

APLICACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE EN LA CARTOGRAFÍA DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN EN UNA REGIÓN DEL ORIENTE DEL VALLE DE MÉXICO

E. Buendía-Rodríguez¹; S. Terrazas-Domínguez²; E. Vargas-Pérez²

¹Investigador del INIFAP, Campo Experimental Valle de México. Apdo. Postal No. 307. C. P. 56101. Chapingo, México. Correo-e: ebuendia_uach@yahoo.com

²Profesor-Investigador de la División de Ciencias Forestales, de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. C. P. 56230.

RESUMEN

En México la aplicación de sensores remotos se encuentra en la fase de experimentación, por lo cual se están generando metodologías propias para el estudio del territorio mexicano. Para la clasificación de uso de suelo y vegetación, se realizó un estudio en la cuenca oriental del Valle de México, utilizando imágenes Landsat TM y Spot XS; procesadas mediante el Sistema Personal Interactivo de Percepción Remota versión 2.0 (SPIPR II), para diez unidades de clasificación que fueron: agricultura de riego (AR), agricultura de temporal (AT), pastizal halófilo (PH), bosque de pino (BP), pastizal inducido (PI), zona urbana (ZU), cuerpos de agua (CA), bosque de pino-pastizal (BP-PI), bosque de encino-matorral (BE-MI) y bosque de abies (BA). Para el cumplimiento de los objetivos de dicho trabajo se establecieron cuatro tratamientos (componentes principales, análisis de texturas, convolución y filtrado) sobre tres combinaciones de bandas (Landsat TM3-TM4-TM5, TM2-TM5-TM7 y Spot XS1-XS2-XS3). La mejor precisión fue para las imágenes clasificadas Landsat TM2-TM5-TM7 sin tratamiento con un 75 %, para Landsat TM3-TM4-TM5 sin tratamiento, fue de 69.07 % y las imágenes clasificadas Spot XS1-XS2-XS3 con el tratamiento de componentes principales tuvieron un 69.07 %.

PALABRAS CLAVE: sensores remotos, clasificación de uso de suelo y vegetación, Landsat TM, Spot XS.

APPLICATION OF SATELLITE IMAGES FOR CARTOGRAPHY OF LAND USE AND VEGETATION IN EASTERN VALLEY OF MEXICO

SUMMARY

In Mexico the application of remote sensing techniques is in experimentation. For this reason, appropriate methodology is being generated for the study of land use classification and vegetation of Mexican territory. We conducted a study for the eastern region of the Valley of Mexico, using Landsat TM and Spot XS images, and proceeding with the Personal Interactive System of Remote Perception version 2.0 (SPIPR II), for ten units of classification: irrigation agriculture (AR), rainfed agriculture (AT), halophile grass (PH), forest pine (BP), induced grass (PI), urban zone (ZU), bodies of water (CA), forest pine-grass (BP-PI), oak forest-scrub (BE-MI) and fir forest (BA). Four treatments (principles components, texture analysis, convolution and filtrate) over three combinations of bands (Landsat TM3-TM4-TM5, TM2-TM5-TM7 and Spot XS1-XS2-XS3) were established. As a result, we obtained an accuracy of 75% for the classification of Landsat TM2-TM5-TM7 image without treatment; for Landsat TM3-TM4-TM5 without treatment accuracy was 69.07%, and the classified Spot XS1-XS2-XS3 images with the principle components had an accuracy of 69.06%.

KEY WORDS: remote sensing, classification of land use and vegetation, Landsat TM, Spot XS.

INTRODUCCIÓN

Una de las bases fundamentales para hacer una correcta planeación del manejo de la vegetación y el suelo, es el conocimiento del uso actual del mismo, ya que los recursos sufren constantes cambios. El impacto de estos cambios sobre el ambiente, ha sido tradicionalmente evaluado por procesos de interpretación en fotografías aéreas, sin embargo, en años recientes el desarrollo de los sensores remotos ha facilitado la generación de nuevos

métodos basados en interpretación de imágenes de satélite y el uso de equipo computarizado, que ofrece mayor rapidez y confiabilidad en la generación de la cartografía de los recursos naturales. Williams y Millar, (1979) citado por Cámara, (1983) plantean que el mayor potencial de las técnicas de sensores remotos radica en el mapeo periódico (monitoreo), mediante el cual es posible medir entre otros aspectos, el sentido y la periodicidad de los procesos de desmonte, reforestación y cambio de uso de suelo.

La percepción remota se encuentra principalmente dirigida al estudio de los recursos naturales en mayor medida se apoya en el espectro electromagnético que abarca, generando ventajas al discriminar tipos de cubiertas vegetales. Así, el sensor del satélite Landsat TM 5 tiene 7 bandas, cada una de estas capta una determinada longitud de onda con aplicaciones diferentes, así por ejemplo, la banda 1 se usa para estudios hidrológicos y mapeo de costas, la banda 2 para estudios de vegetación sana y vigor, la banda 3 para clasificación de vegetación y estudios de clorofila, la banda 4 para el contenido de biomasa y cuerpos de agua, la banda 5 para contenidos de humedad, nieve y nubes, la banda 6 para estudios vulcanológicos y de contaminación, la banda 7 para estudios de fisiografía del terreno (Soria *et al.*, 1998).

Sin embargo, uno de los principales problemas al utilizar esta tecnología es la baja precisión en estudio a detalle y a semidetalle, por lo tanto, se hace necesario buscar nuevas metodologías que ayuden a incrementar la precisión. Algunas de las alternativas que se pueden explorar son: el uso de filtros y realces de las imágenes de satélite, que servirían para realizar una cartografía con mayor precisión de los recursos naturales.

Teniendo conocimiento de la respuesta espectral de la cubierta vegetal y el uso del suelo, varios autores han experimentado con el uso de imágenes de satélite como Jefferson *et al.*, 1992, quienes realizaron una clasificación de uso de suelo y vegetación utilizando la combinación de bandas Spot XS y Landsat TM, que fueron procesadas con el programa Arc/Info, las cuales proporcionan información de las condiciones de la cobertura del suelo por arriba del 80 % de precisión.

Otros autores utilizan filtros o realces para clasificar las imágenes como Bradbury, *et al.* (1988), estos autores realizaron una clasificación de uso del suelo con imágenes Landsat TM, obteniendo una precisión del 62 % al aplicar el algoritmo clasificador de máxima verosimilitud en 15 clases, algunas de estas categorías fueron clasificadas con mayor precisión que otras; por ejemplo, el bosque de coníferas con el 92 % y para pastizales un 43 % de precisión.

Dentro de estos nuevos alcances, el programa para la obtención de imágenes Spot presenta un desarrollo prometedor dentro de los actuales proyectos de percepción remota; esto debido a la versatilidad en la obtención de imágenes en las modalidades de pancromático y multibanda, así como a sus respectivas resoluciones espaciales; y por otro lado, a su capacidad de variación del ángulo de observación (González, 1998).

Utilizando dicha ventaja Manière *et al.* (1991), hacen una comparación de las aportaciones del Landsat TM y Spot HRV aplicados a los inventarios forestales mediterráneos, definiendo ocho clases de vegetación. En

dicho trabajo, se establecieron cuatro correlaciones lineales de las bandas Spot y TM; obteniéndose para la combinación Landsat TM2-TM3-TM4 un 61.5 % de precisión, para combinación TM3-TM4-TM5 un 68.1 %, para Spot XS1-XS2-XS3 un 69.4 % y para XS1-XS2-TM5 un 84.4 %. De esta manera se pudo apreciar la aportación significativa de la banda 5 del Landsat TM. También señalan que dadas las combinaciones de las bandas del Landsat TM y Spot HRV, que brindan tanto cualidades espaciales como espectrales, ofrecen como resultado final un 97 % de píxeles correctamente clasificados para la clase de montes altos de *Pinus halepensis*, un 98 % para la clase de formaciones sub-forestales abiertos y un 96 % para la clase de montes bajos de *Quercus* sp.

Otros autores prefieren aplicar procesos previos a la clasificación para obtener mejores resultados como lo usado por Knippers (1992), que realiza un proyecto de monitoreo de la cobertura de la tierra del Valle de Calavon en el sureste de Francia, usando imágenes Spot XS, en las cuales se realizaron dos pre-procesos, encontrando para el método de K-nearest neighbour un 64.5 % de precisión y para la clasificación con el método de máxima verosimilitud una precisión del 59.2 %.

Para el caso de México, Noguez (1993), realizó un estudio en la región oeste del Distrito Federal sobre uso de suelo y vegetación mediante imágenes Landsat TM y MSS con la combinación de bandas TM1-TM4-TM5 y MSS4-MSS6-MSS7 respectivamente, este autor aplicó tratamientos de filtrado para las dos imágenes con el programa SPIPR II y encontró para las bandas TM con filtro, un 71.2 % de precisión, sin filtro un 65 %, mientras que para las MSS con filtro es de 59.1 % de precisión y un 50.39 % sin filtro.

Ponce (1998), realizó una clasificación de uso de suelo y vegetación con imágenes Landsat TM, al noreste del estado de Tabasco utilizando la clasificación supervisada con el método de máxima verosimilitud alcanzando una precisión de 81.11 %.

De aquí que el presente trabajo tuvo como objetivo el comparar la eficiencia de la clasificación automatizada para obtener la cartografía de 10 unidades de uso de suelo y vegetación empleando imágenes de sensor Landsat TM y Spot XS, con varios tratamientos de filtrado realizados con el programa SPIPR II en una región de la cuenca oriental del Valle de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en el municipio de Texcoco al oriente del Estado de México, entre las coordenadas 19° 29' 30" y 19° 24' 30" latitud norte y 98° 57' 30" y 98° 42' 30" longitud oeste (Figura 1). Cubre una superficie de 24 435 ha, con una altitud media de 2465 msnm.

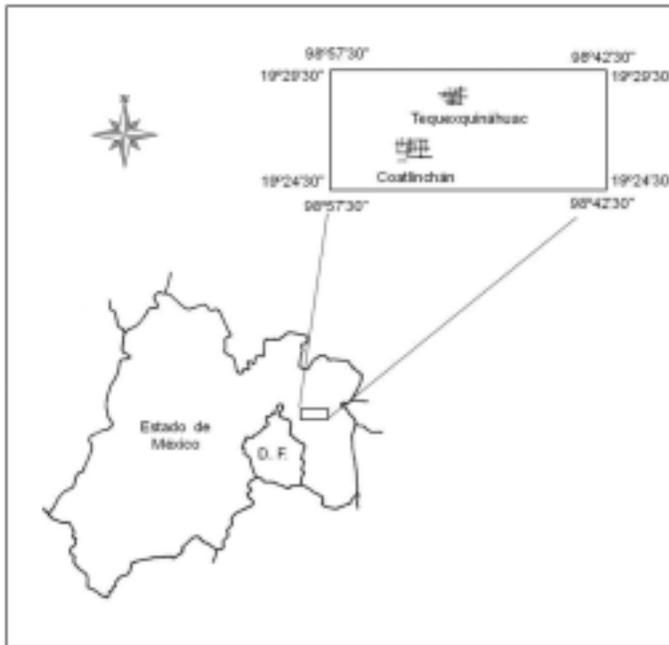


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

Para su realización se utilizó la carta E14B31 topográfica, uso de suelo y vegetación, edafológica y geológica editadas por INEGI, a escala 1:50 000; se utilizaron recortes de imágenes Landsat Thematic Mapper (TM) en sus bandas 2, 3, 4, 5 y 7, de tamaño 1200 por 1200 píxeles, obtenidas en Febrero de 1991, imágenes Spot en sus bandas XS1, XS2 y XS3, de 1334 por 1044 píxel, obtenidas en 1991. Para procesar las imágenes se utilizó el programa «Sistema de Procesamiento Interactivo de Percepción Remota Versión 2.0, (SPIPR II)» elaborado por el centro científico de IBM de México y el INEGI.

La metodología utilizada se dividió en cuatro fases que fueron: adecuación de la información, procesamiento digital de la información, clasificación automatizada y validación de la clasificación.

Adecuación de Información

Se definieron las unidades de clasificación de uso de suelo y vegetación para la zona de estudio con un total de 10 clases que fueron: agricultura de riego (AR), agricultura de temporal (AT), pastizal halófilo (PH), bosque de pino (BP), pastizal inducido (PI), zona urbana (ZU), cuerpos de agua (CA), bosque de pino-pastizal (BP-PI), bosque de encino-matorral (BE-MI) y bosque de abies (BA); esta definición fue extraída de la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI (INEGI, 1985).

Procesamiento digital de la información.

Para que las imágenes de satélite tuvieran una validez cartográfica se realizó la corrección geométrica utilizándose

un total de 10 puntos de control para las imágenes Landsat TM, aplicado con el polinomio de segundo grado y el método de vecino más cercano, obteniendo un error medio cuadrático (RMS) de 1.269. Para las imágenes Spot se utilizó un total de 12 puntos de control, aplicando el polinomio de primer grado y el método de vecino más cercano, obteniendo un error medio cuadrático de 1.30.

En la selección de combinaciones de bandas del sensor Landsat se tomó como base lo reportado por Haas (1992), que utilizó la combinación de bandas TM3-TM4-TM5, la cual distingue fácilmente los tipos de vegetación, carreteras y otros rasgos al descubierto. La selección de las bandas TM2-TM5-TM7 se realizó con base en la gráfica de firmas espectrales presentando una ganancia de información, observándose una clara separación entre las clases; las bandas del sensor Spot que se utilizaron fueron: XS1, XS2 y XS3, buscando hacer una combinación en falso color.

Una vez que se definieron las combinaciones de bandas, se les aplicó tratamientos previos a la clasificación como fueron: análisis de componentes principales, análisis de textura, filtrado y convolución.

El tratamiento de componentes principales se aplicó con la finalidad de eliminar el "ruido" y el albedo para proporcionar una mejor identificación de las unidades de uso de suelo y vegetación, en el caso de análisis de textura genera una imagen donde los grises oscuros representan las variaciones suaves de los tonos de las imágenes originales y los grises claros las texturas rugosas.

Para el proceso de filtrado se aplicó el pasa baja distribución Butterwort, el cual proporciona una disminución en las estadísticas de los niveles digitales, logrando semejar el nivel digital (ND) de cada píxel al de los píxeles vecinos, reduciendo así la variabilidad espacial de la escena. De la misma manera la convolución es un filtro adaptativo del cual se obtienen valores digitales de los píxeles; para este estudio se utilizó el modelo de promedios ponderados de los píxeles, los tres primeros con ventanas de 3 x 3 y los seis últimos con ventanas que van de 5 x 5 hasta 15 x 15 píxeles.

Clasificación supervisada

Debido al conocimiento que se tiene de la zona, se consideró que hacer una clasificación supervisada con el método de máxima verosimilitud era la mejor opción para identificar las clases de uso de suelo y vegetación.

Para dicho proceso se utilizó un total de dos campos de entrenamiento por clase, los cuales tienen un rango en tamaño de 200 a 1200 píxeles, resultando un total de 20 campos por clasificación, cumpliendo esta condición tanto en las imágenes Landsat TM como en las Spot XS.

Validación de la clasificación

Para evaluar la clasificación, se aplicó una cuadrícula sobre las imágenes clasificadas, dicha cuadrícula tuvo una dimensión de 0.35 x 0.35 cm dando una superficie aproximada en el terreno de 0.25 ha, por cada cuadro. Utilizando el 10 % de intensidad de muestreo se levantaron un total de 97 sitios de verificación, ubicándose de forma aleatoria en el área de estudio.

En cada sitio se tomaron los siguientes datos: ubicación geográfica (latitud y longitud), tipos de vegetación y/o uso de suelo. Con la información de los puntos verificados en campo y la proporcionada por la imagen se realizó una matriz de confusión para determinar la concordancia de la clasificación con la realidad observada en campo.

RESULTADOS

Clasificación automatizada

Al obtener la clasificación de las imágenes sin tratamiento de la combinación de bandas TM3, TM4 y TM5, se observó en la gráfica de firmas espectrales (Figura 2), una adecuada separación entre clases, esto coincide con lo obtenido en las distancias Jeffrie-Matusita (J-M), la cual cuantifica la separación entre clases, siendo 1.0 la máxima distancia posible de una clase con respecto a la otra. Por lo cual, se deduce que las clases donde existe una distancia J-M más baja es la de pastizal inducido (PI), comparada con la clase bosque de encino-matorral (BE-MI) la cual fue de 0.686. Estas condiciones resultan similares con las clases de bosque de pino (BP), comparada con la clase de bosque de abies (BA).

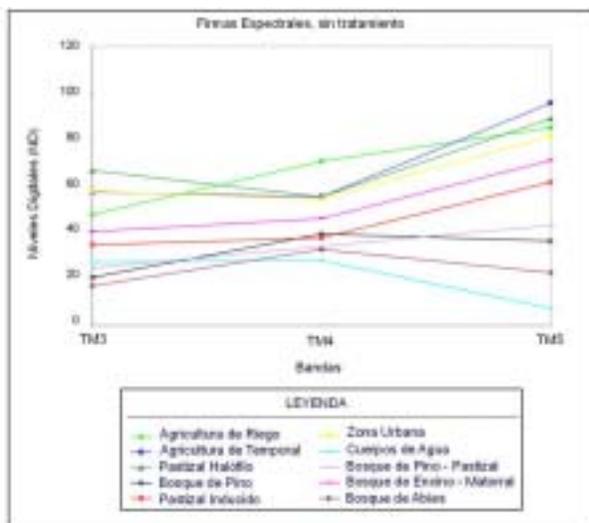


Figura 2. Gráfica de firmas espectrales de Landsat TM3, TM4 y TM5

En tanto que la gráfica donde se distingue mejor la separación entre clases es la de cuerpos de agua (CA), resultando una distancia J-M igual a 1.0 que representa una mejor separación. Otra condición similar se muestra entre las clases de bosque (BP, BA, BP-PI y BE-MI), comparada con el resto de las clases, obteniendo una distancia J-M superior a 0.960. En tanto que para el tratamiento de filtrado y convolución tienen comportamiento similar, observándose una mejoría en la identificación de clases en el tratamiento de filtrado.

En el caso de la clasificación de la combinación de bandas Landsat TM2, TM5 y TM7, se observó que las gráficas espectrales de las imágenes sin tratamiento (Figura 3), muestran una buena separación entre clases. En cambio, al comparar las estadísticas de las distancias J-M se tiene una gran variación, la cual va desde 0.456 como resultado de la comparación entre agricultura de temporal (AT) y pastizal inducido (PI), hasta 1.0 que representa la comparación de la clase de cuerpos de agua (CA) con el resto de las clases.

Al examinar la clasificación donde se realizó el tratamiento de componentes principales, se observó que las clases con menor distancia J-M son: agricultura de temporal (AT) comparada con zona urbana (0.594), y los mejores resultados fueron para la clase de cuerpos de agua (CA) alcanzando 0.999.

En tanto que las imágenes que fueron tratadas con filtrado, muestra una buena separación entre clases, mostrándose de igual manera en las estadísticas de J-M, observándose que la mayoría son superiores 0.940.

La gráfica de firmas espectrales del tratamiento de convolución, muestra una semejanza con la gráfica de

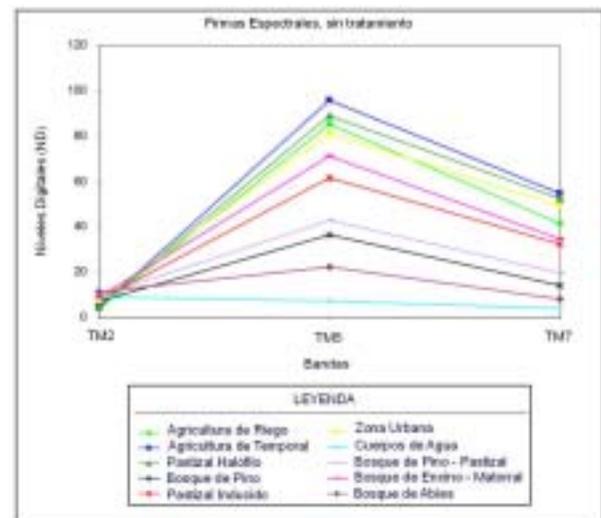


Figura 3. Gráfica de firmas espectrales de Landsat TM2, TM5 y TM7

CUADRO 1. Precisión de las imágenes clasificadas con sus diferentes tratamientos.

Tratamiento	Sin tratar	Componentes principales	Análisis de y textura	Convolución	Filtrado
TM3, TM4 Y TM5	69.07	65.98	48.45	67.01	65.98
TM2, TM5 Y TM7	75.00	59.79	32.99	60.82	61.86
Spot XS	66.04	69.07	38.14	68.04	63.92

bandas donde no se aplicó tratamiento. De la misma forma las distancias J-M tienen un comportamiento similar, pero con niveles digitales más bajos con relación a las obtenidas en la clasificación de las no tratadas, también se observó que la mayor distancia J-M se presentó entre las clases cuerpo de agua (CA) y bosque de abies (BA) con valores de 0.999.

Al llegar a las estadísticas de clasificación de las imágenes Spot XS se observó, que la gráfica de firmas espectrales sin tratamiento (Figura 4), presenta una buena separación entre clases, concordando con las distancias J-M, ya que la mayoría superó 0.850 excepto donde se compara la clase de pastizal halófilo (PH) con zona urbana (ZU) que es de 0.684. Cuando se observan las estadísticas del tratamiento de componentes principales se tiene que las distancias J-M son similares a las obtenidas de las imágenes sin tratamiento.

Validación de la clasificación

El porcentaje de confiabilidad global obtenida para las imágenes clasificadas que se muestra en el Cuadro 1, indica que las condiciones óptimas para llevar a cabo la clasificación automatizada de uso de suelo y vegetación,

están dadas por la combinación de imágenes Landsat TM2, TM5 y TM7 sin aplicar tratamiento (Figura 5), alcanzando un 75 % de confiabilidad. Seguida de la combinación Landsat TM3, TM4 y TM5 sin tratamiento (Figura 6), y Spot XS con tratamiento de componentes principales (Figura 7); ambos con una confiabilidad del 69.07 %.

En tanto las precisiones menores fueron para la clasificación de las imágenes tratadas con análisis de textura en las combinación TM2, TM5 y TM7 del sensor Landsat con una precisión de 32.99, y 28.14 % del sensor Spot XS con el mismo tratamiento.

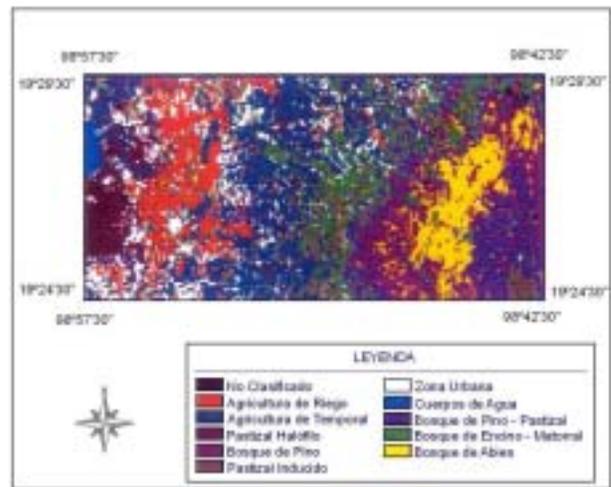


Figura 5. Imagen clasificada de la combinación Landsat TM3, TM4 y TM5, sin tratamiento.

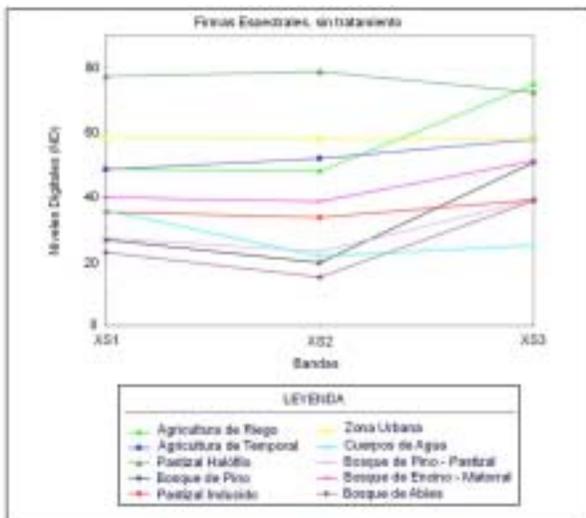


Figura 4. Gráfica de firmas espectrales de Spot XS1, XS2 y XS3.

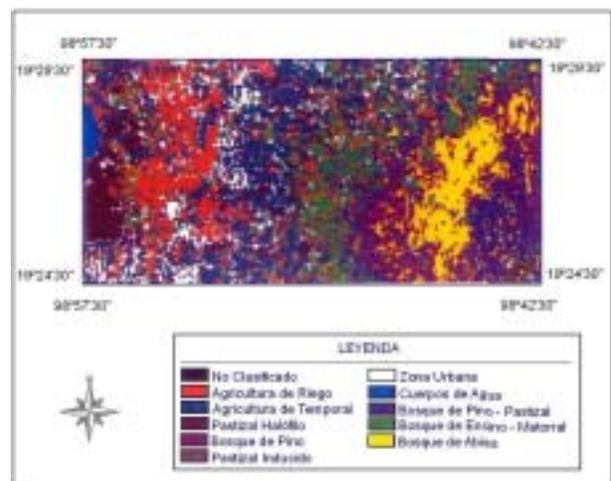


Figura 6. Imagen clasificada de la combinación Landsat TM2, TM5 y TM7, sin tratamiento.

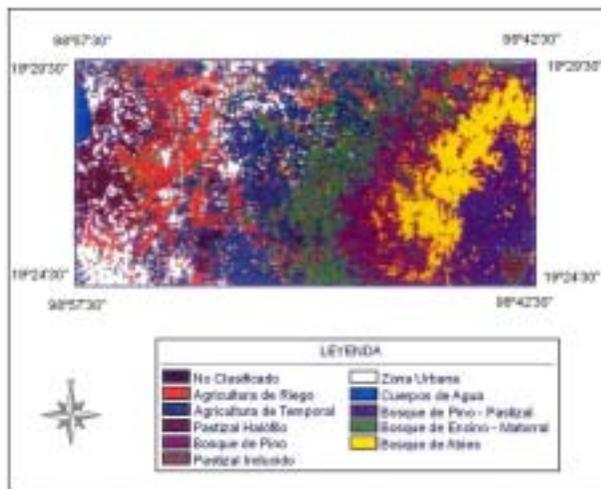


Figura 7. Imagen clasificada de la combinación Spot XS1, XS2 y XS3, con tratamiento de componentes principales.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos, se puede desprender que en general los tratamientos de las imágenes presentadas con el programa SPIPR II tuvieron una clasificación aceptable, tanto las imágenes Landsat TM como las Spot XS, excepto los resultados arrojados con el tratamiento de análisis de textura que resultó ser muy bajo (>50% de precisión), incluso no se recomienda para este tipo de estudios.

En los tratamientos de filtrado y convolución que se aplicaron a las imágenes originales, resultaron ser menor al porcentaje de precisión con respecto a estas. Esto debido a la homogeneización de las áreas, eliminando las pequeñas áreas de otras clases. Esto funciona mejor para superficies pequeñas.

En este estudio las imágenes originales presentan una mayor precisión que el resto de los tratamientos. En el caso de la combinación de bandas Landsat TM2, TM5 y TM7 representa un 13.14 % mayor precisión que las imágenes con tratamiento de filtrado. En la combinación de las bandas Landsat TM3, TM4 y TM5 resulta ser 3.09 % mejor que en el tratamiento de filtrado, resultando lo contrario a lo que señala Boluda (1988), quien considera que las bandas por sí solas no son muy efectivas en la discriminación de clases.

Para las bandas Landsat TM3, TM4 y TM5 las imágenes sin tratar dan una precisión de 69.07 % que resulta mayor que la reportada por Manière *et al.* (1991), que fue de 68.10 %.

Para las imágenes Spot XS, los resultados observados de los tratamientos: componentes principales (69.07 %), convolución (68.04 %), filtrado (63.92 %) y sin tratar (66.04 %), son ligeramente menores a los obtenidos

por Manière *et al.* (1991), que es de 69.4 %. Prácticamente estos resultados son iguales, las pequeñas diferencias se deben al programa de procesamiento automática de las imágenes de satélite utilizado para la clasificación y a las condiciones que prevalecen en el área de estudio como son: la pendiente, la humedad relativa, contaminación ambiental, fecha y hora de toma de las imágenes.

La precisión de las clases de bosque de pino (BP) por lo regular en todos los tratamientos fue de 100 %, de la misma manera sucede con la clase de bosque de abies (BA) en las imágenes Spot, que resulta mayor que la obtenida por Bradbury *et al.* (1988), que fue 92 %, en bosque de coníferas.

CONCLUSIONES

Es factible llevar a cabo estudios de cartografía de unidades de uso de suelo y vegetación, empleando el proceso de clasificación supervisada del Sistema Personal Interactivo de Percepción Remota versión 2.0, con imágenes del satélite Landsat TM en su combinación de bandas 2, 5 y 7, sin tratamiento.

El uso de imágenes del satélite Spot XS no es recomendable en estudios de grandes áreas, donde existe gran diversidad de cubierta terrestre, siendo la causa probable la baja resolución espectral que registra este sensor, no obstante, estas imágenes tratadas con el método de análisis de componentes principales, pueden ser aplicadas a estudios de unidades de uso de suelo y vegetación de pequeñas áreas, donde la diferencia de reflectancia espectral es marcada y poco variable.

LITERATURA CITADA

- BOLUDA, H. R. 1988. Clasificación de sectores ecológicos en la sierra del Negrete y Uriel (Valencia), usando el sensor TM del satélite Landsat 5. Anales de edafología y agrobiología. Universidad de Valencia. España. 47(5-6) pp. 1103-1114.
- BRADBURYI, P. A.; HAIWES; YOUNG, R. H; MATHER, P. M; SMART, C. W. 1988. Woodlands in the welsh landscape: analysts based on remotely sensed satellite data and digital terrain information. ITE Symposium, Institute of terrestrial ecology, natural environment research council, UK. No. 21. pp. 48-55
- CÁMARA, R. A. 1983. El uso de datos Landsat en el monitoreo forestal. Revista Ciencia Forestal. 8(44): 42-63 pp.
- GONZÁLEZ, R. A. 1998. Estudio de la relación entre características de la cubierta terrestre y valores espectrales del satélite Spot XS. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 71 p.
- HAAS, R. H. 1992. Landsat Thematic Mapper products for rangeland assessment. Goecarto International. 7(1): 27-33 pp.
- INEGI. 1985. Carta Uso de Suelo y Vegetación E14B31 (Chalco) Escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México, D. F.

- JEFFERSON, F; KRUMMEL, J; YARNASARY, S; EKASINGB, M; PODGER, N. 1992. Land use and landscape dynamics in northern Thailand; Assessing change in three upland watersheds since 1954. Program environment, East-West center, Honolulu, Hawaii. 20 p.
- KNIPPERS, R. 1992. Monitoring land cover in southern France; A project for teaching remote sensing classification techniques cartography section. Faculty of Geographical Sciences, Utrecht. University Utrecht the Netherlands. 7 p.
- MANIÈRE, R; CHAMINGNON, C; OURBOULÈS, J. 1991. Landsat-TM et Spot-HRV appliqués aux inventaires forestiers Méditerranéens: Apports comparés. Rev. Photo-Interprétation. (5): 13-20.
- NOGUEZ, H. R. 1993. Comparación entre imágenes Landsat Thematic Mapper (TM) y Multispectral Scanner (MSS) en la clasificación del uso de suelo. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 115 p.
- PONCE, C. J. E. 1998. Clasificación de uso del suelo y vegetación en un área del estado de Tabasco mediante imágenes de satélite. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Méx. 148 p.
- SORIA, R. J; ORTIZ S, C. A; ISLAS, G. F; VOLKE, H. V. 1998. Sensores remotos: Principios y aplicaciones en la evaluación de recursos naturales, experiencias en México. CONACYT, Publicación especial 7, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Colegio de Posgraduados, Montecillos, Méx. 93 p.