez (tono) de cada pixel tiene un valor numérico que puede ir desde el cero para el negro, hasta el 63 ó 127 para el blanco. De esta 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 en la escala de grises.

Los métodos de procesamiento digital de imágenes pueden ser divididos en métodos de restauración, realce y extracción de información.

Los métodos 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 relativamente 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 a una copia de la imagen original, o una vez que se han llevado a cabo los demás procesos. Como los métodos de res-

tauración, 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 estos procesos.

Los métodos de extracción de información utilizan las computadoras para identificar y extraer fragmentos específicos de información. El operador humano, generalmente un analista de imágenes, 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 mas bandas, lo cual se facilita en el caso de las imágenes Landsat, ya que los valores de las cuatro bandas están registrados espacialmente por haber sido adquiridos y almacenados por el mismo sistema de barrido.

Una de las técnicas digitales más utilizadas es la clasificación multiespectral, cuya idea fundamental consiste en discriminar los diferentes tipos de vegetación y usos del suelo por su patrón espectral. Las imágenes Landsat en forma digital contienen, para cada uno de los elementos o pixels, un patrón de respuesta espectral que es un vector de cuatro componentes. Estos cuatro componentes son valores que representan la intensidad de la energía reflejada por el terreno en cada una de las

cuatro bandas espectrales. Así, cada pixel puede ser concebido como un punto en un espacio de cuatro dimensiones. Los cuatro 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 estas regiones. Existen dos estrategias básicas para llevar a cabo este cometido:

En la llamada clasificación supervisada, el analista define un grupo de categorías o clases a diferenciar, es decir estructura el esquema de clasificación a utilizar (ver Figura 3.2). Posteriormente selecciona muestras de cada una de estas categorías. Estas muestras suelen ser llamadas 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. En este punto resulta conveniente analizar la separabilidad estadística de estas clases, a fin de determinar si las categorías que se desean diferenciar presentan patrones espectrales exclusivos. De no contarse con un programa que calcule la separabilidad estadística de las clases, es necesario clasificar la imagen, y entonces determinar, mediante trabajo de campo o

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CLASIFICACION SUPERVISADA

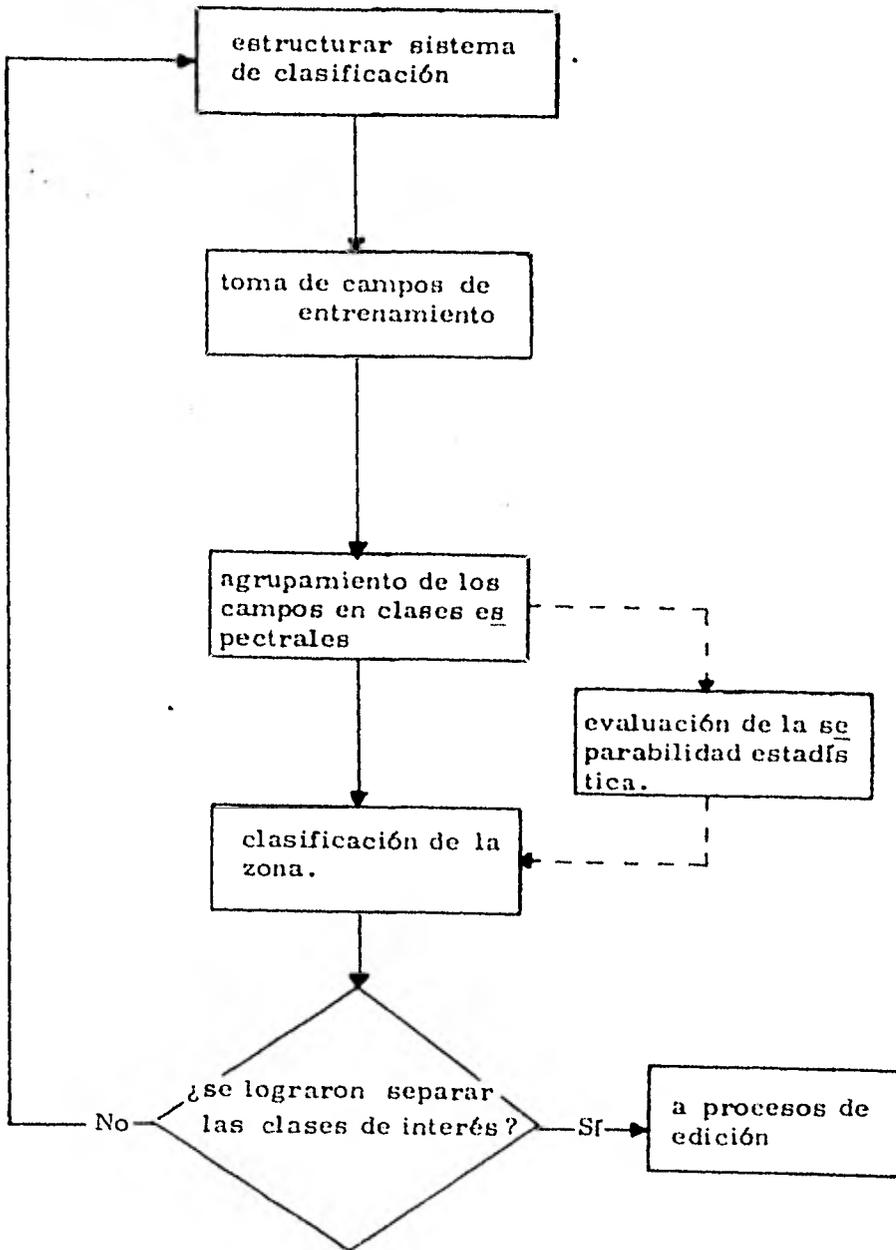


Fig. 3.2

con la ayuda de mapas y/o fotografías aéreas, si se lograron separar las categorías de interés.

En la llamada clasificación no supervisada (ver Figura 3.3) se utilizan 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 covarianzas describe el tamaño y la forma de la nube (Swain y Davis 1978). Posteriormente se clasifica la imagen, y se determina la identidad de cada una de las clases espectrales mapeadas, ya sea mediante trabajo de campo o correlacionando la imagen clasificada con mapas o fotos aéreas. Una vez que el analista conoce el valor informativo de todas y cada una de las clases espectrales mapeadas, puede agruparlas en categorías informativas, de acuerdo a los criterios que mejor se adapten a sus necesidades específicas de informamación.

La asignación de cada uno de los elementos de la imagen a alguna de las clases espectrales definidas por cualquiera de los métodos descritos anteriormente, puede llevarse a cabo a través de diversas estrategias. La más sencilla consiste en asignar el píxel o elemento a aquella clase de cuyo centro de gravedad esté más cercano en el espacio espectral (Lillesand y Kiefer 1979). Esta es

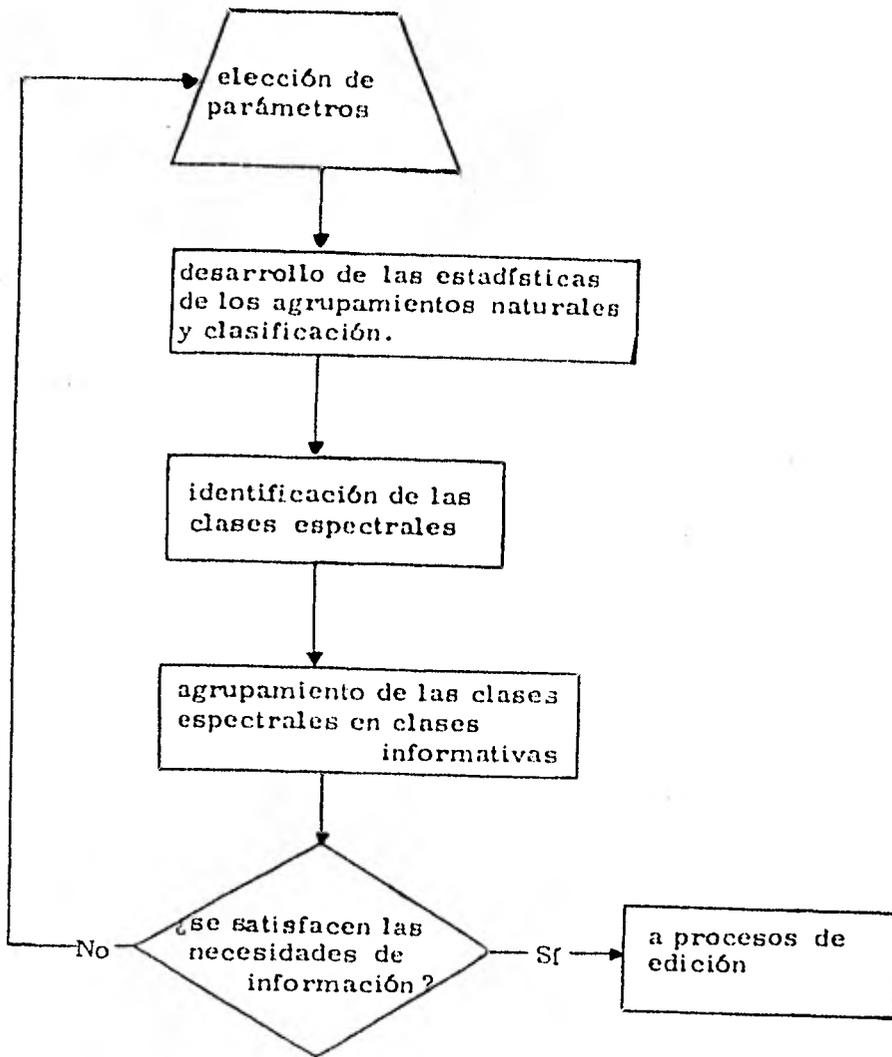


Fig. 3.3

trategia es matemáticamente simple y resulta eficiente desde el punto de vista computacional, pero tiene sus limitaciones. Una de ellas es que la estrategia es insensible a los diferentes grados de dispersión (coeficientes de variación) de las clases espectrales.

La estrategia de "máxima verosimilitud" evalúa tanto las varianzas como la correlación de los patrones de respuesta que caracterizan las clases espectrales. Para lograr ésto se asume que los elementos de una clase se presentan una distribución normal (Gausiana). Bajo esta suposición es posible describir completamente la distribución de una clase dada, mediante el vector de medias y la matriz de covarianzas, y dados estos parámetros, calcular la probabilidad estadística de que un pixel dado pertenezca a determinada clase. La estrategia consiste entonces en asignar el pixel a la clase cuya función de densidad probabilística sea máxima para ese punto del espacio, es decir para ese vector o patrón (Swain y Davis op. cit.). Esta estrategia es un caso particular de la aplicación de los métodos estadísticos bayesianos al problema de la clasificación multiespectral. Baz (1977) describe la implementación de algunos métodos en el Sistema P.R. (Percepción Remota), desarrollado por el I.I.M.A.S. de la U.N.A.M.

Resumiendo, existen dos enfoques básicos para clasificar una imagen multiespectral (el supervisado y el no

supervisado), y una variedad de algoritmos con estrategias específicas para llevar a cabo este proceso. Con estos antecedentes se consideró que dado que uno de los objetivos de este trabajo es el de investigar cuales comunidades vegetales pueden ser discriminadas mediante el reconocimiento de patrones espectrales, lo más indicado era llevar a cabo una clasificación no supervisada, y posteriormente determinar la identidad de cada una de las clases espectrales derivadas, correlacionándolas con las fotografías aéreas, para de esta forma determinar que comunidades vegetales u otro tipo de cobertura del terreno están representando.

3.10 Antecedentes sobre el uso de las técnicas digitales en México.

Como antecedentes importantes en la utilización de las técnicas de procesamiento digital de imágenes en México cabe mencionar que el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas (I.I.M.A.S.) de la U.N.A.M. ha desarrollado un sistema propio de procesamiento de imágenes (Guzmán 1975a, 1975b, Guerra 1975, Jinich y Ludlow 1975, Ludlow y Guzmán 1975). Este sistema, denominado Sistema P.R., ha sido utilizado para la identificación de cuerpos de agua en el Valle de México (Seco 1977), para la identificación de cultivos (Guzmán et al. 1976), y para la determinación del uso del suelo (Vital et al. 1978, Montecinos et al. 1979)

Investigadores del Instituto de Biología de la U.N.A.M. y del Instituto de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos (I N I R E B) han empleado la clasificación automática de datos Landsat para llevar a cabo el mapeo de las comunidades vegetales de Veracruz (Soto et al. 1977, Mejía et al. 1977, Coria et al. 1979, Soto y Giddings 1980).

La ahora Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (DIGETENAL), antes DETENAL, ha realizado estudios sobre identificación y cuantificación de áreas agrícolas (Arredondo et al. 1982), identificación y cuantificación de caña de azúcar (Miranda 1981), mapeo de mantos de sargazo (Arredondo 1982) y actualización de cartas de uso del suelo (Cámara y Juárez 1979, 1980). Estas experiencias han conducido al desarrollo de lineamientos metodológicos para la actualización de la cartografía de uso del suelo mediante procesamiento digital de datos Landsat (Cámara 1981).

Giddings (1980) hace una descripción muy accesible sobre el uso de las transformaciones de Kauth y Thomas (1976) en aplicaciones botánicas. Mouat y Hutchinson (1981) plantean algunas cuestiones fundamentales para el mapeo de la vegetación en zonas áridas y semiáridas mediante sensores remotos.

4. CARACTERISTICAS AMBIENTALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

4.1 Localización geográfica

Dado que uno de los objetivos principales de este trabajo es el de preparar un mapa de vegetación de la zona de estudio, se decidió circunscribirla con límites geográficos bien definidos. La zona de trabajo está delimitada por los paralelos 19°30' y 20°00' Norte, y por los meridianos 103° y 104° Oeste. Está comprendida en su totalidad dentro del Estado de Jalisco, en sus inmediaciones con el Estado de Colima. (Fig. 4.1).

4.2 Hidrografía y orografía

Casi toda la porción oriental de la zona, entre los meridianos 103°00' y 103°30' Oeste, es drenada por el río Tuxpan. Únicamente el extremo SE. de la zona pertenece a la cuenca del río Tepalcatepec, uno de los principales afluentes del río Balsas. Estas dos cuencas están separadas por la sierra de Tecalitlán, que tiene una disposición NE-SO.

La porción noroccidental de la zona forma parte de la cuenca del río Jiquilpan, afluente del río Armería. Este último drena las vertientes occidentales del macizo montañoso formado por los volcanes de Fuego y Nevado de Colima.

En la porción central de la zona de trabajo se presentan dos cuencas cerradas, la de Sayula y la de Guzmán, las cuales dan origen a las lagunas de Sayula y de Zapotlán,

respectivamente.

El rasgo orográfico más sobresaliente de la zona es el macizo formado por los volcanes de Fuego y Nevado de Colima, y por la sierra de las Leonas, que se encuentra al Norte de los volcanes. La disposición de este macizo es Norte-Sur, y separa las cuencas del río Armería y del río Tuxpan.

Al NE. de Ciudad Guzmán se encuentra un macizo montañoso formado por la sierra del Tigre, de orientación N-S, y por la sierra de Mazamitla, con disposición E-O. La sierra del Tigre separa la cuenca del río Tuxpan de las cuencas endorreicas de Sayula y de Guzmán. La sierra de Mazamitla separa la cuenca del río Tuxpan de la cuenca endorreica de Atotonilco, ubicada al Norte de la zona de trabajo, y al Oeste de la laguna de Chapala.

La cuenca de Sayula se encuentra separada de la cuenca del río Jiquilpan por la sierra de la Torrecilla, de orientación N-S.

Al Oeste y SO. de la población de Tapalpa, se encuentra la sierra del mismo nombre, de orientación N-S. Esta sierra separa las subcuencas del río Pozol y del río Jiquilpan, ambos afluentes del río Armería.

En el extremo SO. de la zona se encuentra la sierra de Manantlán, la cual es una meseta de aproximadamente 20 km. de largo por 10 km. de ancho, con orientación

NO-SE. Esta meseta se levanta desde los 700m. hasta los 2500m.s.n.m.

4.3 Regionalización fisiográfica.

Casi toda el área de trabajo forma parte de la provincia Eje Neovolcánico, de la cual se encuentran representadas tres de las diez subprovincias que la forman (DIGETENAL, 1980). Las cuencas de Sayula y de Guzmán, así como las sierras del Tigre y de Mazamitla, forman parte de la subprovincia de Chapala. La subprovincia Volcanes de Colima está totalmente incluida en la zona de estudio, y está formada por el macizo de los volcanes y por la región ubicada entre éstos y el río Armería. La sierra de Tapalpa forma parte de la subprovincia Sierras de Jalisco.

De la provincia Sierra Madre del Sur se encuentran representadas en la zona, la subprovincia Sierras de las Costas de Jalisco y Colima, de la cual forma parte la sierra de Manantlán, y la subprovincia Cordilleras Costeras del Sur, de la cual forma parte la sierra de Tecalitlán y el valle de Tamazula de Gordiano.

4.4 Climas.

La información sobre los subtipos climáticos presentes en la zona de estudio fue tomada de la Carta de Climas Guadalajara, escala 1: 1000000, elaborada por la DIGETENAL. (SPP 1981).

Los climas mejor representados en la zona de estudio son los semicálidos subhúmedos $(A)C(W_1)w$; $(A)C(W_1)$; $(A)C(W_0)w$ y $(A)C(W_0)$. También están representados los templados subhúmedos $C(W_2)w$; $C(W_2)$; $C(W_1)$; y en menor medida el semifrío subhúmedo $C(E) (W_2)$. Algunas localidades presentan los climas semisecos $BS_1(h)w$; $BS_1(h')w$ y otras los cálidos subhúmedos $AW_0(w)$ y AW_0 . A continuación se describen estos subtipos climáticos, bajo el grupo y subgrupo al que pertenecen.

1. Grupo de climas templados C.

1.1 Subgrupo de climas semicálidos $(A)C$.

Los climas de este subgrupo se caracterizan por una temperatura media anual mayor de $18^{\circ}C$., y una temp. media del mes más frío entre -3° y $18^{\circ}C$.

- a) el subtipo climático mejor representado en la zona es el $(A)C(W_1)w$, el cual es el intermedio en cuanto al grado de humedad de los semicálidos subhúmedos con un cociente P/T (precipitación media anual en mm. entre temperatura media anual en $^{\circ}C$.) entre 43.2 y 55.0. La precipitación del mes más seco es menor de 40 mm., y con menos del 5% de lluvia invernal. Este clima se presenta en toda la porción oriental de la zona, entre los $103^{\circ}00'$ y $103^{\circ}30'$ Oeste, al Sur de la sierra de Mazamitla.

- b) el subtipo (A)C(W₁) solo difiere del anterior por presentar un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2%. Se le encuentra en las partes más bajas de las vertientes SE., S., y SO. de los volcanes.
- c) el subtipo (A)C(W₀)w es el más seco de los semicálidos subhúmedos, con un cociente P/T menor de 43.2 . Precipitación invernal menor del 5%. Se le encuentra al O. y S. de la sierra de Tapalpa, así como en los valles de Sayula, Cd. Guzmán y Tuxpan.
- d) el subtipo (A)C(W₀) solo difiere del anterior por presentar entre 5 y 10.2% de lluvia invernal. Se le encuentra en un área muy pequeña al N. de la sierra de las Leonas y en las partes más bajas de la vertiente occidental del macizo de los volcanes.

1.2 Subgrupo de los climas templados C.

Los climas de este subgrupo se caracterizan por una temp. media anual entre 12° y 18°C., y una temp. media del mes más frío entre -3° y 18°C.

- a) de este subgrupo, el clima mejor representado es el C(W₂)w, el cual es el más húmedo de los templados con lluvias de verano, con un cociente P/T mayor de 55.0. Precipitación del mes más seco menor de 40mm., y menos del 5% de lluvia invernal. Se presenta en las sierras del Tigre y de Mazamitla.

- b) el subtipo $C(W_2)$, caracterizado por un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%, se presenta en gran parte del macizo de los volcanes, por arriba de los semicálidos y por abajo del semifrío.
- c) el subtipo $C(W_1)$ es el intermedio en cuanto al grado de humedad de los templados subhúmedos con lluvias de verano, con un cociente P/T entre 43.2 y 55.0. Presenta entre 5 y 10.2% de lluvia invernal. Se le encuentra en la sierra de Tapalpa y en la zona ubicada entre las poblaciones de Tapalpa, Sayula y Venustiano Carranza.

1.3 Subgrupo de climas semifríos C(E).

Este subgrupo se caracteriza por una temp. media anual entre 5° y 12°C ., y una temp. media del mes más frío entre -3° y 18°C .

- a) el subtipo $C(E)(W_2)$, con un cociente P/T mayor de 55.0, precipitación del mes más seco menor de 40mm, y entre 5 y 10.2% de lluvia invernal, se encuentra en las partes más altas de los volcanes, por arriba del clima templado subhúmedo $C(W_2)$.

2. Grupo de climas secos B.

2.1 Subgrupo de climas semisecos BS_1 .

Este subgrupo se caracteriza por presentar lluvias de verano y un cociente P/T mayor de 22.9.

- a) el subtipo $BS_1(h)w$ es el menos seco de los BS, y resulta semicálido por su temperatura. Presenta en-

tre 5 y 10.2% de lluvia invernal. Se le encuentra en la región de Zapotitlán de Vadillo, alrededor de los 1000m de altitud s.n.m., y en la Laguna de Sayula.

- b) el subtipo BS (h')w solo difiere del anterior por ser cálido por sus temperaturas. Se presenta en la depresión del río Armería, por debajo de los 900m. s.n.m.

3. Grupo de climas cálidos A.

3.1 Subgrupo de climas cálidos A.

Este subgrupo se caracteriza por una temperatura media anual mayor de 22°C., y una temp. media del mes más frío mayor de 18°C.

- a) el subtipo A(W₀)w, por su grado de humedad es el más seco de los cálidos subhúmedos, con un cociente P/T menor de 43.2. Presenta menos de 5% de lluvia invernal. Se le encuentra en una estrecha franja de terreno al SO. de la sierra de Tapalpa.
- b) el subtipo A(W₀) es igual que el anterior, pero con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%. Se presenta en la vertiente oriental de la mesa de Manantlán, hasta el valle del río Armería.

4.5 Geología.

La mayor parte de las formaciones geológicas de la zona datan del Cenozoico Medio Volcánico, y están constituidas principalmente por derrames de lava,

brecha y tobas, de composición variable, de basalto a riolita. (Inst. de Geología, UNAM).

El volcán de Fuego se formó en pleno Plioceno Superior, y está formado por basalto y pórfido traquítico (Yarsa, 1948).

La sierra de Tecalitlán está constituida principalmente por granitos, granodioritas, pórfidos andesíticos y riolíticos, y doleritas, del Cenozoico Inferior.

La sierra de Marantlán está formada por calizas, areniscas y conglomerados del Cretácico Inferior y Medio.

Aproximadamente a 18 km. al Noreste de Tecalitlán existe un afloramiento, de aproximadamente 10 km², de rocas metamórficas del Jurásico.

4.6 Suelos

La información sobre los suelos de la zona fue tomada de las cartas edafológicas escala 1:50000, elaboradas por CETENAL (1971a). Estas cartas son preparadas mediante fotointerpretación y verificación de campo. Se utiliza el Sistema de Clasificación de Suelos FAO-UNESCO de 1970, modificada por CETENAL (1971b), en el cual los tipos de suelo se caracterizan por sus horizontes y características diagnósticas.

La zona presenta una gran diversidad de tipos de suelo, siendo los más abundantes los regosoles

eútricos, los cambisoles eútricos y crómicos, y los feozems háplicos.

Los regosoles eútricos son suelos formados por material suelto que no sea aluvial reciente, como dunas, cenizas volcánicas, playas, etc., sin ningún horizonte diagnóstico, salvo posiblemente un A órico. El horizonte A órico es una capa superficial de color claro o pobre en materia orgánica, o con ambas características.

Los cambisoles eútricos son suelos con horizonte A órico o úmbrico y un horizonte B cámbico. El horizonte A órico ya ha sido descrito, y el A úmbrico es una capa superficial blanda de color obscuro, rica en materia orgánica y pobre en nutrientes. El horizonte B cámbico es una capa ubicada abajo del horizonte A, con características incipientes de los otros horizontes B, o por lo menos con estructura de suelo, no de roca.

Los cambisoles crómicos son suelos de color rojo intenso, muy pobres en materia orgánica.

Los feozems háplicos son suelos con horizonte A mólico, que pueden o no presentar un horizonte B cámbico. El horizonte A mólico es una capa superficial blanda de color obscuro, rica en materia orgánica y nutrientes. El horizonte B cámbico

ya ha sido descrito.

Así pues los suelos más abundantes de la zona son suelos jóvenes, derivados de rocas volcánicas y de baja fertilidad. Todos estos suelos se presentan asociados a litosoles, que son suelos de menos de 10 cm. de espesor, sobre roca o tepetate.

En la sierra de Mazamitla y sus inmediaciones se presentan asociaciones de andosoles húmicos y órticos, así como de luvisoles crómicos y cambisoles crómicos.

Los andosoles húmicos son suelos derivados de cenizas volcánicas recientes, muy ligeros y con alta capacidad de retención de agua y nutrientes. Presentan alta retención de fósforo y son muy susceptibles a la erosión. Presentan horizonte A úmbrico. Los andosoles órticos también son derivados de cenizas volcánicas recientes pero presentan un horizonte A ócrico, ya descrito.

Los luvisoles crómicos son suelos de color rojo intenso, con horizonte A ócrico y horizonte B argílico, el cual es una capa donde ha habido acumulación de arcilla.

En la región de Jiquilpan se presentan asociaciones de chernozems háplicos y vertisoles pélicos. Los chernozems háplicos son suelos con horizonte A mólico de color negro, y con acumulación calcárea debajo de éste.

Los vertisoles pélicos son suelos de color negro, de textura arcillosa y pesada, que se agrietan notablemente cuando se secan.

5. MATERIALES Y METODOS.

5.1 Materiales y equipo utilizados.

En la realización del presente trabajo se utilizaron los siguientes materiales y equipo:

- los mapas topográficos E13B14, E13B15, E13B16, E13B24, E13B25, y E13B26, escala 1:50000, elaborados por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (antes DETENAL).
- cuatro líneas de vuelo de fotografías aéreas infrarrojo-color (Aerochrome 2443), escala, 1:50000 aprox., adquiridas el 31 de Mayo de 1981.
- una cinta compatible con computadora conteniendo la imagen 22251-163734, adquirida por el satélite Landsat-2 el 22 de Marzo de 1981.
- un estereoscopio de espejos Wild ST-4.
- un estereosketch Wild.
- el Sistema Digital de Análisis Multiespectral SIDAM-2 (Ramírez y Botello, 1980).

5.2 Diagrama a bloques de la metodología (ver Fig. 5.1).

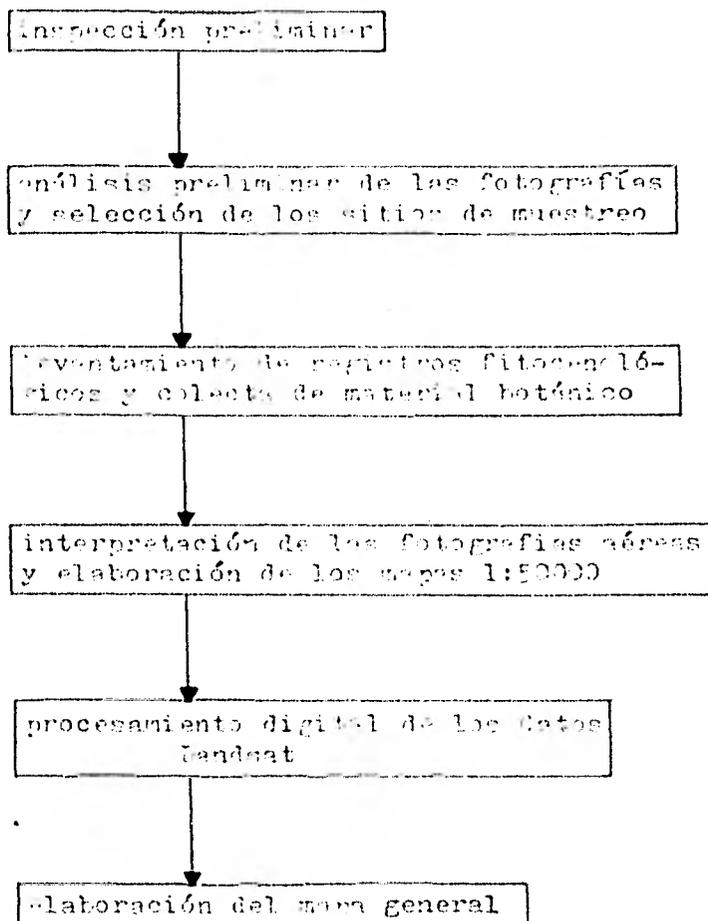


Fig. 5.1 Diagrama a Bloques de la metodología.

5.3 Inspección preliminar.

La primera visita de campo se llevó a cabo del 12 al 20 de Marzo de 1981. Su principal objetivo fue el de observar la fenología de la vegetación en lo referente a la caducidad del follaje. Se recorrieron todas las carreteras que transectan la zona, así como las principales terracerías y brechas. Se tomaron fotografías a color de la vegetación, a fin de contar con un registro permanente de la fenología que presentaba en estas fechas.

5.4 Análisis preliminar de las fotografías y selección de los sitios de muestreo.

Las fotografías aéreas se utilizaron en esta etapa para localizar las comunidades vegetales, establecer las rutas de acceso a ellas, y para ubicar los sitios a muestrear en campo. Los puntos de muestreo se ubicaron en aquellos lugares donde una comunidad dada se presenta extensa y relativamente homogénea en cuanto a su color y textura fotográfica, tomando también en cuenta que el sitio fuera accesible por tierra.

Las fotografías permitieron establecer puntos de muestreo para cada una de las comunidades que se lograban diferenciar por su color y textura. Asimismo, se seleccionaron puntos de muestreo dentro de cada una de las unidades fisiográficas de la zona.

5.5 Levantamiento de registros fitocenológicos y colecta de material botánico.

Toda la información de campo utilizada para describir la fisonomía, la estructura y las especies dominantes de las comunidades vegetales de la zona, fue recabada durante el mes de Marzo de 1982.

Se visitaron todos y cada uno de los sitios de muestreo definidos en las fotografías aéreas, y en cada uno de estos lugares se levantó un registro fitocenológico (Kuchler 1967) y se colectaron muestras de las especies dominantes (en términos de cobertura y altura). El registro fitocenológico es un formato estandarizado para registrar la fisonomía y la estructura de una comunidad. Se anota para cada estrato: su altura, y la cobertura de cada una de las formas biológicas que lo componen (ver tabla 5.1). Los ejemplares colectados se encuentran depositados en el Herbario de la Facultad de Ciencias (FCME) de la UNAM.

5.6 Interpretación de las fotografías aéreas y elaboración de los mapas a escala 1:50000.

La elaboración de los mapas a escala 1:50000 se llevó a cabo extendiendo las observaciones realizadas en el terreno, mediante la interpretación de las fotografías aéreas. Correlacionando la información de los puntos de muestreo y de las demás observaciones de campo, con las características que presentan las diferentes comunidades vegetales en las fotografías, se estructuró

Registro Fitológico No. 30.

Localidad: Sierra de Mazamitla.

Altitud: 2000m.

Pendiente y Exposición: 15% SE

Topografía: ladera.

Substrato: igneo extrusivo

Coord. 672625mE, 2205600mN

Carta Sayula E13B15

Foto y línea 16c.

Tipo y tamaño de la muestra...

observaciones promedio: 0.25 ha.

Análisis Estructural.

ESTRATOS	FORMAS BIOLÓGICAS														
	B	D	E	N	O	S	M	G	H	L	C	K	T	V	X
	LATIFOLIADAS SEMIREVEDES	LATIFOLIADAS DECIDUAS	PLICIFOLIADAS SEMIREVEDES	ALCORNICUAS DECIDUAS	VELLAS	SEMIDECIDUAS B+D	MINTAS D+E	GRAMINEAS	HERBAS	LÍQUENES ALGAS	TREPADORAS	CASCAJUELES	ARBUSTIVAS PALMAS	BALAUDES	EPÍFITAS
8 = > 35 m.															
7 = 20 a 35 m.															
6 = 10 a 20 m.															
5 = 5 a 10 m.															
4 = 2 a 5 m.		b	a											b	
3 = 0.5 a 2 m.									p					b	
2 = 0.1 a 0.5 m.								i	r						
1 = < 0.1 m.															

Coberturas: c = > 75%, i = 51-75%; p = 25-50%; r = 6-25%; a = < 1%
 Características foliares: h = heliófilas, k = mesófilas, l = mesófilas (7-10m),
 λ = nanófilas (2-7m)

Observaciones: matonal secundario en zona de bosque de pino.

una clave de fotointerpretación, que permitió identificar y delimitar aquellas comunidades que no fueron visitadas en campo. Esta clave se presenta en la tabla 5.2.

Los contactos trazados en las fotografías aéreas se transfirieron a sus respectivos mapas topográficos utilizando un Stereosketch. Este aparato permite, mediante dispositivos óptico-mecánicos, compensar las distorsiones geométricas presentes en las fotografías, y de esta forma transferir los contactos a su posición correcta en los mapas.

5.7 Procesamiento digital de los datos Landsat y elaboración del mapa general de la zona.

La secuencia de los procesos efectuados sobre los datos Landsat para la elaboración del mapa general de la zona de estudio, se presenta en la Fig. 5.2.

5.7.1 Análisis visual de los datos.

La imagen fue analizada visualmente por medio de una pantalla de televisión. Este análisis visual de la calidad original de los datos reveló que la imagen no contenía nubes ni sus sombras, pero se determinó que era necesaria someterla a un proceso de corrección radiométrica conocido como corrección al bandeo (debanding).

5.7.2 Corrección al bandeo

Esta corrección se hace necesaria cuando alguno de los seis detectores que registran las respec-

TABLA 5.2
CLAVE DE FOTOINTERPRETACION

- 1. color rojo a 2.
- 1. color marrón a 6.
- 1. color gris..... a 7.
- 1. color magenta a 10.
- 1. color blanco a 12.
- 1. color azul agua
- 1. color verdoso suelo agrícola
- 1. color amarillo bosque bajo de encinos subcaducifolios

- 2. textura gruesa a 3.
- 2. textura lisa a 4.

- 3. sin patrón u orden geométrico a 5.
- 3. con arreglo geométrico de los elementos frutales.

- 4. patrón compuesto de elementos circulares yuxtapuestos...tular.
- 4. con patrón y/o límites rectilíneos bien definidos... cultivos.

- 5. sobre laderas, valles o crestasbosque de encinos
perennifolios
- 5. en cañones y barrancas con condición hídrica favorable...
... bosque mesófilo de montaña.

- 6. textura gruesa..... bosque de pinos.
- 6. textura fina o lisa... suelo agrícola.

7. gris oscuro a 8.
7. gris claro a casi blanco a 9.
8. textura gruesa bosque caducifolio.
8. textura fina matorral caducifolio.
9. sin patrón aparente, textura fina..... pastizal.
9. con patrón geométrico muy evidente..... área urbana.
10. textura lisa..... a 11.
10. textura gruesa..... bosque de encinos perennifolios
11. con patrón geométrico y/o límites rectilíneos...cultivos.
11. sin patrón, a lo largo de arroyos y avenamientos.....
...comunidades riparias arbustivas o herbáceas.
12. en fondo de cuenca, o con evidencia de procesos extractivos...
...área desprovista de vegetación.
12. sobre ladera, cresta o valle, y sin evidencia de procesos
extractivos.....erosión.

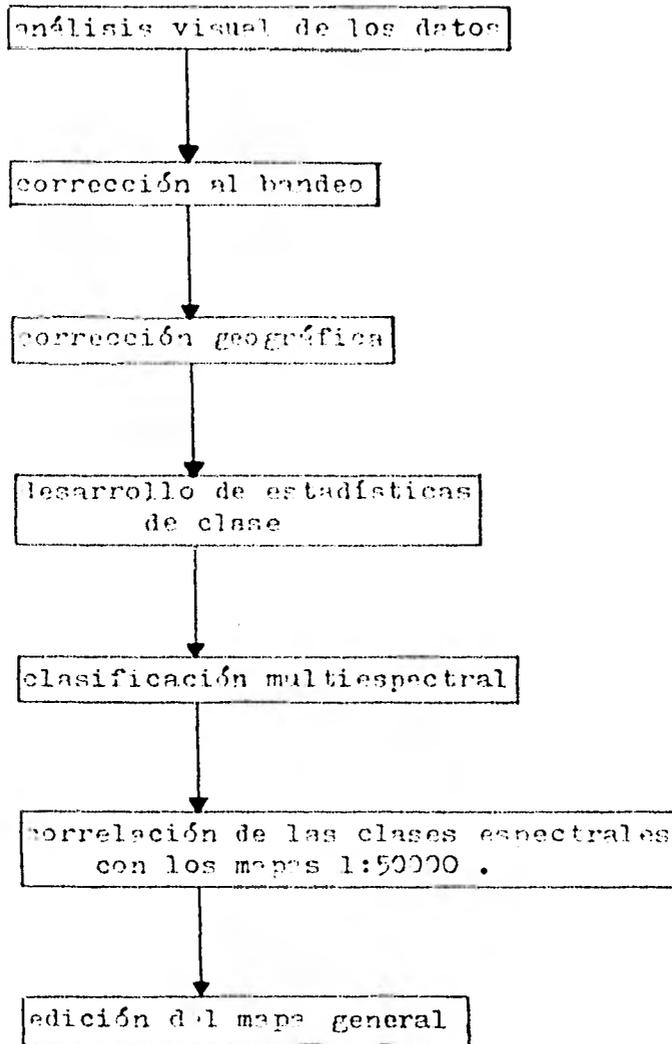


Fig. 5.2 Diagrama a bloques del procesamiento digital de los datos.

tivas seis líneas de información durante cada barrido del espejo, presenta una ganancia electrónica (función de respuesta) diferente a sus cinco análogos. Este problema se observa en las imágenes en forma de líneas más claras o más oscuras que se presentan sistemáticamente a lo largo de toda la imagen. Estas líneas defectuosas contienen información útil, pero es necesario corregir sus valores para que estén acorde con el resto de la imagen. De no corregirse este defecto en la información, un buen número de los elementos (pixels) que componen estas líneas serán erróneamente clasificados (Sabins 1978).

Para llevar a cabo esta corrección se utilizó el algoritmo DESTRIPE, el cual forma parte del paquete de programas con que cuentan los sistemas de análisis digital de la DIGETENAL. Este algoritmo, así como todos aquellos empleados en el desarrollo de este trabajo, se encuentran documentados en una publicación aparte (NASA 1981).

5.7.3 Corrección geográfica.

Una vez corregida radiométricamente, la imagen fue corregida geométricamente, a la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM). El resultado de este proceso es una imagen libre de distorsiones geométricas, donde cada pixel o elemenu

to está referido a las coordenadas métricas de la proyección UTM. Para más información sobre como se construye la proyección y la rejilla UTM ver el Apéndice 1.

Para llevar a cabo esta corrección geográfica se utilizan "puntos de control", que son rasgos inequívocos que pueden ser identificados en la imagen y en el mapa. Así por ejemplo, un cruce de carreteras visible en la imagen y en el mapa, constituye un punto de control ideal. Una vez ubicado un punto de control se procedió a determinar sus coordenadas de imagen, es decir No. de línea y No. de elemento. Esto se logró colocando el cursor de la pantalla (dispositivo con una pequeña marca móvil) sobre el punto de interés, y solicitando a la computadora nos diera sus coordenadas de imagen.

La determinación de las coordenadas métricas (nortes y estes de la rejilla UTM) del punto en cuestión se efectuó sobre los mapas escala 1:50 000 correspondientes. Ambos tipos de coordenadas fueron suministradas a la computadora una vez que se obtuvo un total de 46 puntos de control. Ya generado el archivo de puntos de control, se calcularon los coeficientes de mapeo, los cuales son los coeficientes de un par de ecuaciones con tres in-

cónicas, que relacionan las coordenadas de imagen con las coordenadas métricas correspondientes. Con base en estas ecuaciones, el programa calculó las coordenadas métricas de los puntos de control, las comparó con las que le fueron suministradas, y evaluó las diferencias entre las coordenadas calculadas y las reales para cada uno de los puntos de control. Con esta información, el programa emitió un listado de diferencias en metros, así como el error medio cuadrático resultante. Esta primera corrida señaló que algunos de los puntos tenían un error demasiado grande (mayor de 100m.), por lo que se eliminó el que más error daba, y se volvieron a calcular los coeficientes de mapeo. Mediante este proceso interactivo se fueron eliminando uno a uno los puntos que presentaban mayores errores, hasta que se obtuvo un conjunto de 35 puntos, con un error medio cuadrático de 62 metros. Una vez obtenidos los coeficientes definitivos, se utilizó otro programa para transformar la imagen no corregida a la proyección Universal Transversa de Mercator. Cada uno de los elementos de la imagen fue movido a su posición correcta dentro de esta proyección. De esta forma cualquier punto o área de un mapa puede ser referido, mediante sus coordenadas métricas UTM, a su correspondiente

en la imagen y viceversa. Más adelante se verá como fueron aprovechadas estas capacidades.

- 5.7.4 Desarrollo de las estadísticas de clase.- En este proceso se utilizó el algoritmo llamado "búsqueda", cuyo funcionamiento se describe en el Apéndice 2.
- 5.7.5 Clasificación multiespectral.- La clasificación de la imagen se llevó a cabo, utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud (ver sección 3.9). El resultado de este proceso es una imagen de una sola banda, donde el valor de cada pixel representa el número de la clase espectral a la que fue asignado.
- 5.7.6 Correlación de las clases espectrales mapeadas, con los mapas 1:50000. Como resultado del proceso de clasificación de la imagen previamente corregida radiométrica y geográficamente, se contaba con un mapa de clases espectrales. El paso para convertir éste a un mapa de vegetación, consiste en determinar la identidad de cada una de las clases espectrales mapeadas, para posteriormente agruparlas en categorías informativas que sean las representadas en el mapa general de la zona. Este análisis se llevó a cabo en dos etapas:
 1. Análisis analógico. Para visualizar la imagen clasificada en la pantalla de televisión del SIDAM-2, se construyó una tabla de color, por

medio de la cual cada clase es desplegada en un color que guarda relación con el patrón de respuesta espectral de la clase. De esta forma, los patrones típicos de agua aparecen en la pantalla de color azul, los patrones de vegetación en distintos tonos de verde y cian (color formado por la adición del azul y el verde), y los patrones de suelo en diversos tonos de café, rojos y anaranjados. Con la imagen así desplegada, se procedió a analizar el patrón de distribución espacial de cada clase. Para esto, se fue desplegando cada una de las clases en color blanco brillante, que contrasta bastante con los otros colores de la tabla. De esta forma se observó la abundancia y distribución espacial de cada clase, en relación con las diferentes regiones y geoformas.

II. Análisis digital. Con la finalidad de determinar en forma cuantitativa la identidad de las clases, se llevó a cabo una correlación digital de la imagen clasificada y los mapas obtenidos mediante fotointerpretación. El primer paso consistió en determinar las coordenadas métricas (UTM) de los vértices que definen los polígonos más grandes presentes en los mapas escala 1:50000. Posteriormente se alimentaron estos vér

tices a la computadora, para reconstruirlos dentro de la imagen clasificada. Una vez hecho esto, se generó un listado de frecuencias para cada uno de los 105 polígonos construidos. Con estos listados se preparó la correspondiente tabla de frecuencias absolutas (ver Tabla 6.1), donde se muestra el número de elementos de cada clase espectral, que están presentes dentro de los polígonos de cada categoría informativa definida por fotointerpretación. Con estos datos se construyó la tabla de frecuencias relativas (ver Tabla 6.2), en la que se muestra, para cada una de las clases, el porcentaje de los elementos o pixels muestreados que corresponden a cada una de las categorías informativas.

El proceso de conformar las categorías informativas a partir de la identidad de las clases espectrales, se aprecia claramente en la tabla de asignaciones y precisiones (ver Tabla 6.3), en la que se muestra el porcentaje de precisión con la que cada clase se apega a una categoría informativa dada.

- 5.7.7 Edición del mapa general de la zona.- Una vez conociendo las categorías que iban a ser representadas en el mapa general de la zona, se construyó, en forma digital, la rejilla UTM. Esto se logró utilizando

do el mismo programa empleado en la construcción digital de los polígonos. De la misma forma se construyeron las coordenadas geográficas que constituyen el marco del mapa. Posteriormente se generaron impresiones electrostáticas a escalas 1:100000, 1:150000, 1:200000, y 1:250000. En la sección 6.4 se presenta el mapa a escala 1:250000.

6. RESULTADOS.

6.1 Fisonomía, estructura y especies dominantes de las comunidades vegetales.

De acuerdo con las descripciones que hacen Rzedowsky y Mc. Vaugh (1966), de los tipos de vegetación de la región de Nueva Galicia, los tipos presentes en la zona de estudio son los siguientes: bosque de pino y encino, bosque tropical caducifolio, bosque mesófilo de montaña, bosque de oyamel, zacatal, y vegetación acuática y semiacuática. Aunque estos autores consideran como "matorral subtropical" a "un grupo algo heterogéneo de comunidades dominadas, por lo menos en gran parte, por especies que se conocen en otros sitios como indicadores de disturbio o francamente propias de asociaciones secundarias", en el presente trabajo se prefirió catalogar las comunidades arbustivas bajo el rubro de matorral secundario, debido a que ninguna de estas comunidades observadas, se apega a la descripción que hacen estos autores del "matorral subtropical".

6.1.1 Bosque de pino y encino.- Este tipo de vegetación es el más extendido dentro de la zona de estudio. Con base en los registros fitocenológicos se lograron distinguir 7 tipos de comunidades de este bosque:

I. El bosque presenta un estrato de pinos de 10 a 20 metros de altura, el cual cubre más del 50%

del área. Ocasionalmente el estrato superior puede medir cerca de 30 metros de alto. En algunos sitios, se presentan también encinos siempreverdes, como Quercus rugosa, Q. laurina, Q. castanea y Q. crassifolia, de 5 a 10 metros de altura con una cobertura del 1 al 5%. Puede haber un estrato de 2 a 5 metros de alto formado por arbustos caducifolios, el cual alcanza coberturas del 5 al 25% del área. El estrato inferior, de 10 a 50 cm., está formado por hierbas y elementos graminiformes, con coberturas que van del 1 al 50% para las primeras y del 25 al 75% para los segundos.

- II. Otra variante es aquella donde los encinos adquieren cierta importancia fisonómica y estructural. El estrato superior está formado por pinos de 10 a 20 metros de alto, ocasionalmente de hasta 30 metros, y cubre del 50 al 100% del área. Un estrato de encinos perennifolios, como Quercus castanea, Q. crassifolia y Q. rugosa, o bien subcaducifolios, como Quercus magnoliifolia y Q. resinosa, de 5 a 10 metros de altura, cubre del 6 al 25% del área. El estrato inferior está formado por hierbas y gramínoideas de 10 a 50 cm. de altura, con coberturas del 1 al 5% para las primeras, y del 6 al 50% para las segun-

das. Puede haber un estrato adicional de latifoliadas caducifolias de 2 a 5 metros de altura (ver Fig. 6.1).

- III. Esta variante se caracteriza por un estrato superior de pinos de 10 a 20 metros de alto, cubriendo más del 75% del área, y un estrato de tejocotes, Crataegus pubescens, de 2 a 5 metros de alto con coberturas del 6 al 75%. También está presente el estrato inferior de hierbas y gramínoideas. Esta variante se observó únicamente en la Sierra de Tapalpa, a altitudes de entre 2100 y 2300 metros s.n.m.

Las especies dominantes en estos tres tipos de bosque son: Pinus oocarpa, P. leiophylla, P. tenuifolia, P. michoacana var. Quevedoi, a altitudes entre los 1600 y los 2200 m.s.n.m. Entre los 2200 y los 2500 m.s.n.m., dominan Pinus chihuahuana, P. douglasiana y P. montezumae.

- IV. En los volcanes de Fuego y de Colima, se encuentra, por arriba de los 2900 metros de altitud, un bosque de pinos de 5 a 10 metros de altura, y sólo ocasionalmente de 10 a 15 metros, con coberturas muy variables, que tienden a disminuir con la altitud, para dar lugar al zacatonal. En estos bosques domina Pinus hartwegii.



Fig. 6.1 Bosque de pinos y encinos, con Pinus tenuifolia, Quercus magnoliifolia, y Q. resinosa. Sierra de Tapalpa, Jal. Altitud 1900 m.s.n.m.

Rzedowsky y Mc Vaugh (1966), reportan que "a altitudes entre 1000 y 2500 metros, la especie más ampliamente distribuida es Pinus oocarpa, acompañada a menudo por P. michoacana y algunas veces por P. douglasiana y P. Leiophylla".

Madrigal (1970), consigna que "la Dirección Técnica Forestal clasificó los tipos de vegetación de la masa forestal de los volcanes de Fuego y de Colima, y llevó a cabo la siguiente división de los pinares: Pinares de altura, con Pinus hartwegii y P. rudis; Pinares de partes intermedias, con Pinus pseudostrobus, P. montezumae, P. tenuifolia, y P. douglasiana; Pinares de partes bajas, con Pinus michoacana; Pinares de disturbio, con Pinus leiophylla, y P. oocarpa var. microphylla; Pinares clímax, con Pinus tenuifolia, P. douglasiana y P. michoacana.

- V. El estrato superior está constituido por encinos perennifolios, de 10 a 20 metros de altura, donde dominan Quercus peduncularis Q. castanea y Q. crassifolia, por abajo de los 2300 metros de altitud. Por encima de los 2300 m.s.n.m. dominan Quercus rugosa, y Q. laurina. La cobertura de este estrato superior es mayor de 50%. Elementos de Pinus oocarpa, P. leiophylla, P. tenuifolia, P. michoacana var. Quevedoi, P. pseudostrobus y P. teocote forma quinquefoliata, pueden formar

parte del estrato superior, pero en su conjunto alcanzan coberturas menores del 25%. En ocasiones, los pinos forman parte del estrato de 5 a 10 metros, o bien del de 2 a 5 metros. En algunos sitios se presenta un segundo estrato de encinos de 5 a 10 metros, o bien de 2 a 5, pero en cualquier caso este estrato tiene coberturas inferiores al 50% (ver Fig. 6.3).

En la Sierra Manantlán se observó un bosque de encinos, pinos y cipreses (Cupressus spp.), con franca dominancia de los primeros. La cobertura de los estratos superiores es tal, que no se desarrollan estratos inferiores. Con la excepción de este bosque, aparentemente poco perturbado, en los demás encinares si se presentan estratos arbustivos y un estrato herbáceo. Lo más común es encontrar un estrato de latifoliadas siempreverdes y/o caducifolias, de 2 a 5 metros de alto, con coberturas que varían desde menos del 1% hasta más del 75%. El estrato inferior de 10 a 50 cm. de altura, está constituido por subarbustos semileñosos, hierbas y elementos graminiformes. La cobertura de estos últimos varía bastante de una comunidad a otra, registrándose valores de menos del 1% hasta más del 25%. Asimismo, la cobertura de las hierbas varía desde el 6% hasta más del 50%.

VI. Esta variante se caracteriza por la mayor importan-

cía que adquieren Arbutus xalapensis y Crataegus pubescens en el estrato superior, el cual suele tener de 5 a 10 metros de altura, y ocasionalmente de 10 a 20 metros. La cobertura de este estrato es superior al 75%. Aunque suelen estar presentes elementos de Pinus pseudostrobus, P. michoacana var. Quevedoi, P. chihuahuana, P. douglasiana y P. montezumae, estos en su conjunto no alcanzan coberturas superiores al 25% del área. Suele haber un estrato de latifoliadas siempreverdes de 2 a 5 metros de altura con menos del 25% de cobertura. Los arbustos semileñosos forman un estrato de 0.5 a 2 metros de alto, también con menos del 25% de cobertura. Elementos graminiformes forman el estrato inferior de 10 a 50 cm. de altura, con coberturas siempre menores de 25%.

- VII. Esta variante se caracteriza por la dominancia de encinos subcaducifolios, los cuales conservan aproximadamente el 25% de su follaje durante la temporada de secas. Quercus magnoliifolia, y Q. resinosa forman el estrato superior, de 5 a 10 metros de altura, el cual por lo común cubre más del 75% del área. Dentro de este estrato pueden estar presentes elementos de Q. peduncularis, Q. castanea, y Q. crassifolia, pero en su conjunto no cubren más del 1% del área. Suele haber un estrato de encinos subcaducifolios de 2 a 5 metros de altura, con coberturas que oscilan

entre el 6 y el 25%. El estrato inferior formado por hierbas y graminoides de 10 a 50 cm. de altura, presenta coberturas que van del 6 al 25% (ver. Fig. 6.2).

6.1.2 Bosque tropical caducifolio.- Este tipo de vegetación ocupaba anteriormente un área bastante extensa dentro de la zona de estudio, lo cual se deduce de la extensión de los matorrales secundarios derivados de la destrucción total o parcial de este bosque. Únicamente algunas laderas abruptas conservan su cubierta vegetal en estado aparentemente poco perturbado y con base en estas comunidades se describe este tipo de vegetación.

El estrato superior, de 5 a 10 metros de altura, está formado por latifoliadas caducifolias, muchas de ellas de hojas pequeñas y/o compuestas. La cobertura de este estrato es superior al 50%, y en él suelen dominar Lysiloma divaricata, Bursera spp., Amphipterygium spp., Pseudosmodium perniciosum y Lysiloma spp. Suele estar presente un segundo estrato de latifoliadas caducifolias de 2 a 5 metros de altura, cubriendo del 26 al 50% del área. El estrato inferior está formado por hierbas y graminoides, y su cobertura varía del 1 al 5% (ver Fig. 6.6).



Fig. 6.2 Bosque bajo de encinos subcaducifolios, con Quercus magnoliifolia y Q. resinosa, cerca de Venustiano Carranza, Jal. Altitud 1890 m.s.n.m.



-Fig. 6.3 Bosque de encinos perennifolios, con Quercus pedunculata, Q. Castanea y Q. crassifolia, cerca de Cd. Guzmán, Jal.



-Fig. 6.4 Bosque de Abies religiosa, Pinus hartwegii y P. rudis, creciendo sobre rocas andesíticas, a 3400 m.s.n.m., Volcán de Fuego, Jal.



Fig. 6.5 Bosque mesófilo de montaña, a
2750 m.s.n.m. Volcán de Fuego,
Jal.



Fig. 6.6 Bosque tropical caducifolio, cerca de Atenquique, Jal.



Fig. 6.7 Matorral secundario de Acacia farnesiana y A. pennatula, con Mertensia geometrizans y Opuntia spp., cerca de Sayula, Jal.

6.1.3 Bosque de oyamel.- El bosque de Abies religiosa fue observado únicamente en el macizo montañoso de los volcanes, a altitudes entre 2600 y 3000 metros s.n.m. El estrato superior mide de 20 a 35 metros de altura y su cobertura suele ser mayor de 75%. En este estrato, los oyameles (Abies religiosa)-comparten la dominancia con Alnus firmifolia, Quercus rugosa, Q. laurina, Pinus chihuahuana y P. douglasiana. Por arriba de los 2900 metros de altitud, las dos especies de pinos arriba mencionadas, se ven reemplazadas por Pinus hartwegii.

Suele haber un estrato de latifoliadas siempreverdes, de 2 a 5 metros de alto, en el que frecuentemente domina Salix taxifolia. Un estrato de hierbas, de 10 a 50 cm., alcanza coberturas del 6 al 25%. Es notable la presencia de musgos y líquenes (ver. Fig. 6.4).

En algunos lugares dentro del área del bosque de oyamel, se observó la presencia de bosquetes de Buddleja cordata, de 10 a 20 metros de altura y de coberturas muy variables. Es bastante probable que estas comunidades sean de origen secundario.

6.1.4 Bosque mesófilo de montaña.- Este tipo de vegetación se observó exclusivamente en el macizo montañoso de los volcanes y en la Sierra de Tapalpa, a altitudes entre los 1800 y los 2800 m.s.n.m., ocu-

pando las barrancas y los sitios más húmedos.

El estrato superior mide de 20 a 35 metros de alto, está formado por latifoliadas perennifolias y cubre más del 75% del área. Puede haber algunas aciculifolias en este estrato, como Abies aff. guatemalensis var. jaliscana, A religiosa, Pinus pseudostrobus, P. michoacana var. Quevedoi, P. chihuahuana P. douglasiana y P. montezumae, pero en su conjunto estos elementos no alcanzan a cubrir más del 5% del área.

Un segundo estrato arbóreo, formado por latifoliadas siempreverdes de 10 a 20 metros de altura cubre más del 50% del área. Puede o no presentarse un tercer estrato arbóreo de 5 a 10 metros de alto, también de latifoliadas perennifolias con coberturas del 6 al 25%. Un último estrato de latifoliadas siempreverdes de 2 a 5 metros de altura, presenta coberturas del 6 al 50%. El estrato herbáceo de 10 a 50 cm. de altura, varía mucho en su cobertura, registrándose valores desde 1 hasta 50%. Es notable el desarrollo de musgos, líquenes, epífitas y trepadoras (ver Fig. 6.5).

En estas comunidades no existe una franca dominancia de unas especies sobre otras. Los elementos más frecuente encontrados son: Ostrya virginiana, Carpinus carolineana, Tilia mexicana y Ternstroemia pringlei.

6.1.5 Zacatal.- Dentro de la zona de estudio, es posible distinguir tres tipos de comunidades dominadas por formas graminiformes:

I. Los zacatonales de Festuca amplissima, F. toluensis, Calamagrostis erectifolia, C. toluensis y Muhlenbergia quadridentata, que ocupan las partes más altas de los volcanes de Fuego y Colima. Estos zacatonales se interdigitan con el bosque de Pinus hartwegii.

II. Alrededor de la Laguna de Sayula, se observó un pastizal halófilo dominado por Distichlis spicata.

III. Los pastizales secundarios que se presentan dentro de las zonas de bosques y que aparentemente se conservan mediante los incendios periódicos, suelen estar dominados por dos o tres especies de los géneros: Muhlenbergia, Andropogon, Heteropogon y Bouteloua. Las áreas más extensas de pastizales secundarios se observaron en la Mesa del Tigre, al Noroeste de Cd. Guzmán, y en la Mesa de los Espinos, al Norte de Tapalpa, Jal. (ver Fig. 6.8).

6.1.6 Matorral secundario.- Bajo este rubro se describen dos tipos de comunidades que a juzgar por su estructura y su distribución, parecen ser de origen secundario, además de que su estructura y composición



-Fig. 6.8 Pastizal inducido, a 2000 m.s.n.m., en la Mesa del Tigre, a 25 km al Noroeste de Cd. Guzmán, Jal.



- Fig. 6.9 Tular en la orilla de la Laguna de Zapotlán, a 5 km. al Norte de Cd. Guzmán, Jal.

florística no coincide con la descripción que hacen Rzedowsky Mc Vaugh (op. cit.) del matorral subtropical.

- I. El matorral está compuesto principalmente, y en muchos casos exclusivamente, por latifoliadas perennifolias, que forman un estrato de 1 a 2 metros de altura, con una cobertura mayor del 75%. Este tipo de matorral ocupa áreas muy pequeñas dentro de la zona de bosque de pino y encino. Suelen ser dominantes Baccharis heterophylla, y en menor medida Senecio spp.

- II. Las comunidades arbustivas que se presentan a menor altitud que el tipo de comunidad descrito anteriormente, están formadas por latifoliadas de hoja decídua, las cuales constituyen un estrato superior de 2 a 5 metros de altura, con coberturas que van del 10 al 75%. En este mismo estrato pueden estar presentes elementos que conservan su follaje casi hasta el final de la época de secas, como Dodonaea viscosa, así como también algunos elementos crasicaules como Opuntia spp., Myrtillocactus geométrizans y Lemaireocereus spp. Suele estar presente un estrato de 0.5 a 2 metros de altura formado por latifoliadas caducifolias principalmente, pero que puede incluir elementos crasicaules y crasirosulifolios, como Agave sp. La cobertura de este

estrato es muy variable de una comunidad a otra, habiéndose obtenido valores de menos de 5% y de más del 75%.

El estrato inferior, formado por elementos graminiformes y hierbas, es también bastante variable en su cobertura, oscilando entre el 6 y el 75%. Las especies que dominan con mayor frecuencia en estas comunidades son Acacia farnesiana, A. pennatula, y Dodonaea viscosa (ver Fig. 6.7).

Aunque estas comunidades parecen ocupar áreas anteriormente cubiertas por el bosque tropical caducifolio, es probable que por lo menos algunas, correspondan al tipo de vegetación que Rzedowsky y Mc Vaugh (1966) describieron como matorral subtropical, o bien a comunidades secundarias derivadas de este matorral.

- 6.1.7 Vegetación acuática y semiacuática.- Se reconocieron dos tipos de comunidades ligadas al suelo permanente o temporalmente inundado, o con nivel freático próximo a la superficie: una franja de tular, que rodea la Laguna de Zapotlán, ubicada unos 5 km al Norte de Cd. Guzmán (ver Fig. 6.9) y las comunidades arbustivas y/o herbáceas asociadas a algunos cuerpos de agua. En este tipo de comunidades que podríamos llamar riparias, suelen estar presentes Baccharis glutinosa y Salix taxifolia, las cuales

son las dominantes en algunos sitios.

A lo largo de arroyos permanentes o intermitentes, suelen presentarse galerías de Prunus capuli, Crataegus pubescens, y Salix spp.

6.2 Mapas detallados de algunas zonas.

Como se discute más ampliamente en el Capítulo 7, no fue posible obtener un cubrimiento fotográfico completo de la zona y por otra parte, la presencia de nubes y sus sombras inutilizaron aproximadamente 500 km². Por este motivo, sólomente se mapearon alrededor de 2000 km², de los cuales aproximadamente la mitad corresponden a zonas agrícolas. A continuación se presentan tres reducciones (escala aproximada 1:80000) de los mapas originales a escala 1:50000.

El mapa 1 corresponde a la porción de la Sierra de Tapalpa ubicada al Oeste de la Presa del Roble, la cual aparece en el extremo derecho del mapa. Esta parte de la sierra alcanza altitudes de hasta 2400 m.s.n.m. A lo largo de la parte más alta de esta cordillera de orientación N-S, se extiende un bosque de pinos y encinos, el cual cambia a encinos y pinos al pasar de la vertiente oriental a la occidental de la sierra.

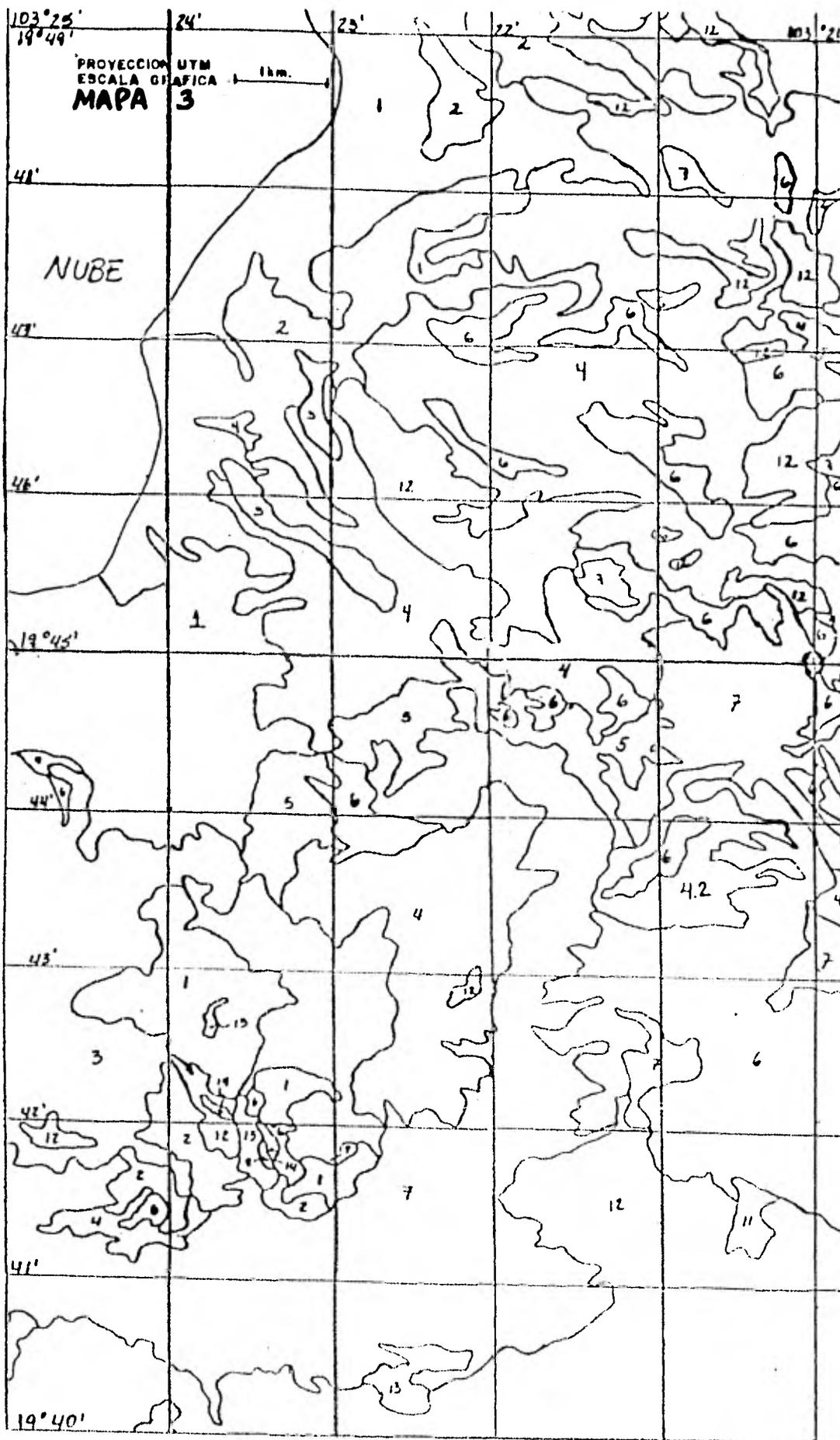
Al descender por la vertiente occidental existe un cambio gradual a bosque bajo de encinos subcaducifolios, el cual entra en contacto con el bosque tropical caducifolio a lo largo de un ecotono que no coincide con ninguna curva de nivel, ya que en las exposiciones Norte, el bosque de encinos subcaducifolios desciende hasta los 1300 m., mientras que en las pendientes orientadas hacia el Sur,

el ecotono se establece como a los 1600 m. Estas observaciones fueron hechas sobre los mapas originales escala 1:50000, a los cuales se les sobrepuso su respectivo mapa topográfico en forma de un positivo transparente.

Los mapas 2 y 3 corresponden a la Sierra del Tigre, ubicada al Noreste de Cd. Guzmán (ver Fig. 4.1). En estos mapas es posible observar el profundo impacto de las actividades humanas sobre la vegetación. En zonas con este grado de alteración, se requiere de mucho detalle para representar el intrincado mosaico de comunidades secundarias intercaladas con comunidades con diversos grados de perturbación.

Para facilitar su ubicación, así como su correlación con otros mapas, estos mapas presentan una rejilla de coordenadas geográficas cada minuto.

Debido a que las variaciones de los estratos inferiores solo pudo ser observada en las fotografías ahí donde el estrato superior se presenta relativamente abierto, la delimitación de los bosques se llevó a cabo con base en las características del estrato superior exclusivamente. Por esta razón, las unidades reconocidas en las fotografías no corresponden, más que en parte, a las comunidades descritas en la sección 6.1. A continuación se describen las unidades representadas en estos mapas.



UNIDADES REPRESENTADAS:

1. Bosque de pinos y encinos.- Comunidad arbórea cuyo estrato superior está dominado por Pinus spp. y elementos de Quercus spp. cubren más del 25% del área de este estrato.
2. Bosque de encinos y pinos.- Comunidad arbórea cuyo estrato superior está dominado por elementos siempreverdes del género Quercus, y elementos de Pinus spp. cubren más del 25% del área de este estrato.
3. Bosque de pinos.- Comunidad arbórea dominada por Pinus spp. puede haber otros elementos en el estrato superior, pero en su conjunto cubren menos del 25% del área.
4. Bosque de encinos.- Comunidad arbórea cuyo estrato superior está dominado por elementos perennifolios y subperennifolios del género Quercus. Puede haber otros elementos en el estrato superior, pero en su conjunto cubren menos del 25% del área.
5. Bosque de encinos subcaducifolios.- Comunidad arbórea, generalmente baja (de 5 a 10 metros), dominada por elementos subcaducifolios del género Quercus.
6. Bosque tropical caducifolio.
7. Pastizal.- Comunidad dominada por formas gramínoideas. Puede haber arbustos o árboles, pero en su conjunto cubren menos del 25% del área.

8. Matorral.- Comunidad arbustiva de cobertura variable. Puede haber árboles y/o pequeñas áreas de pastizal, pero en su conjunto cubren menos del 25% del área.
9. Cuerpos de agua.
10. Cultivo en pie.
11. Area erosionada.
12. Area urbana.
13. Suelo agrícola sin cultivo en pie.
14. Area sin vegetación aparente. Incluye fondos de cuenca y bancos de material.
15. Comunidad riparia.- Comunidad arbustiva asociada a cuerpos de agua.

6.3 Resultados del análisis digital de los datos Landsat.

En la Tabla 6.1 se presenta para cada espectral, el número de elementos o pixels que se encuentran en los polígonos de cada una de las categorías definidas en los mapas elaborados a partir de las fotos aéreas. En esta tabla también se aprecia el número de pixels muestreados por clase espectral. Obsérvese que las clases 9,35,39 y 54 no fueron satisfactoriamente representadas, por lo que su identidad fue determinada mediante el análisis analógico descrito en la sección 5.7.6.

36	52	43	0	75	64	0	7	10	0	91	97	0	0	0	475
37	41	7	3	41	335	1804	2	1239	1	0	44	0	0	0	3574
38	0	0	0	3	0	0	135	208	0	92	615	21	15	0	1089
39	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	237	5	0	0	0	242
41	0	0	0	0	0	0	0	0	481	0	0	0	0	0	481
42	3	0	0	0	0	0	2	3	0	101	223	7	1	0	340
43	0	0	0	0	0	4	0	0	27	0	0	0	0	0	31
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	536	0	50	0	614
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113	292	0	5	0	413
46	0	0	0	0	0	1	2	40	0	4	315	58	0	0	420
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	250
48	0	0	0	0	0	0	0	21	0	2	164	292	0	0	479
49	0	0	0	1	0	0	4	46	0	21	273	61	1	0	407
50	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	13	0	0	0	15
51	59	773	53	50	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	991
52	143	1843	27	27	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2244
53	0	681	0	20	1	0	0	0	0	1	4	0	0	0	707
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
55	0	160	0	3	0	0	0	0	0	25	10	0	0	0	215
56	41	127	14	23	22	0	0	0	0	76	25	0	0	0	328

BPG = bosque de pinos y encinos.

BQP = bosque de encinos y pinos.

BP = bosque de pinos.

BQ = bosque de encinos perennifolios y subperennifolios.

BQCD = bosque de encinos subcaducifolios.

BD = bosque tropical caducifolio.

PA = pastizal.

MA = matorral.

CUI = cultivos en pie.

SA = suelo agrícola.

AU = área urbana.

ER = erosión.

IV = área desprovista de vegetación.

TABLA 6.2 FRECUENCIAS RELATIVAS
% de pixels en categoría:

#	OLS.	BPC	BQP	BF	BO	BI	BD	BA	BA	BA	CU	SA	AD	SA	EV
1	0.8	0.8	0.3	9.4	4.3	7.3	30.3	44.8	-	0.5	1.1	0.3	0.3	-	-
2	0.3	0.1	-	0.2	0.3	0.3	27.6	39.3	-	2.7	19.7	4.5	3.6	-	-
3	0.2	0.1	0.1	5.4	1.8	14.8	12.5	62.4	-	0.5	1.7	-	0.5	-	-
4	1.7	0.8	0.6	13.2	0.4	0.5	6.8	25.5	-	11.6	32.8	9.7	0.4	-	-
5	0.1	-	-	0.1	-	-	-	1.0	-	1.2	96.6	0.7	0.4	-	-
6	40.0	19.3	15.8	0.0	17.2	0.4	0.1	0.6	-	-	-	-	-	-	-
7	10.3	5.5	2.3	23.6	21.8	5.5	0.9	30.0	-	-	-	-	-	-	-
8	0.1	-	-	-	-	0.1	1.9	3.5	-	3.0	77.4	13.2	0.8	-	-
9*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	3.2	1.6	0.4	15.9	17.8	14.1	0.1	40.7	-	-	-	-	-	-	-
11	14.9	5.3	3.7	23.3	32.7	1.6	9.7	10.2	-	2.5	5.1	0.6	-	-	-
12	3.2	1.5	0.6	14.3	7.9	2.6	30.3	39.6	-	2.5	5.6	1.8	0.1	-	-
13	16.1	69.2	4.4	3.7	3.3	-	0.1	-	-	0.3	2.9	0.1	-	-	-
14	19.0	23.7	22.9	0.6	22.7	0.9	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-
15	16.0	29.1	10.3	9.2	36.8	2.3	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	4.0	-	1.1	81.7	11.2	-	2.3	-
17	-	-	-	0.1	-	-	0.3	1.3	-	0.9	93.5	3.7	0.3	-	-
18	0.2	1.6	0.8	17.5	21.3	0.0	5.7	7.0	-	10.4	19.2	2.2	-	-	-
19	21.6	24.7	26.8	0.6	20.1	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
20	5.1	2.3	2.1	23.0	18.2	0.5	0.9	36.3	-	0.1	0.6	-	-	-	-
21	10.9	4.4	3.7	10.9	34.3	12.3	0.4	10.0	-	-	-	-	-	-	-
22	55.4	21.1	12.9	3.4	2.2	0.2	0.4	-	-	0.1	0.4	-	-	-	-
23	34.7	8.9	14.8	14.0	10.8	0.7	1.0	3.7	-	0.1	0.4	-	-	-	-
24	45.0	15.6	5.0	10.0	13.8	-	0.8	1.3	-	1.0	0.8	0.2	-	-	-
25	-	0.0	-	1.0	-	1.9	34.4	37.0	-	2.5	10.2	0.3	3.4	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	20.4	13.4	11.2	10.5	31.7	2.6	0.5	2.0	-	-	-	-	-	-	100.0
28	-	-	0.1	1.7	3.0	30.7	-	54.2	-	-	1.2	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	01.0	38.6	-	-	-	100.0
31	-	-	-	1.0	0.4	-	1.0	1.0	-	47.7	41.6	0.2	-	-	-
32	0.1	-	-	4.1	2.1	20.0	1.4	13.4	-	-	2.0	-	0.2	-	-
33	0.2	0.1	-	0.2	0.1	0.1	12.4	12.7	-	2.9	50.0	13.5	2.6	-	-

34	0.4	0.3	-	3.4	-	0.3	0.9	12.8	-	5.6	71.5	2.3	2.0	-
35*														
36	17.3	9.1	1.3	15.8	13.5	-	1.5	2.1	-	19.2	20.4	-	-	-
37	1.1	0.2	0.1	1.1	9.4	50.5	0.1	34.7	-	-	1.2	-	-	-
38	-	-	-	0.3	-	-	12.4	19.1	-	8.4	56.5	1.9	1.4	-
39*														
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	97.9	2.1	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-	-	-	100.0	-	-	-	-	-
42	0.9	-	-	-	-	-	0.6	0.9	-	29.7	69.6	2.1	0.3	-
43	-	-	-	-	-	12.9	-	-	87.1	-	-	-	-	-
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.6	87.3	-	8.1	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27.4	70.7	-	1.9	-
46	-	-	-	-	-	0.2	0.5	9.5	-	1.0	75.0	13.8	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.0	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-	-	4.4	-	0.4	34.2	61.0	-	-
49	-	-	-	0.3	-	-	1.0	11.3	-	5.8	67.1	15.0	0.3	-
50	-	-	-	-	-	-	-	6.7	-	6.7	56.7	-	-	-
51	6.0	79.0	5.3	6.1	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	5.4	89.1	1.0	3.9	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	-	96.3	-	2.8	0.1	-	-	-	-	0.1	0.6	-	-	-
54*														
55	-	78.6	-	1.4	-	-	-	-	-	11.0	3.4	-	-	-
56	12.5	30.7	4.3	7.0	0.7	-	-	-	-	23.2	7.6	-	-	-

* la identidad de estas clases se determinó a través del análisis analógico de la imagen clasificada.

TABLA C.3 ASIGNACIONES Y PRECISIONES.

CLS.

1. MA 44.8 ; VL 52.1 ; VD/P 52.3%.
2. MA 39.3 ; VL 39.6 ; VD/P 67.2%.
3. MA 62.4 ; VD 77.3 ; VD/P 69.8%.
4. SA 32.8 ; SA/C 44.4%.
5. SA 96.6 ; SA/C 97.8%.
6. BFG 40.0 ; BA 55.6 ; BSV 81.7 ; BFASD 90.9%.
7. BQ 23.6 ; BL 50.9 ; BSV 41.7 ; BFASD 63.5%.
8. SA 77.4 ; SA/C 97.8%.
9. clase presente únicamente en el leche de la Laguna de Sagula (SV).
10. MA 40.7 ; VD 60.8 ; VD/P 60.9%.
11. BQ 23.3 ; BL 51.3 ; BSV 47.2 ; BFASD 69.9%.
12. MA 39.6 ; VL 42.2 ; VD/P 62.5%.
13. BQP 69.2 ; BL 76.2 ; BSV 93.4 ; BFASD 90.7%.
14. BQP 23.7 ; BL 53.0 ; BSV 70.6 ; BFASD 95.5%.
15. BQSD 36.8 ; BL 71.1 ; BFASD 97.4%.
16. SA 81.7 ; SA/C 82.6%.
17. SA 93.5 ; SA/C 94.3%.
18. BQSD 21.3 ; BL 40.4 ; BFASD 41.4%.
19. BP 26.2 ; BA 48.8 ; BSV 79.7 ; BFASD 99.8%.
20. MA 36.2 ; VD/P 48.6 ; BFASD 90.7%.
21. BQSD 34.3 ; BL 49.0 ; BFASD 64.2%.
22. BFG 55.4 ; BA 66.3 ; BSV 81.8 ; BFASD 99.0%.
23. BQP 34.7 ; BA 49.5 ; BSV 73.0 ; BFASD 89.3%.
24. BQ 45.0 ; BA 53.9 ; BSV 79.5 ; BFASD 93.3%.
25. MA 37.8 ; VL 39.7 ; VD/P 74.1%.
26. DV 100%.
27. BQSD 31.7 ; BL 61.0 ; BFASD 93.2%.
28. MA 54.2 ; VD 91.3 ; VD/P 93.3%.
29. DV 100%.
30. CUL 61.2 ; SA/C 99.8%.
31. CUL 47.7 ; SA/C 90.3%.
32. MA 63.4 ; VD 90.2 ; VD/P 91.6%.
33. SA 50.2 ; SA/C 59.1%.
34. SA 71.5 ; SA/C 77.1%.
35. clase presente únicamente en el leche de la Laguna de Sagula (LV).

36. SA 20.4 ; SA/C 39.0 ; BL 38.4 ; BSV 43.5 ; BPaSD 57.0%.
37. BD 50.5 ; VD 85.2 ; VE/P 25.3%.
38. SA 56.5 ; SA/C 64.9%.
39. AGUA 100%.
40. CUL 97.9 ; SA/C 100%.
41. AGUA 100%.
42. SA 65.6 ; SA/C 95.3%.
43. AGUA 87.1%.
44. SA 87.3 ; SA/C 91.9%.
45. SA 70.7 ; SA/C 88.1%.
46. SA 75.0 ; SA/C 70.0%.
47. CUL 100%.
48. AS 61.0 ; AS+SA 95.2%.
49. SA 67.1 ; SA/C 72.2%.
50. SA 66.7 ; SA/C 93.4%.
51. BQP 78.0 ; BL 88.7 ; BSV 95.4 ; BPaSD 100%.
52. BQP 82.1 ; BL 88.2 ; BSV 95.4 ; BPaSD 95.0%.
53. BQP 96.3 ; BL 99.2 ; BSV 99.1 ; BPaSD 99.2%.
54. clase presente exclusivamente en las áreas agrícolas (SA/C).
55. BQP 78.0 ; BL 80.0 ; BSV 80.0 ; BPaSD 80.0%.
56. BQP 30.7 ; BL 45.7 ; BSV 67.9 ; BPaSD 89.2%.

VD = vegetación caducifolia, incluye VA y VB.

VE/P = vegetación caducifolia y/o pastizal, incluye VA, VE y VB.

SA/C = suelo agrícola y, ó cultivos en pie.

BL = bosque de latifolias, incluye BQP, BQ, y BQD.

BA = bosque de aciculifolias, incluye BQP y BF.

BSV = bosque siempre verde, incluye BQP, BQD, BF, y BQ.

BPaSD = bosque perennifolio a subcaducifolio, incluye BQP, BQD, BF, BQ, y BQD.

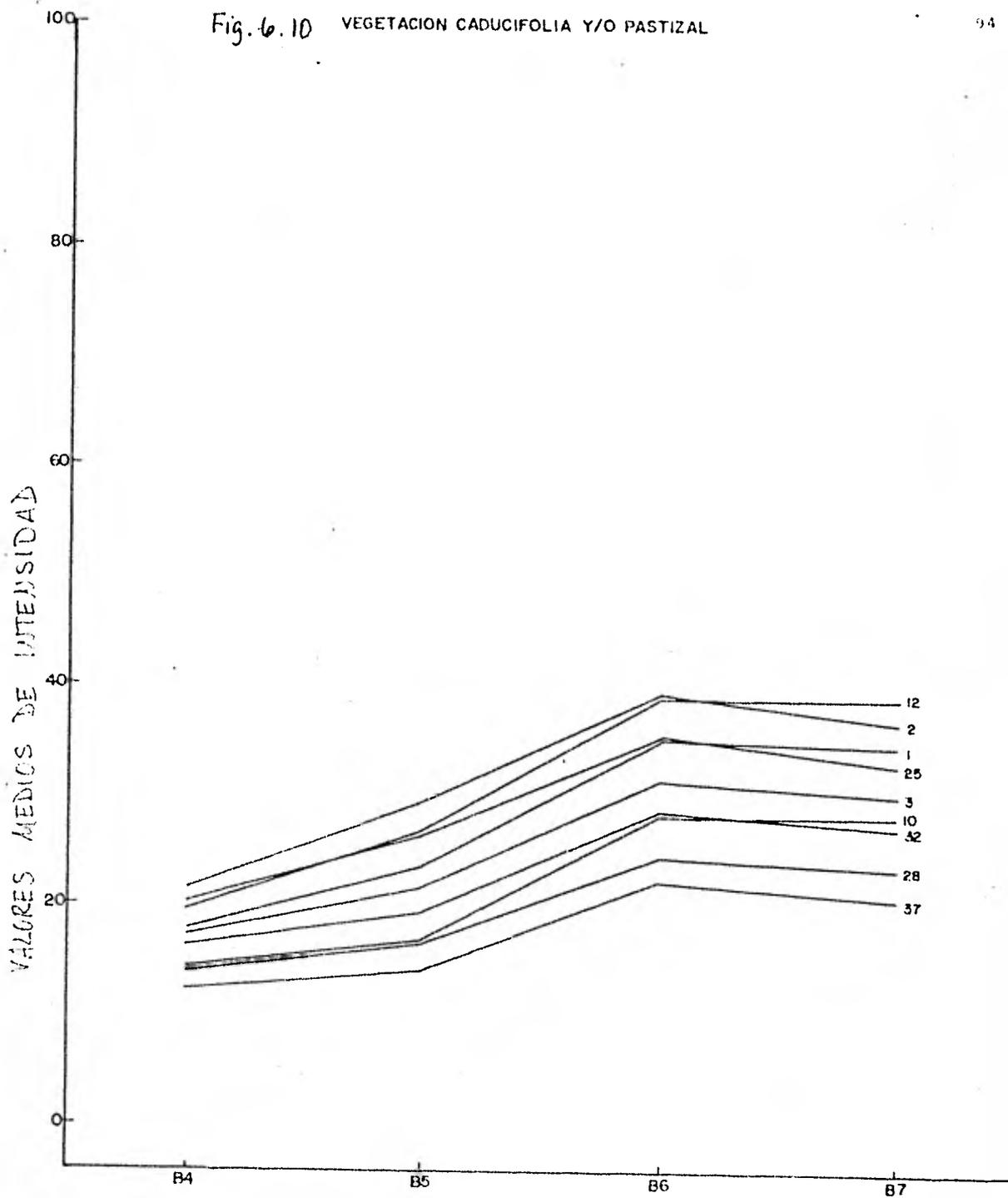
En la Tabla 6.2 se presenta el porcentaje de los elementos de cada clase, que se encuentra dentro de los polígonos de cada una de las categorías. Las únicas clases que corresponden exclusivamente a una sola categoría son las clases 26 y 29, claramente asociadas a áreas sin vegetación aparente (DV), y la clase 41 que corresponde a los cuerpos de agua.

Para ilustrar el proceso de determinar la identidad de las demás clases y de como se definió su valor informativo, se elaboró la Tabla 6.3, en la que se puede observar que la clase 1 se presenta mayormente en los matorrales, pero que el 82.3% de sus elementos muestreados representan áreas con matorral, bosque tropical caducifolio y pastizal. Si se define una categoría informativa que resulte de la unión de estos tres tipos de vegetación, las clases 2, 10 y 12 la representan con precisiones mayores del 60%, que es la máxima precisión con que estas tres clases logran representar una categoría informativa (ver Tabla 6.2). Por otra parte, las clases 1, 3, 25, 28, 32 y 37 logran más del 74% de precisión, y las clases 3, 28 y 32 más del 89%.

De esta forma quedó conformada la categoría de vegetación caducifolia y/o pastizal, mediante la unión de las clases 1, 2, 3, 10, 12, 25, 28, 32 y 37. Sus patrones de respuesta espectral se presentan en la Fig. 6.10.

Estos patrones son una representación gráfica de los

Fig. 6.10 VEGETACION CADUCIFOLIA Y/O PASTIZAL



valores medios de intensidad de la energía reflejada en cada una de las cuatro bandas espectrales en las que registran los barredores multiespectrales de los satélites Landsat.

La banda 4 (de 0.5 a 0.6 micrones de longitud de onda) corresponde a la región del verde; la banda 5 (de 0.6 a 0.7 micrones) corresponde a la región del rojo, y las bandas 6 (de 0.7 a 0.8) y 7 (de 0.8 a 1.1 micrones) corresponden a la región del infrarrojo cercano (Taranik 1978).

Las clases 4, 5, 8, 16, 17, 30, 31, 33, 34, 38, 42, 44, 45, 46, 49, 50 y 54 se presentan tanto en los polígonos de suelos agrícolas (SA), como en los de cultivos (CUL). La categoría "suelos agrícolas sin cultivo" quedó conformada por la unión de las clases 4, 5, 8, 16, 17, 33, 34, 38, 42, 44, 45, 46, 49, 50 y 54.

Sus patrones de respuesta espectral se presentan en la Fig. 6.11. La categoría "cultivos" quedó conformada por la unión de las clases 30, 31, 40, 42, 44 y 47 (ver. Fig. 6.12).

En la Tabla 6.3 se puede apreciar que únicamente las clases 13, 51, 52, 53 y 55 presentan más del 60% de sus elementos muestreados asociados a un determinado tipo de bosque. Por otra parte, todas estas clases corresponden al bosque de encinos y pinos (BQP), y ningún otro tipo de bosque presenta clases espectrales exclusivas. Lo que es más, tampoco es posible definir las categorías

Fig. 6.11

SUELOS AGRICOLAS

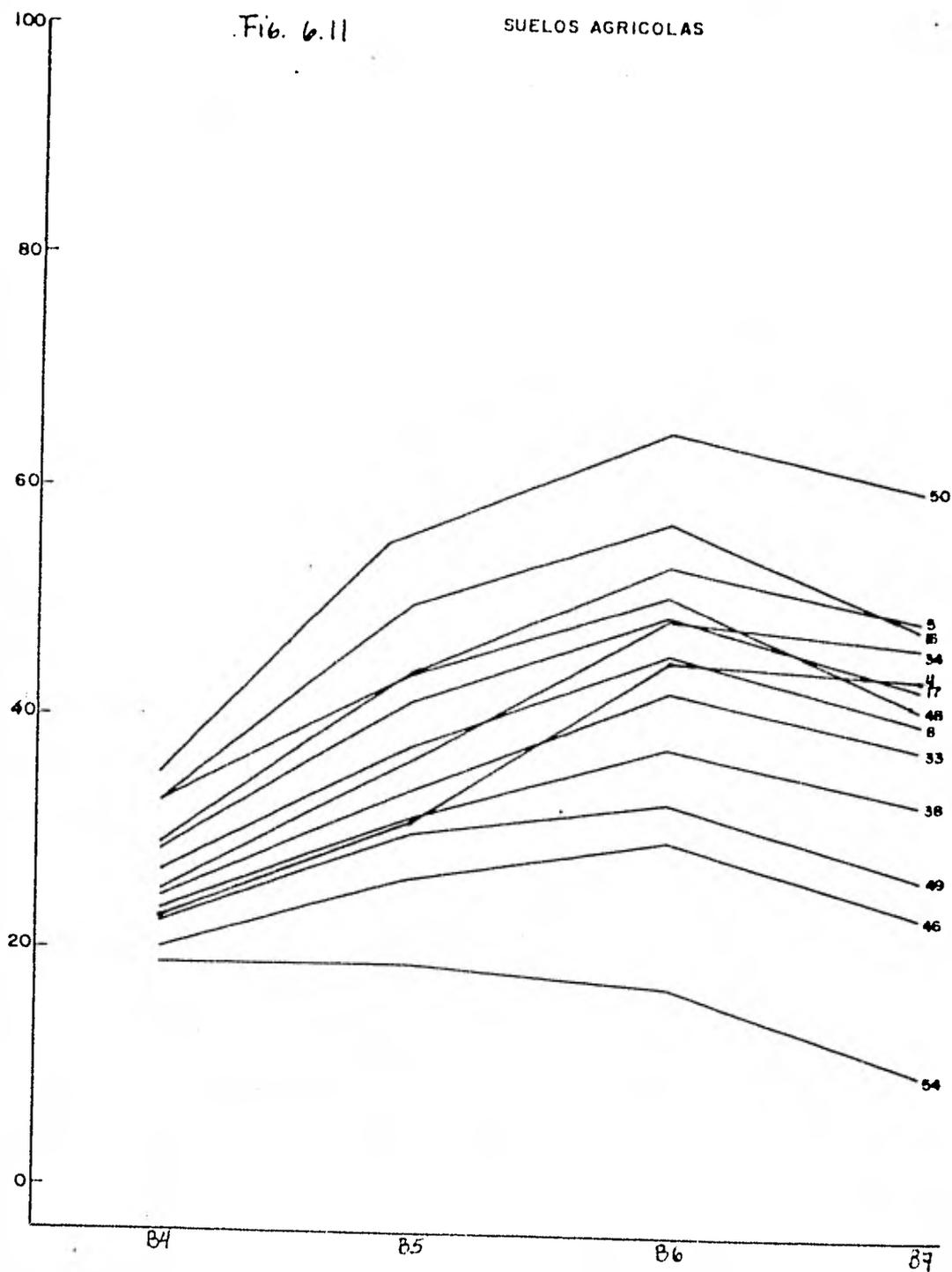
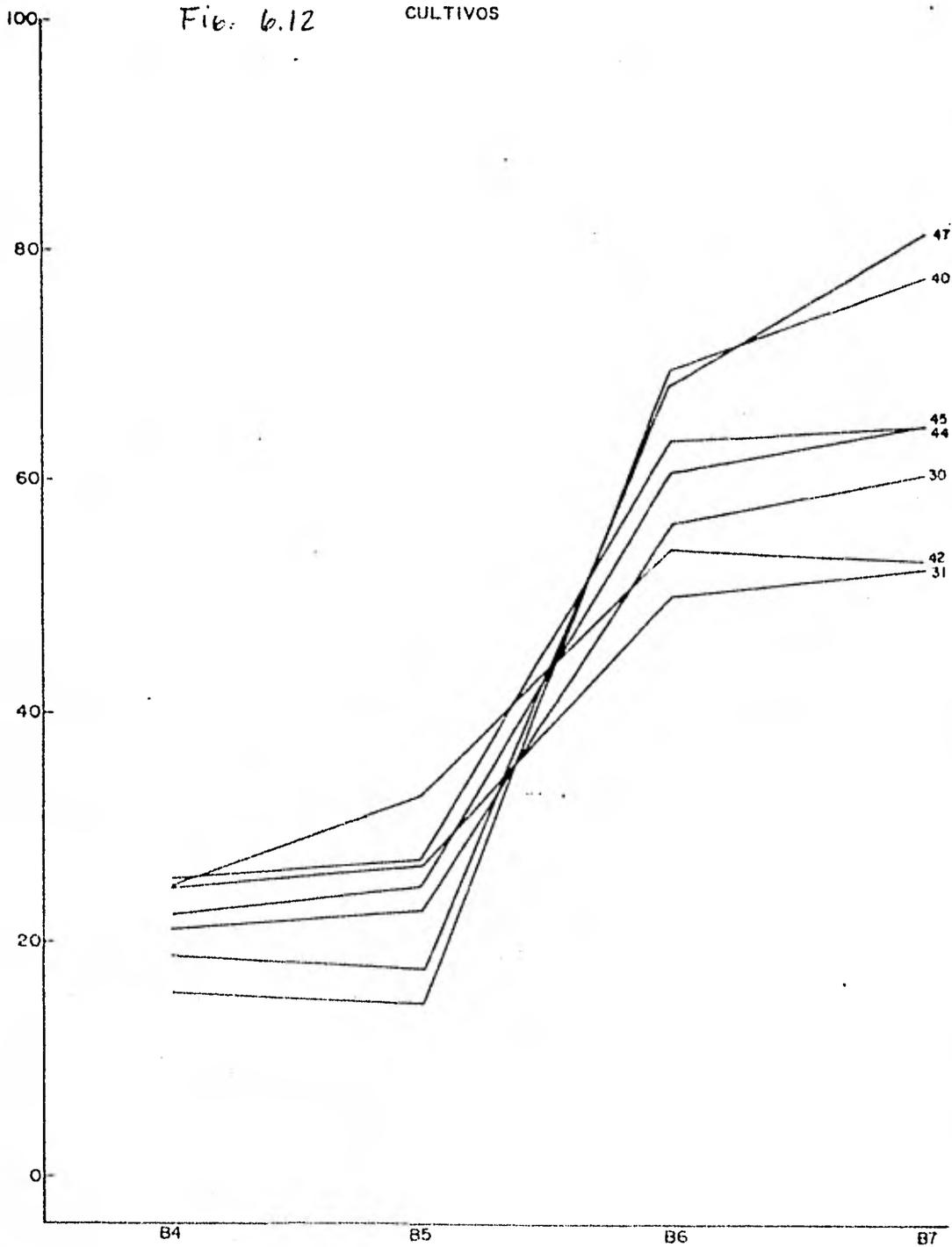


Fig. 6.12

CULTIVOS



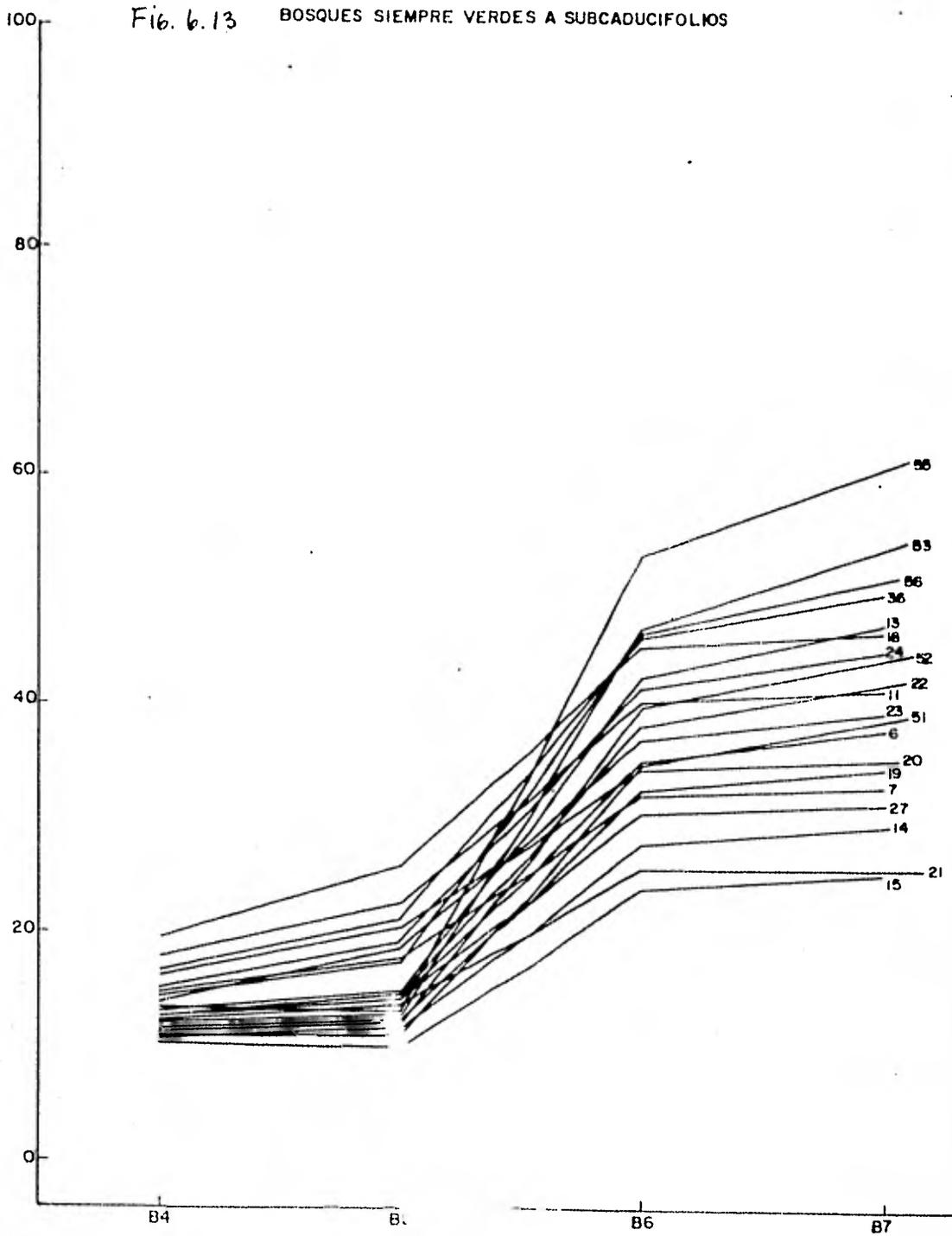
"bosque de aciculifolias" y "bosque de latifoliadas", ya que la precisión lograda sería del orden del 60%.

La categoría "bosque siempreverde", conformada por la unión de los bosques de pinos y encinos, encinos y pinos, pinos y encinos perennifolios, permite mayores precisiones, pero las clases 7, 11, 36, y 56 logran precisiones inferiores al 63%. Fue necesario establecer la categoría más general de "bosque perennifolio a subcaducifolio", conformada por la unión de todos los tipos de bosque, con excepción del bosque tropical caducifolio. De esta forma, de las 20 clases espectrales asociadas a bosques, 13 alcanzan precisiones mayores de 80%, y 10 superan el 93%.

La variabilidad espectral de esta categoría informativa puede ser apreciada en la Fig. 6.13, donde se presentan los patrones de las clases espectrales asignadas a esta categoría.

El análisis analógico (ver sección 5.7.6) demostró que la topografía es responsable de la mayor parte de la variabilidad espectral de los bosques. Esto se debe a que los satélites Landsat adquieren las imágenes alrededor de las 10 horas A.M. hora local, por lo que el ángulo de elevación solar con que fue registrada la imagen (del 22 de marzo de 1981), era de tan solo 49 grados. Esto, aunado a la abrupta topografía de la zona, determinó que las diferencias de iluminación de las diferen-

Fig. 6.13 BOSQUES SIEMPRE VERDES A SUBCADUCIFOLIOS



tes exposiciones y pendientes, enmascararan las diferencias de reflectancia espectral existentes entre los bosques.

Como puede observarse en las Tablas 6.1 y 6.2, las áreas urbanas (AU) y las erosionadas (ER) no pudieron ser diferenciadas de las áreas agrícolas y solo en parte se representaron como áreas sin vegetación aparente (DV). Esta categoría informativa quedó conformada por la unión de las clases 9,26,29 y 35. Los patrones de estas clases se presentan en la Fig. 6.14.

La categoría "cuerpos de agua" está formada por la unión de las clases 39,41 y 43 (ver Fig. 6.15).

6.4 Mapa general de la zona de estudio.

El mapa de clases espectrales fue convertido al mapa de vegetación correspondiente, al graficar, mediante una impresora electrostática, cada clase espectral con el patrón o gama correspondiente a la categoría informativa a la que fue asignada. Este mapa fue impreso a las escalas de 1:100000, 1:150000, 1:200000, y 1:250000. Debido a las limitaciones de la impresora electrostática, la representación a escala 1:250000 que se anexa a este trabajo, no muestra la rejilla completa. Esta rejilla es de coordenadas métricas UTM, ya que no fue posible construir en forma digital, una rejilla de coordenadas geográficas. La distancia entre las líneas de la rejilla es

Fig. 6.14 AREAS SIN VEGETACION APARENTE

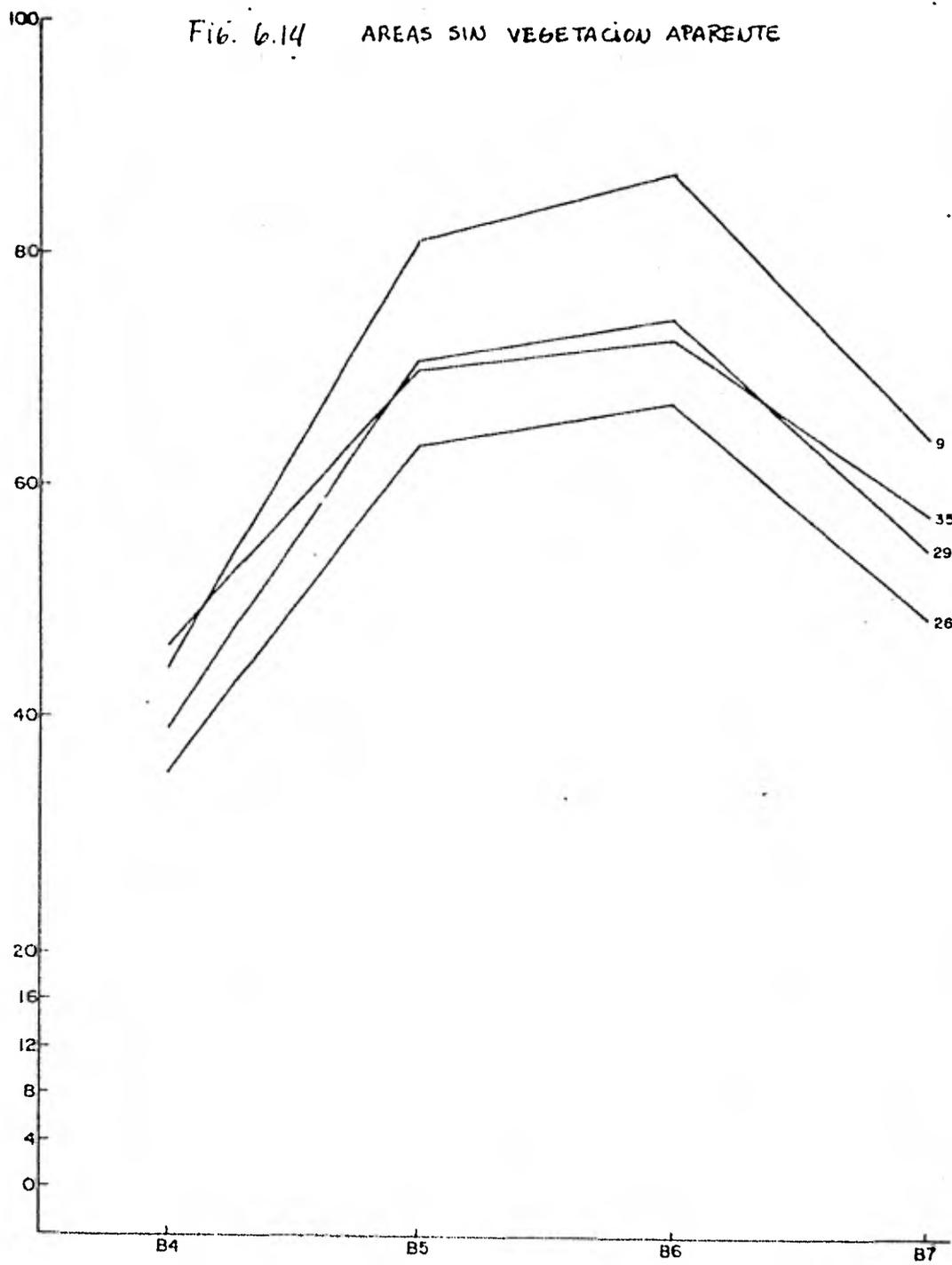
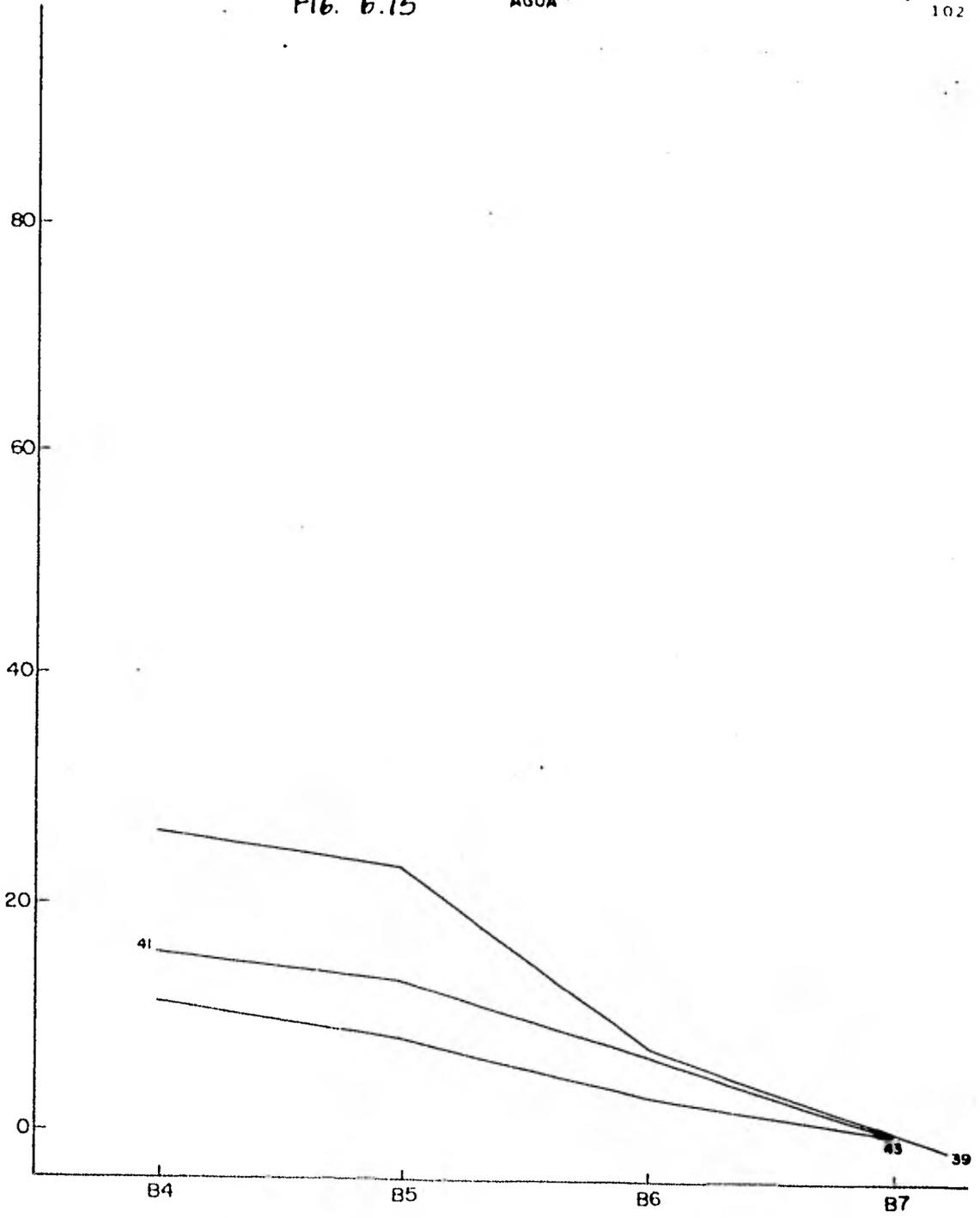


Fig. 6.15

AGUA



de 10000 metros y sirve tanto de referencia de la escala, como para medir distancias.

A continuación se describen las categorías representadas en este mapa, así como su correspondencia con las unidades descritas en las secciones 6.1 y 6.2:

1. Bosque perennifolio a subcaducifolio (BPasD).- Comunidad arbórea que conserva por lo menos el 25% de su follaje durante la temporada de secas. Esta categoría incluye todas las comunidades descritas en la sección 6.1 bajos los rubros de "bosque de pinos y encinos", "bosque de oyameles" y "bosque mesófilo de montaña". Corresponde a la unión de las categorías BPQ, BQP, BP, BQ y BQSD descritas en la sección 6.2.
2. Vegetación caducifolia y/o pastizal (VD/P).- Comunidad arbórea, arbustiva o herbácea que no presenta follaje verde hacia el final de la temporada de secas. Esta categoría comprende al bosque tropical caducifolio, así como los matorrales y pastizales.
3. Suelo agrícola sin cultivo en pie (SA).- Area dedicada a la agricultura de riego o de temporal, pero que no presenta cultivos en pie.
4. Cultivos (CUL).- Areas agrícolas que presentaban cultivos en pie el día que fue tomada la imagen Landsat.

5. Area sin vegetación aparente (DV).- Area con vegetación muy escasa o no aparente. Incluye fondos de cuencas, áreas urbanas en parte y áreas erosionadas en parte.
6. Cuerpo de agua (AGUA).- Incluye presas y bordos.

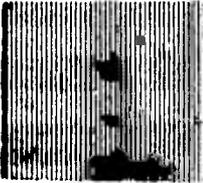
SIMBOLOGIA:



BOSQUE SEMIINFOLIO A SUPERCALUCIFOLIO.



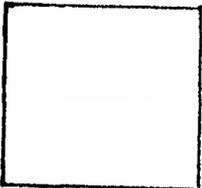
VEGETACION CALUCIFOLIA Y/O BASTIZAL.



CERRO AGRICOLA SIN CULTIVO.



CULTIVOS EN PIE.



AREAS SIN VEGETACION APARENTE.



CUERPOS DE AGUA.

7. DISCUSION.

La intención original del estudio fue la de conjuntar información fitocenológica recabada en campo, con fotografías aéreas y datos multiespectrales Landsat, todos adquiridos durante el mismo mes del mismo año. Esto con el fin de que la fenología de la vegetación, así como la del paisaje en general fuera la misma. Por otra parte, se determinó que la mayoría de las imágenes libres de nubes que habían sido adquiridas sobre la zona de estudio, son del mes de Marzo. De esta forma, se decidió efectuar el trabajo de campo en Marzo de 1981 y se planeó asimismo, la compra de las imágenes que fueran adquiridas durante ese mes, así como la toma de las fotografías aéreas.

Aun cuando hubiera sido ideal recabar toda la información de campo durante Marzo de 1981, esto no fue posible. Los mapas y las fotografías aéreas con los que se ubicaron las primeras observaciones, eran de 1971. Los desmontes, quemas y nuevos caminos que no aparecían en estas fotos, dificultaron la ubicación precisa de los sitios muestreados. Fue necesario esperar para disponer de las fotografías de 1981, y así establecer las áreas a muestrear y las rutas más convenientes para llegar a ellas.

Otro problema consistió en que las fotografías de 1981 fueron tomadas el 31 de Mayo, por lo que la fenología registrada en estas fotos, no es la misma que la que fue observada en campo en Marzo de 1981, ni corresponde a la registrada por la imagen del satélite. Sin embargo, la toma de la imagen Landsat sí coincidió con la visita de campo de 1981.

Por el alto costo del material fotográfico y lo extenso de la zona de estudio, no fue posible obtener un cubrimiento completo. Se obtuvieron cuatro líneas de vuelo, cada una de las cuales atraviesa la zona de estudio en dirección Norte-Sur. El cubrimiento total es de 2500 km² aproximadamente, pero la presencia de nubes y sus sombras inutilizaron cerca de 500 km², por lo que el área útil de este cubrimiento fotográfico es de 2000 km² aproximadamente, lo que equivale a la tercera parte de la superficie total de la zona de estudio.

La orientación Norte-Sur de las líneas de vuelo, permitió fotografiar todas las condiciones climáticas y fisiográficas de la zona. Sin embargo, las nubes impidieron observar y mapear los bosques de Abies religiosa y los zacatonales de las partes más altas de los volcanes de Fuego y de Colima.

El método del registro fitocenológico de Kuchler (1967), resultó ser bastante rápido para recopilar información sobre la fisonomía y estructura de las comunidades. A pesar

de que los datos que se registran son estimaciones y por lo tanto no exentos de cierto grado de subjetividad, el método tiene la ventaja de que permite coleccionar bastante información fisonómica y estructural de la vegetación de grandes áreas geográficas, en poco tiempo. Esta característica aunada al hecho de que no se requiere conocer la flora regional, lo hacen efectivo en proyectos de mapeo y monitoreo de las variaciones fisonómicas y estructurales de la vegetación (Kuchler op. cit.).

Por otra parte, el haber coleccionado las especies dominantes de las comunidades, permitió diferenciar y sobre todo categorizar y describir con más propiedad y objetividad, las diferentes comunidades vegetales. Es la opinión del autor de estas líneas que el método de trabajo de campo empleado en este estudio, resulta adecuado para cartografiar la vegetación de aquellas áreas donde se carece de mapas a escalas medias (1:50000 a 1:250000), y para llevar a cabo la actualización de este género de mapas. La elaboración de mapas a escalas mayores de 1:50000, obligan debido a su detalle, a reconocer unidades que representan variaciones fisonómicas o estructurales muy finas, o bien unidades florísticas. Esto a su vez, implica un mayor volumen de trabajo de campo y el uso de criterios florísticos en el proceso de análisis y clasificación de la vegetación.

No todos los tipos de comunidad reconocidos con base en la información de campo y descritos en la sección 6.1, pudie-

ron ser identificados y delimitados en las fotografías aéreas. Las comunidades reconocidas con base en el trabajo de campo, son unidades que en el terreno ocupan áreas relativamente pequeñas de escasamente una o dos hectáreas y el mosaico de estas comunidades resulta, salvo algunas excepciones, imposible de representar a escala 1:50000. Por otra parte, las categorías de bosque de pinos y encinos y de encinos y pinos reconocidas en las fotos aéreas, ocupan extensiones del orden de kilómetros cuadrados y representan agregados con diferentes proporciones de los tipos de comunidad descritos en la sección 6.1. Una cartografía a mayor escala revelaría un mosaico aun más intrincado de comunidades más discretas. Sin embargo, la visión sinóptica lograda con la escala 1:50000 permite apreciar relaciones de carácter más regional.

La delimitación de las unidades de bosque en las fotos aéreas se basó exclusivamente en las características del estrato superior, ya que las variaciones de los estratos inferiores solamente pudieron ser observadas ahí donde el estrato superior se presenta relativamente abierto. Este hecho contribuyó a que no se lograra mapear la distribución de las comunidades reconocidas mediante el trabajo de campo, ya que éstas se definieron con base en las características de todos los estratos y haciendo uso de criterios fisiográficos, estructurales y ecológicos.

Las fotografías infrarojo-color permitieron diferenciar con precisión los árboles del género Pinus , de los árboles de hoja laminar. La diferencia en su tono fotográfico parece ser suficiente para reconocerlos sin necesidad de trabajo de campo. Sin embargo, no fue posible identificar los diferentes géneros de latifoliadas con base en sus características fotográficas.

La tonalidad amarilla que presentan los bosques de encinos subcaducifolios, permiten diferenciarlos de los encinos perennifolios y subperennifolios, que presentan tonalidades de rojo y de magenta, respectivamente. Estas diferencias debidas a la fenología, pueden no presentarse en fotografías adquiridas en otras épocas del año.

Es conveniente aclarar porque las categorías que figuran en la clave de fotointerpretación no son las mismas que las que aparecen en los mapas correspondientes. Las categorías de la clave son aquellas que pueden ser identificadas por sus propiedades en las fotografías, pero no todo lo que pudo ser identificado pudo ser mapeado. La mayor parte de las comunidades riparias, todas las de bosque mesófilo, y el tular de la Laguna de Zapotlán, no pudieron ser delimitadas por ser de una extensión muy reducida. Por esta misma razón, no se separaron los frutales de los demás cultivos.

Es probable que con fotografías a escalas mayores, quizás 1:20000 o más grandes, sea posible detectar algunas caracte-

rísticas de los estratos inferiores, e identificar algunos géneros por la forma y el tamaño de sus copas. Esto, aunado a un trabajo de campo más intensivo, permitiría la delimitación de por lo menos algunas de las comunidades reconocidas en tierra.

Por otra parte, el trabajar a escalas menores, permite observar mayor superficie por fotografía, y así reducir el número de fotos necesarias para cubrir un área determinada. A escalas cercanas a 1: 100000, el cubrimiento es tan extenso, que resulta relativamente costeable el material infrarojo-color para llevar a cabo inventarios de algunas zonas y/o para actualizar mapas de vegetación a escalas medias, de entre 1:100000 y 1:250000.

A pesar de que los datos Landsat son adquiridos en las mismas bandas espectrales que la fotografía infrarojo-color, no fue posible diferenciar los bosques de aciculifolias de los de latifoliadas, mediante el procesamiento automático. De las 20 clases espectrales asociadas a bosques, únicamente 5 presentan más del 60% de sus elementos muestreados, asociados a un determinado tipo de bosque. La ambigüedad espectral entre los bosques determinó que fuera necesario conformar la categoría de bosque perennifolio a subcaducifolio, que incluye a todos los tipos de bosque, con excepción del bosque tropical caducifolio.

Ninguna de las 56 clases espectrales mapeadas corresponden a un solo tipo de vegetación, y en el mapa general de la zo-

na de estudio, el tular de la Laguna de Zapotlán aparece como bosque, indicando una confusión espectral entre estos tipos de vegetación.

La capacidad de diferenciar automáticamente los bosques perennifolios a subcaducifolios, de los matorrales, puede deberse a que en la zona de estudio, los matorrales son mayormente de hoja decídua, pues aunque los hay perennifolios, éstos ocupan superficies muy reducidas, que generalmente no llegan a una hectárea. Es conveniente investigar más a fondo la factibilidad de diferenciar automáticamente los matorrales perennifolios de los bosques siempreverdes, ya que de ser esto posible, se podría emplear el procesamiento digital de datos Landsat para monitinear los procesos de deforestación y reforestación a lo largo del tiempo, sobre grandes áreas geográficas.

La fecha en que fue adquirida la imagen Landsat (22 de Marzo), determinó que la respuesta espectral de los matorrales fuera la misma que la de el bosque tropical caducifolio, ya que para estas fechas, ambos tipos de vegetación se encontraban sin follaje verde. Esto obligó a conformar la categoría de vegetación caducifolia (vp), que incluye tanto a los matorrales como al bosque tropical caducifolio.

Los pastizales también presentan una respuesta espectral similar a la vegetación caducifolia, ya que a finales del período de estiaje, su cobertura es bastante baja. A fin de

elevar la precisión en el mapeo de la vegetación no verde, se decidió conformar la categoría de vegetación caducifolia y/o pastizal (VD/P), que también puede ser llamada vegetación no verde.

La aparente confusión espectral entre las áreas agrícolas sin cultivo en pie, y los cultivos en pie, se debió a que algunos de los polígonos categorizados en las fotografías como suelos agrícolas, eran áreas cultivadas con caña de azúcar, que en la fecha de la imagen Landsat presentaba la caña en pie, pero que para la fecha de las fotos ya había sido zafada. El caso inverso ocurrió con algunas áreas de agricultura de temporal, que en Marzo no presentaban cultivo en pie, pero que para Mayo se encontraban cubiertas con sus cultivos, y así fueron catalogadas en las fotos aéreas. En realidad estas dos categorías (SA y CUL) presentan patrones espectrales muy diferentes (ver Figs. 6.11 y 6.12), por lo que aparentemente si pueden ser diferenciadas y mapeadas automáticamente.

La confusión entre las áreas agrícolas sin cultivo (SA), y las áreas urbanas (AU), no permitió la delimitación de estas últimas en el mapa general de la zona de estudio. Las áreas urbanas son representadas en este mapa como áreas agrícolas en su mayor parte, y en parte como áreas sin vegetación aparente (DV).

Las áreas erosionadas tampoco se lograron diferenciar de las áreas agrícolas y sólo algunas se clasificaron como áreas

sin vegetación aparente, en el mapa general de la zona.

Los cuerpos de agua fueron bien diferenciados en los datos Landsat, ya que su patrón de respuesta espectral es muy diferente de los demás (ver Fig. 6.15). Se obtuvieron tres patrones diferentes de agua, lo cual es un indicio de que existe la posibilidad de distinguir varios tipos de agua, siempre y cuando se sepa a ciencia cierta, a que se deben estas diferencias de respuesta espectral.

El haber utilizado fotografía infrarojo-color obedece a que se consideró que las imágenes fotográficas adquiridas en las mismas bandas espectrales en las que registran los barredores de los satélites Landsat, permitirían observar el paisaje tal como lo registran estos sensores, y que esto ayudaría a determinar la capacidad discriminativa del reconocimiento de patrones espectrales Landsat.

Los patrones espectrales de las Figs. 6.10 a 6.15 son una representación gráfica de los valores medios de intensidad de la energía reflejada en cada una de las cuatro bandas en las que operan los barredores multiespectrales de los satélites Landsat.

Comparando las Figs. 6.10 y 6.11 se aprecia que los patrones de respuesta espectral de la vegetación caducifolia son muy similares a los de los suelos agrícolas, si bien estos últimos presentan mayores valores de intensidad. La similitud de los valores que presentan estas dos categorías en la imagen

también se manifiesta en las Tablas 6.1 y 6.2, donde se muestra que algunas de las clases espectrales asociadas a la vegetación caducifolia, también se presentan en los polígonos de suelos agrícolas (SA).

Los patrones de las clases espectrales asignadas a la categoría de "cultivos" (Fig. 6.12), se caracterizan por presentar altos valores en las bandas infrarojas (bandas 6 y 7) y valores relativamente bajos en las correspondientes a la porción visible del espectro (bandas 4 y 5). Las clases 40 y 47 son las únicas, de este grupo de clases, que reflejan más en la región del verde que en la del rojo (ver Fig. 6.12), y también las que más reflejan la energía infraroja. Este comportamiento espectral es típico de la vegetación verde (Gates et al. 1965), y obedece por una parte, al espectro de absorción de las clorofilas (Knipling 1970, Woolley 1971), y por otra parte a la dispersión de la energía infraroja dentro de las hojas. Esta dispersión es inducida por las discontinuidades del índice de refracción existentes entre las membranas, las paredes celulares y los cloroplastos (Gausman 1973, 1977).

Su baja reflectancia en la región visible y su alta reflectancia en la región del infrarojo cercano, determinan que la vegetación verde se observe de color rojo en las fotografías aéreas infrarojo-color (Seevers 1981). Como puede observarse en la Tabla 5.2, tanto los cultivos como el bos

que mesófilo de montaña, y el tular, presentan un color rojo en las fotografías utilizadas en este trabajo. El hecho de que los bosques de pino se presenten de color marrón y no rojo, puede explicarse por la menor reflectancia que presentan los bosques de aciculifolias con respecto a los de hoja laminar (Reifsnnyder y Lull 1965).

Las clases asignadas a la categoría de áreas sin vegetación aparente presentan patrones de respuesta espectral muy característicos, que se distinguen por sus altos valores en las bandas 5 y 6. En las fotos aéreas, tanto las áreas sin vegetación aparente, como las urbanas y las erosionadas, presentan un tono muy claro, casi blanco (ver Tabla 5.2).

Los patrones de las clases espectrales correspondientes a cuerpos de agua (Fig. 6.15) se caracterizan por una disminución de la intensidad de la energía reflejada al aumentar la longitud de onda. Este comportamiento espectral es típico del agua (Hoffer 1978), y explica el color azul que presentan los cuerpos de agua en las fotos infrarojo-color.

En la tabla 5.2 se puede observar que si bien algunas categorías pudieron ser reconocidas con base en su color, otras fueron diferenciadas echando mano de otros elementos de interpretación, como la textura, el patrón espacial o la posición topográfica. Debido a que la clasificación automática se basa exclusivamente en los valores de intensidad de la energía reflejada, es decir en el "color", resulta com-

previsible el porqué no se lograron diferenciar automáticamente aquellas categorías que en las fotos infrarojo-color se observan del mismo color.

Existe la expectativa de que con el desarrollo de barredores con mayor resolución espacial (con un campo instantáneo de visión más estrecho, ver sección 3.7), espectral (más bandas y más angostas), y radiométrica (en un mayor rango de valores), resulte factible identificar y mapear más tipos de vegetación y usos del suelo, mediante lo que se ha dado en llamar "reconocimiento de patrones espectrales" (Lillesand y Kiefer 1979).

Aun cuando las categorías informativas derivadas del procesamiento digital de los datos Landsat son bastante generales, si se llevara a cabo el mapeo periódico de una misma zona, sería posible evaluar el sentido y el ritmo de algunos procesos de importancia ecológica y económica, como: desmontes, reforestación, crecimiento de las áreas agrícolas, construcción de nuevas presas y bordos, y quizás algunos otros, como el azolvamiento de los cuerpos de agua.

El mapeo periódico de grandes áreas geográficas, sometidas a presiones de naturaleza antropogénica, es una de las formas de aprovechar las dos principales ventajas que tienen las imágenes Landsat sobre las fotografías aéreas: su cobertura sinóptica de 35000 km^2 por imagen, y su cubrimiento repetitivo de teóricamente cada 18 días. Por otra parte,

las ventajas de procesar digitalmente las imágenes, en vez de interpretarlas analógicamente, son: la repetibilidad de los resultados y la velocidad de proceso de la información.

Aunque las categorías diferenciadas automáticamente son bastante generales, el detalle logrado en la delimitación de las unidades es mayor que el que se puede lograr a través de la interpretación analógica de la imagen. Esto ya había sido demostrado en otro estudio, en el que se cartografió un área de 24000 km², que comprende parte de los estados de Jalisco, Aguascalientes y Zacatecas (Cámara y Juárez 1980).

Es posible mejorar el nivel informativo del mapa generado mediante el procesamiento automático, corrigiendo manualmente algunos errores de categorización, que resultan bastante evidentes. Por ejemplo, obsérvese que en el mapa general de la zona, parte de los zacatonales de las partes más altas de los volcanes de Fuego y de Colima, aparecen como áreas agrícolas sin cultivo. También la zona de tular podría ser recategorizada manualmente, e incluso automáticamente, mediante un programa que reasigne clases espectrales dentro de polígonos definidos por el analista en la pantalla de despliegue de imágenes del sistema SIDAM-2. De esta forma, el analista no necesita definir los límites precisos del área que quiere reasignar, sino que solamente traza un polígono que encierre esta área, y posteriormente reasigna

las clases espectrales, que dentro del polígono, están en confusión. Este método está siendo utilizado para generar mapas de uso del suelo actualizados, pero tiene la desventaja de que introduce subjetividad en el proceso cartográfico, ya que depende de la experiencia y conocimientos del analista (Cámara 1981).

En vista de que uno de los objetivos del presente trabajo es el de analizar el potencial del procesamiento automático de datos Landsat para mapear las comunidades vegetales, se consideró que el mapa resultante no debe presentar este tipo de correcciones, a fin de apreciar las limitaciones de esta tecnología. Antes de concluir algo a este respecto, es necesario investigar si es posible obtener más y/o mejor información a partir de imágenes del período de lluvias, adquiridas con mayores ángulos de elevación solar y registrando otra fenología del paisaje.

Es posible concluir que el aspecto fundamental en el proceso de cartografiar la vegetación, es el trabajo de campo, mediante el cual se reconocen las comunidades vegetales y sus afinidades ecológicas. Las imágenes provenientes de los sensores remotos, ya sean éstos cámaras fotogramétricas o barredores multiespectrales, permiten observar el paisaje desde una perspectiva que facilita la ubicación geográfica precisa de las observaciones de campo, así como discernir algunos aspectos fundamentales de la distribución espacial de las comunidades vegetales.

8. CONCLUSIONES.

La vegetación de la zona de estudio ha sufrido profundos cambios durante el período de 1971 a 1981. Esto señala la necesidad de actualizar los mapas de vegetación, a fin de disponer de información actualizada sobre la extensión, distribución y estado actual de los recursos vegetales.

Con base en la información de campo se reconocieron 18 tipos de comunidades vegetales, mientras que en las fotografías aéreas infrarojo-color se lograron diferenciar únicamente 9 tipos, los cuales no corresponden, mas que parcialmente, a las unidades reconocidas en el terreno.

Las comunidades arbóreas fueron delimitadas y categorizadas en las fotos aéreas con base en las características del estrato superior exclusivamente, ya que no fue posible observar consistentemente las variaciones de los estratos inferiores.

Las fotografías infrarojo-color permitieron diferenciar con precisión los árboles del género Pinus de los de hoja laminar. También fue posible distinguir los bosques de encinos subcaducifolios de los de encinos siempreverdes. Sin embargo, no fue posible identificar los diferentes géneros de latifoliadas con base en sus características fotográficas exclusivamente.

La fenología de la vegetación, así como la del paisaje en general, parece jugar un papel importante en cuanto al número

y características de las comunidades que pueden ser identifi
 cadas y mapeadas en las fotografías infrarojo-color, y mediante
 el procesamiento digital de datos multispectrales Landsat. Con este último método se lograron mapear, en forma automática, las siguientes categorías: 1) bosque siempreverde a subcaducifolio, donde se incluyen todas las comunidades arbóreas con excepción del bosque tropical caducifolio; 2) vegetación caducifolia y/o pastizal, que incluye al bosque tropical caducifolio, a los matorrales y a los pastizales; 3) áreas agrícolas sin cultivo; 4) cultivos en pie; 5) áreas sin vegetación aparente y 6) cuerpos de agua.

Debido a la periodicidad con que se adquieren las imágenes Landsat, y a su cobertura sinóptica, se considera que el poten
 cial del procesamiento automático de los datos digitales consiste en la velocidad y objetividad con que se pueden mapear periódicamente extensas superficies, permitiendo así el evaluar el sentido y el ritmo de ciertos procesos de importancia ecológica y económica, como desmontes, reforestación, crecimiento de las áreas agrícolas y construcción de nuevas presas y bordes.

9. BIBLIOGRAFIA.

- Abrams, M. & Siegal, B.S. 1980. Lithologic mapping, in Siegal, B.S. & Gillespie, A.F. (eds.): Remote sensing in geology. John Wiley & Sons. New York. pp: 381-418.
- Aldrich, R.C. & Heller, F.C. 1969. Large scale color photography reflects changes in a forest community during a spruce budworm epidemic, in Johnson, P.H. (ed): Remote sensing in ecology. Univ. of Georgia Press. pp: 30-45.
- Algazi, V.S.; Ford, G.E. & Meyer, B.I. 1979. A non-interactive approach to land use determination. Proc. 5th. Int'l. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue Univ. West Lafayette Indiana. pp: 122-130.
- Anderson, J.R.; Hardy, E.E.; Roach, J.T. & Witmer, R.E. 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. U.S. Geological Survey. Professional paper 924.
- Arredondo, S.G. 1982. Estudio de factibilidad para la detección de mantos de sargazo mediante el procesamiento digital de imágenes multiespectrales. Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.
- Arredondo, S.G.; Valdéz, J.A.A.; Miranda, J.I. 1982. Computer-aided inventory of sugarcane in México. Proc. of the 8th. Int'l. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue Univ. West Lafayette, Indiana.
- Avery, E.T. 1968. Interpretation of aerial photographs. 2nd. ed. Burgess Publ. Co. Minneapolis. 324. pp.
- Bauer, M.E.; Hixson, M.M.; Davis, B.J. & Etheridge, J.B. 1978. Area estimation of crops by digital analysis of Landsat data. Photogramm. Eng. & Remote Sensing 44(8): 1033-1043.

- Baz, G.T. 1977. Adaptación de métodos bayesianos al problema de clasificación en percepción remota. Memorias del Seminario Internacional sobre el Uso de los Sensores Remotos en el Desarrollo de los Países. México, D.F. pp: 353-371.
- Beaubien, J. 1980. Forest type mapping from Landsat digital data. Photogramm. Eng. & Remote Sensing 46: 135-144.
- Bryant, E.; Dodge, A.G.Dr.; & Warren, S.B. 1980. Landsat for practical forest type mapping: a test case. Photogramm. Eng. & Remote Sensing 46(12): 1575-1584.
- Burks, G.F. & Wilson, R.C. 1929. A vegetative inventory from aerial photographs. Photogrammetric Engineering 5: 30-42.
- Byrne, G.F. & Crapper, F.F. 1980. Land cover change detection by principal components analysis of multitemporal MSS data. Proc. 14th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. San José, Costa Rica.
- Cámara, A.R. 1981. A methodology for updating agricultural, forest and range resource inventory in México. Proc. 7th. Int'l. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue Univ. West Lafayette, Indiana. pp: 396-403.
- Cámara, A.R. y Juárez, E.G. 1979. El papel del fotointérprete en el procesamiento digital de imágenes multiespectrales Landsat para la cartografía de uso del suelo y vegetación. Memorias del 1er. Simposio Nacional de Fotointerpretación. México, D.F. pp: 80-85.

- Cámara, A.R. y Juárez, E.G. 1980. Cartografía del uso del suelo mediante procesamiento digital de información Landsat. Memorias del VI Congreso Nacional de Fotogrametría, Foto Interpretación y Geodesia. Guadalajara, Jal. México. pp: 51-82.
- Cardona, F.V. 1970. La fotointerpretación aplicada al conocimiento y evaluación de los recursos forestales. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. 21pp.
- CETENAL. 1971 a. Cartas edafológicas E13R19, E13R15, E13B15, E13R25 y E13R26. Comisión de Estudios del Territorio Nat.
- CETENAL. 1971b. Clasificación de suelos FAO, UNESCO 1970. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Secretaría de Presidencia. 27 pp.
- Ciesla, W.M.; Bell, J.C. & Curlin, J.W. 1967. Color photos and the southern pine beetle. Photogramm. Eng. 33: 883-888.
- Clouston, G. 1950. The use of aerial photographs in the range inventory work on the National Forests. Photogramm. Eng. 16: 329-331.
- Colwell, R.N. 1960. Some uses of infrared aerial photography in the management of wildland areas. Photogramm. Eng. 26: 774-781.
- Colwell, R.N. 1975. Introduction to remote sensing, in Beeves, R.C. (ed.): Manual of remote sensing. Am. Soc. Photogramm. Falls Church, Virginia. pp: 1-25.
- Coria, F.; Larios, R.; Ramírez, A.R. y Soto, M. 1970. El uso de la percepción remota en el estudio de las comunidades vegetales del norte de Veracruz. Mem. del 2º Seminario Internacional Sobre el Uso de los Sensores Remotos. México D.F. pp: 169-199.

- Crist, E.P. & Malila, W.A. 1980. A temporal-spectral technique for vegetation applications of Landsat. Proc. 14th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. San José, Costa Rica.
- Dailey, C.L.; Register, D.T.; Abotten, K.M.; Palmer, W.F.; Spikes, G.D.; Magness, E.R. & Wade, L.C. 1980. Crop identification studies using Landsat data. Proc. 14th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. San José, Costa Rica.
- De Gloria, S.D.; Kaus, S.J.; Tosta, N. & Bonner, K. 1975. Utilization of high altitude photography and Landsat-1 data for change detection and sensitive area analysis. Proc. 10th Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. Ann Arbor, Michigan. Vol. 1, pp: 359-368.
- DIGITENAL. 1980. Sistema de clasificación y levantamiento fisiográfico. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, Secretaría de Programación y presupuesto. 19 pp.
- DIGITENAL. 1981. Carta de climas guadalajara, escala 1:1000000. con datos de las estaciones meteorológicas al reverso. Dir. Gral. de Geogr. del Terr. Nat., Sec. de Program. y Pres.
- Engler, A. y Diels, L. 1936. Syllabus der Pflanzenfamilien. Berlin, 11th ed.
- Ernest, C.L. & Hoffer, K.M. 1979. Digital processing of remotely sensed data for mapping wetland communities. Doctoral Dissertation. Purdue Univ. West Lafayette, Indiana. 139 pp.
- Estes, J.E. & Simonett, D.S. Fundamentals of image interpretation in Reeves, K.G. (ed.): Manual of remote sensing. American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia pp: 869-1076.

- Everitt, J.H.; Richardson, A.J.; Gerberman, A.H.; Wiegand, C.L. & Alaniz, E.A. 1979. Landsat-2 data for inventorying rangelands in South Texas. Proc. 5th. Int'l. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue Univ. West Lafayette, Indiana. pp: 132-140.
- Fischer, W.A. (ed.). 1975. History of remote sensing, in Reeves K.G. (ed.); Manual of remote sensing. Amer. Soc. of Photogramm. Falls Church, Virginia. pp: 27-50.
- Fleming, M.D. & Hoffer, R.M. 1977. Computer-aided analysis techniques for an operational system to map forest lands utilizing Landsat MSS data. LARS, Laboratory for Applications of Remote Sensing. Technical Report 112277. Purdue Univ. West Lafayette, Indiana.
- Fox III, L. & Mayer, F.E. 1979. Using guided clustering techniques to analyse 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 Lafayette, Indiana. pp: 394-397.
- Garver, R. & Moessner, K.H. 1949. Forest Service use of aerial photographs. Photogramm. Eng. 504-517.
- Gates, D.M., Keegan, H.J., Schleter, J.C., Weidner, V.B. 1965. Spectral properties of plants. Applied Optics 4: 11-20.
- Gausman, H.W. 1971. Photographic remote sensing of "sick" citrus trees. Int'l Workshop on Earth Resources Survey Systems NASA SP-182, Vol. 2, pp: 15-30.
- Gausman, H.W., 1973. Photomicrographic record of light reflected at 850 nanometers by cellular constituents of Zebrina leaf epidermis. Agronomy Journal 65: 534-535.
- Gausman, H.W. 1977. Reflectance of leaf components. Remote

- Sensing of the Environment 6: 1-9.
- Gausman, H.W.; Allen, W.A.; Cárdenas, F. & Bowen, E.L. 1970. Color photos, cotton leaves and soil salinity. *Photogramm. Eng.* 36: 454-459.
- Gausman, H.W.; Berberman, A.H. & Wierand, C.L. 1975. Use of ERTS-1 data to detect chlorotic grain sorghum. *Photogramm. Eng. & Remote Sensing* 41: 177-181.
- Gausson, Henri. 1961. *Méthodes de la cartographie de la végétation* Centre National de la Recherche Scientifique, 97th. Int'l Colloquium, Toulouse, France.
- Gaydos, J. & Newland, W. 1972. Inventory of land use and land cover for the Puget Sound Region using landsat digital data. U.S. Geological Survey, *Journal of Research* 6(6): 807-814.
- Giddings, S.S. 1980. Transformaciones de imágenes Landsat para aplicaciones botánicas. *Biótica* 5(3): 199-205.
- Gold, D.P. 1980. Structural geology, In Siegal, B.S. & Gillespie, A.R. (eds.): *Remote sensing in geology*. John Wiley & Sons. New York. pp: 419-484.
- Guerra, V. 1975. Clasificación por computadoras de imágenes de satélite. *Com. Téc. Serie naranja, Vol. 6, No. 110, Inst. de Inv. en Matem. Aplicadas y en Sistemas. UNAM. México.* 37 pp.
- Guzmán, A. 1975 a. Percepción remota por computadora: equipo, programas y aplicaciones. *Com. Téc. FR-75-2. IIMAS, UNAM, México.*
- Guzmán, A. 1975 b. Proyecto FR. Informe de actividades y logros. Etapa cero. *Com. Téc. FR-75-3. IIMAS, UNAM, México.*

- Guzmán,A.;Seco,R. y Sánchez,V.G. 1976. Computer analysis of Landsat images for crop identification in México. Rep. Téc. FR-76-17. IIMAS, UNAM, México.
- Hajic,E.J. & Simonett,D.S. 1976. Comparisons of qualitative and quantitative image analysis, in Lints,J.L.Jr. & Simonett ,D.S.(eds.): Remote sensing of the environment. Addison Wesley Publ,Co., Reading, Massachusetts. pp:274-311.
- Heilman,J.L.; Kanemasa,E.T.; Bagley,J.O. & Rasmussen,V.P. 1977. Evaluating soil moisture and yield of winter wheat in the Great Plains using Landsat data. Remote Sensing of the Environment 6: 315-326.
- Heller,K.C.; Aldrich,K.C. & Bailey,W.F. 1959. Evaluation of several camera systems for sampling forest insect damage at low altitude. Photogramm. Eng. 25: 137-144.
- Hielkema,J.V. 1979. Application of a principal components analysis on Landsat multispectral data for studies on Vegetation cover under desert conditions. Proc. 5th. Int'l. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data . Purdue Univ. West Lafayette,Indiana. pp: 167-168.
- Hills,G.A. 1950. The use of aerial photography in mapping soil site. Forestry Chronicle 26: 4-37.
- Hixson,M.M.; Baurer,M.E. & Scholz,D.K. 1980. An assessment of Landsat data acquisition history identification and area estimation of corn and soybeans, NASA Technical Report SR-PO-00494.
- Hoffer,R.M. 1978. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data, in Swain,P.H. & Davis,S.S.(Eds.): Remote sensing: the quantitative approach. McGraw-Hill, pp: 227-289.

- Hoffer, R.M. & Bartolucci, L.A. 1980. Mapping land cover in Latin American countries by computer-aided analysis of satellite scanner data. Proc. 15th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment, San José, Costa Rica. pp: 415-426.
- Hoffer, R.M. & Fleming, M.D. 1978. Mapping vegetative cover by computer-aided analysis of satellite data. LARS Tech. Rep. 011478. Laboratory for Applications of Remote Sensing. Purdue Univ. West Lafayette, Indiana. 11 pp.
- Hoffer, R.M. & Johannsen, C.J. 1983. Ecological potential in spectral signature analysis, in Johnson, P.L. (ed.): Remote sensing in ecology. Univ. of Georgia Press. pp: 1-16.
- Hoffer, R.M. & staff. 1975. Natural resource mapping in mountainous terrain by computer analysis of SPDS-1 satellite data. LARS Information Note 06:1975. Lab. for Appl. of Rem. Sens. Purdue Univ. West Lafayette, Indiana. 124 pp.
- Instituto de Geología, UNAM. Carta Geológica de México. escala 1:2000000.
- Ives, R.L. 1939. Infrared photography as an aid in ecological surveys. Ecology 20: 433-439.
- Jinich, A. y Ludlow, J. 1975. Métodos de impresión digital de imágenes. Rep. Téc. 18-75-5. IIMAR, UNAM, México.
- Kalensky, Z. & Scherk, L.F. 1979. Accuracy of forest mapping from Landsat computer compatible tapes. Proc. 10th Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. Ann Arbor, Michigan, Vol. 2, pp: 1158-1167.
- Kanemasu, E.T.; Heilman, J.L.; Bagley, D.O. & Powers, W.L. 1977. Using Landsat data to estimate evapotranspiration of winter wheat. Environmental Management 1(5): 515-520.

- Kauth, R.J.; Lambeck, P.F.; Ficharson, W.; Thomas, G.S. & Pentland, A.P. 1979. Feature extraction applied to agricultural crops as seen by Landsat. LACIE Symp. Proc. Tech. Sessions NASA Johnson Space Center, Houston, Texas. Vol.2 pp: 705-721.
- Kauth, R.J. & Thomas, G.S. 1976. The tasseled cap- a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. Proc. 1976 Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, Purdue Univ. West Lafayette, Indiana. 4B-41-4B51.
- Knipling, E.B. 1970. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of the Environment* 1: 155-159.
- Küchler, A.W. 1967. *Vegetation mapping*. The Ronald Press Co. New York. 472 pp.
- Landgrabe, P. 1976. Machine processing of remotely acquired data, in Lints, J.L. & Simonett, P.S. (eds.): *Remote sensing of Environment*. Addison-Wesley Publ. Co. Reading, Massachusetts pp: 349-373.
- Lillesand, T.M. & Kiefer, F.W. 1979. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons. New York. 612 pp.
- Lillesand, T.M.; Meisner, D.L.; French, D.W. & Jonson, W.L. 1981. Evaluation of digital enhancement for photographic Dutch elm disease detection. *Photogramm. Eng. & Remote Sensing* 48(11) pp: 1581-1592.
- Logan, T.L.; Strahler, A.H. & Woodcock, C.E. 1979. Use of a standard deviation based texture channel for Landsat classification of forest strata. Proc. 5th. Int'l. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue Univ. West Lafayette, Indiana. pp: 395-396.

- Losse, S.F.B. 1947. Air photographs and forest sites 1: Mapping methods illustrated on an area of the Petawawa Forest Experiment Station. *Forestry Chronicle* 13: 1-125.
- Lowman, P. y Lattman, L. 1936. Geomorphology, in Siegal, B.S. & Gillespie, A.R. (eds.): *Remote sensing in geology*. John Wiley & Sons. New York. pp: 485-505.
- Ludlow, J. y Guzmán, A. 1975. Métodos de agrupamiento "clustering" por computadora de muestras multispectrales: aprendizaje no supervisado. *Rep. Téc. PF-75-7*. IIMAS, UNAM, México.
- Mac Donald, R.E. & Hall, F.G. 1979. Global crop forecasting. Preprint of an article submitted to *Science*. NASA Johnson Space Center, Houston, Texas. 30 pp.
- Mac Donald, R.E.; Hall, F.G. & Erb, R.B. 1975. The large area crop inventory experiment (LACIE), an assessment after one year of operation. *Proc. 10th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment*. Ann Arbor, Michigan. Vol.1 pp: 17-37.
- Madrigal, E.S. 1970. Caracterización fitoecológica preliminar de los volcanes de Fuego y de Colima, México. *Sec. Agric. y Gan., Subsec. Forestal y de la Fauna, Inst. Nat. de Inv. Forestales. Boletín Informativo* 31. 35 pp.
- Malila, W.A.; Lambeck, P.F.; Vist, E.P.; Jackson, E.P. & Pinter, P.J. 1980. Landsat lectures for agricultural applications. *Proc. 10th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment*. San José, Costa Rica.
- Margalef, R. 1978. *Ecología*. Ed. Omega. Barcelona, España. 251pp.
- Mayer, K.E. & Fox III, L. 1981. Identification of conifer species groupings from Landsat digital classifications. *Photogramm. Eng. & Remote Sensing* 45(11): 1077-1019.

- Mead, R.A. & Meyer, M.P. 1977. Landsat digital data application to forest vegetation and land use classification in Minnesota. Proc. 5th. Int'l. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue Univ., West Lafayette, Indiana. pp: 270-279.
- Mejía, C.; Lozano, F.; Soto, M. y Diaz, J.A. 1977. Avance en el inventario de la vegetación de Veracruz: la zona cafetalera de Jalapa-Coatepec. Memorias del Seminario Internacional Sobre el Uso de los Sensores en el Desarrollo de los Países. México, D.F. pp: 217-230.
- Miller, J.M. 1980. A land resource inventory based upon vegetative index computed from digital Landsat data. Proc. 14th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. San José, Costa Rica.
- Miller, L.D. & Williams, D.L. 1978. Monitoring forest alteration around the world with digital analysis of Landsat imagery. Proc. Int'l. Symp. on Earth Resources and the Endangered Environment. Freiburg, Germany.
- Miranda, F. y Hernández, E.X. 1953. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Sobretiro del Boletín de la Soc. Botánica de México. No.28. 178 pp.
- Miranda, J.I. 1981. Estudio para identificar y clasificar caña de azúcar utilizando el sistema de análisis multispectral SIDAM 2. Sec. de Prog. y Pres., Coord. Gral de los Serv. Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.
- Montecinos, J.A.; Ramos, H.M.; Baz, G.T. y Castillo, R.M. 1979. Clasificación de las áreas agrícolas y uso del suelo mediante procesamiento digital. Memorias del 2º Sem. Int. Sobre el Uso de los Sensores Remotos. México, D.F. pp:109-128
- Morain, S.A. 1974. Interpretation and mapping of natural vegetation, in Estes, J.E. & Senger, L.W. (eds.): Remote

- Sensing techniques for environmental analysis. Hamilton Publ. Co. pp: 127-166.
- Mouat, D.A. y Hutchinson, C.F. 1981. Sensores remotos y mapas de vegetación en regiones semiáridas. *Desierto y Ciencia* 3(3):4-10.
- Mueller-Dombois, D. 1966. Ecogeographic criteria for mapping forest habitats in Southeastern Manitoba. *Forestry Chronicle* 41: 188-206.
- Muraid, S. 1975. Evaluation of land use and its color representation in Tokyo districts with Landsat digital data. Proc. 10th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment Ann Arbor, Michigan. Vol.1. pp: 345-356.
- Murtha, P.A. 1978. Remote sensing and vegetation damage: A theory for detection and assessment. *Photogramm. Eng. & Remote Sensing* 44(9): 1147-1158.
- NASA. 1981. ELAS, Earth Resources Laboratory Applications Software. Earth Resources Laboratory, National Space Technology Laboratories. Slydell, Louisiana.
- Nunnally, N.R. 1974. Interpreting land use from remote sensor imagery, in Estes, J.E. & Senger, L.W.(eds.): Remote sensing techniques for environmental analysis. Hamilton Publ.Co. Santa Bárbara, California. pp: 167-188.
- Peplies, E. 1974. Regional analysis and remote sensing, in Estes, J.E. & Senger, L.W.(eds.): Remote sensing techniques for environmental analysis. Hamilton Publ.Co. Santa Bárbara, California. pp: 277-292.
- Peterson, D.L.; Toth-Miller, N.; Norman, S.; Wierman, D. & Newland, W. 1980. Land cover classification of California using mosaicking and high speed processing. Proc. 14th. Int'l.

- Symp. on remote Sensing of the Environment. San José Costa Rica. pp: 279-305.
- Peterson, R.M.; Cochrane, G.R.; Morain, S.A. & Simonett, D.S. 1969. A multi-sensor study of plant communities at Horsefly Mountain, Oregon, in Johnson, P.L. (ed.): Remote sensing in ecology. Univ. of Georgia Press. Athens, Georgia. pp: 63-92.
- Pettinger, L.R. 1980. Environmental stratification: A method to improve Landsat digital analysis accuracy and land cover map utility. Proc. 14th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. San José, Costa Rica.
- Ramírez, F.M. y Botello, A.C. 1980. Configuración física de los sistemas digitales de análisis multispectral SIDAM-1 y SIDAM-3. Dir. Gral. de Geogr. del Terr. Nat., Sec. de Prog. y Pres.
- Ramos, H.M. 1980. Identificación y cuantificación de áreas agrícolas por medio de análisis digital de información Landsat. Dir. Gral. de Geogr. del Terr. Nat., Sec. de Prog. y Pres.
- Reeves, C.A.; Austin, T. & Kerber, A. 1976. Landsat forest and range inventory of Southeast Texas counties by administrative boundaries. Proc. 2nd. Int'l. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue Univ. West Lafayette, Indiana. pp: 2812-23.
- Reeves, K.G. (ed.). 1975. Manual of remote sensing American Society of photogrammetry. Falls Church, Virginia. 2145 pp: (2 Vol.).
- Reifsnnyder, W.H. & Lull, H.W. 1965. Radiant energy in relation to forests, U.S. Dept. of Agric. Tech. Bull. 1346. 11pp.
- Rey, P. 1957. L'interprétation des photographies aériennes.

Service de la carte phytogéographique. bulletin Serie A, Vol. 2, pp: 5-94.

- Richardson, A.J.; Riojas, R.; Wiegand, C.L. 1975. Computed-aided inventory of sugarcane in Hidalgo County, Texas, using Landsat data. Rio Grande Valley Horticultural Society Journal 20: 95-101.
- Risley, C.Jr. 1975. Great Lakes environmental land use mapping. Proc. 10th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. Ann Arbor, Michigan. Vol.1, pp: 337-351.
- Rouse, J.W.Jr.; Haas, R.H.; Scheil, J.A. & Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351, Vol.1, pp:309-317
- Ezedowsky, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México, D.F.
- Ezedowsky, J. y Mc. Vaugh, P. 1966. La vegetación de Nueva Galicia. Contr. Univ. Mich. Herb. 9: 1-123.
- Sabins, F.F.Jr. 1978. Remote sensing principles and interpretation. Freeman, San Francisco. 426 pp.
- Santos, J.K.; Carvalho, V.S. & Aoki, H. 1980. Characterization of cerrado vegetation using automatically classified Landsat MSS data. Proc. 14th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. San José, Costa Rica. pp: 1089-1100.
- Sayn-Wittgenstein, L. & Aldrei, A.H. 1957. Tree volumes from large scale photos. Photogram. Eng. 23: 69-73.
- Seco, R. 1977. Computer analysis of Landsat images to detect water resources. Proc. 1st. World Conference on Mathematics at the Service of Man. Barcelona, Spain.

- Seevers, P.M. 1981. Considerations in using color infrared photographs for vegetative interpretation. 8th. Biennial Workshop on Color Aerial Photography in the Plant Sciences and Related Fields. Am.Soc.Photogramm. pp:45-49.
- Smith, W.L. 1977. Remote sensing applications for mineral resources, in Smith, W.L. (ed.): Remote sensing applications for mineral exploration. Dowden, Hutchinson & Ross Inc. Stroudsburg, Pennsylvania. pp: 73-98.
- Soto, M. y Giddings, I. 1980. The use Landsat data in mapping tropical vegetation. Proc. 14th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. San José, Costa Rica.
- 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 percepción remota. Flora de Veracruz, Contribución No. 24. Sobretiro de publicación del Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. 22pp.
- Strahler, A.H.; Woodcock, C.E. & Logan, T.L. 1980. Stratification of forest vegetation for inventory using Landsat digital imagery and collateral data. Proc. 14th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. San José, Costa Rica.
- Swain, P.H. & Davis, S.M. (eds.). 1978. Remote sensing: the quantitative approach. McGraw-Hill, New York, 1978.
- Taranik, J.V. 1978. Characteristics of the Landsat multispectral data system. U.S. Geological Survey Open-file Report 78-187. Sioux Falls, South Dakota. 75 pp.
- Thomas, J.R. & Certher, G.P. Jr. 1977. Estimation of crop conditions and sugarcane yields using aerial photography. Proc. Am.Soc. of Sugarcane Technology 6: 93-99.

- Titus, S.J.; Giardini, M.J. & Nichols, J.D. 1975. A total timber resource inventory based upon manual and automated analysis of Landsat-1 and supporting aircraft data using stratified multistage sampling techniques. Proc. 10th. Int'l. Symp. on Remote Sensing of the Environment. Ann Arbor, Michigan. Vol. 2, pp: 1093-1099.
- Turner, R.M. 1971. Measurement of spatial and temporal changes in vegetation from color-IR film. Earth Resources Survey Systems 2: 513-525.
- Vincent, R.N. 1977. Geochemical mapping by spectral ratioing methods, in Smith, W.L. (ed.): Remote sensing applications for mineral exploration. Dowden, Hutchinson & Ross. Stroudsburg Pennsylvania. pp: 251-278.
- Vital, R.; Garza, E.; Seco, S.; Pérez, D.G. y Jiménez, A. 1978. Evaluación del uso del suelo en la cuenca del río Pánuco. Reporte Técnico PE-78-22. IIMAS, UNAM, México, D.F.
- Way, D. 1973. Terrain analysis, a guide to site selection using aerial photographic interpretation. Dowden, Hutchinson & Ross Inc. Stroudsburg, Pennsylvania.
- Whittaker, R.H. (ed.). 1976. Classification of plant communities. Dr. W. Junk Publishers. The Hague, The Netherlands.
- Wickens, G.E. 1966. The practical application of aerial photography for ecological surveys in the savanna regions of Africa. Photogrammetria 71: 31-62.
- Wiegand, C.L.; Gausman, H.W.; Cuellar, J.A.; Gerberman, A.H.; Richardson, A.J. 1973. Vegetation density as deduced from ERTS-1 MSS response. Third ERTS Symposium. NASA SP-351 Vol. 1, pp: 93-110.
- Wieslander, A.E. & Wilson, R.C. 1942. Classifying forest and other vegetation from air photographs. Photogram. Eng. 8: 203-215.

- Wilson, R.C. 1948. Photointerpretation aids timber surveys. *Journal of forestry* 46: 41-44.
- Wimbush, D.J.; Barrow, M.D.; Costin, A.B. 1967. Color stereo photography for the measurement of vegetation. *Ecology* 48: 150-152.
- Woolley, J.T. 1971. Reflectance and Transmittance of light by leaves. *Plant Physiol.* 47: 656-662.
- Yansa, L.H. 1948. Los volcanes de México. Ed. de la Soc. Mex. de Geografía y Estadística. México, D.F.
- Young, H.D.; Call, F.M. & Tryan, T.C. 1963. Multitillion acre forest inventories based on air photos. *Photogramm. Eng.* 29: 641-644.
- Zsilinsky, V.G. 1964. The practice of photointerpretation for a forest inventory. *Photogrammetria* 19: 42-58.

APENDICE 1. Construcción de la proyección y la rejilla UTM.

La proyección UTM se construye al proyectar una parte del esferoide terrestre a un cilindro que rodea a este esferoide, y que es tangente a un determinado meridiano. Los meridianos y los paralelos son proyectados del centro del esferoide al cilindro tangente, y éste es desenrollado para dar una superficie plana. Es obvio decir que este proceso se lleva a cabo matemáticamente, y en forma cada vez más frecuente mediante el uso de computadoras.

Asociada a esta proyección existe, entre los 80 S. y los 84 N., una rejilla (cuadrícula) o sistema cartesiano, conocida como rejilla UTM. Se construye de la siguiente forma: se divide la tierra en 60 zonas o franjas (gajos) de 6 de longitud cada una. La zona 1 comienza en el meridiano 180 Oeste, y la numeración asciende de Oeste a Este. Para cada zona se define una rejilla cartesiana propia. El meridiano central de cada zona constituye el eje vertical de la rejilla, y se le asigna el valor arbitrario de 500000 metros Este. Las distancias medidas en metros, de Oeste a Este, son llamadas "Estes" (eastings), y por su construcción son siempre positivas. El Ecuador es el eje horizontal del sistema de coordenadas, y las distancias medidas en metros, de Sur a Norte, son llamadas "Nortes" (northings).

En el hemisferio Norte, el Ecuador asume un valor de cero metros, y en el hemisferio Sur se le asigna el valor arbitrario de 10 000000 metros Norte. Esto es con el fin de que todos los valores resulten positivos.

APENDICE 2. DESCRIPCION DEL ALGORITMO LLAMADO "BUSQUEDA"

- I. El proceso se inicia una vez que el analista ha definido los valores de una serie de parámetros, mismos que determinan en gran medida la representatividad del muestreo.
- II. Se leen a memoria los valores de los nueve pixels que constituyen la primera matriz de 3 x 3 elementos a procesar. Se calculan las medidas y las varianzas de este conjunto de pixels, y si las desviaciones estandar de las cuatro bandas son menores que el valor del parámetro SDUB (límite superior de la desviación estandar) y que COV (coeficiente de variación) veces la media, estas estadísticas se almacenan en una localidad de memoria.
- III. Se leen a memoria los valores del siguiente grupo o "ventana" de nueve pixels y se determina si cumplen o no con el criterio de homogeneidad definido por los parámetros de aceptación (SDUB, COV) fijados de antemano por el analista.
- IV. El proceso de "buscar" ventanas homogéneas continúa y una vez que se han almacenado 60 conjuntos de estadísticas, se calcula la separabilidad estadística entre todas y cada una de las clases o muestras y se construye una matriz de distancias

de separabilidad estadística. Esta distancia es directamente proporcional a la distancia euclidiana entre los vectores de medias e inversamente proporcional a las varianzas de las muestras o clases.

- V. El programa fusiona (combina) el par de estadísticas que presente menor separabilidad. El nuevo vector de medias y la matriz de covarianzas actualizada son almacenadas en una de las localidades de memoria previamente ocupada por una de las nubes de datos fusionados, quedando disponible la otra localidad (la que ocupaba la otra nube) para almacenar una "nueva" muestra.
- VI. Cada vez que se fusiona un par de nubes se actualiza la matriz de valores de separabilidad estadística, y este proceso de encontrar una y fusionar dos continúa hasta que ha sido procesada toda el área definida por el analista.
- VII. Una vez que han sido colectadas todas las estadísticas, el analista especifica el valor del parámetro SDIS, el cual es el valor mínimo de separabilidad que deben tener las nubes para conservar su individualidad como clases espectrales, Una vez fijado el valor de este parámetro, el programa inicia un proceso de fusión de estadísticas, combinando uno por uno los pares de nubes que no presenten una separabilidad mayor o igual que SDIS.

APENDICE 3. Lista de especies vegetales encontradas dentro de la zona y mencionadas en el texto, presentadas de acuerdo con la clasificación sistemática de Engler y Diels (1936).

DIVISION EMBRIOPHYTA SIPHONOGAMA

SUBDIVISION GYMNOSPERMAE

ODEN CONIFERAE

PINACEAE

Abies religiosa (HBK.) Cham. et Schl.

Abies aff. guatemalensis var. jaliscana Mtz.

Pinus chihuahuana Engelm.

Pinus douglasiana Mtz.

Pinus hartwegii Lindl.

Pinus leiophylla Schl. et Cham.

Pinus michoacana var. Quevedoi Mtz.

Pinus montezumae Lamb.

Pinus occarpa Schiede

Pinus pseudostrobus Lindl.

Pinus rudis Endl.

Pinus tenuifolia Benth.

Pinus teocote forma quinquefoliata Mtz.

CUPRESSACEAE

Cupressus spp.

SUBDIVISION ANGIOSPERMA

CLASE MONOCOTYLEDONEAE

GRAMINAE

Andropogon spp.

Bouteloua spp.

Calamagrostis erectifolia

Calamagrostis toluensis (HBK) Trin.

Distichlis spicata (L.) Greenne

Festuca amplissima Rupr.

Festuca toluensis HBK.

Heteropogon spp.

Muhlenbergia quadridentata (HBK.)

Muhlenbergia spp.

AMARYLLIDACEAE

Agave spp.

CLASE DICOTYLEDONAE

SALICACEAE

Salix spp.

Salix taxifolia (HBK.)

JULIANACEAE

Amphyterigium adstringens Schiede ex Schlecht.

BETULACEAE

Alnus firmifolia Fern.

Carpinus carolineana Walt.

Ostrya virginiana (Mill.) K. Koch.

FAGACEAE

Quercus castanea Née

Quercus crassifolia Humb. et Bonpl.

Quercus laurina Humb. et Bonpl.

Quercus magnoliifolia Née

Quercus resinosa Liebm.

Quercus rugosa Née

Quercus peduncularis Née

ROSACEAE

Crataegus pubescens (HBK.) Steud.

Prunus capuli Cav.

LEGUMINOSAE

Acacia farnesiana (L.) Willd.

Acacia pennatula (Schlecht. et Cham.) Benth.

Lysiloma divaricata (Jacq.) Mc Bride

Lysiloma spp.

BURSERACEA

Bursera spp.

SAPINDACEAE

Dodonaea viscosa (L.) Jacq.

ANACARDIACEAE

Pseudosmodium perniciosum HBK.

TILIACEAE

Tilia mexicana Schlecht.

THEACEAE

Ternstroemia pringlei (Rose)

CACTACEAE

Lemaireocereus spp.Myrtillocactus geometrizans (Marius) Console

ERICACEAE

Arbutus xalapensis HBK.

LOGANIACEAE

Buddleja cordata HBK.

COMPOSITAE

Baccharis glutinosa Pers.Baccharis heterophylla HBK.Senecio spp.