

Separabilidad espectral de cultivos agrícolas con Imágenes Landsat TM

Spectral separation of agricultural crops with Landsat TM Images

CARLOS MANJARREZ-DOMÍNGUEZ^{1,*}, CARMELO PINEDO-ÁLVAREZ²,
CRISTINA ELIZABETH VÉLEZ-SÁNCHEZ VERÍN², ALFREDO PINEDO-ÁLVAREZ³

Recibido: Junio 5, 2006

Aceptado: Agosto 28, 2007

Resumen

Los sensores remotos de diversas plataformas satelitales representan una herramienta para apoyar la toma de decisiones; la necesidad de contar con información ordenada y confiable sobre fenómenos de producción, establecimiento y manejo de áreas agrícolas motivó la ejecución de esta investigación que tuvo como objetivo analizar la separabilidad espectral de cultivos agrícolas del módulo 9 en el municipio de Meoqui, Chihuahua. Se utilizó el plano digital vectorizado del Distrito de Riego 005 y se georreferenció a través de puntos de control terrestre localizados mediante sistemas de posicionamiento global. Los puntos de control terrestre fueron ubicados en las imágenes compuestas de Landsat TM y en las cartas topográficas escala 1:50,000. En las parcelas bajo muestreo se realizó el análisis de separabilidad espectral de los cultivos de chile, nogal, cebolla, sandía y alfalfa, utilizando ventanas de 3x3 píxeles para coleccionar valores de reflectancia para cada banda de Landsat TM. Estadísticas descriptivas apoyaron la discriminación espectral. Se obtuvo un plano cartográfico digital del Módulo 9 del Distrito de Riego 005, orientado y georreferenciado con buen nivel de precisión. El análisis espectral de los cinco cultivos evaluados concentra la mayor parte de la información en un rango de 45 ND's (números digitales), con valores mínimos de 80 ND's y máximos de 125 ND's en las bandas visibles del espectro. La banda 3 mostró mayor capacidad para separar las firmas espectrales en comparación al resto de las bandas. Para el análisis simultáneo de los cinco cultivos y la generación de mapas a partir de clasificaciones exitosas, se sugiere utilizar las bandas 1, 2, 3 y 7, debido a que ofrecen mayor información, ya que ubican en forma precisa y sin confusión las distintas firmas espectrales de los cultivos.

Palabras claves: *Números Digitales, Landsat TM, Firma Espectral.*

Abstract

Remote sensors from diverse satellite platforms provide a tool to support decision-making. However, the need to have reliable and ordered information on production, establishment and management of crops areas triggered this project. The objective is to analyze the spectral separability of agricultural crops of Module 9 in Meoqui county in Chihuahua state. To develop this project, the vectorized digital plane of Irrigation District 005 was geo-referenced through landmarks located by global positioning systems. The landmarks were positioned in several composited Landsat TM images in a scale of 1:50,000. In the sampled areas, the spectral separation analysis of the main crops (chile, pecan, onion, watermelon and alfalfa) was done using 3x3 pixel windows to obtain reflectance values for each Landsat TM band. Descriptive statistics supported the spectral discrimination. A cartographic map was obtained from Irrigation Module 9 of the district, directing and geo-referenced with high precision. The spectral analysis of the five crops concentrated most information in a rank of 45 ND's (digital numbers) with 80 minimum values and 125 maximum values in the visible spectrum bands. Band number 3 showed the best capacity to split the spectral signature. For the simultaneous analysis of the five crops and the map generation with successful classifications, a combination of bands 1, 2, 3 and 7 is proposed because these bands offer more information which perfectly and clearly locate different crop spectral signatures.

Key words: *Digital Number, Landsat TM, Spectral Signature.*

Introducción

Los sensores remotos integrados a sistemas de información geográfica presentan un uso cada vez más frecuente en la producción agrícola, principalmente monitoreo y mapeo de plagas (Holmstrom *et al.*, 2001), aplicación de agricultura de precisión (MacRae, 1989) y modelación espacial para la predicción de cosechas (Johnson, 1989). Estas herramientas representan un soporte importante para apoyar la toma de decisiones mediante sistemas de planeación a escala regional en los distritos de riego (Alexandre *et al.*, 2005).

Actualmente existe una variedad de satélites de diferente resolución espacial, temporal y espectral apropiados para varias aplicaciones agrícolas (Moran *et al.*, 2002). A este respecto, los sensores remotos ofrecen técnicas metodológicas que pueden ser útiles debido a su análisis sinóptico, dada su alta información espacial y sus mediciones frecuentes de una parcela en el campo (Nieuwenhuis y Mucher, 1998). La plataforma Landsat TM proporciona información en las regiones térmicas, visibles e infrarrojas del espectro electromagnético utilizadas en múltiples aplicaciones agrícolas como programación de riegos, predicción de cosechas, detección de plagas y enfermedades, y más recientemente en contaminación y fertilidad de suelos (Henríquez *et al.*, 2005).

Sun (2000) resalta la importancia del uso de sensores remotos para el monitoreo dinámico del crecimiento de los cultivos y la estimación de las cosechas en China basados en los principios biofísicos de la percepción remota. Setter *et al.* (2000) utilizaron imágenes multitemporales Landsat

TM del mismo año para caracterizar la agricultura y relacionar la cobertura en diferentes tipos de suelo al oeste de Oregon, USA. Raupenstrauch y Selige (1998) mencionaron que un monitoreo de clasificación de cultivos puede estimar el nivel de balance de nutrientes en los campos agrícolas, con el fin de evitar riesgos ecológicos.

En ambientes agrícolas, las respuestas espectrales en los estados iniciales de crecimiento y en las etapas finales del cultivo muestran una mezcla compleja entre el suelo y la vegetación que varían de acuerdo con la localización de las áreas de cultivo, por lo que el conocimiento de respuestas espectrales *in situ* es útil para caracterizar las condiciones de las parcelas en producción (Senay *et al.*, 2000). En el dominio del espectro del infrarrojo cercano y medio cercano (700 a 1300 μm), la reflectividad de las hojas es controlada por su estructura celular y muestra los valores más altos de reflectividad, mientras que en el espectro visible (400 a 700 μm), la reflectividad está controlada por la concentración de pigmentos en la hoja, principalmente clo-

¹ Estudiante de Posgrado en la Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia Periférico Francisco R. Almada, Km. 1 de la Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc. C. P. 31031. Chihuahua, Chih. México. Tel. (614) 434-0303.

² Profesores-investigadores de la Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km. 1 de la Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc. C. P. 31031. Chihuahua, Chih. México. Tel. (614) 434-0303. cpinedo@uach.mx.

³ Estudiante de Posgrado en la Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia Periférico Francisco R. Almada, Km. 1 de la Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc. C. P. 31031. Chihuahua, Chih. México. Tel. (614) 434-0303. apinedoa@yahoo.com.mx.

* Dirección electrónica del autor de correspondencia: carlosmd23@hotmail.com.

rofila y carotenoides (Curran, 2005). Sin embargo, persiste una falta de entendimiento del comportamiento espectral de la reflectividad del follaje de los cultivos, el cual obedece a principios biofísicos y bioquímicos (Paz-Pellat *et al.*, 2005). En este sentido, la aplicación de imágenes de satélite representan una herramienta importante para la planeación, manejo y monitoreo de cultivos agrícolas en los distritos de riego en Chihuahua, México, ya que es posible el manejo de la información para estimar rendimientos de cosecha y densidad total de siembra, clasificar cultivos, establecer estrategias de comercialización y mecanismos que permitan la administración sustentable de los recursos agrícolas en la región.

Por lo antes expuesto, el objetivo principal de este estudio fue determinar la separabilidad espectral de los principales

cultivos agrícolas que convergen en el área de estudio: chile (*Capsicum Nahum*), nogal (*Junglas regia*), cebolla (*Allium cepa*), alfalfa (*Medicago sativa*) y sandía (*Citrullus vulgaris*).

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Módulo 9 del Distrito de Riego 005 en el estado de Chihuahua (Figura 1), ubicado entre los 27° 76' latitud norte y 105° 19' longitud oeste, con una altitud promedio de 1,165 msnm (INEGI, 1999).

En un área estimada de 8500 hectáreas sobresalen los cultivos de alfalfa, sandía, cebolla, chile y nogal. De acuerdo al sistema de Koppen, el clima es seco, desértico, con el régimen de lluvias en el verano y muy extremo. Las temperaturas medias mensuales varían de 10.5 a 30 °C, con un promedio anual de 15 °C y una oscilación aproximada de 17 °C. El periodo libre de heladas es de 172 a 286 días, con una media de 229 días y una probabilidad de ocurrencia del 50%. La precipitación promedio anual es de 280 mm, de los cuales el 85% ocurre en el periodo de junio a octubre. Los suelos, según INIFAP (2003), son de origen aluvial, identificándose 17 series. En general, los suelos contienen algunas cantidades de carbonato de calcio y sales de sodio, debido a un drenaje deficiente característico de esta región. En algunas áreas se han acumulado depósitos de material soluble, dando origen a suelos salinos y/o sódicos. En cuanto a la hidrología, la principal corriente superficial está formada por el río Conchos y sus tributarios (CONAGUA, 2002).

Como fuentes de datos se utilizaron imágenes del satélite Landsat TM (Thematic Mapper) de agosto del 2002 asociadas a

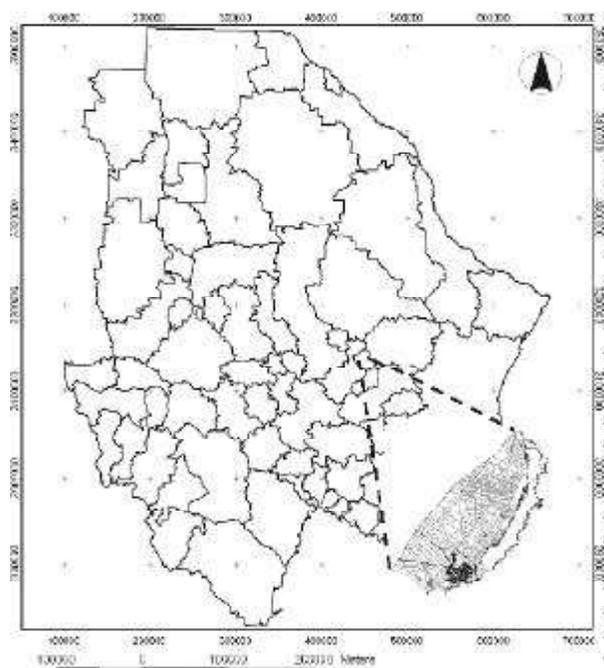


Figura 1. Localización del Módulo 9 dentro del Distrito de Riego 005 en Chihuahua.

la fecha de desarrollo y cosecha de los cultivos bajo estudio. Para la ubicación de las parcelas se tomaron datos de referencia en campo como puntos de control terrestre (PCT) mediante un Sistema de Posicionamiento Global con precisión submétrica en tiempo real. Debido a la resolución espacial del instrumento y la resolución media espacial de las imágenes, éstas se sometieron a un proceso de corrección geométrica estricto hasta obtener un error de localización menor al 0.25 de píxel y asociados a los PCT obtenidos. También se asoció al plano digital del Módulo 9 con la inclusión del parcelamiento, padrón, canales y drenes principales, poblaciones y vías de comunicación.

La selección de los cultivos se obtuvo por información disponible que permitió identificarlos de acuerdo a la superficie establecida y la rentabilidad económica que originan en el módulo. Los cultivos seleccionados fueron alfalfa, nogal, sandía, chile y cebolla. Para extraer la información espectral, a cada una de las bandas de Landsat TM se le aplicó un análisis radiométrico mediante el despliegue de un histograma de clases, para identificar posibles ruidos debido al ángulo solar y movimientos del sensor. Posteriormente se realizó una corrección atmosférica aplicando un realce de saturación con puntos, para eliminar los efectos de nubosidad, poluentes y otros factores atmosféricos que afectan principalmente el sector visible.

La información espectral de los cultivos se analizó mediante estadísticos descriptivos básicos. Para conocer el contenido espectral y redundancia de información de las bandas de Landsat TM, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) que permitió detectar, mediante ma-

trices, las bandas menos correlacionadas para construir las composiciones en falso color (selección de bandas) y estratificar las escenas en subescenas para un análisis con mayor detalle, de acuerdo a los procedimientos sugeridos por Eastman (1992). Este procedimiento permitió además detectar cambios en la cobertura de clases del módulo agrícola.

Para generar el plano digital actualizado fue necesario asociar la geometría del plano a las cartas topográficas previamente adquiridas. Se localizaron los PTC a partir de elementos identificables en el terreno y la utilización de una subescena de la imagen de satélite del área. Estas fuentes de datos y los procedimientos de remuestreo geométrico mediante funciones polinomiales de tipo lineal, cuadrático y cúbico y con un método de remuestreo por el vecino más cercano, permitió obtener un error de localización (cuadrado medio del error) menor a 0.3 de la resolución píxel del satélite, lo cual se consideró suficiente para integrar los elementos clave y obtener como producto un plano digital con la orientación correcta y bajo un sistema de coordenadas confiable.

A las parcelas bajo muestreo mayores a tres hectáreas se les tomaron datos de ubicación, condición y producción, lo cual representó el 10% de las parcelas establecidas. La aplicación del análisis multivariado mediante técnicas de ACP ayudó a generar varios componentes, a partir de los cuales se detectaron diferencias entre los cultivos. Este proceso facilitó el registro de los datos necesarios para establecer la identificación en la imagen del satélite y coleccionar los ND's de la firma espectral de cada cultivo. La Figura 2 resume las actividades de la metodología empleada en este estu-

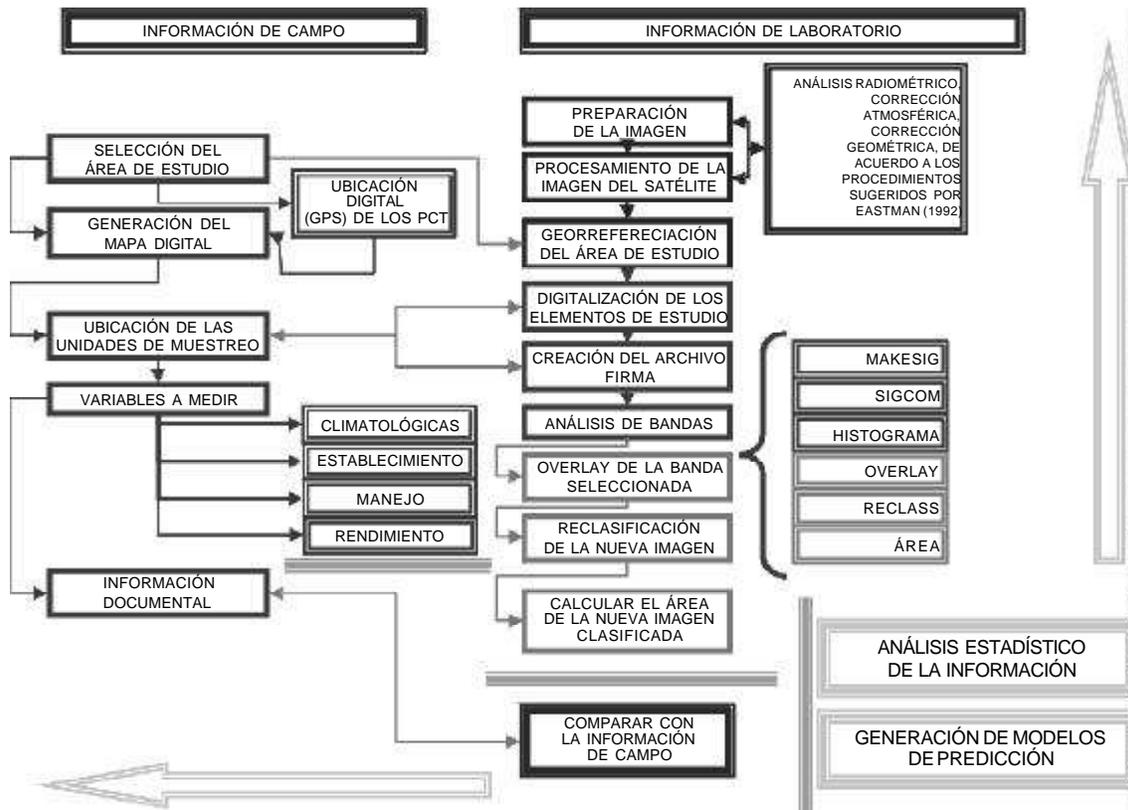


Figura 2. Esquema metodológico.

dio, que comprende el trabajo de campo y laboratorio para finalmente integrar la información de cada módulo y obtener los resultados finales del experimento.

Para el mapeo de los usos del suelo y/o tipos de cubierta se utilizó el método de clasificación supervisada, aplicando la técnica de máxima probabilidad gaussiana conforme a los procedimientos sugeridos por Greenle (1993). La evaluación de la precisión del plano y de los mapas se realizó mediante la estimación del porcentaje de píxeles de entrenamiento correctamente clasificados.

Resultados y discusión

El análisis de las bandas de Landsat TM mostraron su capacidad para definir la separabilidad espectral de los cinco cultivos evaluados (Figura 3).

Las bandas visibles del espectro discriminaron la mayor parte de la información

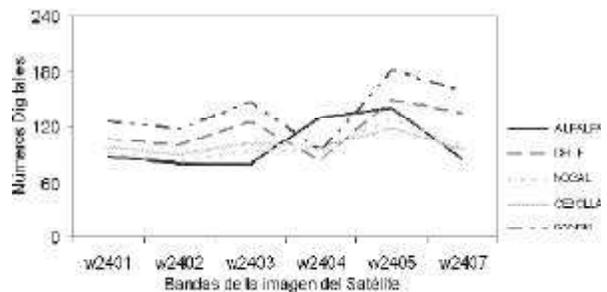


Figura 3. Separabilidad espectral de cultivos agrícolas.

espectral en un rango de 45 ND's, con valores mínimos de 80 y máximos de 125 ND's. En cambio, las bandas 5 y 7 del sector infrarrojo presentaron rangos de 120 a 180 ND's, con excepción de la banda 4, que mostró confusión para la discriminación de los cultivos, principalmente cebolla, nogal y sandía.

La Figura 4 presenta el comportamiento de las bandas en relación a los cultivos evaluados. La banda 2 muestra los niveles más bajos de ND's para los cultivos de alfalfa, nogal y cebolla, mientras que la banda 4 los presenta para chile y sandía. Al inverso, los ND's se incrementan en las bandas restantes, a partir del cual la banda 5 presenta los valores máximos de reflectancia.

Lo anterior se explica porque en el dominio del espectro del medio cercano y lejano infrarrojo (700 a 1300 μm), la reflectividad de las hojas es controlada por su estructura celular (Curran, 2005), a excepción del cultivo de cebolla, que presenta una hoja formada por el "filodio", que es la parte verde y fotosintéticamente activa de la planta con los márgenes foliares soldados, dando una apariencia de hoja hueca.

La información obtenida coincide con los resultados de separabilidad espectral para clases forestales obtenidos por Pinedo

et al. (1998), que encontraron ND's estrechos o casi similares para las bandas visibles, mientras que las máximas diferencias entre las clases se observaron en las bandas del sector cercano y mediano infrarrojo. Las diferencias atribuibles a estas bandas pueden ser debidas a la separabilidad espectral en los gradientes de humedad en vegetación y suelo.

Para mejorar el nivel de separabilidad espectral entre bandas se omitió el uso de las bandas 4 y 7, debido a que integran la información espectral en un rango estrecho de ND's. Debido a ello, para generar mapas de zonificación agrícola para el área de estudio es conveniente utilizar las bandas de Landsat TM que mostraron la mayor separabilidad espectral (B1, B2, B3 y B5), ya que ubican perfectamente y sin confusión las distintas firmas espectrales de los cultivos mostrados en la Figura 5, en donde se observa que los cultivos de chile y sandía presentan los ND's más altos en todas las bandas, mientras que los cultivos perennes (nogal y alfalfa) muestran valores inferiores a los 91 ND's. De este conjunto, la banda que discriminó mejor los cultivos fue la banda 3.

Para confirmar lo anterior, el Cuadro 1 muestra cómo en rangos medios de 80 ND's se detecta el cultivo de alfalfa, en 92

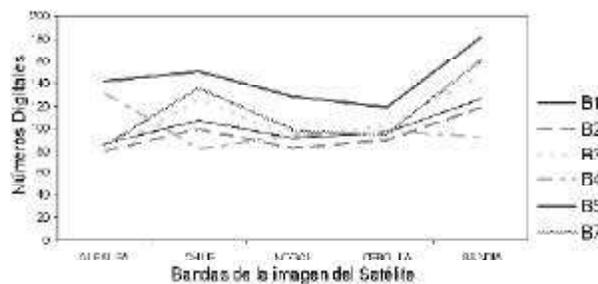


Figura 4. Comportamiento de las 6 bandas de la imagen en los cinco cultivos estudiados.

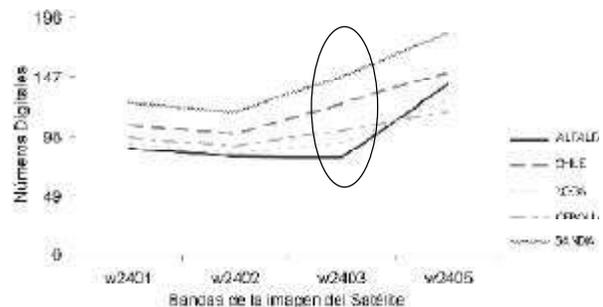


Figura 5. Separabilidad espectral de cultivos agrícolas.

Cuadro 1.
 Estadísticos descriptivos básicos de los valores de reflectancia
 de cinco cultivos en el Módulo 9 del Distrito de Riego 005 Delicias.

BANDAS	ALFALFA		CHILE		NOGAL		CEBOLLA		SANDÍA	
	MEDIA	DES-EST.	MEDIA	DES-EST.	MEDIA	DES-EST.	MEDIA	DES-EST.	MEDIA	DES-EST.
B1	87.52	11.62	107.05	11.84	91.84	8.51	97.11	13.61	126.18	13.78
B2	80.85	14.01	99.82	14.25	83.42	9.18	89.62	15.31	118.21	12.34
B3	80.01	26.81	125.35	20.88	92.65	17.67	102.31	26.12	147.51	17.41
B4	131.54	19.52	82.65	12.21	95.01	10.59	97.41	16.22	92.93	20.02
B5	141.54	27.01	150.53	17.56	128.64	16.39	118.72	25.87	182.13	22.90
B7	84.36	28.23	136.12	15.54	98.89	19.63	94.31	31.95	160.82	16.84

ND's el cultivo de nogal, 102 para la cebolla, 125 para el chile y 147 ND's para el cultivo de sandía.

Este método de siembra sugiere la facilidad para discriminar el cultivo en relación al resto de los analizados.

Finalmente, el análisis espectral de los cultivos analizados muestra cómo los cultivos de chile y sandía presentan valores entre 20 y 30 ND's más bajos. Lo anterior permite realizar clasificaciones exitosas utilizando varias mezclas entre las bandas del satélite.

Conclusiones y recomendaciones

La aplicación de imágenes Landsat TM mostró su utilidad para el monitoreo y manejo de áreas agrícolas debido a su capacidad para diferenciar cultivos agrícolas mediante técnicas de separabilidad espectral. De las bandas analizadas en este estudio, la banda 3 mostró mayor capacidad para separar las firmas espectrales en comparación al resto de las bandas. No obstante su capacidad para discriminar niveles de biomasa, la banda 4 mostró confu-

sión para diferenciar los cultivos, principalmente cebolla, nogal y sandía. Los problemas de pixeles mezclados, debido a la baja resolución espacial de Landsat TM, se mejoran con las técnicas de separabilidad espectral como las utilizadas en este estudio. Estas técnicas también mejoran la selección de imágenes para obtener modelos que permitan predecir el potencial de producción de las cosechas. La utilización de procedimientos de remuestreo geométrico permite obtener cartografía digital con buen nivel de precisión para fomentar la organización y el acceso a información que contribuye al ordenamiento parcelario agrícola, diseño de sistemas de riego de mayor funcionalidad, selección de las mejores superficies agrícolas y otras vocaciones propias del suelo.

Literatura citada

- ALEXANDRE, M., J. Demattê., D. M. Feitosa., A. C. Vasconcelos and G. A. Marques. 2005. Satellite images on the discrimination of soils developed from basalt and sandstone of Paraguaçu Paulista region. Universidade de São Paulo (USP), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq), Dep. de Solos e Nutrição de Plantas. *Pesq. Agropec. Bras.* 40:135-142.
- CONAGUA, 2002. Reporte mensual de almacenamiento de presas. Gerencia Estatal Chihuahua. Subgerencia Técnica. Chihuahua, Chih. México.

- CURRAN, P. J. 2005. Principles of Remote Sensing. Longman Scientific & Technical, Fifth Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. USA.
- EASTMAN, J.R. 1992. User's guide IDRISI. Version 4.0. Clark University Graduate School of Geography. Worcester, Massachusetts, USA.
- GREENLEE, C.J. 1993. Spatial characteristics of montane forest communities in the Organ Mountains, New Mexico, using remote sensing and GIS technology. Thesis Master of Applied Geography, New Mexico State University. Las Cruces, New Mexico. USA.
- HENRIQUEZ, C. R. Killorn, F. Bertsch y F. Sancho. La geoestadística en el estudio de la variación espacial de la fertilidad del suelo mediante el uso del interpolador Kriging. *Agronomía Costarricense* 29: 73-81.
- HOLMSTROM, K. E., M. G. Hughes, S. D. Walker, W. L. Kline and J. Ingerson-Mahar. 2001. Spatial Mapping of Adult Corn Earworm and European Corn Borer Populations in New Jersey. *Hort Technology*. 11:103-109.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 1999. Anuario de estadísticos por entidad federativa. México.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS. 2003. Análisis del sector Agropecuario en la Región Centro-Sur del Estado de Chihuahua. Publicación especial No. 10.
- JOHNSON, D. L. 1989. Spatial Autocorrelation, Spatial Modeling, and Improvements in Grasshopper Survey Methodology. *The Canadian Entomologist*. 121: 579-588.
- MAC-RAE, I. V. 1998. MIP Específico para el Sitio. Norwest Experiment Station & Agricultural Management Division. Universidad de Minnesota, Crookston.
- MORAN, M. S., D. C. Hymer; J. Qi and Y. Kerr. 2002. Comparison of ERS-2 SAR AND Landsat TM imagery for Monitoring Agricultural Crop and Soil Conditions. *Remote Sensing of Environment*. 9:243-252.
- NIEUWENHUIS, G. J. A. y C. A. Mucher. 1998. Satellite Remote Sensing and Crop Growth Monitoring. Future trains *In: Remote Sensing, Gudmandsen (ed) Rotterdam*. pp. 251-261.
- PAZ, P. F., V. E. Palacios, S. E. Mejía, M. M. Martínez y S. L. A. Palacios. 2005. Análisis de los Espacios Espectrales de la Reflectividad del Follaje de los Cultivos. *Hidrociencias. Campus Montecillo. Colegio de Posgraduados. Agrociencia* 39:293-301. 2005.
- PINEDO, A. C., F. J. R. Mendoza, M. A. Pérez, G.H. González, M.R.M. Quintana, y C.J.A. Jiménez. 1998. Evaluación de imágenes Landsat-TM para inventariar y clasificar clases de condición forestal en bosques de Chihuahua. Jornadas para la Convención Internacional de la Lucha contra la Desertificación y Simposium Sobre Recursos Forestales no Maderables. 11-13 junio. Ensenada, Baja California, México.
- RAUPENSTRAUCH, J. D. y T. M. Selige. 1998. Detection of Crop Rotation Using Satellite Remote Sensing for Nutrient Balance Models and Risk Assessment. *Future Trends In : Remote Sensing, Gudmandsen (ed) Rotterdam*. pp 139-143.
- SENAY, G. B., J. G. Lyon, A. D. Wuard y S. E. Nokes. 2000. Using High Spatial Resolution Multispectral Data to Classify Corn And Soybean Crops. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 66:319-327.
- SETTER, D. R., W. B. Cohen, M. Berterretche, T. H. Maierperger y R. E. Kennedy. 2000. Land Cover Mapping in Agricultural Setting Using Multiseasonal Thematic Mapper Data. *Remote Sensing of Environment*. pp 139-155.
- SUN, J. 2000. Dynamic Monitoring and Yield Estimation of Crops by Mainly Using the Remote Sensing Technique in China. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. pp 645-650.

Este artículo es citado así:

MANJARREZ-DOMÍNGUEZ, C., C. P. Pinedo-Álvarez, C. E. Vélez-Sánchez y A. Pinedo-Alvarez. 2007. Separabilidad espectral de cultivos agrícolas con imágenes Landsat TM. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 1(2): 48-56.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

CARLOS MANJARREZ DOMÍNGUEZ. En el año 2001 egresó de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas (Antes Fruticultura) de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), obteniendo titulación automática por buen desempeño académico. En el 2004 obtuvo su grado de Maestría en Ciencias especialidad en Manejo de Recursos Naturales por la Facultad de Zootecnia (UACH). Posteriormente realizó estudios de doctorado en la misma Facultad de Zootecnia; actualmente trabaja en su disertación doctoral sobre el tema de monitoreo y evaluación de recursos naturales, a través de la clasificación de cultivos agrícolas mediante el uso de la tecnología SIG. En el periodo del 2001-2003 colaboró en el Laboratorio de Geomática del Departamento de Recursos Naturales, coordinando proyectos de servicios y estudios de impacto ambiental. Desde hace varios años labora en Fundación Produce Chihuahua A. C., como Jefe del Área Técnica, donde realiza actividades de evaluación y seguimiento de proyectos de investigación. Es profesor de tiempo parcial de la Universidad Autónoma de Chihuahua e imparte clases en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, así como en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas.

CARMELO PINEDO ÁLVAREZ. Terminó su licenciatura en 1978, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Zootecnista por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó estudios de posgrado en la Facultad de Contaduría y Administración (UACH), obteniendo en 1986 el grado de Maestro en Manejo de Recursos Humanos. En el año de 1998 finalizó su programa doctoral en la Facultad de Zootecnia (UACH), otorgándosele el grado de Doctor in Philosophy con especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Desde 1999 labora en la UACH y posee la categoría de Académico Titular C. Es autor y coautor de numerosos artículos publicados en revistas indexadas nacionales e internacionales. Ha participado como ponente en numerosos congresos científicos y como evaluador de proyectos de investigación y programas educativos. Como profesor, ha dirigido numerosas tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Durante su vida profesional ha sido distinguido con diversos reconocimientos por su productiva labor científica, siendo sus principales áreas de especialización el monitoreo de recursos naturales y sistema de información geográfica.

ALFREDO PINEDO ÁLVAREZ. En 2002 obtuvo el título de Ingeniero en Ecología, por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó estudios de maestría en la Facultad de Zootecnia (UACH), otorgándosele en 2004 el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Manejo de Recursos Naturales. El M. C. Pinedo está finalizando su programa doctoral y próximamente defenderá su disertación para obtener el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en Recursos Naturales, por la Facultad de Zootecnia (UACH). Durante los últimos años ha trabajado en diversos proyectos de investigación relacionados con la modelación de atributos forestales utilizando tecnología satelital; también ha sido asesor de tesis de licenciatura y su producción académica incluye 14 resúmenes y 8 artículos en extenso publicados en memorias de congresos científicos.

CRISTINA ELIZABETH VÉLEZ SÁNCHEZ VERÍN. En 1983 obtuvo el título de Ingeniero Químico Bromatólogo, por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó estudios de doctorado, otorgándosele en 1990 el grado de Doctor en Ciencias Biológicas, por la Universidad Autónoma de Madrid, España. Durante el 2001 obtuvo su post doctorado con especialidad en Ciencias Ambientales, en el Centro de Investigaciones de Materiales Avanzados (CIMAV); durante ese periodo trabajó sobre el aprovechamiento de residuos aplicando procesos químicos y biológicos. La Dra. Vélez ha dirigido tesis de licenciatura y posgrado y publicado 20 artículos en revistas arbitradas internacionales; además, su producción académica incluye 18 resúmenes y 30 artículos en extenso publicados en memorias de congresos científicos, sobre toxicología y farmacología de especies aviares. La Dra. Vélez es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (S.N.I.) y profesora de tiempo completo de la Facultad de Zootecnia (UACH), y sus proyectos de investigación están enfocados al monitoreo y evaluación de recursos naturales, entre los que destaca el desarrollo del proyecto "Diseños de planes de gestión para los residuos pecuarios y tecnologías de aprovechamiento para la producción de combustibles alternos (biogas) y fertilizantes sólidos".