

Uso de las imágenes de satélites y los SIG en el campo de la Ingeniería Agrícola

Use of satellite images and GIS in the branch of the agricultural engineering

Dr.C. Dámaso Ponvert Delisles, Dr.C. Andrés Lau Quan

Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Grupo de Investigaciones Agrofísicas (GIAF), San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. Los sistemas de ingeniería agrícola constituyen conjuntos de técnicas y tecnologías que garantizan la producción agropecuaria. Por lo general, ellos producen determinados impactos al medio ambiente, que tienen consecuencias negativas sobre los recursos naturales produciendo huellas en el territorio. En la actualidad se aplican con éxito tecnologías muy eficaces como la Teledetección y, los SIG para identificar la huella espacial de estos impactos y apoyar las decisiones que ayuden a los directivos a tomar medidas correctivas y prospectivas. El objetivo de este trabajo es identificar las tareas más susceptibles de aplicar las tecnologías de Teledetección y los SIG en la evaluación de impactos provocados por el empleo de equipamiento y tecnologías del campo de la Ingeniería Agrícola. Para cumplimentarlo, se caracterizan los impactos asociados con el laboreo del suelo, con reade las imágenes de satélites y los SIG y se demuestra su uso en el caso concreto del mal manejo de métodos y sistemas de riego. Se explica la obtención de un cartograma de salinidad de un bloque cultivado con caña de azúcar usando técnicas de teledetección y redes neuronales artificiales. Como conclusión se reafirma la necesidad e importancia de la capacitación en el empleo de estas tecnologías para alcanzar mayor eficiencia en la sostenibilidad medioambiental.

Palabras clave: Tecnologías agrícolas, impactos, medio ambiente, teledetección, SIG.

ABSTRACT. The systems of agricultural engineering constitute groups of techniques and technologies those guarantee the agricultural production. In general, they produce certain impacts to the environment. These impacts have negative consequences on the natural resources producing prints in the territory. At the present time it was applied with success very effective technologies as the Remote Sensing and GIS to identify the spatial print of these impacts and to support the decisions that help the managers and specialists to take measured correctives and prospective. The objectives is To Identify those task in which's is more appropriated using Remote Sensing and GIS technologies for evaluating the impacts provoked for the employment of the agricultural engineering equipment and technologies. For that the impacts associated with the soil preparation, men's actions and unappreciated cultivation techniques are characterized. Also the field of application of the satellite images and GIS are analyzed as well as these technologies can be used in the concrete case of the wrong managing of the watering systems. Acquisition of soil salinity map cropped with sugar using remote sensing and artificial neural networks techniques were explained. As conclusion it is corroborated the necessity and importance of the training in the employment of these technologies to face reach bigger efficiency in the environmental sustainability of the agricultural production.

Keywords: Agricultural technologies, impacts, environment, remote sensing, GIS.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de ingeniería agrícola se definen como la interacción multidisciplinaria y coherente de los principales conjuntos de elementos de las diferentes técnicas y tecnologías modernas que garantizan la producción agropecuaria sostenible, entre los que se incluyen: a) La maquinaria agropecuaria, eléctrica, de tracción animal, para las casas

de cultivo y las diferentes fuentes convencionales y alternativas de energía, b) Los sistemas de riego, drenaje, desmonte, movimiento de tierra, transporte y casas de cultivo; c) Los principales sistemas de post-cosecha; d) Los equipos e instalaciones móviles y estacionarios para la producción agrícola, pecuaria, forestal, agro-industrial rural y talleres de mantenimiento y reparación (MES, 2007).

La mayoría de estas técnicas y tecnologías provocan impactos al medio ambiente, que se manifiestan en afectaciones a los recursos naturales y se materializan en su estado de degradación de ecosistemas que contienen disímiles formas de vida.

Precisamente, el objetivo de este trabajo es identificar las tareas más susceptibles de aplicar las tecnologías de Teledetección y los SIG en la evaluación de impactos provocados por el empleo de equipamiento y tecnologías del campo de la Ingeniería Agrícola, caracterizando los posibles métodos y procedimientos que pueden ser aplicados, para minimizar los impactos causados al medio ambiente.

Para cumplimentar tal objetivo, el trabajo aborda tres aspectos que siguen la visión lógica del problema: 1) Caracterizar los impactos de las técnicas y tecnologías agrícolas al medio ambiente; 2) Analizar los campos de aplicación de las imágenes de satélites y los SIG para evaluar estos impactos; y 3) Demostrar el empleo de estas tecnologías en las condiciones de Cuba a un caso concreto.

IMPACTOS DE LAS TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS AL MEDIO AMBIENTE

Los impactos son consecuencias derivadas del empleo incorrecto de las técnicas y tecnologías agrícolas sobre el medio ambiente en general. En este trabajo nos vamos a concentrar en aquellos que suelen ser detectados por métodos de observación directa del hombre en el campo con equipos o mediante otras técnicas de interpretación visual remotas. Según Díaz y Pérez (2007), la relación entre la mecanización agrícola y los recursos naturales debemos de verla como un sistema integrado, donde la máquina interactúa con cada recurso y a la vez los recursos entre sí, donde la contaminación de uno afecta al otro. Para su mejor sistematización vamos a considerar los impactos que afectan a uno de los recursos naturales más importantes: suelos, agua y aire.

Impactos al recurso natural “suelo”

Asociados con el laboreo del suelo: La compactación del suelo debido al peso de la maquinaria y de elementos como los discos de arado y el volteo excesivo del suelo, causantes de pérdidas de biodiversidad biológica; el excesivo laboreo del suelo que conlleva a la erosión y a la reducción de la capacidad productiva.

Asociados con la acción del hombre e imprevistos: Existe un conjunto de factores degradantes que conducen a la desertificación del suelo, entre los que cabe mencionar: La deforestación (al desaparecer los árboles que cimientan la capa fértil de la tierra); Realización de quemados de rastrojos con el propósito de enriquecer la tierra con cenizas, lo cual, si bien produce alguna forma de mejora del suelo, también elimina microorganismos y afecta a la evolución del suelo como algo vivo; Excesiva carga animal (cuando el número de animales excede la capacidad límite del suelo, se rompe el equilibrio dinámico entre ganado y tierra, la cubierta vegetal del suelo se empobrece ostensiblemente y se desencadenan los procesos erosivos; El viento, que barre los suelos desnudos de vegetación y arrastra la arena a tierras que lo inutiliza para el cultivo; con frecuencia la agricultura, al ocupar zonas fértiles desplaza la ganadería a zonas marginales

y semiáridas. En estos casos, como se trata de tierras frágiles, el pastoreo produce desequilibrios en los suelos, que pierden rápidamente su capacidad productora.

Asociados a las técnicas de cultivo inadecuadas: Sembrados en terrenos con mucha pendiente; uso de sistemas de producción agro ganaderos post-revolución verde cuasi industrializados; utilización de técnicas agrícolas inadecuadas: laboreo excesivo; uso de maquinaria agrícola pesada, que incrementa la compactación; empleo excesivo o indebido de plaguicidas y fertilizantes inorgánicos causantes del empobrecimiento biológico de los suelos; desarrollo de sistemas y métodos de riego inadecuados, causantes de procesos de salinización. Las sales solubles, particularmente si están en exceso, producen efectos perjudiciales en las plantas. Este fenómeno puede producirse por el uso de aguas excesivamente salinas en suelos de buena calidad o, al contrario, por el uso de aguas de buena calidad en suelos de elevado contenido de sales; monocultura agropecuaria (falta de diversidad productiva);

De modo general el alto contenido de biopatógenos contaminantes provenientes de los animales de trabajo y domésticos que se vierte directamente, provoca la contaminación de los suelos, cultivos, agua y también puede dañar la salud humana.

La utilización de plaguicidas y fertilizantes en la actividad agrícola puede ser una fuente de contaminación de suelos y fundamentalmente del agua, tanto superficial (ríos, lagos) como subterránea (acuíferos) (Martino, *et al.*, 2009).

Impactos al recurso natural “agua”

El vertimiento de combustible, grasas y aceites en el suelo derramados por la maquinaria agrícola y el transporte durante su explotación, pueden afectar las aguas superficiales o/o subterráneas.

Por lo general en la actividad de reparación y mantenimiento en los talleres y plantas de reparación se vierten residuos grasos y residuos pesados (chatarra), los cuales provocan una serie de problemas al ecosistema entre ellos la contaminación de las aguas subterráneas y de los suelos, pues, estos residuos desprenden sustancias altamente contaminantes como metales: Cr, Co, Ni, Cu, As, Mo, Cd, Sn, Ba, Hg, Pb, Cc; sales inorgánicas: NH_4 , Po^{3-4} , S^{2-} y Br. (Milanés, 2008).

Por otra parte, los nutrientes de los fertilizantes que caen en el agua de superficie (ríos, lagos, bahías) pueden promover la eutrofización, caracterizada inicialmente por una explosión en la población de algas fotosintéticas. Estas a su vez transforman las aguas en un color verde brillante, previniendo la penetración de la luz más allá de la superficie y consecuentemente matando los organismos que viven en el fondo. La vegetación muerta sirve de alimento para otros microorganismos acuáticos que pronto consumen el oxígeno del agua, inhibiendo la descomposición de los residuos orgánicos, que se acumulan en el fondo (Altieri, 2009)

Impactos al recurso natural “aire”

Las máquinas de riego poseen motores de combustión interna, altos consumidores de combustibles, con la consiguiente emisión de gases contaminantes. El deterioro de los sistemas

de combustión provoca una combustión incompleta, con la expulsión de gases contaminantes a la atmósfera, además de escapes de combustibles, grasas y lubricantes.

Los fertilizantes químicos también pueden convertirse en contaminantes del aire, y han sido recientemente implicados en la destrucción de la capa de ozono y con el calentamiento terrestre. Su uso excesivo también ha sido ligado a la acidificación y a la salinización de los suelos y a la alta incidencia de las plagas y las enfermedades a través de la mediación negativa de los nutrientes en los cultivos (Altieri, 2009).

De modo general el alto contenido de biopatógenos contaminantes provenientes de los animales de trabajo y domésticos que se vierte directamente, provoca la contaminación de los suelos, cultivos, agua y también puede dañar la salud humana.

La utilización de plaguicidas y fertilizantes en la actividad agrícola puede ser una fuente de contaminación de suelos y fundamentalmente del agua, tanto superficial (ríos, lagos) como subterránea (acuíferos) (Martino, *et al.*, 2009).

CAMPO DE APLICACIÓN DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITES Y LOS SIG EN LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES CAUSADOS POR LAS TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS

En este acápite analizaremos el posible empleo de las imágenes satelitales y los SIG en la evaluación, monitoreo y manejo de algunos de los impactos más importantes al medio ambiente causados por el uso de maquinaria agrícola y transportes.

En estudios de desertificación: En Cuba se ha utilizado herramientas de SIG y Teledetección para valorar las diferentes variables que intervienen en el proceso paulatino de degradación del suelo. Para ello se han valorado las diferentes variables medioambientales que participan en el proceso y mediante decisiones multicriterios, se han integrado las posibles soluciones en un solo mapa que muestra las áreas de terreno que son más susceptibles a procesos de desertificación. Uno de los estudios más actuales y relevantes que utilizó esta metodología fue realizado por Cruz, *et al.*, 2010.

Estimación de modelos de escorrentía y erosión: Igualmente, las imágenes de satélites y los SIG han servido como herramientas principales para realizar estudios de escorrentía superficial y erosión hídrica a escala de cuenca hidrográfica. Ambas herramientas en combinación con modelos como el de RUSLE, incorporan como variables independientes los elementos de esta ecuación captados mediante imágenes de satélites de muy alta resolución espacial (Spot-XS, Landsat) y de análisis espaciales con SIG. Destaca en este sentido estudios realizados en Cuba por Alonso, *et al.*, 2007; Leal, *et al.*, 2007 y Almoza *et al.*, 2007).

Estudios de la salinidad y fertilidad de los suelos: Las imágenes de satélites de muy alta resolución espacial son herramientas apropiadas para detectar niveles de salinidad y sodicidad en el suelo asociados con variables medioambientales y físicas. Aplicando diversos algoritmos de clasificación que se apoyan en variables sensadas por satélites, apoyadas con mediciones de campo y análisis con SIG es posible obtener una zonificación

del fenómeno. Algunos estudios se han llevado a cabo en Cuba por Lau *et al.*, 1998, 2003 y 2006 y otros investigadores.

Aplicación de fertilizantes, pesticidas e insumos agrícolas a escala intraparcelar: La agricultura de precisión permite ubicar las áreas de terreno con déficit de insumos mediante el análisis e integración de las variables obtenidas del barrido óptico-laser del suelo e inyectar insumos, justo en los lugares que tienen estos déficits.

Evaluación y monitoreo de terrenos labrados por la maquinaria agrícola: Las imágenes de satélites de alta resolución espacial (Sot-XS, Google Earth, IKONOS, QuickBird, y otras) son ideales para captar las áreas de terreno que han sido preparadas por la maquinaria agrícola. Luego estas imágenes pueden constituir una especie de “línea base” para realizar estudios posteriores comparativos sobre el cambio de uso y cobertura de la tierra (Figura 1).



FIGURA 1. Trazado de polígonos para el trabajo de la maquinaria agrícola usando imágenes de Google Earth de la Empresa de Cultivos varios de Guines. Fuente: Geocuba-IC, 2012.

La selección de emplazamientos: El lugar más adecuado para instalar un centro de acopio de mercancías agropecuarias o de beneficio de productos del agro, es una de las tareas clásicas realizadas con herramientas de análisis espacial de los SIG. Igual fundamento tiene la selección de las rutas más acertadas para el movimiento de mercancías en un territorio o para el laboreo del terreno, o para el desplazamiento del transporte.

Estudio y evaluación de la red de drenaje superficial: Las imágenes de satélites y los SIG ayudan a la reconstrucción del estado original de las redes de drenaje alteradas por movimientos de tierra. Determinación de áreas irrigadas y no irrigadas por las máquinas “Fregat”: En las imágenes de satélites es muy fácil identificar las áreas de terreno donde se han emplazado estas maquinarias de regadío (Figura 1).

Evaluación y seguimiento de vertimientos de combustibles y lubricantes en embalses, ríos y zonas de mar: Áreas contaminadas pueden ser detectadas en las imágenes de satélites de alta resolu-

ción espacial, gracias al efecto que causan en el suelo-vegetación (se marchitan las plantas), así como por el cambio de la apariencia de las aguas, provocando un cambio en su respuesta espectral.

EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TELEDETECCIÓN Y SIG PARA EVALUAR EL IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS AL MEDIO AMBIENTE

El objetivo de este ejemplo es evaluar un problema ocasionado al suelo por la aplicación incorrecta de las tecnologías de riego, causantes de un fenómeno impactante para la

agricultura: la salinización de los suelos, mediante el uso de imágenes de satélites

Una de las regiones donde este fenómeno se presentó fue en las áreas del sur de la provincia Mayabeque. El sitio experimental se encuentra en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “Lázaro Romero” de la Empresa Azucarera (EA) Héctor Molina, en el municipio San Nicolás de Bari. La UBPC está situada en los 22° 22' de latitud norte y los 81° 56' de longitud oeste (Figura 2); tiene una superficie de 1.272 ha, de las cuales 1320 ha están dedicadas al cultivo de la caña de azúcar y el resto a cultivos para el autoconsumo, principalmente arroz. Este estudio fue dirigido por Lau (2006) exponiéndose brevemente una síntesis del mismo.

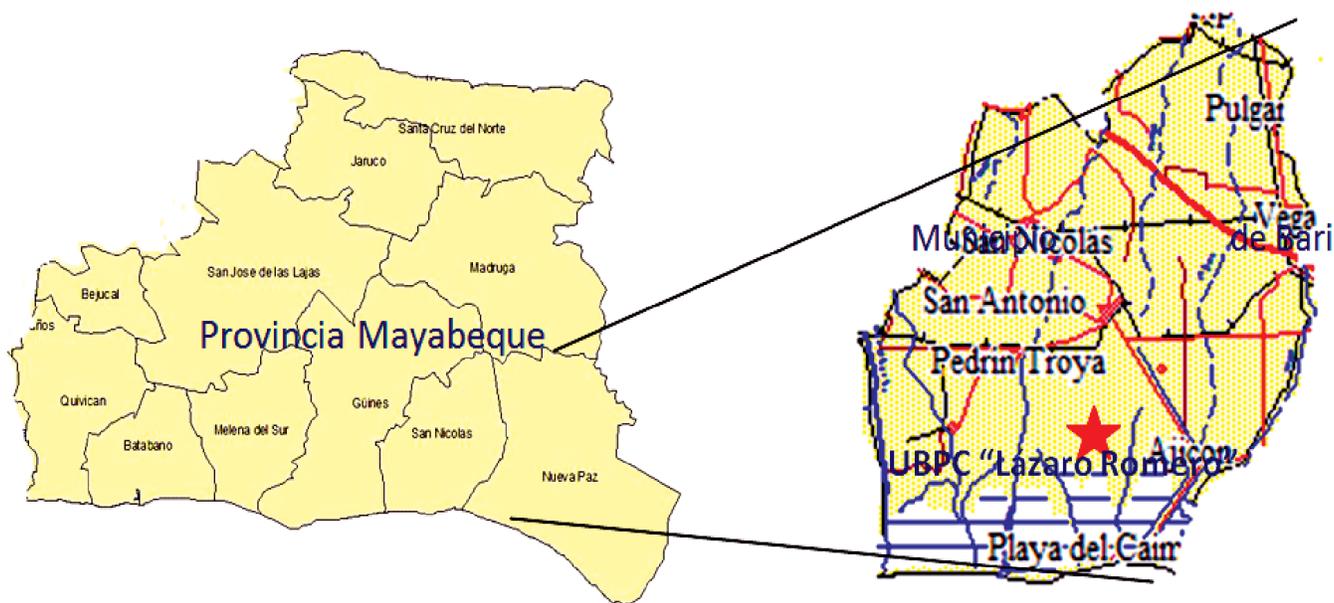


FIGURA 2. Área experimental situada a los 22°22' de latitud norte y los 81°56' longitud oeste, en la UBPC “Lázaro Romero”, municipio San Nicolás de Bari, provincia Mayabeque.

La metodología utilizada abarcó los pasos siguientes:

1. Diseño del experimento
 - Objetivo: Estimación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación (ECe) con los índices de vegetación mediante redes neuronales.
 - Selección de áreas experimentales: Bloques 15, 28, 29N y 29S, basados en la uniformidad en las atenciones culturales agronómicas.
 - Mediciones a realizar: conductividad eléctrica aparente (ECA), coordenadas geográficas, humedad y temperatura.
 - Datos y equipamiento a emplear: Imagen multispectral de satélite IKONOS, receptores GPS, sonda de cuatro electrodos (con termómetro incorporado), cilindro porta-muestra, balanza, estufa y medios de cómputo.
2. Adquisición de la imagen IKONOS de la escena, corte, corrección geométrica y radiométrica en el software ENVI 3.6.
3. Toma de muestras de la CEa con una sonda de cuatro electrodos en una cantidad y distribución siguiendo el criterio combinado del carácter estratificado por el grado de desarrollo de la caña de azúcar, considerando como factor

estresante predominante a la salinidad.

4. Extracción de los niveles digitales de las imágenes de los varios índices de vegetación calculados, entre ellos el de la diferencia normalizada, NDVI, en los puntos donde se determinó la CEe.
5. Aplicación del programa de red neuronal tipo perceptrón multicapa con momento creado al efecto (García, 1997), que incluyó varias corridas cada una de las cuales oscilaban entre 1000 y 100 000 iteraciones durante la etapa de entrenamiento hasta que los criterios de correlación satisficieran el criterio de experto.
6. Obtención de cartogramas de salinidad por bloques: Se obtuvo un mapa distribución espacial de la salinidad para cada uno de los bloques seleccionados, que permite a los directivos y técnicos apreciar las áreas donde el fenómeno se manifiesta con determinada magnitud, y en consecuencia, tomar las medidas adecuadas desde el punto de vista ingenieril agrícola para reducir y/o eliminar las causas y efectos del mismo. En la Figura 3 se muestra para el bloque 29N.

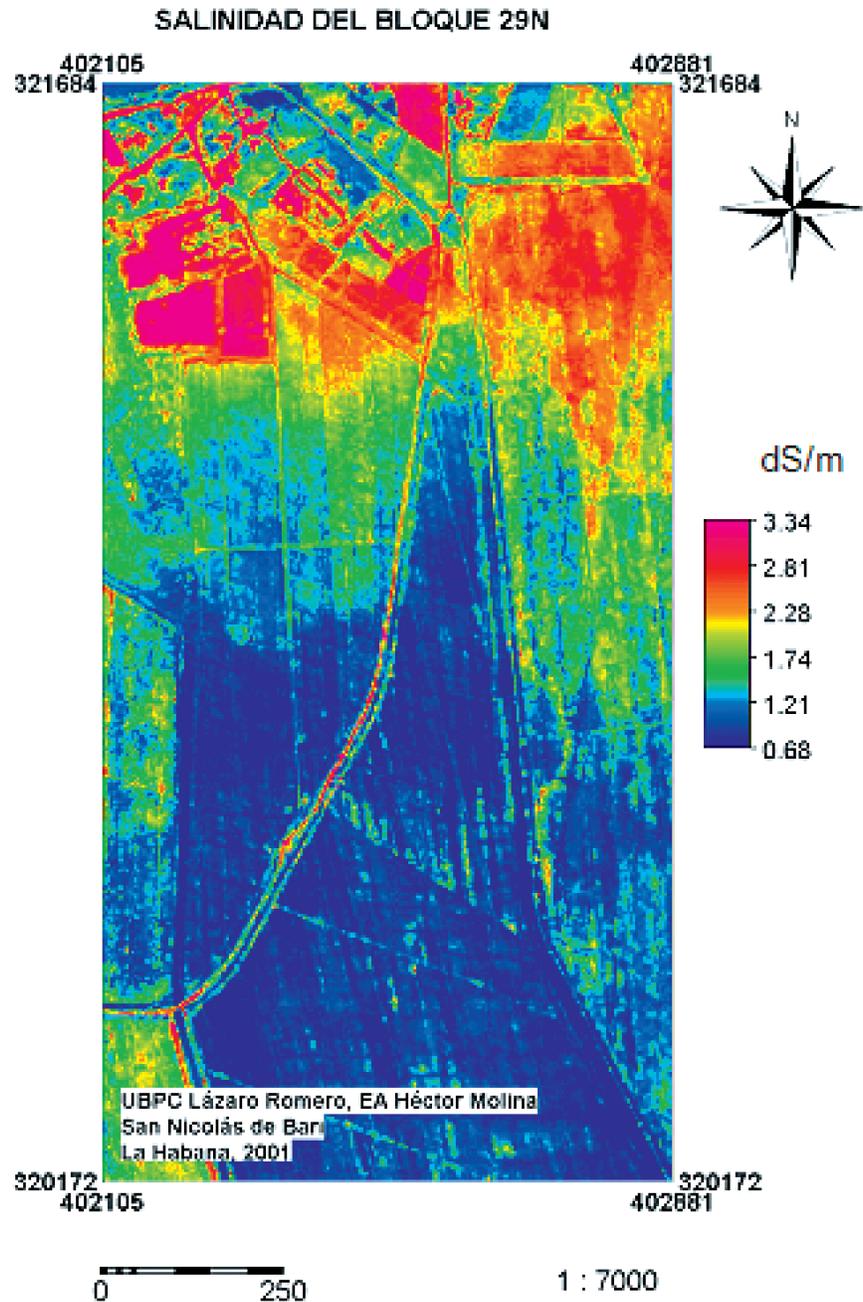


FIGURA 3. Cartograma de salinidad del bloque cañero 29N. Fuente: Lau, 2010.

CONCLUSIONES

- El empleo de la mayoría de las técnicas y tecnologías agrícolas provocan un determinado impacto al medio ambiente, que se manifiestan en afectaciones a diversos ecosistemas que contienen disímiles formas de vida producto de la contaminación de los mismos como resultado de la acción de los mismos y de subproductos químicos producidos por la explotación, reparación y mantenimiento de la maquinaria agrícola y el transporte.
- Muchos de estos impactos son susceptibles de ser detectados por la huella que produce al medio ambiente por sistemas sensores como las fotografías aéreas y las imágenes satélites;

así como mediante la observación directa “in situ” utilizando técnicas de relevamiento en campo. También las distintas variables espaciales de los impactos pueden ser convertidas en capas de información que son almacenadas, procesadas y analizadas en SIG.

- Que existe un número apreciable de impactos producidos por las tecnologías y maquinarias agrícolas que pueden ser evaluados, monitoreados y manejados usando imágenes de satélites y SIG y otras técnicas como GPS, que en la actualidad se utilizan muy poco en nuestro país, por lo que se impone analizar estrategias de formación de capacidades en los programas académicos de pre y postgrado encaminadas a mejorar esta situación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMOZA, Y., G. ALONSO, M.E, RUIZ: *Análisis de la influencia de las precipitaciones en la erosión de la cuenca del río Cuyaguaje*, Serie Monográfica auspiciada por el Programa CYTED, Imprenta UNAH, ISBN: 408954493, La Habana, 2007.
2. ALONSO, G., Y. ALMOZA, M.E, RUIZ: *Estimación del riesgo de erosión hídrica en la sub-cuenca "La Gira" del río Cuyaguaje*. Serie Monográfica auspiciada por el Programa CYTED, Imprenta UNAH, ISBN: 408954493, La Habana, 2007.
3. CARBALLO, N., J. N. PÉREZ: *Metodología para evaluar el impacto de las maquinas agrícolas en el recurso natural suelo utilizando el método de análisis del ciclo de vida. [en línea] 2011, Disponible en: http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/.../2011/agro2011_12.pdf[Consulta: abril 16 2013].*
4. CRUZ, R.O., G. MARTÍN, A. VANTOUR, M. PÁEZ Y D.R. PONVERT: "Diagnóstico de áreas vulnerables a la desertificación empleando información satelital y SIG en un territorio de la república de Cuba", Luján, Argentina, *Revista SELPER*,1(Especial): 32-41, 2010.
5. DÍAZ, N., J. N. PÉREZ: *Metodología para evaluar el impacto de las maquinas agrícolas sobre los recursos naturales del medio ambiente, Ciencias Holguín, Revista trimestral, Año XIII, abril-junio, Holguín, Cuba. [en línea] 2007, Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1815/181517923007.pdf> [Consulta: abril 16 2013].*
6. FLORES, A., L. OTERO, V. GÁLVEZ, L. RIVERO: *Salinidad un Nuevo Concepto*, 167pp., Universidad Autónoma Metropolitana, Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 1996.
7. GARCÍA, E.: *Aplicación de las redes neuronales artificiales en la clasificación de imágenes multiespectrales de teledetección. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas)*, La Habana, 1997.
8. LAU, A.: *Metodología para la estimación de la salinidad de los suelos cultivados con caña de azúcar usando métodos de teledetección y redes neuronales artificiales, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Agraria de La Habana*, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, 2006.
9. LAU, A., S. LHERMITTE, S. GILLIAMS, M.E. RUIZ: "Relación de la salinidad del suelo con la reflectancia multiespectral de la caña de azúcar cultivada en condiciones extremas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(3): 19-29, 2003.
10. LAU, A., A. UTSET, E. GAREA: *Una Tecnología para el diagnóstico de la salinidad de los suelos utilizando la teledetección, un Sistema de Información Geográfica (SIG), técnicas geoestadísticas y sensores eléctricos*, Informe final proyecto CITMA, código No. 00200063 del PNCT Producción de alimentos por vías sostenibles, La Habana, Cuba, 1998.
11. LEAL, Z., J. DÍAZ, M.E, RUIZ, G. ALONSO, Y. ALMOZA: *Estimación del efecto de los cultivos y sus manejos en el proceso de erosión de los suelos en la cuenca del río Cuyaguaje*. Serie Monográfica auspiciada por el Programa CYTED, Imprenta UNAH, ISBN: 408954493, La Habana, Cuba, 2007.
12. MARTINO, D., M. METHOL, A. OLEAGA, H. PIRELLI, L. RODRÍGUEZ, L. VIDAL: Cambios en el Uso del Suelo, Cap. 2. Geo Uruguay. [en línea] 2009, Disponible en: www.ambiental.net/noticias/reportes/GeoUruguayCap02.pdf [Consulta: enero 15 2013].
13. MES, *Plan de Estudio "D" para la Carrera de Ingeniería Agrícola*, Ministerio de Educación Superior, Comisión Nacional de Carrera, UNAH, La Habana, Cuba, 2007.
14. MILANÉS, Y.: *Influencia de la mecanización agrícola en la contaminación ambiental. Universidad de Granma, Bayamo, Cuba [en línea] 2009, 2008, Disponible en: <http://www.monografias.com/...pdf/...agricola.../mecanizacion-agricola/> [Consulta: febrero 12 2013].*

Recibido: 18 de septiembre 2012.

Aprobado: 24 de julio de 2013.

Dámaso Ponvert Delisles, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Grupo de Investigaciones Agrofísicas (GIAF), Autopista Nacional km. 23 ^{1/2} y Carretera a Tapaste, San José de Las Lajas, CP: 32700, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico: dponvert@isch.edu.cu