



Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG). Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.gesig-proeg.com.ar> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 9, Número 9, 2017, Sección I: Artículos. pp. 39-50

CAMBIO DE USO DE SUELO E ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI), SUBCUENCA DEL RÍO SALADO, MÉXICO.

¹María Eva Ruiz Durán, ²María Estela Orozco Hernández, ³Rebeca Granados Ramírez, ⁴Gustavo Álvarez Arteaga

¹Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México.

²Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México.

³Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México.

E-mails: evitastereo@yahoo.com.mx; eorozcoh61@hotmail.com; rebeca@igg.unam.mx; galvareza68@gmail.com

RESUMEN

El cambio de uso de suelo debido a las actividades antrópicas ha provocado la pérdida de resiliencia de los ecosistemas naturales y productivos ante la presencia cada vez más frecuente de eventos climatológicos extremos, es importante analizar la magnitud de estos cambios y su relación con la vegetación. Este estudio explora los cambios de uso de suelo y el estado de la vegetación natural en la subcuenca del río Salado. Las tasas de cambio de las cubiertas del suelo y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se calcularon a partir de la información obtenida de las imágenes Landsat 5 TM, 2000, 2005, 2010 y 2015. Los cambios muestran aumento en las cubiertas agrícola de riego, pastizal y zona urbana, y disminución de la superficie agrícola de temporal, bosque de encino y matorral. El NDVI en rango de 0.1 y 0.5 identifica estado crítico en el bosque de encino y matorral xerófilo, caracteriza el envejecimiento natural de la vegetación y la presión que ejerce el pastoreo de ganado, agricultura extensiva, extracción de madera y materiales pétreos. El NDVI de las áreas de riego cultivadas con alfalfa (0.5), contrasta con el de los pastizales y las tierras de temporal cultivadas con maíz y avena forrajera (0.1-0). Los factores que explican los cambios de uso de suelo y el estado de salud del matorral xerófilo se identificaron por medio de la observación en campo.

Palabras clave: Cambio de uso de suelo, coberturas forestales, matorral xerófilo y factores de presión.

ABSTRACT

The land use change due to human activities has resulted in the loss of resilience of natural and productive ecosystems to the increasingly frequent occurrence of extreme weather events, it is important to analyze the magnitude of these changes and their relationship with vegetation. This study explores the changes in land use and condition of natural vegetation in the basin of the Salado River.

Exchange rates of land cover and index normalized difference vegetation (INDV) were calculated from the information obtained from the Landsat 5 TM, 2000, 2005, 2010 and 2015 images. The changes show increase in covered agricultural irrigation, pasture and urban areas, and decreased temporary agricultural area, forest and scrub oak. INDV in the range of 0.1 and 0.5 identifies critical state in the oak forest and desert scrub, characterizes the natural aging of the vegetation and the pressure of livestock grazing, extensive agriculture, logging and stone materials. The INDV of irrigated areas cultivated with alfalfa (0.5), in contrast to the grasslands and cultivated rainfed corn and forage oats (0.1-0). The factors behind changes in land use and health status of desert scrub were identified through field observations.

Keywords: Land use change, forest cover, desert scrub and pressure factors.

INTRODUCCIÓN

Los cambios de uso de suelo (CUS) ocasionados por actividades antrópicas han provocado la pérdida de resiliencia de importantes reductos de vegetación natural frente a eventos catastróficos naturales u ocasionados por el hombre, y con ello, de una gama de servicios ecosistémicos que estas masas vegetales proveen a la sociedad (Lambin et al., 2001, Lambin y Geist, 2002). Los CUS generalmente inducen la fragmentación del paisaje, alteran los ciclos biogeoquímicos y generan cambios cuantitativos y cualitativos en la composición de las comunidades vegetales y en aquellos casos donde se intensifican, la pérdida parcial o total de los atributos del suelo y la vegetación que le confieren su capacidad inicial para sustentar los procesos productivos (Lambin et al., 2001). Ante tales condiciones, identificar las causas que propician los CUS y como revertirlas, requiere en primera instancia entender cómo es que la gente toma decisiones sobre el manejo y usufructo de los recursos naturales así como de la comprensión de cómo interactúan los factores sociales y ambientales para influenciar estas decisiones, bajo una multiplicidad de escalas espacio-temporales (Lambin y Geist 2007).

Los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo son la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad. En las últimas décadas éstas investigaciones ocupan mayor espacio en los estudios científicos debido a las implicaciones sobre la disponibilidad alimentaria, pérdida de biodiversidad o la resiliencia de los sistemas naturales y productivos. Las tasas de cambio constituyen una herramienta útil para identificar la pérdida y transformación de las cubiertas forestales (Lambin et al. 2001). Entre las consecuencias más delicadas destaca la pérdida del potencial de uso de bienes y servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas (Velázquez et al. 2002).

La vegetación está expuesta a fenómenos meteorológicos como sequía, inundación, entre otros, que reduce sus funciones dentro del ecosistema, el estado de conservación o salud de ésta es medida por sensores remotos, mediante índices. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI), facilita la interpretación de los parámetros biofísicos de la vegetación (Jiménez et al. 2009). El contraste en la reflectancia de las radiaciones roja e infrarroja, determina que la vegetación senescente o vieja reflejará más energía en el rojo visible, y la vigorosa en el infrarrojo

cercano. El contraste entre bandas es indicativo de una vegetación con mayor actividad fotosintética (Alatorre y Beguería, 2010; Julien, 2008). La densidad y verdor, son parámetros indicativos de la actividad fotosintética, salud e integridad de una cubierta vegetal (Liang et al. 2011). Cuando la vegetación sufre estrés, la reflectancia de las radiaciones roja e infrarroja disminuye, el contraste entre bandas es menor al que muestra la vegetación vigorosa (Soria y Granados, 2005). Este estudio explora los cambios de uso de suelo y el estado de salud de la vegetación natural en la subcuenca del río Salado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las imágenes Landsat 5 TM, 2000, 2004, 2009 y 2015 (Sitio web de la Universidad de Maryland, USA, 2012), constan de siete bandas espectrales, la resolución espacial de las bandas 1-5 y 7 es de 30 metros y en la 6 (infrarrojo térmico) 120 metros. El tamaño de las escenas es de 170 km norte - sur por 183 km este-oeste. La resolución temporal que transcurre entre la toma de una imagen, hasta la siguiente es de 16 días. Previo al análisis digital se establecieron los puntos de control en cada imagen, luego se referencio y alinee la serie temporal para cada escena que conforma el área de estudio, de modo que coincidieran los pixeles para llevar a cabo el análisis de regresión de la serie de j_n v g_{vgcbh} .

La combinación de bandas y la clasificación se realizó con el software Idrisi Selva (Clark Labs, 2011), los modelos digitales del terreno (MDE) se procesaron en el software Global Mapper 13 (Blue MarbleGeographics, 2010). Se utilizaron las bandas: 2 ($0.52\mu\text{m}$ a $0.60\mu\text{m}$ - verde) 3 ($0.63\mu\text{m}$ a $0.69\mu\text{m}$ - rojo) y 4 ($0.76\mu\text{m}$ a $0.90\mu\text{m}$ - infrarrojo cercano). La combinación de las bandas 2, 3 y 4 se realizó con el menú Createcomposite color del software Idrisi, con el objeto de obtener la imagen falso color que resultó de asignar el filtro azul a la banda 2, el verde a la banda 3 y el rojo a la banda 4. La banda 4 por el carácter absorbente de la longitud de onda, es útil en la identificación de cuerpos de agua y la vegetación. Las bandas del visible reconocen la profundidad relativa de los cuerpos de agua y los suelos, y en este caso reflejan las unidades geomorfológicas. A través del módulo Cluster de Idrisi (Richards, 1995) se asociaron los pixeles de las imágenes con reflectancia similar en las diferentes coberturas de suelo, mediante este proceso se obtuvieron los mapas de uso de suelo 2000, 2004, 2009 y 2015 y se cuantifico la superficie ocupada por cobertura. Finalmente se estimaron las tasas de cambio (FAO, 1996).

$$tc = [(S_2 / S_1)^{1/n} - 1] \times 100$$

Donde:

tc = tasa de cambios

S1 = superficie de esa clase de uso en la fecha 1 en ha

S2 = superficie de esa clase de uso en la fecha 2 en ha

n = diferencia de años entre una fecha y otra

El índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) se determino con base en la ecuación siguiente:

$$NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$$

Donde:

B4 = Banda 4 de la imagen de Landsat tm (reflectividad en el infrarrojo cercano)

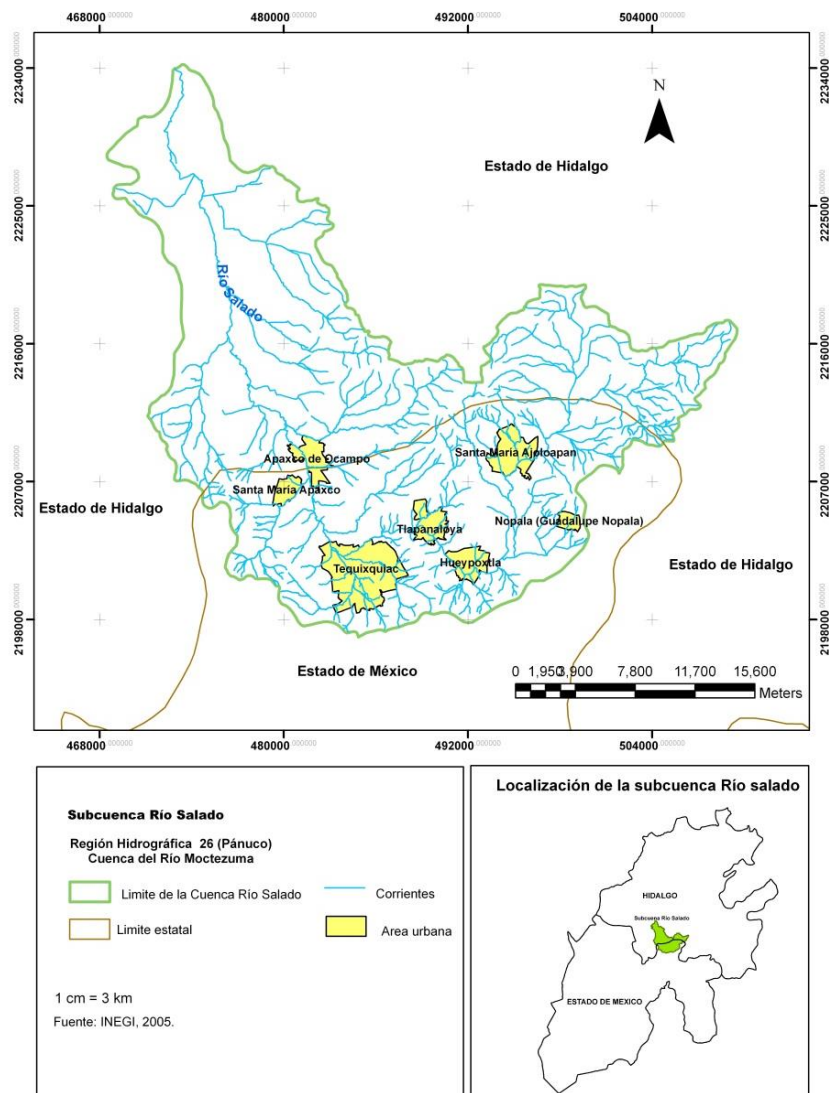
B3 = Banda 3 de la imagen de Landsat tm (reflectividad en el rojo)

El índice varía entre -1 y 1, lo que facilita la interpretación, el umbral crítico para cubiertas vegetales tiene un valor NDVI actual de 0.1 y la vegetación densa de 0.5. Cualquier valor negativo implica ausencia de vegetación por lo que se reclasifica a cero (Rouse et al., 1974; Alatorre, et al., 2010).

Zona de estudio

La subcuenca del río Salado cubre 661 km² y perímetro de 160.92 km, forma parte de la red de drenaje del alto río Pánuco. El río Salado recibe cargas de agua residual municipal y el gran canal del desagüe de la ciudad de México, comprende los municipios de Atotonilco de Tula, Atitalaquia, Tlaxcoapan, Tlahuelilpan y Tetepango, ubicados al occidente del valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo y atraviesa los municipios de Apaxco de Ocampo, Hueypoxtla, Huahuetoca y Tequixquiac en el Estado de México (Figura 1). Prevalece un clima templado subhúmedo y semiseco con lluvias en verano, temperaturas medias de 12–16°C, con una máxima de 40 °C y precipitación anual de 500 a 700 mm. Las rocas volcánicas y sedimentarias (basalto, andesita, dacita, brecha volcánica, toba, arenisca, aluvión y caliza), configuran la morfología de sierras volcánicas, lomerío de toba y basalto, llanuras y mesetas (INEGI, 2010).

Figura 1. Localización de la Subcuenca del río Salado.



Fuente: Elaboración propia.

CAMBIO DE USO DE SUELO

El uso de suelo se integra por pastizal inducido (28%), está cubierta sostiene la ganadería extensiva y semiestabulada de bovinos y ovinos; la agricultura de temporal (24%) y riego (9%) comprende el cultivo de maíz, avena y forrajes en suelos con rendimientos aceptables: Feozem calcárico, Feozem háplico y Vertisol pélico. El área urbana (12%) conformada por las cabeceras municipales y asentamientos dispersos, el matorral xerófilo (23%) y bosque de encino (5%) se distribuyen en suelo Leptosol, en laderas y cimas tendidas (INEGI; 2010, INEGI, 2009).

Los rasgos visibles muestran la distribución de la vegetación y usos del suelo a lo largo de 15 años: bosque de encino en lomas y sierras de la porción centro-este y sureste de la zona de estudio, el matorral xerófilo en áreas planas y montañosas. Al noroeste agricultura de riego y temporal en el Valle del Mezquital, Hidalgo. En el sur-sureste agricultura de temporal y pastizal, Estado de México (Figuras 2, 3, 4 y 5).

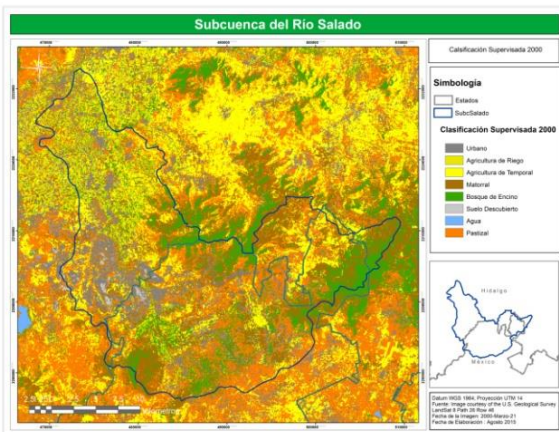


Fig.2 Uso de suelo 2000, Subcuenca del Río Salado

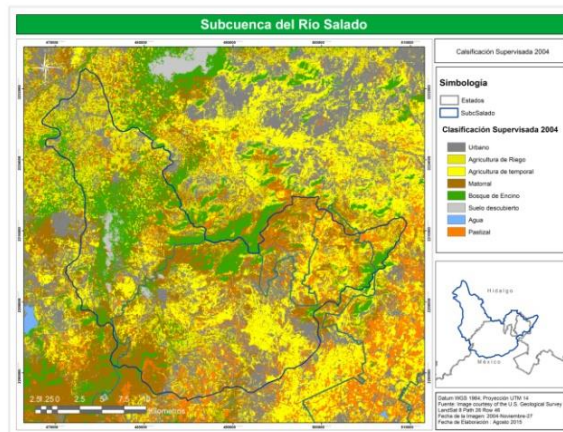


Fig. 3 Uso de suelo 2005, Subcuenca del Río Salado

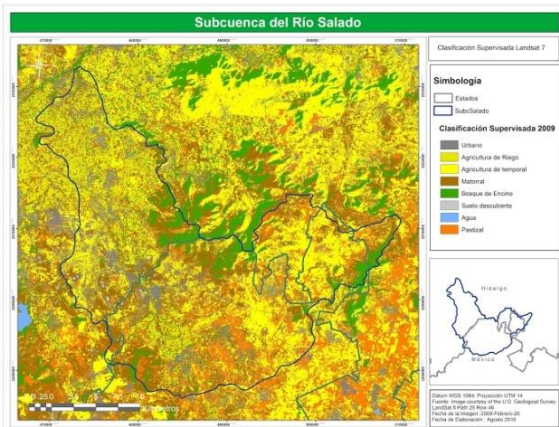


Fig. 4 Uso de suelo 2010, Subcuenca del Río Salado

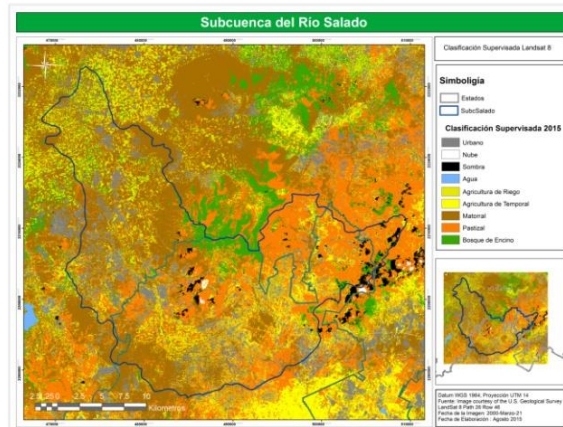


Fig.5 Uso de suelo 2015, Subcuenca del Río Salado

La cuantificación de las cubiertas, muestra una dinámica de cambio intensa; prevalecen tasas negativas y la pérdida de superficie de matorral y agricultura de temporal a favor del área urbana y pastizal inducido (Cuadro 1). La amplia ocupación de las superficies urbanas, explica el crecimiento de las cabeceras municipales, desarrollos inmobiliarios que se han edificado en suelo originalmente ocupado por matorral, asentamientos irregulares ubicados en zonas en las que se extrae arena, grava y calcita destinada a la producción de cemento.

Cuadro 1. Tasa de cambio del uso de suelo y vegetación, Subcuenca del Río Salado, 2000-2015

| Uso de suelo | Superficie en has 2000 | % | Superficie en has 2005 | % | Superficie en has 2010 | % | Superficie en has 2015 | % | Tasas de cambio anual % | | | Superficie de cambio anual Has | | |
|-------------------------|------------------------|-----|------------------------|-----|------------------------|-----|------------------------|-----|-------------------------|-----------|-----------|--------------------------------|-----------|-----------|
| | | | | | | | | | 2000-2005 | 2005-2010 | 2010-2015 | 2000-2005 | 2005-2010 | 2010-2015 |
| Urbano | 9,471 | 14 | 7,042 | 11 | 5,960 | 9 | 7,943 | 12 | -5.8 | -3.3 | 5.9 | -545 | -231 | 352 |
| Agricultura de riego | 4,885 | 7 | 6,879 | 10 | 5,868 | 9 | 5,727 | 9 | 7.1 | -3.1 | -0.5 | 346 | -215 | -28 |
| Agricultura de temporal | 9,775 | 15 | 10,428 | 16 | 19,751 | 30 | 15,902 | 24 | 1.3 | 13.6 | -4.2 | 127 | 1,421 | -838 |
| Matorral | 14,309 | 22 | 19,295 | 29 | 20,852 | 32 | 15,020 | 23 | 6.2 | 1.6 | -6.4 | 882 | 302 | -1,324 |
| Bosque de Encino | 9,436 | 14 | 4,994 | 8 | 4,739 | 7 | 3,031 | 5 | -11.9 | -1.0 | -8.6 | -1,128 | -52 | -405 |
| Suelo descubierto | 411 | 1 | 4,735 | 7 | 113 | 0.2 | 81 | 0.1 | 63.0 | -52.6 | -6.4 | 259 | -2,492 | -7 |
| Cuerpos de agua | 54 | 0.1 | 42 | 0.1 | 108 | 0.2 | 64 | 0.1 | -4.9 | 20.8 | -9.9 | -3 | 9 | -11 |
| Pastizal | 17,774 | 27 | 12,707 | 19 | 8,729 | 13 | 18,325 | 28 | -6.5 | -7.2 | 16.0 | -1,154 | -919 | 1,396 |
| Total | 66,115 | 100 | 66,122 | 100 | 66,120 | 100 | 66,092 | 100 | | | | | | |

Fuente: Elaboración con base en imágenes Landsat TM

La vegetación está constituida principalmente por bosque de encino y matorral xerófilo, el clima subhúmedo y semiseco a través de la precipitación y temperatura, el sustrato litológico y la pendiente, definen las características particulares de estas coberturas. En el período 2000-2015, la cobertura de bosque de encino ha sido la más afectada por deforestación, a lo largo de quince años la superficie se redujo 68%. El matorral xerófilo experimento cambios itinerantes, en el quinquenio 2000-2005 tuvo la mayor recuperación y en 2010-2015 la mayor pérdida de superficie, lo que se corresponde incrementos en la superficie de pastizal inducido y uso urbano. El pastizal inducido se expande por desmonte del matorral y en áreas agrícolas abandonadas y en aquellas que se incendian con fines agropecuarios.

ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

Las imágenes 2000 y 2015 se tomaron en primavera, en los meses de marzo y mayo; época que se caracteriza por el ascenso de temperatura, crecimiento vegetal y florecimiento de las distintas especies vegetales, lo que se denota por la mayor actividad fotosintética. Las imágenes 2004 y 2009 se tomaron en los meses de noviembre y febrero, meses típicos para las estaciones otoño invierno. En otoño desciende la temperatura, hay senescencia de las hojas de los árboles y arbustos, y en invierno disminuye aún más la temperatura y se frena la actividad fotosintética. La combinación de las bandas 4,3 y 2 en falso color, muestra en color rojo la vegetación vigorosa, cultivos irrigados, pastos, bosque caducifolio y matorrales. Las tonalidades celestes representan suelo, roca y áreas desprovistas de vegetación (Figuras 6,7, 8 y 9).

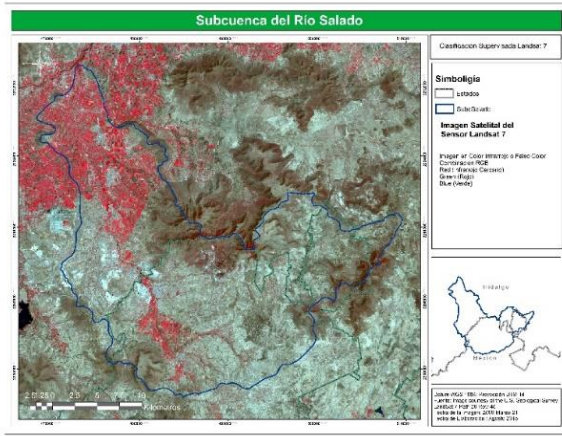


Figura 6. Combinación 432 para el año 2000, Sub-cuenca del Río Salado.

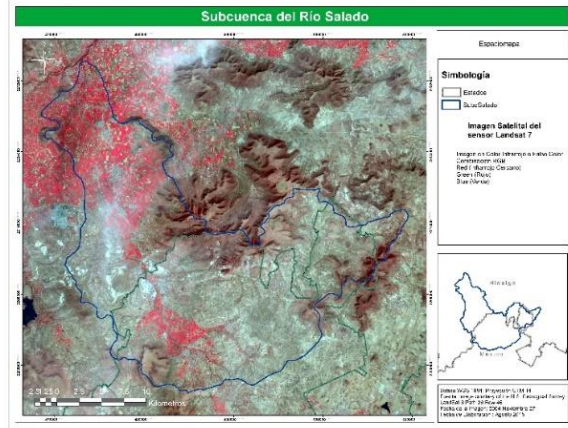


Figura 7. Combinación 432 para el año 2005, Sub-cuenca del Río Salado.

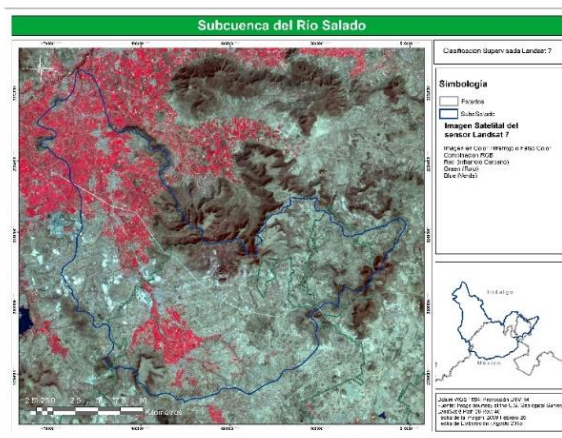


Figura 8. Combinación 432 para el año 2010, Sub-cuenca del Río Salado.

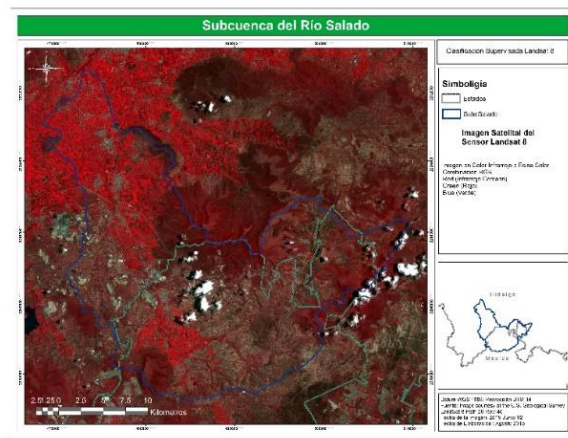


Figura 9. Combinación 432 para el año 2015, Sub-cuenca del Río Salado.

El NDVI se calculó para cada uno de los píxeles de la imagen satelital, tomando en cuenta que la reflectividad del infrarrojo cercano y rojo es producto del cociente de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral. Los valores se encuentran entre 0 y 1. A partir de la aplicación de la fórmula del cociente del infrarrojo cercano menos el lejano, se obtuvo la representación cartográfica del NDVI (Figuras 10, 11, 12 y 13).

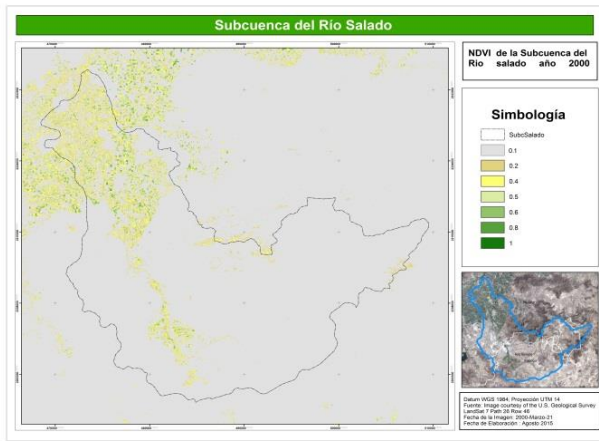


Fig.10 NDVI2000, Subcuenca del Río Salado

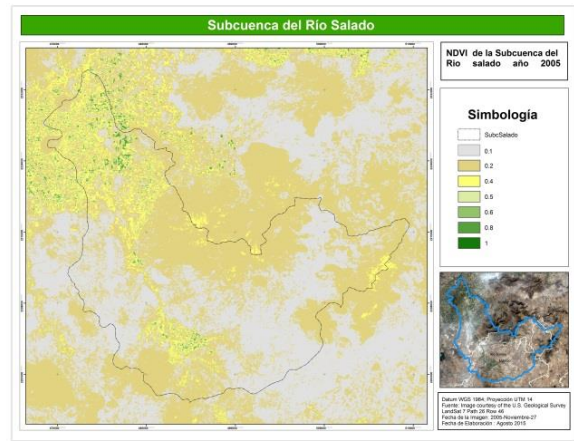


Fig. 11 NDVI2005, Subcuenca del Río Salado

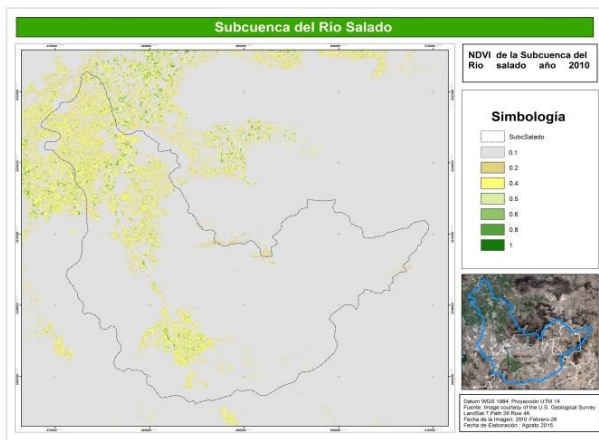


Fig.12 NDVI2010, Subcuenca del Río Salado

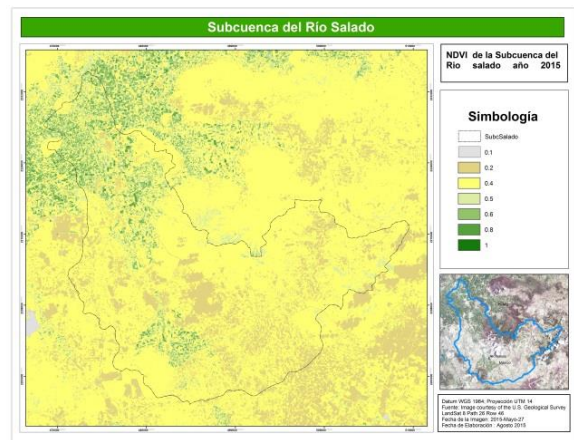


Fig. 13 NDVI2015, Subcuenca del Río Salado

La secuencia identifica en la agricultura de riego, bosque de encino y matorral xerófilo, radiaciones en el rango de 0.2-0.4. Los valores inferiores a 0.2 corresponden a pastizales y agricultura de temporal. El comportamiento radiométrico por debajo de 0.5, indica que la actividad fotosintética es baja, lo cual podría deberse a las condiciones de baja humedad atmosférica, característica en esta época del clima semiseco, senescencia de la vegetación y estacionalidad de los cultivos y pastizales.

DISCUSIÓN

Los cambios de uso de suelo, muestran aumento de la superficie ocupada por la agricultura de riego, pastizal y zona urbana, y disminución de la superficie agrícola de temporal, bosque de encino y matorral. La deforestación del bosque de encino se debe principalmente a la remoción de la cubierta forestal para aprovechamiento de leña y carbón combustible. Para el caso del matorral, éste se encuentra sometido a la presión progresiva del crecimiento urbano y a la expansión de la ganadería y agricultura. Resalta la fragmentación de esta comunidad vegetal, caracterizada por la presencia de especies dominantes: Opuntia, Prosopis, Leavigata y Bursera (Huizache, Mezquite. Palo Dulce y uña de gato) además de nopal, maguey, copal y biznaga; e inapreciable estrato herbáceo, dominan los pasto inducidos y otras introducidas, Pirul y tejocote.

La dominancia de los mezquites de talla arbórea (*Prosopis* sp.), la abundancia de pastos y la escasez del estrato herbáceo sugiere la remoción constante del matorral en sus diferentes modalidades: Cracicaule, desértico rosetófilo, desértico micrófilo y espinoso. Por otra parte, la remoción total de la vegetación natural altera la estructura florística de los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo, y la disponibilidad de nutrimentos en el suelo. De acuerdo a (Casermeiro, et al, 2001:242), la condición actual del estrato herbáceo manifiesta empobrecimiento florístico frente a los disturbios en el ambiente provocados por el desmonte. La degradación del matorral puede tener una connotación importante ya que este tipo de vegetación juega un papel fundamental en la economía de las comunidades rurales en virtud de que es fuente primaria de alimento para el ganado doméstico que ramonea y pastorea en estos sitios (Estrada, 2009). Los propietarios realizan clareo o poda de mantenimiento para eliminar elementos indeseables, ramas muertas, quebradas o enfermas, tocones y rebrotes que impiden que crezcan los ejemplares leñosos. La distancia promedio en los ejemplares leñosos de aproximadamente cuatro metros, confirma la práctica de clareo, que facilita el pastoreo de ganado y coloca las ramas y frutos al alcance de los animales (CONAZA-INE, 1994). La ganadería disminuye la abundancia, dominancia y diversidad de las comunidades arbóreas y arbustivas, y favorece el establecimiento de especies en las primeras fases sucesionales (Mora et al, 2013:136). Las afectaciones del estrato leñoso, se aprecian en el desramado; herido por extracción, descortezado; derribado por el viento; ocoteado, corta, quema y despuntado. En los matorrales crecen comunidades de *Tillandsia*, localmente llamada heno y los líquenes (simbiosis de los hongos y algas), se aprecian como epífitas colgantes y costras en los troncos de los mezquites, cuyas funciones bióticas entran en competencia por espacio y paulatinamente ocasionan que se seque el material leñoso. El NDVI en el rango de 0.1 y 0.5 identifica el estado crítico del bosque de encino y matorral xerófilo, caracteriza envejecimiento natural de la vegetación y la presión que ejerce el pastoreo de ganado, la agricultura extensiva, la extracción de madera y materiales pétreos. El NDVI de las áreas de riego cultivadas con alfalfa (0.5), contrasta con el índice de los pastizales y las tierras de temporal cultivadas con maíz y avena forrajera (0.1-0). El matorral xerófilo en el que interviene *Prosopis*, aún en la época desfavorable, mantiene su verdor todo el año, estas plantas pierden las hojas sólo por un período de varias semanas a principios del año (Rzedowski, 1983: 245). Los aspectos dinámicos de los matorrales xerófilos en México son poco conocidos, algunos hallazgos reportan que el matorral de *Larrea* y *flourenzia* se regenera directamente después de la destrucción, fenómeno que probablemente puede extrapolarse a muchas otras comunidades de clima rigurosamente árido. Sin embargo, los matorrales más exuberantes parecen tener comportamiento distinto, a menudo se intercalan etapas seriales herbáceas y arbustivas bajas antes de su completo restablecimiento. Así, por ejemplo parece ser que algunos matorrales cracicaules y otros de *Quercus* pueden tener una fase de pastizal en sucesión (Rzedowski, 1983:261)

CONCLUSIÓN

Los cambios experimentados por las cubiertas del suelo detectados por medio del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), exhiben que la vegetación natural dominada por matorral y bosque de encino se encuentra severamente impactada por las actividades económicas y los sistemas de uso de la tierra. Los factores de presión más significativos en orden de importancia, son: el pastoreo de ganado bovino y ovino, extracción de leña, plagas, desmonte y cultivos. El matorral es objeto de quemas periódicas y fuente primaria de alimentación de ganado, incrementa su vulnerabilidad a la degradación. El desmonte y quemas en corto tiempo eliminan almacenes de carbono, la conversión de las cubiertas vegetales, producen emisiones de CO₂ a la atmósfera. Este estudio identificó que existe una relación estrecha entre el desmonte, la práctica de la ganadería y la vulnerabilidad de la vegetación natural. La vulnerabilidad se integra por el conjunto de condiciones ambientales que limitan la permanencia de la vegetación como son: el pastoreo libre de ganado;

remoción de la cobertura natural, extracción de leña, plagas, expansión del cultivo de forrajes y extracción de material pétreo en los lomeríos y sierras bajas cuya cobertura natural es el matorral. Aunque no se tiene aprovechamiento aparente de la vegetación dominante, la zona muestra visible desequilibrio en la estructura de los remanentes de vegetación, evidencias de eses fecales de ganado y residuos de fogata y erosión por pastoreo. Es evidente que no se respeta la normatividad y falta sensibilización sobre la importancia ecológica y conocimiento de los aprovechamientos alternativos del matorral en el área. La situación es la resultante de la ausencia de protección de estas coberturas forestales y los incentivos otorgados a la agricultura y la ganadería.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Universidad Autónoma del Estado de México, por el apoyo otorgado a través de los proyectos CONACYT. 107956 y UAEM 3539/2013 CHT.

BIBLIOGRAFÍA

Alatorre, L. C., Beguería, S. y S. M. Vicente- Serrano, S. 2010. “Análisis de la evolución espacio-temporal del ndvi sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central.” *Pirineos. Revista de Ecología de Montaña*, vol. 165, 7-27.

Casermeiro J., De Petre A.A., Spahn E., Valenti R. 2001. Efectos del desmonte sobre la vegetación y el suelo. *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Forestales*. Vol. 10 (2), 2001, España: 232-244.

Clark Labs, 2011. Idrisi Selva., Software, Clark University, USA.

Comisión Nacional de Zonas Áridas. Instituto Nacional de Ecología. 1994. Mezquite, CONAZA-INE, México, <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/72/cultivo.html#top>

Estrada C., A. E., 2009. Los matorrales y su importancia en México. En línea: <http://www.fcf.uanl.mx/publicaciones>

Food and Agriculture Organization. 1996. *Foret resources assessment 1990*. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130, 152 pp. Roma.

Gómez-Rodríguez G. y O. Rojas García. 2009. Estudio de cambio de uso de suelo como insumo al ordenamiento territorial de la zona V Norte petrolera del estado de Chiapas. En: Aguirre Gómez, R. (Coord). **Conceptos de Geomática y estudios de caso en México**. Instituto de Geografía, UNAM. p. 211-240.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática .2010. Compendio de información geográfica municipal 2010, Varios Municipios, Aguascalientes, México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2009. Censos Agropecuarios. *Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*, http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx

Jiménez, M.N., J.C. Jiménez Sánchez y J. Azorín Amorós. 2009. Impacto de la sequía en la vegetación natural. Curso de Especialista en Teledetección y S.I.G X Edición 2009-2010.

Julien, Y. 2008. Vegetation monitoring through retrieval of NDVI and LST time series from historical databases. Tesis de Doctorado. Universitat de València, España.

Lambin, E., B.L.Turner; H.J.Geist; S.B. Agbola; A. Angelsen; J.W. Bruce; O.T. Coomes; R. Dirso; G. Fischer; C. Folke; P.S. George; K. Homewood; J. Imbernon; R. Leemans; X. Li; E.F. Moran; M. Mortimore; P.S. Ramakrishnan; J. F, Richards; H. Skanes; W. Steffen; G. Stone; U. Svedin; T. Veldkamp; C. Vogel and J. Xu. 2001. "The causes of land-use and landcoverchange: moving beyond the myths". **Global Environment Change**. 11(4) 261-269.

Lambin, E.F. and H. Geist. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. **BioScience**. 52(2): 143-150.

Lambin, E., & Geist, H. 2007. Causes of land-use and land-cover change. Retrieved from <http://www.eoearth.org/view/article/51cbed2f7896bb431f6905af> –

Liang, X; A. Samanta; M.H. Costa; S. Ganguly; R.R. Nemani y R.B. Myneni. 2011. Widespread decline in greenness of Amazonian vegetation due to the 2010 drought. **GeophysicalResearchLetters**, Vol. 38, L07402.

Mora Donjuán, Carlos Alberto; Javier Jiménez Pérez, Eduardo Alanís Rodríguez, Ernesto Alonso Rubio Camacho, José Israel Yereña Yamallel y Marco Aurelio González Tagle. 2013. Efecto de la ganadería en la composición y diversidad arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco, **Rev. Mexicana de Ciencias Forestales**. Vol. 4 Núm. 17: 124-137.

Richards, J. A., Remote Sensing Digital Image Analysis. Berlin, 1995: 333 p.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. and Harlan, J.C. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. nasa/gsfsc, Type III, Final Report, Greenbelt, md, usa.

Rzedowski, Jerzy. 1983. "Matorral Xerófilo", **Vegetación en México**, Editorial Limusa, México, Distrito Federal, pp: 237-262.

Soria, R.J. y R.R. Granados. 2005. Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AHVRR del satélite NOAA y TM de Landsat. **Ciencia Ergo sum**. Vol. 12. Núm. 002. Toluca, México.

Universidad de Maryland, USA, 2012.
http://glcf.umd.edu/data/landsat/www.wikiagro.com/es/Archivo:Firma_espectral_vegetacion_vigor_osa.JPG

Velázquez, A., J.F. Mas, J.L. Palacio, J.R. Díaz, R. Mayorga, C. Alcántara, Castro y T. Fernández 2002. Análisis de cambio de uso del suelo. **Informe técnico**. Convenio INE-Instituto de Geografía, UNAM.

© María Eva Ruiz Durán, María Estela Orozco Hernández, Rebeca Granados Ramírez y Gustavo Álvarez Arteaga

Ruiz Durán, M. E.; Orozco Hernández, M. E.; Granados Ramírez, R.; Álvarez Arteaga, G. 2017. Cambio de uso de suelo e Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), subcuenca del río Salado, México. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)*. 9(9)Sección I:39-50.

On-line: www.gesig-proeg.com.ar

Recibido: 22 de abril de 2016

Aceptado: 16 de junio de 2016