

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE SATELITE COMO FUENTE DE INFORMACION SOBRE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN UN AREA DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA.

González, B., Z.E. (1); Villarroel, G. (2) y Ruiz, G. (3)
¹CENAMB - Centro de Estudios Integrales del Ambiente - UCV.
Apartado Postal 17350. Caracas 101. Venezuela.

FAX: 7930747

²IZT - Instituto de Zoología Tropical - UCV.

³CPDI - Centro de Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite. Instituto de Ingeniería.

RESUMEN

En este estudio se emplearon técnicas de procesamiento digital de imágenes para seleccionar las combinaciones de bandas que resalten mejor información acerca de los usos y cobertura de la tierra presentes en un área de 1.962 Km² de la Cuenca del Lago de Valencia, Edo. Aragua, a escala 1:100.000, utilizando para ello la imagen del Mapeador Temático (TM) del satélite Landsat-5 de fecha 13/03/86. Estos resultados fueron probados posteriormente en un análisis visual y digital, a través de una clasificación supervisada. Tres técnicas fueron usadas sobre la imagen completa: histogramas de frecuencia, análisis de componentes principales y matriz de correlación. Sobre las clases espectrales seleccionadas se construyeron curvas de firma espectral y se les aplicó el Índice de Factor Óptimo (OIF). Los resultados indican que las bandas del infrarrojo cercano y visible comparten información similar y que la banda 4 posee la mayor información. Las combinaciones de bandas tomadas a tres que más aportan información son la 1, 4 y 5 y la 3, 4 y 7. La clasificación supervisada indica que la diferenciación de grandes clases es mayor del 87%, mientras que la separabilidad de clases más específicas se dificulta ocurriendo confusión entre las mismas o con otras clases. Al parecer, en áreas de elevada complejidad, la interpretación visual aporta más nivel de detalle que la clasificación supervisada, aunque el costo en tiempo y esfuerzos es mayor en el análisis visual que en el digital.

INTRODUCCION

La aplicación de técnicas de percepción remota, ofrece la posibilidad de inventariar y monitoriar en breve tiempo y con apreciable exactitud diversos recursos naturales de áreas extensas e inaccesibles, esto, gracias a la periodicidad, resolución espectral y espacial de los satélites de observación terrestre. Sin embargo, el manejo eficiente del volumen de datos que proveen las imágenes es un problema importante de resolver para los investigadores del procesamiento digital. Partiendo de esta premisa, en esta investigación pretendemos utilizar técnicas de procesamiento digital que nos permitan manejar más eficientemente la información proveniente de las imágenes. Nuestra hipótesis de trabajo consistió en que si establecíamos combinaciones de bandas del espectro electromagnético de los satélites de observación terrestre, éstas combinaciones nos permitirían resaltar con mayor precisión información sobre las distintas clases de usos y coberturas seleccionadas en el área de estudio. Dos objetivos específicos fueron establecidos: 1.- Selección y establecimiento de las combinaciones de bandas tomadas a tres del TM del satélite Landsat-5 que permitieron resaltar información espacial y espectral sobre usos y coberturas presentes en el área de estudio, 2.- Someter los resultados obtenidos a métodos de análisis visual y automático de la información radiométrica a través del proceso de clasificación supervisada, generando así, una imagen clasificada.

AREA DE ESTUDIO

La Cuenca del Lago de Valencia es una cuenca endorreica lacustre, localizada al Norte del país en la Región Central, entre los Estados Aragua y Carabobo y ocupa un área de aproximadamente 3.000 Km². Esta delimitada al Norte por la Cordillera de la Costa y al Sur por la Serranía del Interior. El área bajo estudio está localizada entre las coordenadas 9° 59' 38" y 10° 21' 59" de latitud N y 67° 42' 49" y 67° 16' 40" de longitud O y ocupa un área de aproximadamente 1.900 Km².

La cuenca presenta características de un valle intramontano, formado por la actividad tectónica ocurrida al final del período terciario. La topografía es relativamente plana en la porción central adyacente al lago, mientras que en la vertiente norte las laderas son muy abruptas con presencia de valles y filas estrechas. En la vertiente sur el relieve es más moderado, las filas y valles son menos estrechos y las pendientes más suaves. La llanura lacustre presenta extensas terrazas que terminan en antiguas líneas de costa del lago (Eder y Avilán, 1975).

Ordenes de suelos como Entisoles, Inceptisoles y Mollisoles están asociados a la planicie lacustrina. Alfisoles y Vertisoles junto a los anteriores están sometidos a dos condiciones de humedad distintas, drenaje bien drenado o muy pobremente drenado. El clima está caracterizado por una estación seca que ocurre entre los meses de Diciembre a Marzo, mientras que la estación lluviosa ocurre entre los meses de Mayo y Octubre, registrándose el 84% de la precipitación total que cae durante todo el año. Los meses de Noviembre y Abril son considerados como períodos de transición.

La utilización de la tierra en actividades agrícolas, instalaciones industriales y una política deficiente en materia de conservación han producido que la vegetación natural primaria haya desaparecido casi en su totalidad, habiendo sido sustituida por vegetación secundaria y cultivos.

MATERIALES Y METODOS

La imagen empleada en este trabajo fue la 4-53 del sensor TM del satélite Landsat-5 de fecha 13 de Marzo de 1986 que cubre una buena parte de la superficie de la Cuenca del Lago de Valencia. El análisis visual preliminar para la selección del área de estudio y definición de grandes unidades temáticas se realizó en la imagen color infrarrojo (bandas 2,3 y 4) en formato fotográfico a escala 1:100.000 de la misma fecha. El análisis digital se realizó con la misma imagen en formato de cintas magnéticas grabadas a 1600 BPI, empleándose las seis bandas del sensor con resolución de 30 m (bandas 1,2,3,4,5 y 7).

Los equipos utilizados fueron estaciones de trabajo SPARCStations modelos 4/330 y 4/65, terminales gráficos, impresoras, plotter, digitalizador CALCOMP, microdensitómetro o impresor-digitalizador de películas y cintas magnéticas. Los programas computacionales utilizados fueron paquetes especializados en el procesamiento digital de imágenes tales como PDI (programa de procesamiento desarrollado en el CPDI) y ERDAS, versión 7.4 para estaciones de trabajo.

A la imagen se le aplicaron técnicas de generación de sub-imágenes, corrección geométrica, corrección radiométrica y técnicas de mejoramiento del contraste (ecualizaciones y filtros).

Para la extracción de la información se acudió al análisis multiespectral, el cual consiste en usar técnicas convencionales de interpretación visual o digital a partir de la utilización simultánea de una o más bandas espectrales.

El análisis visual se realizó sobre la imagen en formato fotográfico de acuerdo a las características y patrones espaciales de los objetos tales como tono, color, textura, forma, tamaño, localización geográfica y asociación. Se separaron las unidades temáticas de interpretación en usos agrícola vegetal (fruticultura, horticultura y plantación) (Avilán y Eder, 1986), uso urbano-industrial y las coberturas de bosque (denso, medio y ralo), matorral (denso, medio y ralo), sabana, cuerpos de agua, zonas quemadas y nubes.

La selección de bandas, aspecto clave que constituye la primera fase metodológica de la interpretación de imágenes se realizó tomando en cuenta cinco aspectos que Avilán, (1989) considera claves: 1.- Los objetivos del estudio, que determinan los elementos o características de la superficie terrestre que interesa resaltar, 2.- Las características físico-naturales del área de estudio y el conocimiento previo de tales características, 3.- El sensor que registra la información contenida en la imagen a ser interpretada, 4.- La fecha de la toma de la imagen y 5.- La respuesta espectral de los elementos o características de la superficie terrestre en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético.

Con estas premisas, cinco técnicas de procesamiento fueron evaluadas para seleccionar bandas: histogramas de frecuencia para cada banda, para conocer el comportamiento de todos los píxeles de la imagen en cada banda en el intervalo de niveles de gris de 0 a 255. El análisis de componentes principales y la matriz de correlación como métodos que ayudan a reducir el espacio dimensional de los datos y como una forma de identificar las bandas más similares y disímiles entre sí. Sobre las clases espectrales se construyeron curvas de firma espectral para cada una de las clases, método gráfico que permitió seleccionar las bandas que mejor discriminan una determinada clase y por último se empleó el Índice de Factor Optimo propuesto por Chávez, et al, 1982 y 1984, el cual permitió seleccionar las combinaciones de bandas tomadas a tres que contienen la mayor cantidad de información de acuerdo al siguiente algoritmo:

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 SD_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^3 CC_j}}$$

donde SD_i es la desviación estándar para la banda i y CC_j es el valor absoluto del coeficiente de correlación entre dos de las tres bandas usadas.

Finalmente, todos los resultados obtenidos fueron usados para la selección de campos de entrenamiento para la clasificación supervisada, aspecto que resultó ser clave en el éxito obtenido en la clasificación. Para establecer claramente la correspondencia entre las coberturas presente en el terreno y la respuesta espectral en la imagen , se realizaron visitas de campo, de manera tal de determinar la correlación imagen-terreno.

RESULTADOS Y DISCUSION

Selección de bandas:

Histogramas de frecuencia. Los histogramas de frecuencia para cada una de las bandas (Fig. 1) son usados en este estudio como una forma de evaluar los datos originales de la imagen, fundamentalmente para localizar altos y bajos contrastes o para mostrar la naturaleza multimodal de una determinada banda. No constituyen un método directo de selección de bandas, pero son de gran ayuda al momento de aplicar técnicas de mejoramiento del contraste en cada banda. Las bandas 2 y 3, cuyos datos están comprimidos en la primera cuarta parte del intervalo de grises muestran bajo contraste. Las bandas 3,4 y 7 poseen naturaleza multimodal, tales picos y valles corresponden a tipos dominantes de coberturas, seguramente el primer pico corresponde a pixeles asociados a la cobertura de agua y el segundo pico a pixeles asociados a la cobertura tierra. La banda con el mejor y más amplio contraste es la banda 5, por lo cual debería ser considerada como una banda útil para una interpretación visual. Otra banda interesante de considerar es la banda 1, ya que muestra buen contraste y comparte poca información con el resto de las bandas.

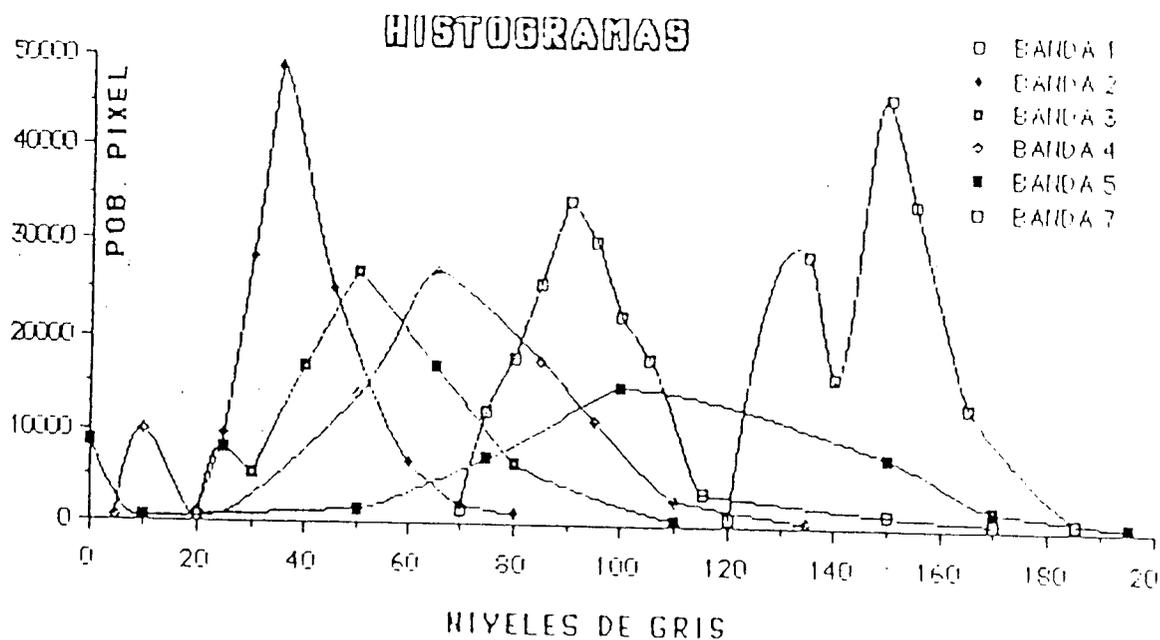


Fig. 1 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA PARA CADA BANDA. EN EL EJE X LOS NIVELES DE GRIS DE 0 A 255 Y EN EL EJE Y LA POBLACION DE PÍXELES

Análisis de Componentes Principales (PCA) y Matriz de Correlación. El primer PCA (Tabla 1a) explica el 74.1% del total de la varianza y de acuerdo al factor de carga (Tabla 1b) está constituido por las bandas 5 y 7 ($r= 0.9001$) (Tabla 2a). Este elevado valor de correlación positivo indica una relación casi perfecta entre los valores de gris de las dos bandas, lo cual implica que existe una cantidad sustancial de información redundante contenida en estas bandas (Jensen, 1986). Estas dos bandas aparecen localizadas en el primer componente debido al elevado valor de varianza (Tabla 2b) de cada una y a su vez por la capacidad que ellas poseen de resaltar fundamentalmente información sobre tierra, cobertura dominante en la escena analizada. Adicionalmente, la banda 5 posee valores de correlación muy bajos con respecto a las bandas 1 y 2 y la banda 7 con respecto a la banda 4. Esto indica que existe poca información redundante entre estas bandas, por lo que la diferenciación de coberturas es mayor.

El segundo PCA explica el 13.9% de la varianza residual y esta constituido fundamentalmente por la banda 4, la cual muestra los más bajos coeficientes de correlación con las otras bandas. Esto explica la cantidad de información que posee esta banda por sí sola, resaltando principalmente información sobre vegetación y uso agrícola, razón por la cual fue considerada tanto para el análisis visual como el digital.

En tercer PCA (10.44% de la varianza) la redundancia de información ocurre entre las bandas 1,2 y 3, las cuales además poseen elevados coeficientes de correlación ($r_{1,2}=0.969$; $r_{1,3}=0.9$ y $r_{2,3}=0.945$); resultados similares han sido obtenidos por otros autores (Chávez, et al, 1984,1988) y se explican por la cercanía que estas bandas poseen en el espectro electromagnético, en especial las bandas 1 y 2. Sin embargo, la banda 1 del TM aporta información espectral no contenida en otros sensores como el MSS del Landsat o el SPOT Francés (Chávez, et al, 1988). Estos resultados indican que la utilización de una sola de estas tres bandas o el PCA formado por las tres podría ser útil para reducir el número de bandas del visible a usar, especialmente si el potencial de la información recuperable desde los datos transformados es tan o más buena que la proveniente de los datos originales (Jensen, 1986).

No obstante, el uso del análisis de PCA como técnica de procesamiento digital posee sus inconvenientes. El problema incluye tanto la pérdida de información que ha sido mapeada en componentes no usados en la interpretación, así como la dificultad de interpretar visualmente una composición a color luego de la transformación (Chávez, et al, 1989).

Hasta los momentos, los resultados que aportan los métodos utilizados nos indican que las bandas 1,4 y 5 deben ser consideradas para el análisis. Sin embargo, dada la disponibilidad de varias bandas espectrales fue conveniente evaluar más exhaustivamente la capacidad de cada una de ellas, y así conocer, con que información nueva contribuye cada banda que no está contenida en las otras. De allí que mapear estas diferencias y comprender la causa del contraste puede ser importante y de gran valor para muchas aplicaciones.

Tabla 1a. Porcentaje de información explicado por los componentes principales

	COMPONENTES					
	1	2	3	4	5	7
EIGENVALORES	1842.500	345.700	259.744	23.659	13.268	1.512
PORCENTAJE DE INFORMACION	74.184	13.984	18.447	0.952	0.534	0.061
PORCENTAJES ACUMULADOS	74.184	88.067	98.454	99.406	99.939	100.000

Tabla 1b Factor de carga para cada componente principal

COMPONENTES	BANDAS					
	1	2	3	4	5	7
1	0.362	0.229	0.412	0.167	0.791	0.500
2	0.181	0.172	-0.139	2.493	-0.150	-0.631
3	1.961	0.965	1.042	-0.171	-1.736	0.084
4	0.892	-0.670	-5.527	1.480	-2.458	7.604
5	-0.269	0.955	7.757	1.731	-4.082	5.035
7	-9.795	35.858	-11.294	-3.214	2.275	-2.542

MATRIZ DE CORRELACION

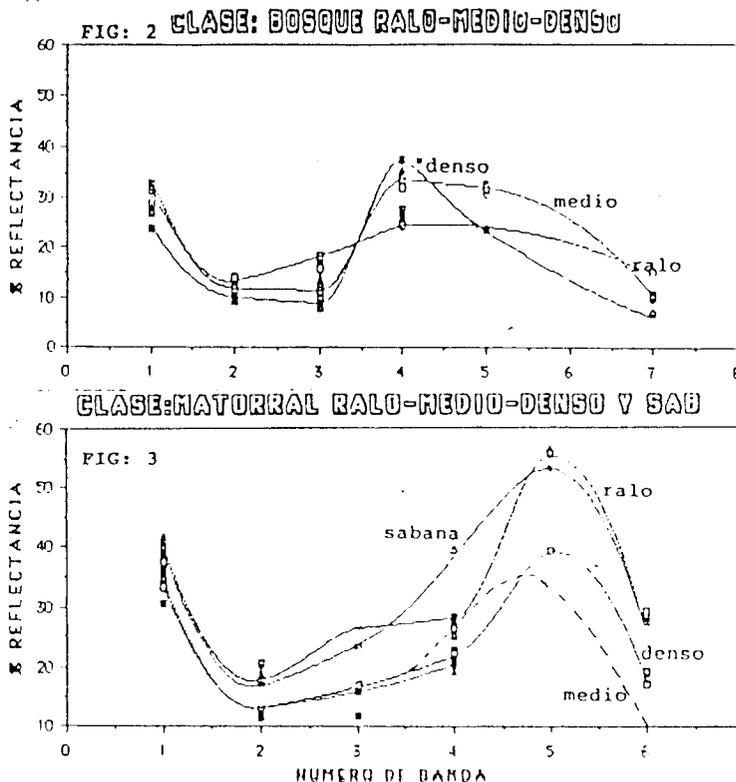
BANDAS	1	2	3	4	5	7
1	1.000					
2	0.969	1.000				
3	0.908	0.945	1.000			
4	0.271	0.371	0.235	1.000		
5	0.575	0.656	0.784	0.308	1.000	
7	0.750	0.788	0.878	0.115	0.908	1.000

n=6 95% $\alpha=0.05$
r=0.7067

Curvas de firma espectral e Índice de Factor Optimo (OIF). La reflectancia espectral de la vegetación (Fig. 2) es distintiva y variable en función de las bandas espectrales. Las bandas 2 y 3 muestran baja reflectancia, ya que en estas longitudes ocurre mayormente absorción, dominando la pigmentación la respuesta espectral de las plantas (Swain y Davis, 1978). En el infrarrojo ocurre una alta reflectancia, alta transmitancia y una absorción muy baja, siendo la estructura interna de la hoja la que controla la reflectancia espectral. En este sentido, el bosque denso y medio exhiben comportamiento muy similar, de allí que su separación por medios digitales se podría dificultar, no así por interpretación visual donde por textura y color son relativamente fáciles de identificar. Por su parte el bosque ralo muestra un comportamiento totalmente distinto al resto de las clases de vegetación no observándose un pico máximo de reflexión. Este resultado puede estar relacionado con la facilidad con que esta clase fue confundida en la imagen con el matorral denso y medio, coberturas con fisonomía muy similar.

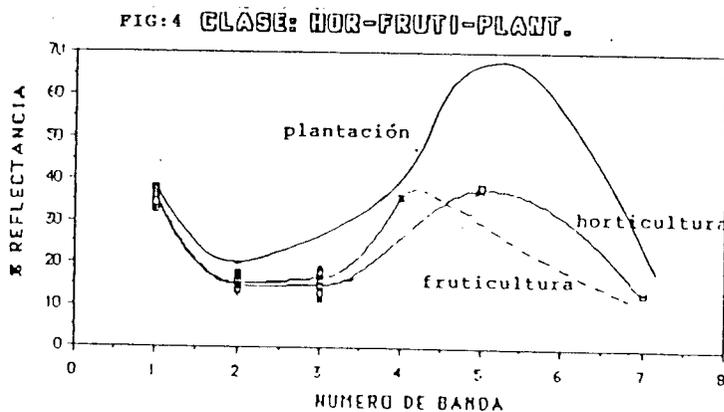
En el infrarrojo medio la respuesta de la vegetación está dominada por una fuerte absorción de agua, lo que explica la caída de las curvas en las regiones cercanas a la banda 7. Por su parte, las clases de matorral y sabana (Fig.3) exhiben comportamiento similar entre sí debido fundamentalmente al parecido fisionómico de las mismas, observándose un ligero incremento en el visible y alcanzándose el pico máximo de reflectancia en la región del infrarrojo medio (banda 5). Estos resultados están relacionados con el hecho de que la vegetación para el momento de la toma de la imagen poseía bajo contenido de agua, incrementándose la reflexión en vez de disminuir por la absorción de agua.

Estos resultados de antemano nos hacen suponer que la discriminación de estas clases por medios digitales se dificultará y que además las bandas 1,4 y 5 deben ser consideradas en el análisis de la cobertura vegetal.



Para el análisis de las curvas de uso agrícola (Fig.4) deben ser considerados el efecto temporal o variación en el tiempo de la características espectrales de los usos y el efecto espacial o distintas localizaciones geográficas en la cual se desarrolla un mismo uso. En las clases plantación (caña de azúcar) y horticultura ambos efectos son muy notorios. En el primero el patrón geométrico no varía, pero sí la localización geográfica, lo cual ejerce influencia sobre las condiciones de humedad del suelo, los estadios de crecimiento y la madurez del cultivo. Con la clase horticultura ocurre que en la misma están contenidos diversos rubros, con ciclos y patrones geométricos diferentes, además de ser cultivados en distintas localidades y condiciones. Para solventar estos efectos se tomaron radiometrías en distintas áreas, estadios de crecimiento y condiciones de humedad del suelo, generandose una curva promedio de estas clases. Así, la reflectancia para estas clases comienza a mostrarse en la banda 4 y alcanza su máxima expresión en la banda 5, siendo mayor la reflectancia de la caña de azúcar, debido fundamentalmente a la densidad de la cobertura y a la disposición casi vertical de sus hojas.

La curva para la clase fruticultura no se asemeja a las curvas de los otros usos agrícolas sino a las curvas de bosque denso y medio. Este resultado esta relacionado con los rubros característicos de este tipo de uso y nos hace pensar que la discriminación y confusión entre estas clases al ser analizadas por medios digitales debe ser elevada, al menos en la banda 4. Por interpretación visual y haciendo uso del color y patrón de disposición, la identificación es bien precisa, empleando las bandas 4 y 5, más aún cuando el cultivo esta maduro y localizado en tierras planas.



Con respecto a las clases urbano-industrial (Fig.5) se observan picos de reflectancia tanto en el visible como en el infrarrojo y esto está directamente relacionado con los distintos materiales con que están construidas las estructuras urbano-industriales, lo cual influye directamente sobre la reflexión de la energía electromagnética. Nuestros resultados indican que las bandas 1,3 y 5 parecieran ser útiles para la identificación de este uso.

La cobertura de agua (Fig.6) puede ser delimitada perfectamente con las bandas del infrarrojo, debido a que la absorción de la radiación por parte de ella es total en estas longitudes. Para estudios de características y composición del agua se requieren otras metodologías, pero en general son de utilidad las bandas del visible 1 y 3.

FIG: 5 CLASE: URBANO-INDUSTRIAL

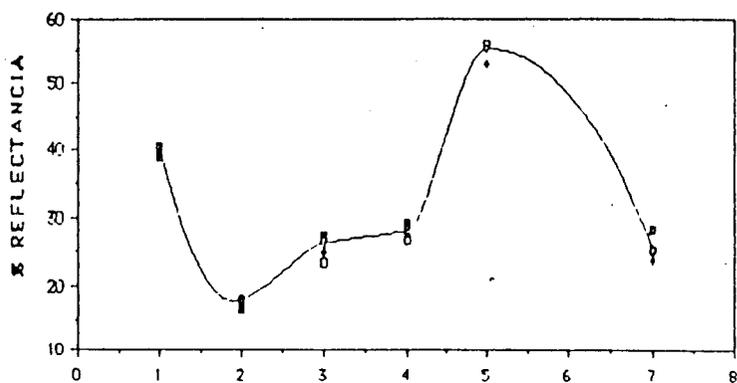
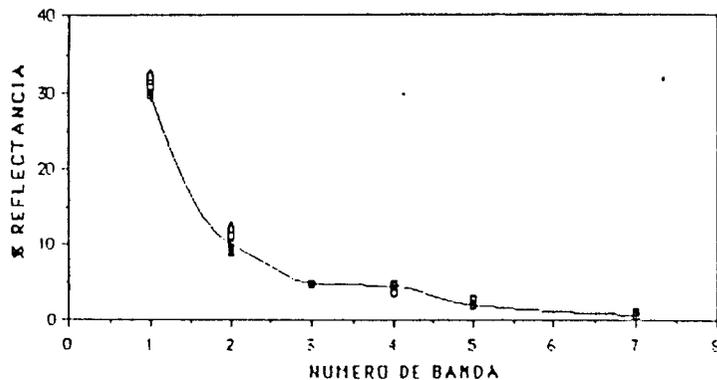


FIG: 6 CLASE: AGUA



Hasta los momentos las bandas 1,3,4 y 5 parecen ser las más útiles en la identificación de los usos y coberturas presentes en el área de estudio; esto parece confirmar lo expuesto por Chávez, et al, 1984, quienes encontraron que es suficiente incluir una banda del visible, una del infrarrojo cercano y una del infrarrojo medio para extraer la máxima cantidad de información presente en una escena de TM.

Cuál es entonces la combinación de bandas tomada a tres que posee la mayor cantidad de información ?. Según Chávez et al, (1982,1984) la combinación con el mayor valor de OIF general-mente debería contener la mayor cantidad de información (medida por varianza) con la menor cantidad de redundancia (medida por correlación). Combinaciones con un valor similar pueden producir resultados similares.

Los resultados indican que en la combinación 1,4 y 5 (en especial cuando la banda 4 es visualizada en el cañón rojo) la mayoría de las clases poseen los más altos valores de OIF. Esta combinación produjo excelentes aportes en la interpretación de las clases de uso cobertura analizadas. Resultados similares se obtuvieron con las combinaciones 2,4 y 5 y 3,4 y 5.

La otra combinación que aportó información valiosa fue la 3,4 y 7, principalmente por la presencia de la banda 7 la cual enfatiza información sobre tierra. En esta combinación se encontró información no observada en otras combinaciones principalmente sobre vegetación, humedad del suelo y uso urbano-industrial.

Clasificación Supervisada

La selección de campos de entrenamiento con las combinaciones 1,4 y 5; 1,5 y 7; 3,4 y 7 y 2,3 y 4 aportaron excelentes resultados ya que la diferenciación de las clases fue mayor del 87% (Tabla 3). Comprobamos la confusión prevista en el análisis de curvas de firma espectral para las clases matorral y sabana, sabana y agrícola, lo cual dificultó en grado sumo la separación más detallada por medios digitales de las categorías de vegetación por densidad y las clases de uso agrícola, no así por análisis visual donde las claves de interpretación aportan valiosa información para la interpretación. Estas dificultades motivaron la unión de categorías de vegetación y uso en clases más generales como bosques, matorral y agrícola. Comprobamos que la unión de clases espectralmente muy similares en áreas de relativa complejidad aumenta la exactitud de la clasificación y que además la identificación visual de los cultivos con datos del TM en mucho más exitosa que la clasificación supervisada.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de técnicas de percepción remota, ofrece la posibilidad de inventariar y monitoriar en breve tiempo y con apreciable exactitud diversos recursos naturales de áreas extensas e inaccesibles, gracias a la periodicidad, resolución espectral y espacial de los satélites de observación terrestre.
- 2.- La selección de bandas, al menos para la interpretación visual, puede ser realizada haciendo uso de distintas técnicas de procesamiento. Corresponde al investigador elegir cual de ellas emplear en función de sus objetivos, costos y tiempo disponible.
- 3.- Utilizando los métodos de histogramas, análisis de componentes principales y matriz de correlación se obtiene una selección de bandas a priori, rápida y de bajo costo.
- 4.- Las curvas de firma espectral constituye el método más preciso de selección de bandas, requiere de un amplio conocimiento del área de estudio, elevada destreza y comprensión en la interpretación de imágenes.
- 5.- Las combinaciones de bandas 1,4 y 5 y 3,4 y 7 aportan la mayor cantidad de información sobre uso y cobertura de la tierra en la escena analizada. Estos resultados se corresponden en todos los casos con los métodos de procesamiento empleados.
- 6.- Una adecuada selección de bandas aumenta la precisión y calidad en la elección de campos de entrenamiento y por ende de la clasificación supervisada.
- 7.- El análisis digital provee una rápida aproximación del área de estudio, más aún en zonas con coberturas contrastantes como las presentes en la Cuenca del Lago de Valencia; mientras que, el análisis visual aporta mayor precisión y nivel de detalle en zonas donde la complejidad, las variaciones espaciales y temporales de las categorías de uso y cobertura es muy elevada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Avilán, G. 1989. **Metodología de Interpretación Visual de Imágenes de Satélite**. Publicaciones F.I.I. C.P.D.I. pp. 14.
- Avilán, J. y H. Eder. 1986. **Sistemas y Regiones Agrícolas de Venezuela**. Fundación Polar. MAC. Caracas, 162 pp.
- Chávez, P.S. Jr; G.L. Berlin and L.B. Sowers, 1982. **Statistical Method for Selecting Landsat MSS Ratios**. Journal Applied Photographic Engineering. 8:23-30.
- Chávez, P.S. Jr. and J.J.A. Bowell, 1984. **Image Processing Techniques for Thematic Mapper Data**. 50th Annual Amer. Soc. Photo. Symposium, Falls Church, Virginia, March, 1984.
- Chávez, P.S. Jr. and J.A. Bowel, 1988. **Comparison of the Spectral Information content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three different sites in the Phoenix, Arizona**. Photogramm. Eng. and Remote Sens. 54(12):1699-1705.
- Chávez, P.S., Jr. and A.Y. Kwarteng. 1989. **Extracting Spectral Contrast in Landsat Thematic Mapper Image Data Using Selective Principal Component Analysis**. Photogramm. Eng. and Remote Sens. 55(3):339-348.
- Eder, H.M. y J.A. Avilán, 1975. **A Preliminary Study of the Agricultural Systems of the Lake Valencia Basin**. Universidad Central de Venezuela. Instituto de Geografía y Desarrollo Regional. Caracas.
- Jensen, J.R., 1986. **Introductory Digital Image Processing a Remote Sensing Perspective**. Prentice-Hall. Englewood cliffs, New Jersey.
- Swain, P.H. and S.M. Davis, 1978. **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. Mc Graw- Hill International Book Company. pp.326.