

Discriminación y estimación del área con labranza de conservación empleando imágenes SPOT 4*

Distinction and estimation of the area with conservation agriculture using SPOT 4 images

Noé Saldaña Robles^{1§}, José Álvaro Flores García¹, Salvador García Barrón¹, Agustín Zavala Segociano¹ y Rey Kristian Navarro Gaytán¹

¹Universidad de Guanajuato. División de Ciencias de la Vida. Carretera Irapuato-Silao km 9, Ex hacienda "El Copal". (alvaflo@ugto.mx), (salvagb@ugto.mx), (agustinsegoviano@gmail.com), (k_navarro@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: saldanar@dulcinea.ugto.mx.

Resumen

El estado de Guanajuato presenta serios problemas de erosión de suelos agrícolas como resultado de las prácticas de preparación tradicionales, por lo que actualmente, en el estado de Guanajuato existen instituciones que impulsan la adopción de la labranza de conservación como alternativa para remediar la severa erosión. Sin embargo, las estadísticas actuales sobre la adopción de labranza de conservación en México, no son confiables y al generar esta información las instituciones que impulsan esta práctica podrán monitorear y planear sus actividades. En este trabajo se presentan los resultados de una clasificación supervisada de imágenes de satélite SPOT 4, para discriminar y estimar la superficie bajo labranza de conservación en una región agrícola del estado de Guanajuato. La metodología se basó en un análisis de clasificación supervisada empleando el método de Mahalanobis y paralelepípedos. En el análisis se emplearon imágenes XS-SPOT4 y HRG2 SPOT5. Se llevó a cabo un muestreo de campo estratificado-sistemático. La clasificación se evaluó mediante la matriz de confusión y el índice Kappa. El 92.7% de parcelas verificadas en campo bajo labranza de conservación fueron identificadas correctamente y 93.7% para labranza convencional. El índice kappa calculado para labranza de conservación fue 0.9208 y 0.9396 para labranza convencional. La

Abstract

The state of Guanajuato presents serious problems regarding the erosion of farming soils as a result of traditional preparation practices, and therefore, in the state of Guanajuato there are currently institutions that promote the adoption of conservation agriculture as an alternative to revert severe erosion. However, current statistics on the adoption of conservation agriculture in Mexico are not reliable, and when generating this information, the institutions that promote this practice could monitor and plan their activities. This investigation presents the results of a supervised classification of SPOT 4 satellite images, to distinguish and estimate the surface under conservation agriculture in an agricultural area of the state of Guanajuato. The methodology is based on a supervised classification analysis using the method of Mahalanobis and parallelepiped. The analysis required the use of XS-SPOT4 and HRG2 SPOT5 images. A stratified-systematic field sampling was performed. The classification was evaluated using the matrix of confusion and the Kappa index. Of the plots verified on the field under conservation agriculture, 92.7% were identified correctly, along with 93.7% for conventional agriculture. The Kappa index calculated for Conservation Agriculture was 0.9208, and 0.9396 for conventional agriculture. The distinction and

* Recibido: septiembre de 2011
Aceptado: mayo de 2012

discriminación y estimación de labranza de conservación se hizo para el ciclo primavera-verano 2010 y se estimó 16.1% de labranza de conservación de 262 104 ha clasificadas. El índice kappa y la matriz de confusión mostraron que la clasificación supervisada permitió muy buena separabilidad entre prácticas de conservación y convencionales.

Palabras clave: clasificación supervisada, erosión del suelo, labranza convencional, percepción remota, residuo agrícola quemado.

Introducción

Claveran *et al.* (2001) mencionó que 80% de la superficie en México tiene problemas serios de erosión; ya que, anualmente se pierden 535 millones de toneladas de suelo, de los cuales 69% va a dar al mar, y 31% queda en ríos, lagos, lagunas y presas. El problema de erosión del suelo es el resultado de algunas actividades agrícolas muy extendidas. La labranza de conservación (LC) ha mostrado reducir la tasa de erosión del suelo hasta 95% en algunos casos (Martínez *et al.*, 2001), además se le atribuyen otros beneficios como reducción del volumen de agua empleado en riego (Medina *et al.*, 2008) y captura de CO₂ (Lal y Kimble, 1997; Bruce *et al.*, 1999). La LC consiste en sembrar en suelo sin remover y dejar una cubierta de residuo del cultivo anterior, en consecuencia las operaciones agrícolas subsiguientes requieren cambios que dan lugar a un sistema de producción agrícola nuevo, que cuida mejor los recursos naturales que el derivado de barbechar y rastrear el suelo (Gregorich y Carter, 1997).

En el estado de Guanajuato existen instituciones que han trabajado por más de diez años en promover la adopción de la LC y desarrollo tecnológico para la misma y no cuentan con una forma de medir el impacto de su labor. Por otro lado, de acuerdo con FAO (2006) se estimó en 100 millones de hectáreas la superficie con LC, alrededor del mundo y México no figura en estas estadísticas. Las estadísticas actuales del área bajo LC en México están estimadas a partir del número de sembradoras de labranza de conservación entregadas a través de programas de apoyo al campo en aproximadamente 650 000 hectáreas; sin embargo, una práctica común es el uso de dichas sembradoras en labranza tradicional o convencional (LT).

Durante la última década se han realizado investigaciones para desarrollar metodologías e índices que permitan discriminar los suelos agrícolas bajo prácticas agrícolas

estimation of conservation agriculture were carried out for the spring-summer cycle 2010, and 16.1% was estimated for conservation agriculture, out of 262 104 ha that were classified. The Kappa index and the matrix of confusion showed that the classification supervised allowed a good separability between conservation and conventional practices.

Key words: supervised classification, soil erosion, traditional tillage, remote perception, burned agricultural residue.

Introduction

Claveran *et al.* (2001) mentioned that 80% of the surface in Mexico has serious erosion problems, since 535 million tons of soil are lost per year, out of which 69% ends up in the sea and 31% stays in rivers, lakes, ponds and dams. The problem of soil erosion is the result of some very extensive agricultural activities. Conservation agriculture (CA) has proven to reduce erosion up to 95%, in some cases (Martínez *et al.*, 2001). Other benefits area also attributed to it, such as the reduction of water used for irrigation (Medina *et al.*, 2008) and the capture of CO₂ (Lal and Kimble, 1997; Bruce *et al.*, 1999). CA consists in planting in unmoved soils and leaving a cover from the previous plantation. Consequently, the following agricultural operations require changes that give way to a new agricultural production system, that cares for natural resources better than those that arise from fallowing and harrowing the soil (Gregorich and Carter, 1997).

In the state of Guanajuato, there are institutions that have worked for over 10 years in promoting the adoption of CA and the technological development for it, yet have no way to measure the impact of their work. On the other hand, according to FAO (2006) the total worldwide surface with CA was estimated in 100 million hectares, and Mexico does not appear in these statistics. The current statistics of the area under CA in Mexico are estimated from the number of harvesters for CA delivered through agriculture support programs in approximately 650 000 hectares; however, a common practice is the use of these harvesters in traditional or conventional agriculture (TA).

During the past decade, studies have been carried out to develop methodologies and indices that help distinguish agricultural soils under specific agricultural practices. One

específicas. Uno de los índices más ampliamente empleados para estudiar la vegetación en diferentes condiciones es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI por sus siglas en inglés), desarrollado por Tucker (1979), el cual es calculado a partir de la reflectancia en el infrarrojo cercano (IRC) y el rojo (R) según la ecuación 1.

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R} \quad (1)$$

El índice de diferencia normalizada basado en principios similares al NDVI (por sus siglas en inglés, NDI, McNairn and Protz, 1993) emplea las bandas 5 y 7 de imágenes de los satélites LandSat 5TM y LandSat 7ETM+ y fue desarrollado para discriminar suelos desnudos (Bannari *et al.*, 2000). Biard y Baret (1997) propuso el índice de suelo ajustado con residuo de cultivo (SACRI) por sus siglas en inglés, el cual integra el concepto de línea de suelo, lo cual en algunos casos resulta impráctico debido a la información de campo requerida para su aplicación. El índice de absorción por celulosa (por sus siglas en inglés, CAI) permite diferenciar el tipo de labranza y fue desarrollado empleando una cámara hiperespectral (Daughtry *et al.*, 1995), requiere de bandas espectrales que no están presentes en la información registrada por los satélites disponibles actualmente, excepto Hyperion cuyas imágenes no son de acceso público.

Serbin *et al.* (2009) plantea el índice de infrarrojo cercano por diferencia normalizada para residuo como un discriminador del tipo de labranza basado en imágenes ASTER presentando resultados favorables, por sus siglas en inglés, SINDRI. Otra forma de discriminar los suelos con residuos vegetales, son las metodologías basadas en el análisis multitemporal de imágenes. Deventer *et al.* (1997) desarrolló un modelo empírico para identificar el tipo de labranza (convencional o conservación) con base en las propiedades del suelo, para ello empleó imágenes LandSat 5TM y conocimientos específicos de la agricultura en la región estudiada. Otro trabajo en donde se probó la regresión logística como método para discriminar las prácticas de preparación del suelo agrícola fue el de Bricklemeyer *et al.* (2002). Bannari *et al.* (2006) investigaron en la identificación de residuos de diferentes cultivos empleando información hiperespectral e imágenes IKONOS mediante el concepto de mezcla espectral lineal con resultados satisfactorios. Narayanan *et al.* (1992) estudiaron imágenes de radar para cuantificar el porcentaje de cobertura superficial con residuo, mostrando el potencial de la información.

of the indices most widely used to study the vegetation un different conditions is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), developed by Tucker (1979), which is calculated from the reflectance of the near infrared (IRC) and red (R), according to equation 1.

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R} \quad (1)$$

The Normalized Difference Index (NDI), based on similar principles to NDVI (McNairn and Protz, 1993), uses the bands 5 and 7 of images from the satellites LandSat 5TM and LandSat 7ETM+ and was developed to distinguish bare soils (Bannari *et al.*, 2000). Biard *et al.* (1997) proposed the adjusted soil adjusted crop residue index (SACRI), which integrates the concept of soil lines, which, in some cases, is impractical, due to the field information required for its application. The cellulose absorption index (CAI) helps distinguish the type of agriculture and was developed using a hyperspectral camera (Daughtry *et al.*, 1995), which requires spectral bands that are not present in the information registered by the satellites currently available, except for Hyperion, which produced images that are not publicly available.

Guy *et al.* (2009) explains the Shortwave Infrared Normalized Difference Residue Index, or SINDRI, as a differentiator of the type of agriculture based on ASTER images presenting favorable results. Another way to distinguish soils with plant residues are the methodologies based on the multiseasonal image analysis. Deventer *et al.* (1997) developed an empirical model to identify the type of agriculture (conventional or Conservation) based in soil properties. For this, he used LandSat 5TM images and specific knowledge of agriculture in the area under study. Another investigation where logistical regression was tested to distinguish agricultural soil preparation practices was by Bricklemeyer *et al.* (2002). Bannari *et al.* (2006) investigated the identification of residues of different crops using hyperspectral and IKONOS images, using the concept of linear spectral mixture with satisfactory results. Narayanan *et al.* (1992) studied radar images to quantify the percentage of surface covered with residues, showing the potential of the information.

This work establishes an information analysis methodology, using the supervised classification with the Mahalanobis method to delimit classes from SPOT 4 satellite images and field information to distinguish and estimate the surface planted under CA schemes in the 2010 spring-summer cycle

En el presente trabajo se estableció una metodología de análisis de información, empleando la clasificación supervisada con el método de Mahalanobis para delimitar las clases, a partir de imágenes de satélite SPOT 4 e información de campo, para discriminar y estimar la superficie que se cultiva bajo esquemas de LC en el ciclo primavera-verano de 2010 en una región agrícola del estado de Guanajuato comprendida por 12 municipios y áreas parciales de otros 8 que están entre los principales productores agrícolas del estado de Guanajuato y que han sido las principales zonas de acción de las instituciones impulsoras de la LC.

Materiales y métodos

La región bajo estudio comprendió el área de tres imágenes SPOT 4 que contienen el total o más de 80% del área de los siguientes municipios del estado de Guanajuato: Salamanca, Irapuato, Valle de Santiago, Pueblo Nuevo, Abasolo, Huanimaro, Pénjamo, Manuel Doblado, Juventino Rosas, Villagrán, Cuernamero, Apaseo el Alto, Apaseo el Grande, Celaya, Comonfort Cortazar y Jaral del Progreso; y contienen un área menor a 70% de: Jerecuaro, Salvatierra y Tarimoro. Esta región agrícola se encuentra a 1 700 msnm promedio, con precipitación pluvial anual promedio de 700 mm. Las temperaturas oscilan entre los 3 y los 30 °C con un promedio anual de 20 °C. El tipo de suelo que predomina es el Vertisol Pélico con textura fina, que fue un criterio para definir la zona de estudio, junto con el hecho de que engloba los municipios con mayor superficie dedicada a la agricultura en el estado y también es la zona en que se han concentrado las actividades de impulso para la adopción de labranza de conservación.

En el estado de Guanajuato se establecen cultivos en dos ciclos básicamente (SDA Guanajuato, 2010): otoño-invierno (OI) con siembras entre octubre y febrero, con la mayoría sembrando en diciembre. Se establecen principalmente trigo (*Triticum aestivum* L.), cebada (*Hordeum vulgare*) y la mayor parte de hortalizas; y primavera-verano (PV), las siembras se realizan entre marzo y septiembre, con la mayoría sembrando en mayo. La mayor superficie la ocupan los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.).

Adicionalmente, la superficie agrícola del estado tiene cultivos perennes como alfalfa, agave, fresa, sandía, calabacita, ajo, cebolla y algunas hortalizas con un promedio de 60 mil hectáreas, siendo alfalfa la de mayor superficie con 90% (Flores-López y Scott, 2000). Los cultivos se

in an agricultural area of the state of Guanajuato made up of 12 municipal areas and partial areas of other 8, which are amongst the main farmers in the state of Guanajuato, and that have been the main action areas of the CA-promoting institutions.

Materials and methods

The area under study comprised the area of the three SPOT 4 images that contain the total or more than 80% of the surface of the following municipal areas of the state of Guanajuato: Salamanca, Irapuato, Valle de Santiago, Pueblo Nuevo, Abasolo, Huanimaro, Pénjamo, Manuel Doblado, Juventino Rosas, Villagrán, Cuernamero, Apaseo el Alto, Apaseo el Grande, Celaya, Comonfort Cortazar and Jaral del Progreso; and that contain a surface area below 70% of: Jerecuaro, Salvatierra and Tarimoro. This agricultural area is located at an average height of 1 700 masl, with an average annual rainfall of 700 mm. Temperatures range between 3 and 30 °C, with an annual average of 20 °C. The predominant soil type is a fine-textured Pelic Vertisol Pélico, which was a criterion to define the area to be studied, along with the fact that it includes the municipal areas with the largest surface dedicated to agriculture in the state, and is also the area in which activities of promotion for the adoption of CA have been concentrated.

In the state of Guanajuato, plantations are established in basically two cycles (SDA Guanajuato, 2010): autumn-winter (OI), when sowing takes place between October and February, with most planting taking place in December. The main crops are wheat (*Triticum aestivum* L.), barley (*Hordeum vulgare*) and most vegetables; and spring-summer (PV), when sowing takes place between March and September, with most planting taking place in May. The largest surface is covered by maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.).

In addition, the agricultural surface of the state has perennial crops such as alfalfa, agave, strawberry, watermelon, zucchini, garlic, onion, and some vegetables with an average of 60 thousand hectares, alfalfa covering the largest surface, with 90% (Flores-López and Scott, 2000). Crops are irrigated or rainfed. Irrigated crops use water from local dams and wells. Rainfed agricultural is sustained only by the moisture provided by rains. According to García and Martínez (2007), the rainfed agricultural surface in the state is 671 588 ha, whereas 502 973 ha are irrigated.

establecen bajo riego o temporal. Los cultivos de riego usan agua proveniente de las presas de la región y agua de pozo. La agricultura de temporal se sustenta únicamente en la humedad proveniente de las lluvias. De acuerdo con García y Martínez (2007) la superficie agrícola de temporal en el estado es de 671 588 ha mientras que 502 973 ha son de riego.

En el estudio se utilizaron tres imágenes del satélite SPOT 4, con las coordenadas de la órbita del satélite, fecha y hora (GTM) siguientes (Figura 1):

- Imagen 1 582 309 con fecha del 26 de mayo de 2010, tomada a las 17:32:08.
 Imagen 2 584 309 con fecha del 26 de mayo de 2010, tomada a las 17:16:28.
 Imagen 3 583 309 con fecha del 06 de junio de 2010, tomada a las 17:16:29.

Las características de las imágenes se resumen en: (1) resolución radiométrica de 8 bits (2) resolución espacial de 20 m X 20 m /pixel; y (3) resolución espectral de cuatro bandas, banda 1 - infrarrojo cercano (0.69 - 0.89 μm), banda 2 - rojo (0.61 - 0.68 μm), banda 3 - verde (0.50 - 0.59 μm) y banda 4 - infrarrojo medio (1.58 - 1.75 μm). Además se utilizaron tres imágenes pancromáticas SPOT 5, para la corrección geométrica de las imágenes SPOT 4. Las fechas para las tomas de imágenes de satélite se escogieron con base al ciclo primavera- verano de la región bajo estudio. Debido a las condiciones bajo las cuales se toman las imágenes, no es posible definir una fecha y se sugiere a los responsables un rango de una semana para realizar cada toma.

Preparación de las imágenes de satélite

La preparación consistió en la corrección geométrica de las imágenes empleadas mediante el método de rectificación por polinomio de segundo grado, empleando imágenes cuya resolución son de 2.5 m x 2.5 m. Se emplearon 90 puntos de control terrestre (GCP, Ground Control Point) por imagen para la corrección geométrica y se seleccionaron estratificada y aleatoriamente poniendo especial énfasis en la zona agrícola. El resultado final de la corrección se evaluó en términos del error medio cuadrático. (RMSe, Root Mean Square error) que fue igual o menor a medio pixel de la imagen SPOT 4 (menor o igual a 10 m). También, se realizó la corrección radiométrica de las imágenes mediante el método del cuerpo negro, para lo cual se consideraron las presas y cuerpos de agua de la región. Por último, se aplicó el método de eualización de histograma. En las tres imágenes corregidas se trabajó para separar la superficie agrícola.

This study used three SPOT 4 satellite images, with the coordinates of the orbit of the satellite, the following dates and times (GTM) (Figure 1):

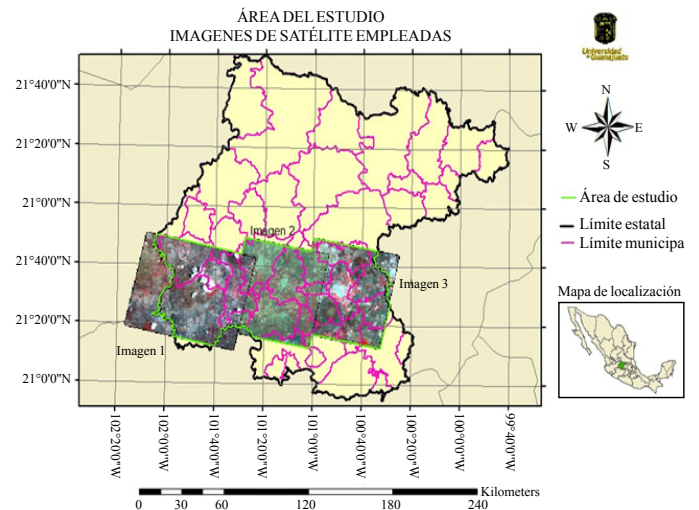


Figura 1. Área de estudio definida por las 3 imágenes XS SPOT 4 empleadas. Mapa generado con datos provenientes de la “Ermexs-Universidad de Guanajuato 2010”.

Figure 1. Area of study defined by the 3 XS SPOT 4 images used. Map generated using data from the “Ermexs-Universidad de Guanajuato 2010”.

- Image 1 582 309 dated May 26, 2010, taken at 17:32:08.
 Image 2 584 309 dated May 26, 2010, taken at 17:16:28.
 Image 3 583 309 dated June 6, 2010, taken at 17:16:29.

The characteristics of the images can be summed up by: (1) 8-bit radiometric resolution (2) spatial resolution of 20 m X 20 m /pixel; and (3) spectral resolution of four bands, band 1 - near infrared (0.69 - 0.89 μm), band 2 - red (0.61 - 0.68 μm), band 3 - green (0.50 - 0.59 μm) and band 4 - intermediate infrared (1.58 - 1.75 μm). Three SPOT 5 panchromatic images were also used for the geometric correction of the SPOT 4 images. The dates in which the satellite images were to be taken were chosen based on the spring-summer cycle in the area under study. Due to the conditions under which the images were taken, it is not possible to define a date, and we suggest a range of one week to take each image.

Preparation of the satellite images

Preparation consisted of the geometric correction of the images used during the method of rectification using quadratic polynomials, using images with a resolution of

La identificación de dicha área se realizó en dos etapas: (1) manualmente empleando el método de árbol de decisiones (foto interpretación) sobre la imagen original (en combinación falsa infrarrojo cercano-rojo-verde), empleando como características: geometría, color, tamaño y textura se separaron las zonas urbanas, cuerpos de agua, montañas y nubes de mayor tamaño; (2) Se realizó una clasificación no supervisada “Iterative Self-Organization Data Analysis” empleando las cuatro bandas originales SPOT 4, el NDVI y un modelo de elevación digital (MED) de la zona con resolución espacial de 15 m x 15 m, de acuerdo al método propuesto por (Mehdi *et al.*, 2010). La imagen resultante de la clasificación no supervisada, se procesó empleando el método de mediana con matriz de 3 x 3, y después el método de Sieve para eliminar grupos de píxeles menores a 13 píxeles para eliminar caminos de terracería, jardines y baldíos. La imagen resultante del proceso se empleó como máscara sobre la imagen original separando la zona agrícola.

Reconocimiento del área bajo estudio

Ya que el principal factor que distingue a la LT de aquella de conservación es el residuo dejado en las parcelas, se procedió a realizar un reconocimiento previo a la siembra en la segunda semana de abril para identificar la variabilidad que ofrece la superficie dedicada a la agricultura, enfocado a los suelos preparados para la siembra del ciclo primavera-verano 2010, y definir las características número de clases de las prácticas de preparación del suelo, información complementada por productores.

Muestreo de campo

De acuerdo al objetivo del presente trabajo, la preparación de parcelas para ser cultivadas se dividió en LC y LT. Además, empleando la información de los hallazgos en el reconocimiento del área, para el estudio se consideró importante dividir la preparación de los terrenos en las siguientes cinco clases:

Siembra directa (SD1). El residuo de trigo o cebada se empaca parcialmente, y se deja una cubierta de residuo sobre la parcela, y sin remover el suelo se siembra maíz o sorgo.

Labranza mínima (SD2). Igual a SD1, además se lleva a cabo un mínimo laboreo del suelo, remarcando los surcos para favorecer el riego por gravedad.

2.5 m x 2.5 m. Ninety ground control points were used for each image and they were chosen in a stratified and random manner, with a special emphasis on the agricultural area. The final result of the correction was evaluated in terms of the root mean square error (RMSE), which was equal to or lower than half a pixel of the SPOT 4 image (lower or equal to 10 m). The radiometric correction was also made of the images, using the black body method, which required the dams and waters of body in the area to be considered. Finally, the histogram equalization method was applied. In the three corrected images, the agricultural surface was separated.

The area was identified in two stages: 1) by hand, using the decision tree method (photo interpretation) on the original image (in combination false infrared near-red-green), using the following as characteristics: geometry, color, size, and texture; urban areas, bodies of water, mountains and larger clouds were separated; and 2) an unsupervised “Iterative Self-Organization Data Analysis” classification was performed, using the four original bands SPOT 4, the NDVI and a model of digital elevation (MED) of the area with a spatial resolution of 15 m x 15 m (INEGI, 2010), according to the method suggested by (Mehdi *et al.* (2010). The image that came out of the unsupervised classification was processed using the median method with a 3 x 3 matrix, followed by the Sieve method to eliminate pixels groups smaller than 13 pixels to eliminate dirt roads, gardens and wastelands. The image that came out of the process was used as a mask on the original image separating the agricultural area.

Recognition of the area under study

Since the main factor that distinguished TA and CA is the residue left on the fields, a previous recognition was made before planting, during the second week of April, in order to identify the variability offered by the surface used for agriculture, focused on soils prepared for the planting in the 2010 spring-summer cycle, and defining the characteristic number of types of soil; the latter information was complemented by farmers.

Field sampling

According to the aim of this investigation, the preparation of fields for planting was divided into TA and CA. Furthermore, using the information of the findings in the recognition of the area, it was considered important for the study to divide the preparation of the fields into the following five types:

Labranza tradicional sin residuo (C1). El residuo se empaca al mayor porcentaje posible, se quema o se abandona a la orilla y de forma común se pueden llevar a cabo las siguientes operaciones en el suelo: cincelado (opcional), barbecho, rastreo (una o dos veces hasta pulverizar el suelo) y nivelación. El residuo dejado en campo se integra de tal forma que desaparece por completo de la superficie.

Labranza tradicional con residuo (C2). El residuo del cultivo anterior se integra al suelo y se llevan a cabo las siguientes operaciones en el suelo: cincelado (opcional), barbecho, rastreo (una o dos veces) y nivelación, por la abundancia del residuo, éste se mantiene presente en la superficie entre los pequeños terrones de suelo.

Siembra directa sobre residuo quemado (SD3). El residuo del cultivo anterior es quemado en diferentes proporciones y con el suelo sin alterar se siembra el siguiente cultivo.

Otras coberturas en parcelas agrícolas (B). Alfalfa, brócoli, calabacita, agave, cebolla, ajo, sandía, etc., suelos no preparados para siembra y residuos de vegetación ajenos a las prácticas de LC.

Las clases SD1 y SD2 se consideraron como prácticas de LC y las otras se consideraron prácticas de LT. El muestreo en campo para obtener la información consistió en levantar los siguientes datos: localización geográfica de la parcela con un GPS, Garmin 60 csx (sistema de posicionamiento global, por sus siglas en inglés, Garmin International Inc., Olathe, KS, USA) y una computadora portátil con el programa ARCGIS® 9.3 (ESRI Inc., Redlands, CA, USA); tipo de residuo (trigo o cebada) o última operación de preparación del suelo; fecha de siembra aproximada; cultivo sembrado y tipo de siembra (hileras por surco).

El muestreo se realizó bajo un esquema estratificado-sistemático, en donde el porcentaje de parcelas visitadas por municipio se aproximó al porcentaje de área agrícola de dicho municipio con respecto al área total estudiada. Las parcelas observadas fueron aquellas que no estuvieron a más de 1 000 m de carreteras primarias y secundarias del estado. El muestreo se llevó a cabo del 24 al 28 de mayo y se consideró que las parcelas que se registraron dentro de algún tipo de labranza estuviesen ya sembradas. De los registros, 681 parcelas correspondieron a LT y 393 a LC.

Direct planting (SD). The wheat or barley residue is partially packed, a layer of residue is left on the field, and without moving the soil, maize or sorghum is planted.

Minimum tillage (SD2). Same as SD1, with an added minimum tillage of the soil, re-marking the furrows to favor gravity irrigation.

Traditional agriculture without residues (C1). The highest possible percentage of residue is packed, burned or left on the side and the following operations can be carried out in the usual way: fallowing, harrowing (once or twice, until the soil is pulverized) and leveling. The residue left on the field is integrated in such a way that it disappears entirely from the surface.

Traditional agriculture with residue (C2). The residue of the previous crop is integrated into the soil and the following operations are carried out in the soil: fallowing, harrowing (once or twice) and leveling. Due to the abundance of the residue, it stays on the surface, between the lumps of soil.

Direct planting on burned residues (SD3). The residue of the previous crop is burned in different proportions, and with unaltered soil, the next crop is planted.

Other covers in agricultural plots (B). Alfalfa, broccoli, zucchini, agave, onion, garlic, watermelon, etc., unprepared soils for planting and residues of plants foreign to CA practices.

Types SD1 and SD2 were considered CA practices and the others were considered TA practices. Field sampling to obtain the information consisted in gathering the following data: geographic localization of the field with a Garmin 60 csx GPS (Garmin International Inc., Olathe, KS, USA.) and a laptop with the program ARCGIS® 9.3 (ESRI Inc., Redlands, CA, USA.); type of residue (wheat or barley) or last preparation of soil; approximate planting date; crop planted and type of sowing (rows per furrow).

Samples were taken under a stratified-systematic scheme, where the percentage of plots visited per municipal area was similar to the percentage of agricultural area of the municipal area with respect to the total area studied. The plots observed were those that were no more than 1 000 m away from main and secondary roads of the state. Samples were taken between May 24 and 28 and the plots considered were those with some type of agriculture. From the registers, 681 plots used TA and 393, CA.

Además se levantó la posición de 10 parcelas con pastizales, 5 con maleza seca por agroquímico, 5 con alfalfa seca por corte reciente, 12 parcelas con agave, 2 parcelas con fresa sobre acolchado, 4 parcelas con esparrago, 2 parcelas con brócoli cosechado, 3 parcelas con jitomate, esto para evaluar la separación de otras coberturas agrícolas de LC (patas de cebada y trigo) y suelos labrados. La distribución del muestreo según las cinco clases definidas quedó como sigue: 500 parcelas en C1, 55 en C2, 126 en SD3, 242 en SD1, 151 en SD2 y 43 parcelas de otras coberturas, por último, de los datos anteriores durante el análisis se eliminaron 73 parcelas por contener información errónea u omitir datos. El número de parcelas visitadas en campo para cada una de estas cinco clases fue aleatorio, en donde cabe aclarar que en algunos municipios no se encontraron prácticas de LC.

Identificación del tipo de labranza

Una vez aislada el área agrícola se realizó un análisis de componentes principales, para resaltar posibles diferencias entre las clases SD1 y SD2, así como C1 y SD3 que presentaban similitud espectral al revisar los perfiles espectrales, seguido de una clasificación supervisada empleando el método de Mahalanobis por paralelepípedos para lo cual se empleó el programa ERDAS® IMAGINE® 9.1 (ERDAS Inc., Norcross, GA, USA), los píxeles que no cayeron en los paralelepípedos establecidos se dejaron sin clasificar. El entrenamiento del algoritmo de la clasificación supervisada se hizo con 12 parcelas para cada uno de los 5 tipos de labranza.

A la imagen resultante de la clasificación se aplicó un filtro de “mayoritariedad”, limpiando píxeles aislados o altamente descartables. La clasificación supervisada (de las tres imágenes) se evaluó a través de la matriz de confusión y el índice kappa (Maclure and Willet, 1987). La matriz de confusión y el índice kappa se calcularon a partir de los datos restantes del muestreo que no se utilizaron en el entrenamiento (puntos de verificación).

Resultados y discusiones

Reconocimiento del área bajo estudio

Las coberturas encontradas en el área de estudio para abril de 2010 se presentan en el Cuadro 1, agrupadas en tres categorías: (1) vegetación seca, en donde se clasificaron parcelas ocupadas por residuos de cultivos y vegetación en

The positions of 10 plots with pasturelands were also recorded, as well as 5 with dry weeds due to agrochemicals, 5 with dry alfalfa due to recent cuts, 12 plots with agave, 2 plots with strawberries on a cushion, 4 plots with asparagus, 2 with planted broccoli, 3 with tomatoes; this was to evaluate the separation of other CA agricultural covers (stacks of barley and wheat) and tilled soils. The distribution of the samples according to the 5 types defined was as follows: 500 plots in C1, 55 in C2, 126 in SD3, 242 in SD1, 151 in SD2 and 43 plots with other covers. Finally, from the previous data during the analysis, 73 plots were eliminated because they contained incorrect or incomplete information. The number of plots visited in the field, for each of these five types was random, and it is worth mentioning that in some municipal areas, no CA practices were found.

Identification of the type of tillage

Once the agricultural area was isolated, an analysis of main components was carried out to highlight possible differences between types SD1 and SD2, as well as C1 and SD3, that presented a spectral similarity when revising the spectral profiles, followed by a supervised classification using the Mahalanobis method by parallelepiped, and for this the program ERDAS® IMAGINE® 9.1 (ERDAS Inc., Norcross, GA, USA.) was used. The pixels that did not fall in the parallelepiped established were kept unclassified. Training the algorithm of the supervised classification was carried out in 12 plots for each of the 5 types of agriculture.

The image resulting from the classification was applied a filter of “majoritariness”, cleaning isolated or highly discardable. The supervised classification (of the three images) was evaluated through the matrix of confusion and the Kappa index (Maclure and Willet, 1987). The matrix of confusion and the Kappa index were calculated from the data remaining from the sampling that were not used in training (points of verification).

Results and discussions

Recognition of the area under study

Coverages found in the area under study for April, 2010 are shown in Table 1, grouped into three categories: (1) dry vegetation, in which plots with crops residues and senescent

senescencia; (2) suelos, en donde cayeron parcelas libres de vegetación; y (3) vegetación verde en donde cayeron parcelas con coberturas de cultivos y plantas.

vegetation were classified; (2) soils, which includes plant-free plots; and (3) green vegetation, which includes plots with coverages of crops and plants.

Cuadro 1. Clases de cobertura agrícola en la región de estudio, estado de Guanajuato.

Table 1. Types of agricultural coverage in the area of study, state of Guanajuato.

Vegetación seca	Suelos	Vegetación verde
1. Maíz abandonado	1. Barbechados	1. Alfalfa
2. Sorgo abandonado	2. Rastreados	2. Cebolla
3. Pata de cebada o trigo recién cosechados.	3. Cubiertos de maleza o rebrote con diferentes grados de cobertura.	3. Ajo
4. Residuo de cebada o trigo recién empacado.	4. Barbechado con poco residuo.	4. Brócoli
5. Suelo trabajado con abundante residuo de trigo o cebada.	5. Sin alteración en último ciclo agrícola.	5. Lechuga romana
6. Pasturas secas.		6. Esparrago
7. Residuos secos de alfalfa recién cortada.		7. Garbanzo
8. Residuo de cebada o trigo quemado.		8. Zanahoria
9. Siembra directa de conservación		9. Calabacita
10. Labranza mínima		10. Trigo
11. Trigo y cebada cerca de cosecha.		11. Cebada
		12. Agave
		13. Jitomate
		14. Tomate
		15. Sandía
		16. Maíz

Los suelos barbechados presentaron terrones de diferentes tamaños y los suelos rastreados presentaron apariencia visual más uniforme. Los suelos desnudos sin residuo y sin alteración fueron encontrados en parcelas de temporal y el contenido de humedad percibido visualmente en la superficie era bajo. Las parcelas que presentaron maleza y pastizales secos, ofrecieron visualmente tonos cafés más intensos que los residuos recién cosechados con tonos de amarillo claro más brillantes.

Separación de la zona agrícola

Al aplicar la clasificación no supervisada se generó una imagen temática con 45 clases, en las cuales con base en decisiones simples de geometría y color se aislaron las clases que representaron la zona agrícola (Figura 2a). La imagen resultante presentó píxeles de vegetación en ciudad por ejemplo jardines y parques, caminos de terracería, baldíos con vegetación seca, suelos y vegetación de montañas que quedaron clasificadas en los mismos grupos que algunos píxeles de zona agrícola. Además en la zona agrícola se observó que algunas parcelas fueron clasificadas en dos o tres clases, predominando ampliamente una clase. Por lo que,

Fallow land presented different-sized clods of soil and harrowed soils had a more uniform visual appearance. Bare soils, unaltered and without residues, were found in rainfed fields and the humidity content seen on the surface was low. The fields with weeds and dry pasturelands were of more intense brown colors than the fields with freshly-harvested residues with brighter yellow tones.

Separation of the agricultural area

When unsupervised classification was applied, a thematic image was generated, with 45 types, in which, based on simple decisions of geometry and color, we isolated the types that represent the agricultural area (Figure 2a). The resulting image presented vegetation pixels in cities, such as gardens and parks, dirt roads, wastelands with dry vegetation, soils and vegetation from mountains that were classified in the same groups as some pixels of agricultural areas. In the agricultural area, we also noticed that some fields were divided into two or three types, with a wide predominance of one class. Therefore a medium filter replaced groups of 4 or less pixels with the type of the majority, whereas to eliminate groups with less than

un filtro de mediana sustituyó grupos de 4 píxeles o menos por la clase mayoritaria, mientras que para eliminar grupos con menos de 13 píxeles, se aplicó el método de Sieve. El área inicialmente aislada con la clasificación no supervisada se redujo 15.3% debido a la eliminación caminos, parques, jardines y otras zonas no agrícolas (Figura 2b).

Identificación del tipo de labranza

La evaluación de la clasificación supervisada se llevó a cabo mediante la elaboración de la matriz de confusión y el cálculo del índice Kappa. En el Cuadro 2 se muestra la matriz de confusión de la clasificación y se puede observar que de las 43 parcelas de referencia que no cayeron en las definiciones de labranza (B) se clasificaron correctamente 39 (90.7%), esto indica muy buena separabilidad de las clases de los tipos de labranza propuestos en el presente trabajo de otras coberturas agrícolas. Por otro lado; 48.7% de las parcelas clasificadas en B pertenecían a algún tipo de labranza. El 6.98% de referencias de C2, y 5.80% de SD2 fueron parcelas clasificadas en B y fueron los porcentajes más altos de confusión, también fueron las clases con menor número de referencias localizadas junto con B. Esto puede sugerir que la variabilidad encontrada en el muestreo de campo para las parcelas en C2 y SD2 debe incrementarse localizando un mayor número de parcelas en estas dos clases.

Cuadro 2. Matriz de confusión para la clasificación supervisada.

Table 2. Matrix of confusion for supervised classification.

Clases	Parcelas de referencia en campo							Totales
	B	C1	C2	SD1	SD2	SD3		
B	39	16	3	7	8	3	76	
C1	3	395	3	3	1	7	412	
C2	0	26	33	2	5	3	69	
SD1	0	1	0	140	26	13	180	
SD2	1	1	1	77	98	2	180	
SD3	0	37	3	1	0	86	127	
Totales	43	476	43	230	138	114	1 044	

Es importante resaltar que las referencias en algún tipo de labranza que cayeron en B representaron 3.7% del total de puntos. Por otro lado, se observó que 37 parcelas de referencia en C1 (7.77%) fueron clasificadas en SD3 y 7 parcelas de referencia en SD3 (6.14%) fueron clasificadas en C1, que en porcentaje de error fue similar y fue el más alto

13 pixels, the Sieve method was applied. The area initially isolated with the unsupervised classification was reduced 15.3% due to the elimination of roads, parks, gardens and other non-agricultural areas (Figure 2b).

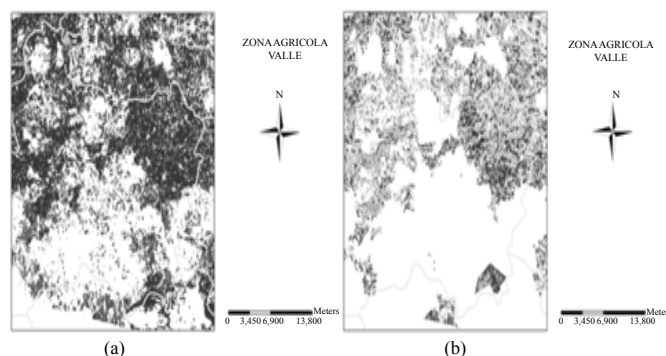


Figura 2. (a) zona aislada después de la clasificación no supervisada; (b) zona agrícola después de aplicar los filtros de mediana y sieve.

Figure 2. a) isolated area after the unsupervised classification; b) agricultural area after applying the medium and sieve filters.

Identifying the type of tillage

The evaluation of the supervised classification was carried out with the creation of the matrix of confusion and the calculation of the Kappa index. Table 2 shows the matrix

of confusion of the classification and we can see that out of the 43 reference fields that did not fall into any agriculture definitions (B) 39 were correctly classified (90.7%), which indicates a very good separability of the classes of the types of agriculture proposed in this work from other agricultural coverages. On the other hand; 48.7% of the fields classified

para las clases de LT en contraste con 77 referencias en SD1 que fueron clasificadas en SD2 (33.48%) y 26 referencias en SD2 fueron clasificadas en SD1 (18.84%), lo que muestra porcentajes de error mayores en LC que en LT.

En el Cuadro 3 se presenta un resumen de los porcentajes de coincidencias, con respecto a las parcelas de referencia en campo y las parcelas clasificadas. Destaca que B presenta el mayor porcentaje 90.77%; C1, C2 y SD3 presenta 83%, 76.7% y 75.4% respectivamente que son superiores a los aciertos obtenidos para SD1 y SD2 de 71% y 60.9% respectivamente. Es importante mencionar que la mayor confusión entre parcelas clasificadas incorrectamente se dio entre las mismas prácticas de LC (SD1 y SD2) o convencional (C1, C2 y SD3).

Cuadro 3. Resumen de las coincidencias para cada clase de labranza propuesta.

Table 3. Summary of coincidences for each type of tillage suggested.

Clases	B	C1	C2	SD1	SD2	SD3	Totales
Referencias de campo	43	476	43	230	138	114	1 044
Clasificación supervisada	76	412	69	180	180	127	1 044
Coincidencias referencias y clasificación	39	395	33	140	98	86	791
(%) Referencias clasificadas correctamente	90.7	83.0	76.7	60.9	71.0	75.4	75.8

Mediante el índice Kappa mostrado en el Cuadro 4 se observó que la clase C1 presentó un valor de 0.9243, lo que indica una separabilidad muy buena de esta clase, seguido de SD1 con 0.7151 y SD3 con 0.6377, lo que representa una separabilidad buena para ambas clases. Finalmente, se observó una separabilidad moderada para las clases B, SD2 y C2.

Cuadro 4. Índice Kappa para la clasificación.

Table 4. Kappa index for classification.

Clases	B	C1	C2	SD1	SD2	SD3
Índice Kappa	0.4786	0.9243	0.4559	0.7151	0.4752	0.6377

Para evaluar la clasificación de manera objetiva se juntaron las clases SD1 y SD2 en LC, y C1, C2 y SD3 en LT, tanto para los resultados de la clasificación como para los registros del muestreo de campo y se elaboró la matriz de confusión mostrada en el Cuadro 5. Además también el índice Kappa mostró aumento en el acuerdo entre las referencias de campo y los resultados de clasificación,

in B belonged to some type of agriculture. 6.98% of C2 references and 5.80% of SD2 were fields classified in B, and they were the highest percentages of confusion, yet they were also the classes with the lowest number of references located along with B. This could mean that the variability found in the field sampling for fields in C2 and SD2 must be increased, finding a higher number of fields in these two classes.

It is worth highlighting that the references in some type of agriculture that fell into B accounted 3.7% of the total of points. On the other hand, 37 reference fields in C1 (7.77%) were classified in SD3, and 7 reference fields in SD3 (6.14%) were classified in C1, which was similar in percentage of error, and the highest for the classes of TA in contrast to 77

references in SD1, that were classified in SD2 (33.48%) and 26 references in SD2 were classified in SD1 (18.84%), which shows higher percentages of error in CA than in TA.

Table 3 shows a summary of the percentages of coincidences with respect to the reference plots on the field and the classified plots. It points out that B presents

the highest percentage 90.77%; C1, C2 and SD3 present 83%, 76.7% and 75.4% respectively, which are higher than the numbers obtained for SD1 and SD2 of 71% and 60.9% respectively. It is important to mention that the greatest confusion between incorrectly classified plots was between the CA practices (SD1 and SD2) or conventional (C1, C2 and SD3).

siendo de 0.9396 para LT y 0.9208 para LC, lo que indicó un muy buen acuerdo en ambos casos. Se clasificaron correctamente 93.7% de referencias de LT, y 92.7% de LC. Con respecto al número total de aciertos que tuvo la clasificación en términos de LT y LC se obtuvieron 973 parcelas clasificadas correctamente de las 1 044 verificadas, lo que representa 93.2%.

El porcentaje de precisión para discriminar la LC obtenido en el presente estudio estuvo por debajo de 95% obtenido por Bricklemyer *et al.* (2002) quien además sugirió incluir en la clasificación otras coberturas agrícolas. En el presente trabajo, se incluyeron otras coberturas lo que permitió observar deficiencia en el muestreo de algunas clases de labranza propuestas, que de realizarse la clasificación inmediata puede corregirse con nuevas visitas a campo.

Con respecto a Deventer *et al.* (1997) que logró 89% de precisión, el presente estudio obtuvo mayor porcentaje de aciertos. Bannari *et al.* (2006) discriminó superficies con cultivo, superficies con suelos desnudos y superficies con residuo de cultivo empleando imágenes IKONOS e información hiperespectral presentando en resultados un índice Kappa de 0.92 muy similar al encontrado en el presente estudio.

Considerando lo anterior, la alta precisión lograda en el presente estudio pudiera deberse a la predominancia de un tipo de suelo en la zona de estudio, que además ofrece diferencia espectral con los residuos agrícolas por sus propiedades, mientras que la variación en la precisión de discriminación para estudios anteriores pudiera ser el resultado de las características y la variación de los tipos de suelo incluidos en las zonas de estudio.

Cuantificación del área bajo labranza de conservación

El resultado de la clasificación realizada se presenta en el mapa de la Figura 3, en donde se puede observar que las prácticas de labranza están regionalizadas, por ejemplo se pueden observar zonas agrícolas en Pénjamo (izquierda y abajo) en donde predomina SD3. Otro ejemplo son las zonas donde predomina SD1 y SD2 en Valle de Santiago. Jaral del Progreso presenta en su mayoría parcelas bajo prácticas de LT.

En el Cuadro 6 se presenta el área estimada por municipios para la superficie analizada que fue de 262 104 ha, de las cuales 83.9% se encuentran bajo LT; y 16.1% restante en LC. Con respecto a los datos presentados por municipio para los

Using the Kappa index shown in Table 4, it was observed that the class C1 presented a value of 0.9243, indicating a very good separability of this class, followed by SD1 with 0.7151 and SD3 with 0.6377, which represents a good separability for both classes. Finally, a moderate separability was found for classes B, SD2 and C2.

To evaluate the classification objectively, the classes SD1 and SD2 were joined in CA, and C1, C2 and SD3, in TA, both for the results of the classification and for the registers of the field sampling, and the matrix of confusion shown in Table 5 was created. Also, the Kappa index displayed an increase in the agreement between field references and the classification results, with 0.9396 for TA and 0.9208 for CA, which indicated a very good agreement in both cases. Correct classifications were made on 93.7% of references of TA, and 92.7% of CA. Regarding the total number the classification had in terms of TA and CA, 973 plots were classified correctly, out of the 1,044 verified, or 93.2%.

Cuadro 5. Matriz de confusión para clasificación general de la labranza en imagen 1.

Table 5. Matrix of confusion for the general classification of agriculture in image 1.

	Clases	Parcelas de referencia en campo			Totales
		B	LT	LC	
Clasificación	B	39	22	15	76
	LT	3	593	12	608
	LC	1	18	341	360
Totales		43	633	368	1 044

The percentage of precision to distinguish CA found in this study was below the 95% obtained by Briklerman *et al.* (2002), who also suggested including other agricultural coverages in the classification. This research included other coverages, which helped notice a deficiency in the sampling of some classes of agriculture proposed, and if classification was immediate, this could be corrected with further field visits.

Regarding Deventer *et al.* (1997), who had a precision of 89%, this study had a greater percentage numbers. Bannari *et al.* (2006) distinguished surfaces with crops, surfaces with bare soils and surfaces with crop residues using IKONOS images and hyperspectral information, presenting a Kappa of 0.92 index in results, very similar to findings in this study.

tipos de labranza los valores presentados indican tendencias. Los municipios con mayor porcentaje de prácticas de LC son Valle de Santiago, Manuel Doblado y Cuernamaro con 33.2%, 32.4% y 29.9% de la superficie analizada en cada municipio. Los municipios con mayor superficie bajo prácticas de LC fueron Valle de Santiago (7 523.1 ha), Pénjamo (6 631.8 ha, 14.4% del área analizada para el municipio) y Salamanca (5 630.9 ha, 20.9% del área analizada para el municipio). Los municipios con mayor área quemado fueron Pénjamo (10 262.8 ha), Apaseo el Grande (6 088.2 ha) y Juventino Rosas (5 259.8 ha) y con respecto a los porcentajes más altos por municipio están Juventino Rosas, Comonfort y Apaseo el Grande. Los municipios con muy pocas prácticas de LC son Comonfort (5.03%), Jerecuaro (2.03%) y Apaseo el Alto (0.76%).

Considering this, the high precision obtained in this study could be due to the predominance of one soil type in the area studied, which also offers a spectral difference with agricultural residue, due to its properties, whereas the variation in the precision of distinction for earlier studies could be the result of the characteristics and the variation of the types of soils included in the area under study.

Quantification of the area under conservation agriculture

The result of the classification made is presented in the map in Figure 3, which shows that the agriculture practices are regionalized. For example, agricultural areas are seen in Pénjamo (bottom left), where SD3

Cuadro 6. Superficie estimada bajo LC en municipios del estado de Guanajuato.
Table 6. Surface estimated under ca in municipal areas of the state of Guanajuato.

Municipios	LT			LC		Subtotal (ha)
	C1 (ha)	C2 (ha)	SD3 (ha)	SD1 (ha)	SD2 (ha)	
Abasolo	14 947.9	3 083.9	3,574.1	3 207.2	2 261.7	27 074.8
Apaseo el Alto	4 060.4	22.2	1,868.8	34.6	10.7	5 996.7
Apaseo el Grande	6 778.3	192.2	6 088.2	138.4	132.5	13 329.6
Celaya	6 801.0	399.3	4 714.6	95.8	105.8	12 116.4
Manuel Doblado	4 830.9	170.4	841.9	2 438.9	358.9	8 641.0
Comonfort	1 715.7	48.6	1 662.2	97.4	83.9	3 607.8
Cortázar	7 101.6	1 007.7	3 728.4	384.8	793.3	13 015.9
Cuernamaro	3 688.0	198.4	993.9	1 203.4	878.8	6 962.6
Huanímaro	2 017.1	984.7	1 415.5	856.9	486.2	5 760.4
Irapuato	7 436.4	7 324.3	3 965.3	1 799.4	2 183.9	22 709.3
Jaral del Progreso	6 727.1	1 047.5	1 991.4	436.4	706.0	10 908.4
Jerecuaro	1 390.7	0.0	536.8	3.1	16.5	1 947.1
Pénjamo	27 928.2	1 186.4	10 262.8	4 833.0	1 798.8	46 009.2
Pueblo Nuevo	1 946.8	389.0	167.8	181.6	107.4	2 792.6
Salamanca	10 294.4	7 491.7	3 492.1	2 378.7	3 252.2	26 909.1
Salvatierra	5 281.3	441.7	2 612.7	233.4	342.4	8 911.6
Juventino Rosas	2 638.7	1 130.1	5 259.8	405.9	890.2	10 324.7
Tarimoro	4 069.6	45.9	901.6	86.7	68.6	5 172.5
Valle de Santiago	7 809.1	4 392.0	2 906.9	3 179.4	4 343.6	22 631.2
Villagrán	2 394.4	976.3	2 434.1	533.7	944.6	7 283.1
Totales	129 857.7	30 532.2	59 419.1	22 529.0	19 766.0	262 104.0
Porcentajes	49.5%	11.6%	22.7%	8.6%	7.5%	
		83.9%		16.1%		

Conclusiones

A través de la clasificación supervisada se logró identificar correctamente 93.7% de parcelas bajo LT y 92.7% parcelas bajo labranza de conservación, lo que indica un resultado bueno para estimar la superficie bajo labranza de conservación empleando el método de clasificación supervisada y un muestreo de campo rápido. Esto es reafirmado con el índice Kappa que fue 0.9396 para LT y 0.9208 para labranza de conservación. La separación de las prácticas de labranza de conservación, es decir siembra directa de conservación y labranza mínima, presenta mayores dificultades, lo mismo en LT, los suelos preparados (con arado o rastra) y siembra directa con residuo quemado presentan separabilidad moderada. De los resultados, se observó que las prácticas de conservación se presentaron concentradas en regiones y la diferencia en la adopción de las prácticas entre municipios fue considerable ya que algunos presentaron arriba de 33.2% del área analizada bajo labranza de conservación, mientras que otros estuvieron abajo de 6%. En futuros trabajos el aumento en resolución espacial podría permitir mejorar la discriminación de las prácticas de labranza, como es el caso de labranza mínima y siembra directa de conservación.

Agradecimientos

A la Universidad de Guanajuato por el apoyo financiero para realizar el proyecto. A la Asociación para la Siembra Directa, A. C. y al distrito de riego DR011 del estado de Guanajuato, por la información aportada y trabajo de campo realizado. A la Secretaría de Marina y armada de México por la donación de las imágenes SPOT 4.

Literatura citada

Bannari, A.; Habaudane, D. and Bonn, F. 2000. Interet du moyen infrarouge pour la cartographie des residus de cultures. Canadian J. Remote Sensing. 26(5):384-393.

predominates. Another example are the areas in which SD1 and SD2 predominate in Valle de Santiago. Jaral del Progreso shows mostly plots under TA practices.

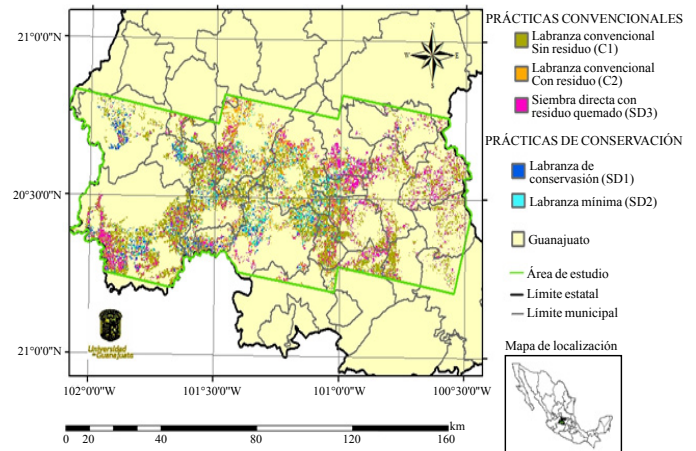


Figura 3. Prácticas de labranza en una región del estado de Guanajuato. Mapa generado con datos provenientes de la “Ermexs-Universidad de Guanajuato 2010”.

Figure 3. Agriculture practices in an area in the state of Guanajuato. Map created using data from the “Ermexs-Universidad de Guanajuato 2010”.

Table 6 shows the estimated area, by municipal areas, for the surface analyzed, which was 262,104 ha, out of which 83.9% were under TA; and the remaining 16.1%, in CA. Regarding all the data presented by municipal area for both agriculture types, the values presented indicate trends. The municipal areas with the highest percentage of CA practices are Valle de Santiago, Manuel Doblado and Cuerámara with 33.2%, 32.4% and 29.9% of the surface analyzed in each municipal area. The municipal areas with the greatest surfaces under CA were Valle de Santiago (7 523.1 ha), Pénjamo (6 631.8 ha, 14.4% of the area analyzed for the municipal area) and Salamanca (5 630.9 ha, 20.9% of the area analyzed for the municipal area). The municipal areas with the largest areas burned were Pénjamo (10 262.8 ha), Apaseo el Grande (6 088.2 ha) and Juventino Rosas (5 259.8 ha), and the highest percentages per municipal area were for Juventino Rosas, Comonfort and Apaseo el Grande. The municipal areas with very scarce practices under Ca were LC son Comonfort (5.03%), Jerecúaro (2.03%) and Apaseo el Alto (0.76%).

- Bannari, A.; Pacheco, A.; Staenz, K.; McNairn, H. and Omari, K. 2006. Estimating and mapping crop residues cover on agricultural lands using hyperspectral and IKONOS data. *Remote Sensing of Environment*. 104(4): 447-459.
- Biard, F. and Baret, F. 1997. Crop residue estimation using multiband reflectance. *Remote Sensing Environ.* 59(3):530-536.
- Brickemyer, R. S.; Lawrence, R. L. and Miller, P. R. 2002. Documenting no-till and conventional till practices using Landsat ETM+ imagery and logistic regression. *J. Soil and Water Conservation*. 57(5):267-271.
- Bruce, J.; M. Frome, E. H.; Janzen, H. and Lal, R. 1999. Carbon sequestration in soils. *J. Soil Water Conserv.* 54(1):382-389.
- Claveran, A. R.; Fregoso, L. E. y Sánchez C., B. 2001. La labranza conservacionista en México. I World Congress on Conservation Agriculture. Madrid, España. 1-5.
- Daughtry, C. S. T.; McMurtrey III, J. E.; Nagler, P. L.; Kim, M. S. and Chappelle, E. W. 1995. Spectral reflectance of soils and crop residues. *In: Davis, A. M. C. and Williams, P. (Eds.). Near infrared spectroscopy: the future waves. NIR Publications. The Proceedings of the 7th International Conference on Near Infrared Spectroscopy. Montreal, Canada. 505-510.*
- Deventer, A. P.; Ward, A. D.; Gowda, P. H. and Lyon, J. G. 1997. Using thematic mapper data to identify contrasting soil plains and tillage practices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 63(1):87-93.
- Flores-López, F. J. y Scott, C. A. 2000. Superficie agrícola estimada mediante análisis de imágenes de satélite en Guanajuato, México. *International Water Management Institute. Serie Latinoamericana*. 15:1-39.
- Food and Agriculture Organization (FAO) 2006. Conservation agriculture. *Spotlight Magazine*. Sitio web: <http://www.fao.org/ag/magazine/0110sp.htm> (consultado 17 marzo, 2009).
- García, N. H. y Martínez, L. G. 2007. Uso de ortofotos para actualizar el mapa de uso del suelo en Guanajuato, México. *Agric. Téc. Méx.* 33(3):271-279.
- Gregorich, E. G. and Carter, M. R. 1997. Soil quality for crop production and ecosystem health. *Dev. Soil Sci.* 25:125-165.
- Lal, R. and Kimble, J. M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutr. Cycling Agroecosys.* 49:243-253.

Conclusions

Through supervised classification, we correctly identified 93.7% of plots under TA and 92.7% plots under conservation agriculture, which indicates a good result for estimating the surface under conservation agriculture using the supervised classification method and a quick field sampling. The separation of the conservation agriculture practices, i.e., direct conservation sowing and minimum tillage, presents greater difficulties, as does TA: the prepared soils (with fallow or harrow) and direct sowing with burned residue present a moderate separability. Results show that conservation practices are concentrated in regions and that the difference in the adoption of practices between municipal areas was considerable, since some showed over 33.2% of the area analyzed under conservation agriculture, whereas others were below 6%. In future investigations, the increase in spatial resolution could reduce the distinction of agricultural practices, such as in the case of minimum tillage and direct conservation sowing.

End of the English version



- Maclure, M. and Willett, W. C. 1987. Misinterpretation and misuse of the kappa statistic. *Am. J. Epidemiol.* 126:161-169.
- Martínez, A. C.; Reyes, J. J.; Loaiza, A.; Moreno, G. T. y Palacios, O. 2001. Erosión y productividad en cinco sistemas de manejo del suelo en el sur de Sinaloa. *Campo Experimental Sur de Sinaloa-Centro de Investigación Regional del Noroeste-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Folleto técnico Núm. 2. México. 6 p.*
- McNairn, H. and Protz, R. 1993. Mapping corn residue cover on agricultural fields in Oxford County, Ontario, using Thematic Mapper, *Canadian J. Remote Sens.* 19(2):152-159.
- Medina, O. L. E.; Bravo, E. M.; Prat, C.; Martínez, M. M.; Ojeda, T. E. y Serrato, B. B. E. 2008. Pérdida de suelo, agua y nutrientes en un Acrisol bajo diferentes sistemas agrícolas en Michoacán, México. *Agric. Téc. Méx.* 34(2):201-211.
- Mehdi, G. M.; Mehdi, B. and Mojaradi, B. 2010. Mapping and area estimation of wheat by SPOT satellite image. *Map Asia 2010 & ISG 2010 Conference. Delhi, India. 26-28 July, 2010.*

- Narayanan, R. M.; Mielke, L. N. and Dalton, J. P. 1992. Crop residue cover estimation using radar techniques. *Appl. Eng. Agric.* 8(6):863-869.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Guanajuato (SDAG) 2010. La agricultura. Sitio web: <http://sda.guanajuato.gob.mx/agricultura.html> (consultado 10 junio, 2010).
- Serbin, G. E.; Hunt, R.; Daughtry, C. S. T.; McCarty, G. W. and Doraiswamy, P. C. 2009. An Improved ASTER Index for Remote Sensing of Crop Residue. *Remote Sensing.* 1:971-991.
- Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment.* 8(2):127-150.