



## Monitoreo satelital de la adopción de Agricultura de Conservación

### *Satelital monitoring of adoption of Conservation Agriculture*

Dr. Noé Saldaña Robles, Ing. Elizabeth Mosqueda Juárez, Dr. César Gutiérrez Vaca., M.C. Álvaro Flores García, Dr. Ryszard Jerzy Serwatowski Hlawinska, M.I. Adrián Flores Ortega

Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, Departamento de Ingeniería Agrícola, Irapuato, Guanajuato, México.

#### RESUMEN

Las actividades agropecuarias del estado de Guanajuato han propiciado la erosión del suelo. La Agricultura de Conservación (AC) es promovida por diversas instituciones gubernamentales y civiles como solución al deterioro del suelo. En 2010 se llevó a cabo un estudio para estimar la superficie cultivada en AC durante el ciclo primavera-verano (PV) y los resultados mostraron un 14,9% de superficie en AC, y el resto en Agricultura tradicional (AT). El presente estudio, le dio continuidad al análisis anterior. La metodología consistió en preparar una imagen de satélite Landsat 7ETM+, extraer de la zona agrícola a partir de dicha imagen, muestreo de campo en cuatro municipios, clasificación supervisada (CS) empleando el método de máxima verosimilitud, la precisión de la CS se midió con el índice kappa y la matriz de error, además se calculó el área en AC. La superficie estimada en AC para PV 2012 se comparó con la obtenida en 2010, observando un incremento de superficie en AC del 23,01% entre 2010 y 2012. Por otra parte, un 31,3% de la superficie en AC en 2010, se cultivó en AT en 2012. El estudio mostró buena precisión en 2012 y un aumento significativo en la adopción de AC.

**Palabras clave:** Labranza cero, labranza tradicional, superficie cultivada, percepción remota

#### ABSTRACT

Agricultural activities in the state of Guanajuato have caused soil erosion. Conservation Agriculture (AC) is promoted by various governmental and civil and deterioration of soil solution. In 2010 we conducted a study to estimate the cultivated area in AC during the spring-summer (PV) and the results showed 14,9% of area in BC, and the rest in Traditional Agriculture (AT). The present study is a continuation of the previous analysis. The methodology consisted of preparing a Landsat satellite image 7ETM+, drawn of agricultural area from the image, field sampling in four municipalities, supervised classification (CS) using the maximum likelihood method, the accuracy of the CS was measured with the kappa and the error matrix and also calculation of area under AC. The estimated area for PV AC 2012 was compared with that obtained in 2010, observing an increase in AC surface of 23,01% between 2010 and 2012. Moreover, 31,3% of the area in AC in 2010, was grown in AT in 2012. The study showed good accuracy in 2012 and a significant increase in the adoption of AC.

**Keywords:** Zero tillage, conventional tillage, cultivated area, remote sensing.

#### INTRODUCCIÓN

En el estado de Guanajuato existen instituciones que promueven la Agricultura de Conservación (AC) como una alternativa para lograr la sustentabilidad de la agricultura y la reducción de problemas de erosión, entre las que se encuentran CIMMYT, SAGARPA, Centro de Desarrollo Tecnológico Villadiego, Asociación para la Siembra Directa (ASOSID), Distrito de Riego 011, INIFAP y Universidad de Guanajuato, las cuales a través de recursos federales desarrollan tecnologías

y actividades de promoción para la AC. Por lo anterior, es para estas instituciones importante conocer la adopción de AC en las regiones donde trabajan. Saldaña *et al.* (2012a), realizó un estudio separando el área del estado de Guanajuato que ofrece suelo vertisol pélico y realizando una clasificación supervisada para discriminar la AC de la Agricultura Tradicional (AT). El método empleado consistió en analizar tres imágenes SPOT 4 mediante clasificación supervisada. El área analizada en el estado de Guanajuato se separó empleando datos de INEGI

(2007), correspondiendo al tipo de suelo Vertisol pélico y dicha área correspondió también principalmente a la zona agrícola más importante del estado de Guanajuato. Los suelos de tipo vertisol son espectralmente discriminables de los residuos agrícolas según Serbin *et al.* (2009) y Daughtry *et al.* (2011). Para mejorar la separabilidad del perfil espectral se observó que era necesario separar las clases AC y AT en cinco clases. AC se separó en Labranza cero de conservación y labranza mínima, mientras que AT se separó en labranza convencional sin residuo visible, labranza convencional con residuo abundante visible y siembra directa con quema del residuo agrícola. En los resultados obtenidos se pudo observar que un 92,7% de las parcelas de referencia en campo fueron correctamente clasificadas. Sin embargo el 7,3% restante correspondía a parcelas mal clasificadas. Saldaña *et al.* (2012b) llevó a cabo una mejora en la precisión del método descrito anteriormente, mediante un análisis multi-temporal integrando una imagen Landsat 7ETM+ de fecha posterior a las imágenes SPOT empleadas en el primer análisis. Con dicho análisis se observó una mejora en la precisión de 0,5% al discriminar la AC. El presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar los cambios que hay en la superficie agrícola que práctica agricultura de conservación y agricultura tradicional en los ciclos primavera-verano de 2010 y 2012 para cuatro municipios del estado de Guanajuato, con la finalidad de dar continuidad al monitoreo de adopción de AC antes llamada labranza de conservación.

## MÉTODOS

La región bajo estudio se encuentra en el estado de Guanajuato, entre los municipios que destacan por su producción agrícola y por la adopción de AC. Se consideraron para este estudio Abasolo, Irapuato, Valle de Santiago y Salamanca. Por lo que esos cuatro municipios fueron recortados de la imagen de satélite Landsat 7ETM+ tomada el 8 de Junio de 2012 para la referencia 28-46, la cual previamente fue corregida radiométricamente empleando el método del cuerpo negro, tomando como referencia la presa “la purísima”, después se aplicó una equalización al contraste para las bandas espectrales 1 a 5 y la 7, que fueron las empleadas en el presente trabajo. Se continuo, con el recorte de la zona agrícola empleando una máscara creada según Saldaña *et al.* (2012a) con una metodología modificada a partir de Mehdi *et al.* (2000). La metodología de muestreo, los datos recogidos por parcela muestreada y la definición de clases de prácticas agrícolas (SD1, SD2, C1 y C2) fue la empleada por Saldaña *et al.* (2012a):

- Agricultura de Conservación (SD1). Parcelas con al menos 30% de residuo de trigo o cebada, sin remover el suelo se siembra maíz o sorgo.
- Agricultura de Conservación mínima (SD2). Igual a SD1, además se lleva a cabo un remarcando de los surcos para favorecer el riego por gravedad.
- Agricultura tradicional sin residuo (C1). El residuo se empaca al mayor porcentaje posible o se quema y el suelo se cincela (opcional), barbecha y rastrea.
- Agricultura convencional con residuo (C2). El residuo del cultivo anterior se integra al suelo sin removerlo y se cincela

(opcional), barbecha, rastrea y nivela, por la abundancia del residuo este se mantiene visible en la superficie.

El muestreo se efectuó el 29 de mayo y el 20 de junio del 2012, obteniendo en total 251 parcelas verificadas en campo, se usaron 32 parcelas para la clasificación supervisada (8 por clase) y 216 para la evaluación, de las cuales 83 fueron encontradas como SD1, 28 como SD2, 75 en C1 y 30 en C2. De los 251 registros, las parcelas eran sembradas en su mayoría de sorgo y un poco de maíz, levantando como datos importantes, su posición, el tipo de labranza realizada (según las cuatro clases), el cultivo sembrado y la edad aproximada del cultivo.

La clasificación supervisada de la imagen Landsat 7ETM+ se realizó mediante un análisis de componentes principales, 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.). A la imagen resultante de la clasificación se aplicó un filtro de “mayoría”, básicamente limpiando pixeles aislados o altamente descartables. Los resultados de la clasificación supervisada se evaluaron a través de la matriz de error y el índice kappa (Maclure y Willet, 1987). La matriz de error y el índice kappa se calcularon a partir de los datos restantes del muestreo que no se utilizaron en el entrenamiento, empleados como puntos de verificación. La matriz de error se calculó para una clasificación de cuatro clases SD1, SD2, C1 y C2, sin embargo estos resultados se agruparon en únicamente dos clases AC (que agrupó a SD1 y SD2) y AT (que agrupó a C1 y C2) y el índice kappa se calculó para la matriz de error de las dos clases AC y AT. Los resultados de estimación de superficie en ACT y AT del presente estudio se contrastaron con los obtenidos por Saldaña *et al.* (2012b) empleando el método de matriz cruzada entre las imágenes temáticas resultantes de cada estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestra la precisión de la clasificación supervisada obteniendo un 92,93% de coincidencias entre parcelas verificadas en campo y las clasificadas por el algoritmo para AT y un 88,89% de coincidencias para AC. La precisión estuvo por debajo del 95% obtenido por (Bricklemeyer *et al.*, 2002) que empleó un algoritmo de regresión logística para un área muy pequeña y fue similar a los obtenidos por Deventer *et al.* (1997) y Saldaña *et al.* (2012a) para regiones de áreas considerablemente mayores. El índice Kappa para la AT fue de 0,871 y para AC fue 0,796, lo que indica que hay muy buena separabilidad espectral entre prácticas agrícolas, siendo mejor para la AT. Los resultados anteriores muestran una clasificación con precisión muy buena por lo que los datos generados de discriminación de área se presentan a continuación como parte de las estadísticas de AC y AT en los municipios considerados en el presente estudio.

Para comparar los resultados de área bajo AC y AT en el ciclo PV 2012 con los obtenidos por Saldaña *et al.* 2012 para el ciclo PV 2010, se empleó la máscara de la zona agrícola de 2012 en la cartografía digital de clases temáticas obtenida para el ciclo PV 2010 por Saldaña *et al.* (2012). Los resultados por tipo de sistema agrícola se presentan en la Tabla 2, en donde se

puede observar que la superficie cultivada bajo AC aumentó para los cuatro municipios. Por lo tanto de 121 787,2 ha analizadas en el ciclo PV 2012 se estimó un 47,5% de superficie cultivada en AC, mientras que en el ciclo PV 2010 fue un 24,5%.

**TABLA 1. Precisión en la clasificación supervisada**

CLASE	Referencias de campo	Clasificación supervisada	Coincidencia de referencia y clasificación	Precisión de comisión	Precisión del usuario
AC	105	99	92	87,62%	92,93%
AT	111	117	104	93,69%	88,89%
Total	216	216	196		

**TABLA 2. Comparación de superficies en AC y AT para los ciclos PV de 2010 y 2012**

Datos generados para el ciclo PV 2012				
Sistema agrícola	Área en Abasolo (ha)	Área en Irapuato (ha)	Área en Salamanca (ha)	Área en Valle de Santiago (ha)
AT	20 513,0	16 868,5	16 885,2	9 714,2
AC	18 217,8	10 280,2	15 786,9	13 521,5
Datos generados para el ciclo PV 2010 por Saldaña <i>et al.</i> 2012				
AT	30 018,3	21 905,3	25 343,0	14 730,2
AC	8 712,5	5 243,4	7 329,1	8 505,5

Con relación a los cambios que hubo en el tipo de sistema agrícola practicado en términos de porcentaje de área total, un 30,1% de superficie cultivada en AT en 2010 pasó a ser cultivada en AC en 2012, mientras que un 7,1% de la superficie cultivada en AC en 2010 se cultivó en AT en 2012, es decir en 2010 se estimaron 29 790,4 ha bajo AC de las cuales 8 646,9 ha se cultivaron en AT en 2012, un 29% de la superficie cultivada bajo AC en 2010 regresó a prácticas de AT en 2012.

En la Figura 1 se puede observar la cartografía digital generada de la matriz cruzada de los resultados obtenidos en el municipio de Abasolo, en donde la AC y AT han sido adoptadas por zonas y no de forma aleatoria, posible reflejo del trabajo de impulso a la adopción que realizan diversas instituciones en el estado de Guanajuato.

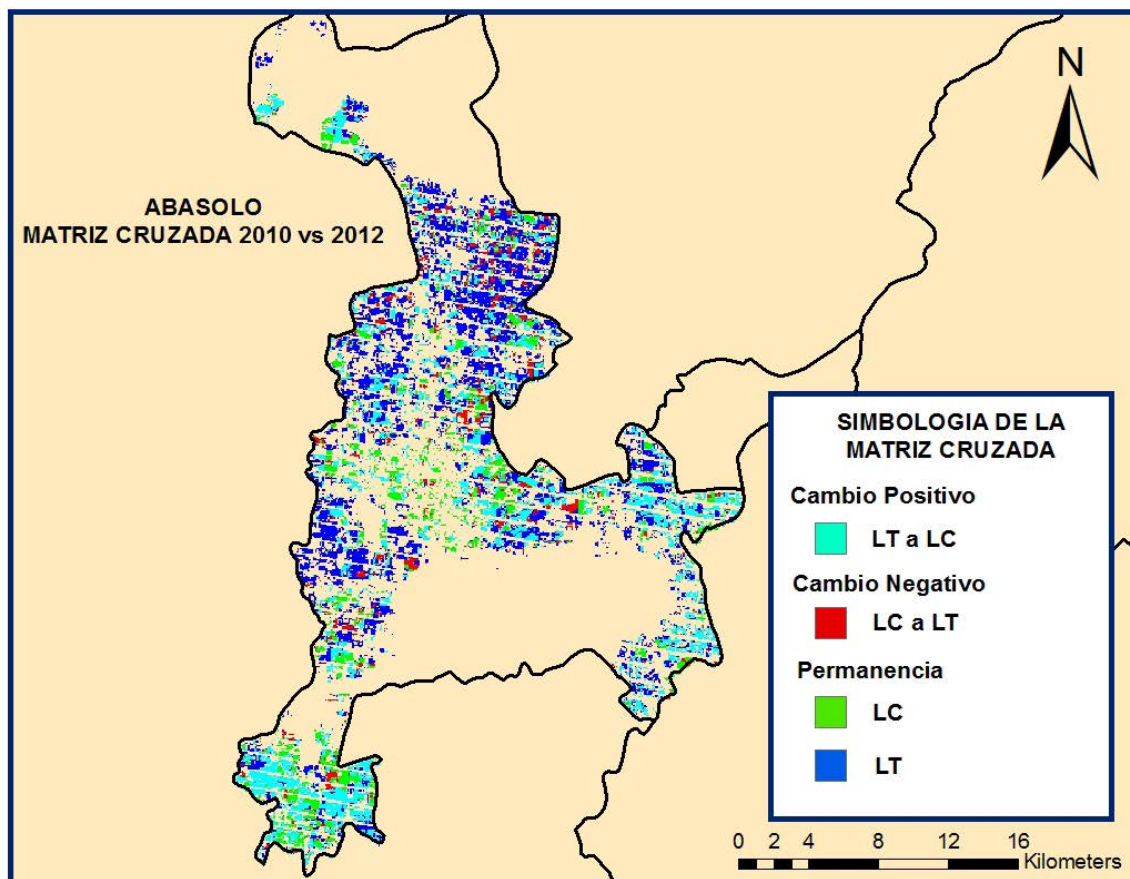


FIGURA 1. Abasolo según los cambios de sistema agrícola empleado entre PV 2010 y PV 2012.

## CONCLUSIONES

- La clasificación supervisada se realizó con una precisión muy buena del 92,93% para AT y 88,89% para AC, con buena separabilidad entre las prácticas AC y AT indicada por el índice Kappa. Los resultados mostraron que en el ciclo PV 2012 hubo un incremento de 23% de área cultivada en AC en términos de la superficie total, que resultó de un

incremento de superficie cultivada en AC en los cuatro municipios, sin embargo un 7,1% de superficie en AC en 2010 regresó a practicar AT, esto sugiere un área de oportunidad para impulsar la adopción mediante la identificación de las causas de abandono de la AC.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRICKLEMYER, R. S., L.R. LAWRENCE, P.R. MILLER & N. BATTOGTOKH: "Documenting no-till and conventional till practices using Landsat ETM plus imagery and logistic regression", *J. Soil Water Conservation*, 57(5): 267-271, 2002.
2. DAUGHTRY, C. S. T., R. HUNT, Y. DORAISWAMY & E. IIII MCMURTREY: "Remote sensing the spatial distribution of crop residues", *Agronomy Journal*, 97: 864-871, 2005.
3. DEVENTER, A. P., D. WARD, H. GOWDA & J.G. LYON: "Using Thematic Mapper Data to Identify Contrasting Soil Plains and Tillage Practices", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63(1): 87-93, 1997.
4. INEGI: *Uso del suelo y vegetación, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [en línea], Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/usuarios/Default.aspx> [Consulta: 17 de julio 2011].*
5. INEGI: *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico*, Escala 1:250000, Serie II (Continuo Nacional), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, 2007.
6. MACLURE, M. & C. WILLETT: "Misinterpretation and misuse of the kappa statistic", *Am. J. Epidemiol*, 126:161-169, 1987.
7. MEHDI, G.M.; B. MEHDI & B. MOJARADI: Mapping and Area Estimation of Wheat by SPOT Satellite Image. **Map Asia 2010 & ISG 2010 Conference**, Delhi, India, 26-28 July, 2010.
8. SALDAÑA, R. N., A. FLORES, S. GARCÍA, A. ZAVALA y R. NAVARRO: "Discriminación de la superficie sembrada bajo labranza de conservación empleando imágenes SPOT 4", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(5): 847-862, 2012a.
9. SALDAÑA, R. N., A. ZAVALA, J.M. CABRERA, R.J. SERWATOWSKI, S. GARCÍA, C. GUTIÉRREZ, y A. FLORES: "Discriminación de la superficie agrícola sembrada bajo labranza de conservación empleando análisis multi-temporal", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4): 679-689, 2012b.
10. SERBIN, G. E., R. HUNT, T. DAUGHTRY, W. MCCARTY & P.C. DORAISWAMY: "An Improved ASTER Index for Remote Sensing of Crop Residue", *Remote Sensing*, 1: 971-991, 2009.

**Recibido:** 20 de julio de 2013.

**Aprobado:** 10 de septiembre de 2013.

Noé Saldaña Robles, Profesor Investigador, Universidad de Guanajuato, Departamento de Ingeniería Agrícola, División de Ciencias de la Vida, Carr. Irapuato-Silao km 9, Irapuato, Gto., c.p. 36500, Tels. 4626241889 Ext. 1592. Correo electrónico: [saldanar@ugto.mx](mailto:saldanar@ugto.mx)

Nota: La mención de marcas comerciales es solo de carácter informativo sobre el programa utilizado, no significa recomendación alguna por los autores o la Universidad, ni por el editor.

*Todos nuestros servicios  
a su disposición*

**BIBLIOTECA ANTONIO MACHADO RUIZ**

**UNIVERSIDAD DE GRANMA (UGR)**