

ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE LOS USOS DE SUELO MEDIANTE INDICADORES DE INTENSIDAD DE CAMBIO. CASO DE ESTUDIO MUNICIPIOS DE CULIACÁN Y NAVOLATO, SINALOA, MÉXICO.

Dr. Plata Rocha, Wenseslao^a; Ing. Hinojoza Castro, Geovanna Guadalupe^b; Ing. Corrales Barraza, Gabriela^c Ing. Beltrán González, José Carlos^d;
^a, Profesor e Investigador de Tiempo Completo de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Universidad Autónoma de Sinaloa, México. wenses@uas.edu.mx
^{b,c,d}, Estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Universidad Autónoma de Sinaloa, México.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en analizar los usos de suelo para los Municipios de Culiacán y Navolato, mediante indicadores estadísticos de intensidad de los cambios y Sistemas de Información Geográfica. Los insumos para este trabajo es la cartografía de uso de suelo de los años 1993, 2000 y 2011. La metodología utilizada en este trabajo permitió determinar, además de los cambios de las diferentes categorías en los intervalos de tiempo estudiados, sus ganancias, pérdidas y transiciones anuales y la intensidad de estas. Los resultados obtenidos muestran importantes cambios de agricultura, selvas, bosque, no obstante, el cambio de mayor impacto fue el incremento de las zonas urbanas. Dicho trabajo aporta al conocimiento de la región y su dinámica, así como, sirve de referente para el estudio del territorio, su ordenamiento y planeación.

Palabras Clave: Cambios de uso de suelo; SIG; intensidad de cambio;

ABSTRACT

This paper consist in analyze the land use for the Municipalities of Culiacan and Navolato, Mexico, through statistical indicators intensity changes and Geographic Information Systems. The inputs for this work is the mapping of land use in the years 1993, 2000 and 2011. The methodology used in this work allowed to determine, in addition the changes in the different categories in the time intervals studied, gains, losses and transitions per year and the intensity of these. The results show significant changes in agriculture, forests, forest, however, the change of greatest impact was the increase in urban areas. This

work carries the knowledge of the region and its dynamics and serves as a reference for the study of the territory, its management and planning.

Keywords: Land use changes, GIS, change intensity.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han puesto en evidencia los notables cambios de uso y ocupación del suelo que ha sufrido, en general, todo el planeta. Las actividades humanas y los procesos naturales generan cambios en los usos y coberturas del suelo, los cuales pueden tener consecuencias biofísicas, ecológicas, económicas, políticas y sociales importantes (Turner & Meyer, 1994). Ante esto se hace necesario comprender los patrones y procesos bajo los cuales se rige la dinámica de los usos y coberturas de suelo y sus complejas interacciones entre los seres humanos y el medio ambiente, desde escalas locales a globales (Aldwaik & Pontius Jr. 2012).

El caso de México mantiene sinergia con estas dinámicas de cambios acelerado en el paisaje de los aproximadamente 2 millones de kilómetros cuadrados, siendo un caso alarmante ya que es uno de los 5 países más ricos biológicamente (Groombridge & Jenkins, 2000). De acuerdo con la (FAO, 2010) las altas tasas de deforestación reportadas para México en la última década, lo ubican en la posición 17 a nivel mundial, con pérdidas de bosques de -195,000 ha/año. El 38% de esta deforestación está concentrada específicamente en las regiones noreste y noroeste (Pineda N., 2010).

En este sentido, el Estado de Sinaloa se localiza en la región noroeste, el cual ha tenido una dinámica desde el año 1976 hasta el 2006 que representan cambios considerables en su territorio, incrementando las tierras para agricultura de riego y agricultura de temporal en 296,000 hectáreas y en 376, 500 hectáreas, respectivamente. Asimismo, se tuvo un incremento de las superficies artificiales de 55,000 hectáreas. También se tuvieron pérdidas de selvas en 490,000 hectáreas y agricultura de temporal de 250,000 hectáreas (Corrales G., 2013). Los cambios más representativos se presentan en los municipios del centro, donde se encuentra Culiacán capital del Estado y el municipio de

Navolato, que siendo el más joven de los 18 municipios, mantiene una intensa dinámica debido a su cercanía con la capital y a su potencial agrícola y la inversión en proyectos turísticos relacionados con el Mar de Cortes. Actualmente, el aglomerado urbano en torno a Culiacán es consecuencia de las dinámicas urbanas que la ciudad promueve desde hace más de seis décadas y que tienden a la articulación del espacio rural y del litoral, lo cual induce a la conformación de un área metropolitana en diferentes direcciones, principalmente, en el corredor Culiacán-Navolato (Roldán López H., 2006).

OBJETIVOS

Analizar la dinámica del paisaje en los Municipios de Culiacán y Navolato aplicando una técnica que permita detectar los cambios de uso de suelo y su intensidad en tres niveles; por periodo de tiempo, por categoría y por transiciones entre categorías. Para esto se aplicará la metodología desarrollada por Pontius y Aldwaik (2007), denominada *Intensity Analysis*.

ÁREA DE ESTUDIO

El Estado de Sinaloa presenta una gran diversidad en sus usos y coberturas de suelo, los cuales se mantienen en una dinámica de cambio constante, causados por las actividades forestales, la agricultura, la expansión urbana, etc. Sinaloa es el Estado agrícola más importante del País, contando con aproximadamente 2 millones de hectáreas de agricultura de riego y temporal distribuida en todo su territorio. Su capital es la ciudad de Culiacán, centro industrial y agrícola de relevancia, también capital del principal municipio que lleva su mismo nombre. El Municipio de Culiacán cuenta con una extensión territorial cerca de 6,283 km² aproximadamente el 10.95% de la superficie del Estado y con una población de 858,638 habitantes. Por otra parte, el municipio de Navolato, colindando al noroeste con el municipio de Culiacán, y el cual cuenta con una extensión territorial de 2,477.20 km² cerca del 4.32% de la superficie del Estado y con tiene un total de 135,603 habitantes (INEGI, 2010).

Juntos, Culiacán y Navolato (Figura 1), ocupan una área de 8,760.84 km²,

representando el 15.27% de la superficie del Estado de Sinaloa. La ciudad de Navolato está localizada a 24 Km de la ciudad de Culiacán y ambas ciudades presentan un fenómeno de conurbación metropolitana con un auge económico de gran relevancia en los últimos años. Estos municipios han presentado un constante dinamismo, durante los últimos años se han venido presentando diferentes tipos de cambios, ya sea en la ocupación de los usos y coberturas de los suelos así como en el excesivo incremento de las áreas urbanas.

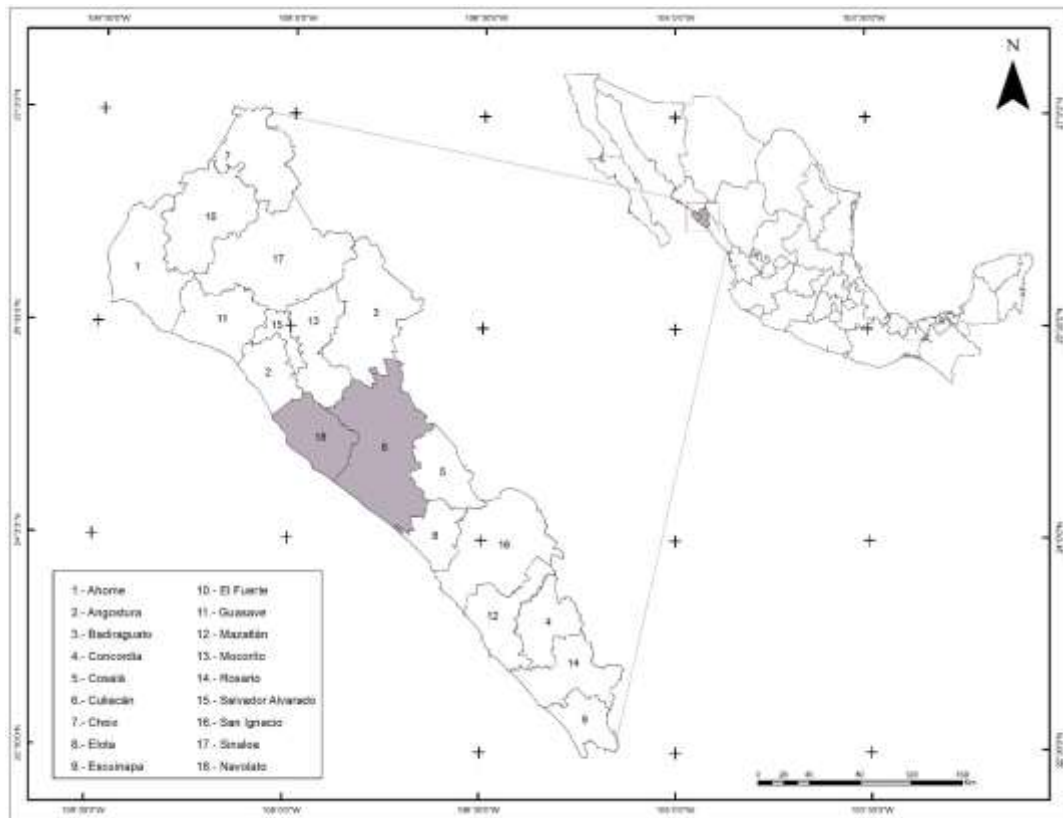


Figura 1. Área de estudio

DATOS

Para el análisis de los cambios de usos y coberturas de suelos en los municipios de Culiacán y Navolato se utilizaron 3 mapas cartográficos de usos de suelo a escala 1:250,000. Dichos mapas fueron obtenidos del Instituto Nacional de Ecología (INE), INEGI y del Instituto de Geografía (IG) de la UNAM.

El primer mapa cartográfico utilizado es del año 1993 (Serie II-INE) (Figura 2), el segundo corresponde al año 2000 (Serie III-IG) (Figura 3) y el tercero al 2011 (Serie V-INEGI) (Figura 4). Dichos mapas fueron elaborados en base a la interpretación visual de

imágenes Landsat, mediante una actualización cartografía prospectiva basada en la serie anterior correspondiente a cada mapa. Previo al análisis se realizó una homogenización de la leyenda con 11 categorías de uso y cobertura equivalente en los tres mapas

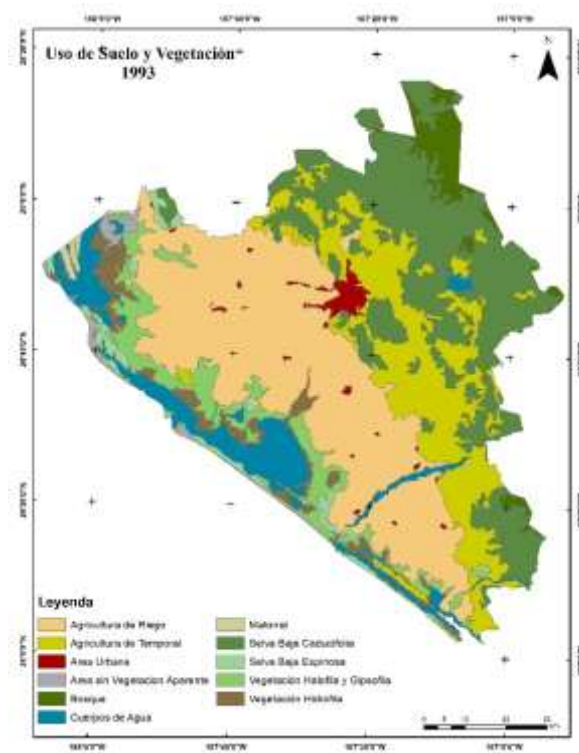


Figura 2. Uso de suelo y vegetación 1993.

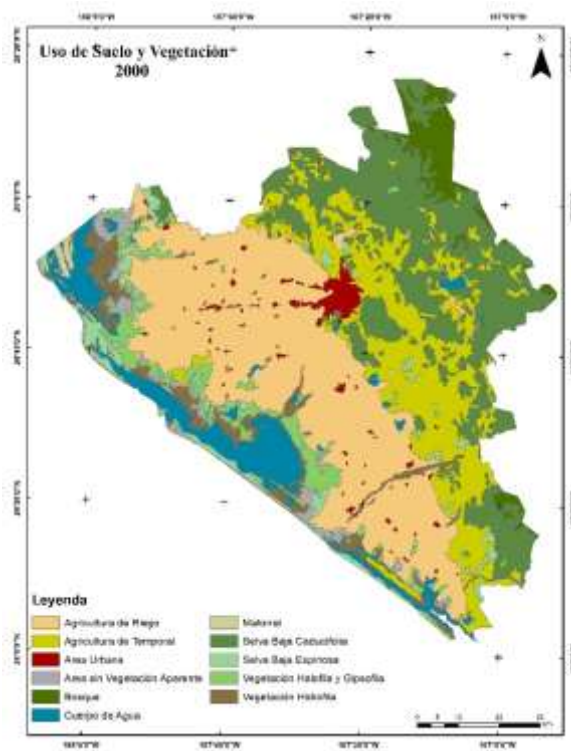


Figura 3. Uso de suelo y vegetación 2000.

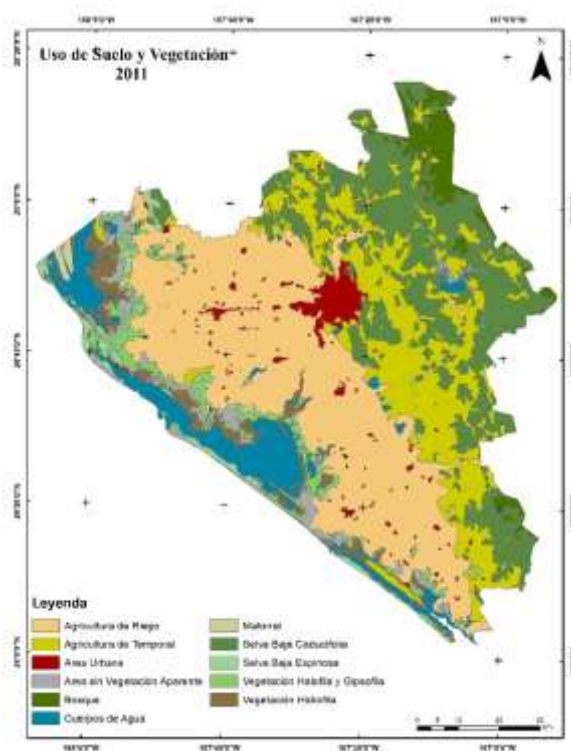


Figura 4. Uso de suelo y vegetación 2011.

METODOLOGÍA

Para analizar los cambios ocurridos en los usos y coberturas de suelo en los Municipios de Culiacán y Navolato se utilizó la metodología desarrollada por Pontius y Aldwaik (2007), llamada *Intensity Analysis*. Dicha metodología permitió detectar los cambios en el periodo estudiado de manera detallada en tres niveles; por periodo de tiempo, por categoría y por transiciones entre categorías; dichos niveles analizan los cambios en hectáreas y con el indicador de la intensidad a la que han venido ocurriendo estos cambios. Dicha metodología se implementa bajo el esquema metodológico de la Figura 5.

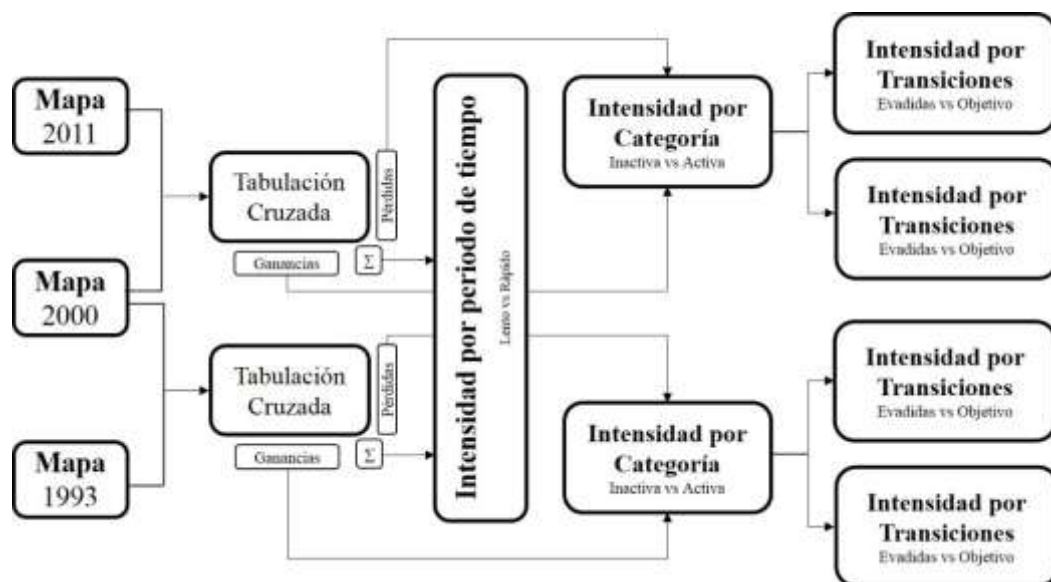


Figura 5. Esquema metodológico para el análisis de los cambios
Fuente: Modificado de Aldwaik & Pontius Jr. 2012.

Como se observa la metodología parte de la tabulación cruzada obtenidas de diferentes periodos de tiempo, en este caso de los años de 1993-2000 y 2000-2011. A partir de dicha matriz se obtienen las ganancias y las pérdidas ocurridas (Pontius y otros, 2004), y permite estudiar los cambios ocurridos en el periodo de tiempo deseado pero en una forma más detallada (Pontius y Aldwaik, 2007).

En primera instancia se obtuvo el porcentaje de cambio anual para cada intervalo de tiempo fue utilizada la (Ec. 1).

$$S_t = \frac{\text{área de cambio durante el intervalo } [Y_t, Y_{t+1}] / \text{área de región de estudio}}{\text{duración de intervalo } [Y_t, Y_{t+1}]} \cdot 100\% \quad (1)$$

Por otro lado, con la Ec. 2 se calculó el valor uniforme del cambio por año, es decir, se obtiene la intensidad a la que presentaron los cambios, misma que es basada en el valor uniforme de dicha intensidad.

$$U = \frac{\text{área de cambio durante todos los intervalos} / \text{área de región de estudio}}{\text{duración de todos los intervalos}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Mientras que las ganancias y pérdidas de cada una de las categorías empleadas para este estudio se calculan de las ecuaciones 8 y 9 respectivamente.

$$G_{ij} = \frac{\text{área de las ganancias totales de categoría } j \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}] / \text{duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{área de categoría } j \text{ en el tiempo } Y_{t+1}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$L_{ii} = \frac{\text{área de las pérdidas totales de categoría } i \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}] / \text{duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{área de categoría } i \text{ en el tiempo } Y_t} \cdot 100\% \quad (4)$$

De dicho análisis es posible obtener las transiciones experimentadas por cada una de las categorías desde dos puntos de vista. El primero, son transiciones obtenidas por una categoría en específico desde el resto de las categorías estudiadas (Ec. 5) y, el segundo, son las transiciones que una categoría en específico da hacia otras (Ec. 6);

$$R_{in} = \frac{\text{área de transición desde } i \text{ para } n \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}] / \text{duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{área de la categoría } i \text{ en el tiempo } Y_t} \cdot 100\% \quad (5)$$

$$Q_{mj} = \frac{\text{área de transición desde } m \text{ para } j \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}] / \text{duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{área de la categoría } j \text{ en el tiempo } Y_{t+1}} \cdot 100\% \quad (6)$$

A partir de las ganancias y las pérdidas es posible obtener la intensidad de las transiciones por medio de la ecuación 7 y 8, respectivamente.

$$W_m = \frac{\text{área de ganancia total de la categoría } n \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}] / \text{duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{área que no es de categoría } n \text{ en el tiempo } Y_t} \cdot 100\% \quad (7)$$

$$V_m = \frac{\text{área de pérdida total de la categoría } m \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}] / \text{duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{área que no es de categoría } m \text{ en el tiempo } Y_{t+1}} \cdot 100\% \quad (8)$$

RESULTADOS

En una primera instancia se pudo observar que los usos de suelo con mayor representación en el área de estudio son la agricultura de riego ($\approx 35\%$), la selva baja caducifolia ($\approx 22\%$) y la agricultura de temporal ($\approx 17\%$). Se observa una superficie importante de cuerpos de agua, correspondiente a las 1 presas, 7 represas y 3 ríos con que cuenta nuestra área de estudio, lo cual resalta la importancia agrícola de la región. Asimismo, aunque su superficie no es muy grande, las áreas urbanas ($\approx 3\%$) mantienen un incremento constante en el periodo de tiempo estudiado (Figura 6).

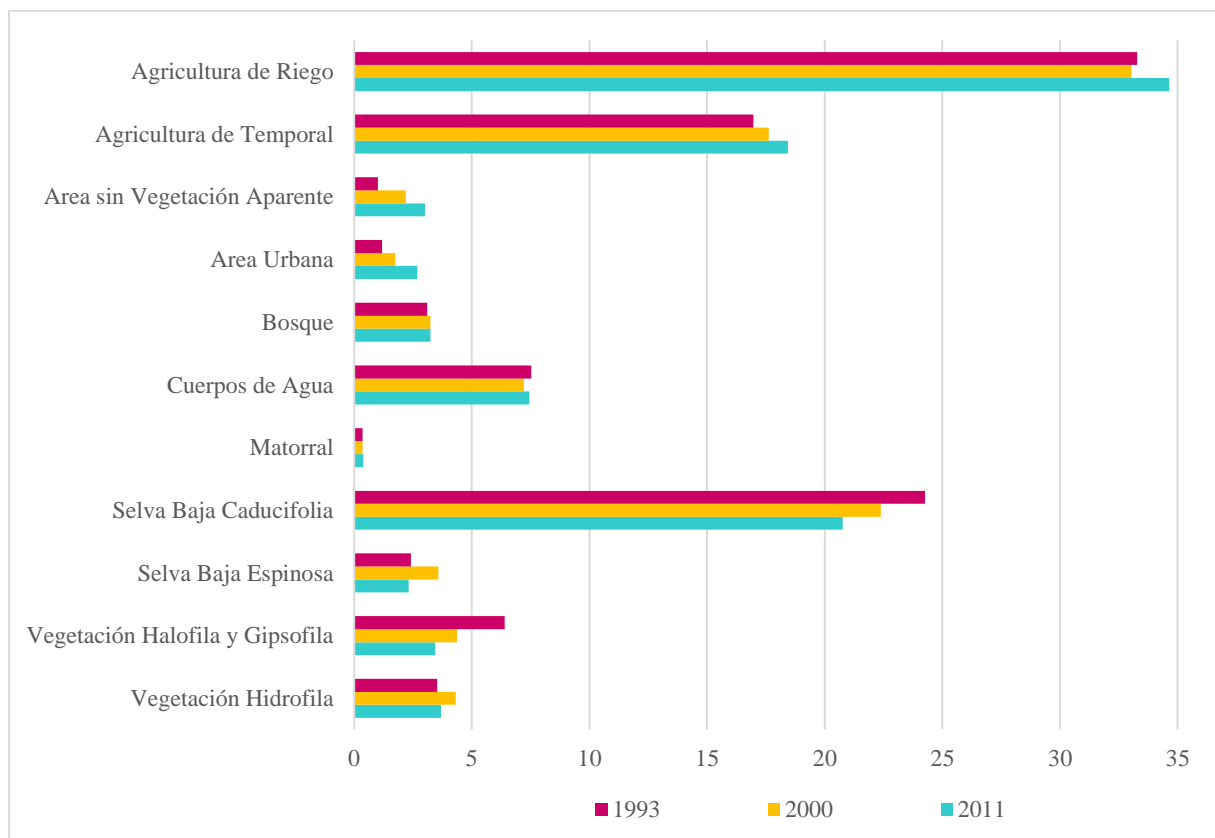


Figura 6. Porcentaje de superficie de los usos de suelo con respecto a la superficie total del área de estudio

Por otro lado, se pudo observar una dinámica de intercambios y transiciones importante en nuestra región, dando cabida a pérdidas importante de selva baja caducifolia, agricultura de temporal, vegetación halófila y gipsófila y agricultura de riego. Asimismo, se observa un incremento importante, mayormente en el segundo periodo, de la agricultura de riego y temporal. Es aquí donde podemos hablar de transiciones espaciales de los usos de suelo mencionados, ya que, en general su superficie se mantiene, pero su localización geográfica cambia. En dichos procesos son importantes las actividades agrícolas que se dan en la zona de montaña del municipio de Culiacán, ya que es en esta zona donde se abre espacio a la agricultura de temporal, para solventar las actividades agropecuarias. Es importante destacar que en esta dinámica el crecimiento de las áreas urbanas juega un rol importante, ya que las zonas agrícolas adyacentes a la ciudad han ido cambiando la vocación y asignación del suelo de manera gradual hasta ser urbanizadas (Figura 7).

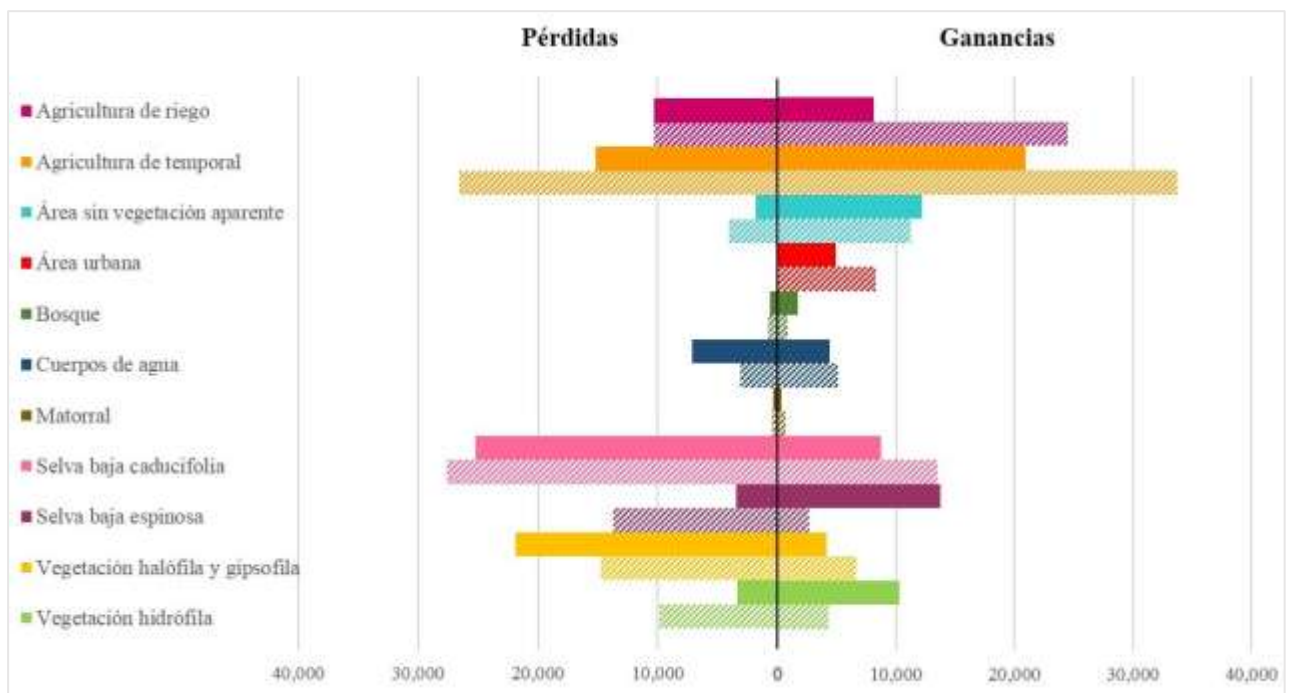


Figura 7. Ganancias y pérdidas de usos de suelo en el periodo 1993-2000 (sólido) y 2000-2011 (líneas)

Por otro lado, se determinó que el cambio total experimentado durante el periodo de 1993 al 2000 fue de 179,013.06 hectáreas, menor al experimentado durante 2000 y 2011, el cual alcanzó 223,216.20 hectáreas. No obstante, del análisis de intensidad, se obtuvo que el

primer periodo (1.4%) analizado tuvo una dinámica de los usos de suelo más intensa que el segundo (1.15%), lo cual arroja un dato interesante, ya que en el segundo periodo el cambio sobrepasa en más de 40,000 hectáreas al primero, pero el primer periodo de tiempo es más corto y mediante este análisis se refleja realmente la intensidad con la que se dieron los cambios en general.

También se determinó para ambos periodos de tiempo la intensidad a la que se dieron las ganancias y las pérdidas, obteniéndose las mayores intensidades en el periodo 2000-2011, es importante señalar que estas ganancias y pérdidas así como sus intensidades son resultados anuales. Es en dicho periodo donde se observa como la agricultura de temporal y las áreas sin vegetación aparente (ambos periodos), tanto la ganancia como la pérdida, sobrepasan la intensidad uniforme de cambio. Un dato muy significativo es la intensidad a la que se dio el crecimiento de las zonas urbanas en ambos periodos, lo cual refleja los procesos de urbanización acelerados de nuestra región y principalmente de Culiacán, ciudad capital. Por su parte, se observa como la dinámica de la agricultura de riego y las selvas no sobrepasa el valor medio de la intensidad uniforme, debido a que dichos usos son los que predominan y aun cuando existen cambios considerables de superficie, estos no son significativos con respecto a la superficies propia de las categorías y del área de estudio (Figura 8).

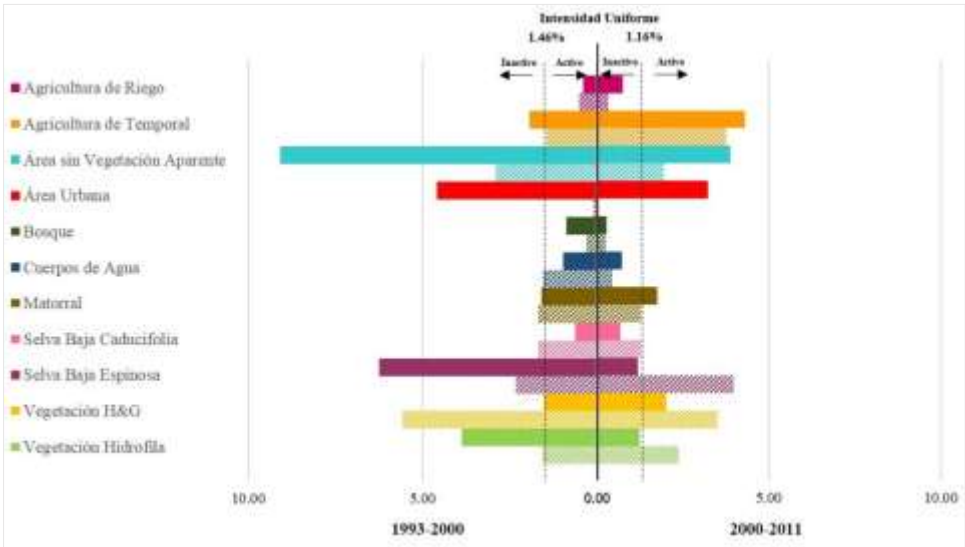


Figura 8. Intensidad anual de las ganancias y pérdidas de cada uso de suelo en ambos periodos.

Por otro lado, la metodología permite también determinar la intensidad de las transiciones anuales. En este sentido, se pudo determinar que la pérdida tierra dedicada a agricultura de riego pasa con mayor intensidad a ser urbanizada en ambos periodos (Figura 9), mientras que sus ganancias provienen intensamente de selva baja espinosa y vegetación halófila y gipsófila en ambos periodos y de agricultura de temporal en el último periodo (Figura 10).

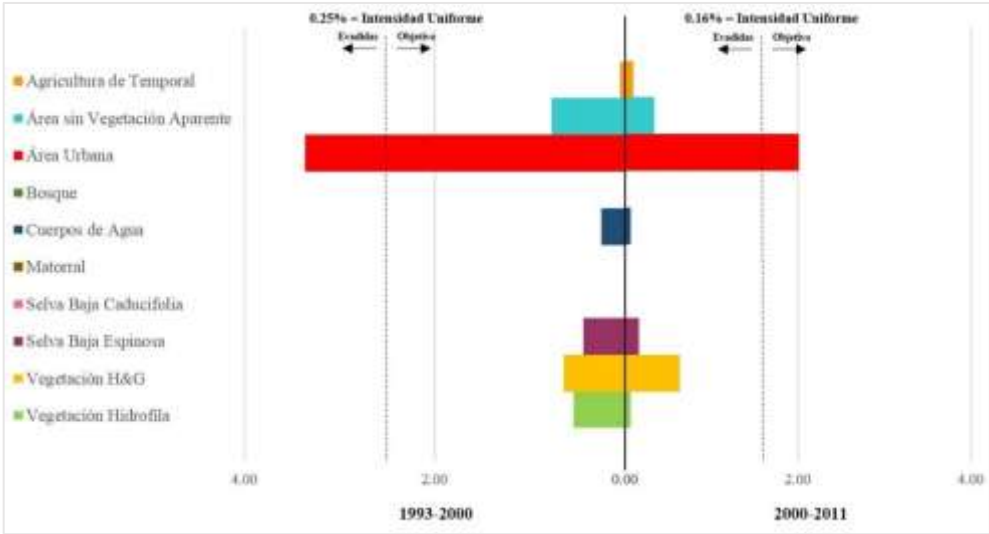


Figura 9. Desde agricultura de riego hacia →

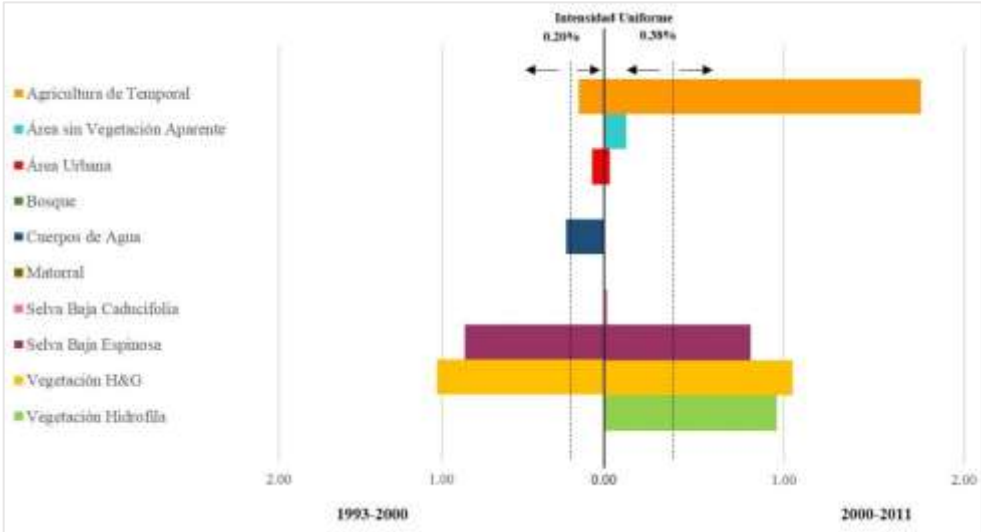


Figura 10. Para agricultura de riego desde →

Por su parte, la agricultura de temporal provee a mayor intensidad a las zonas urbanas y la selva baja espinosa en el primer periodo, mientras que en el segundo principalmente de las zonas urbanas, áreas sin vegetación aparente y la selva baja

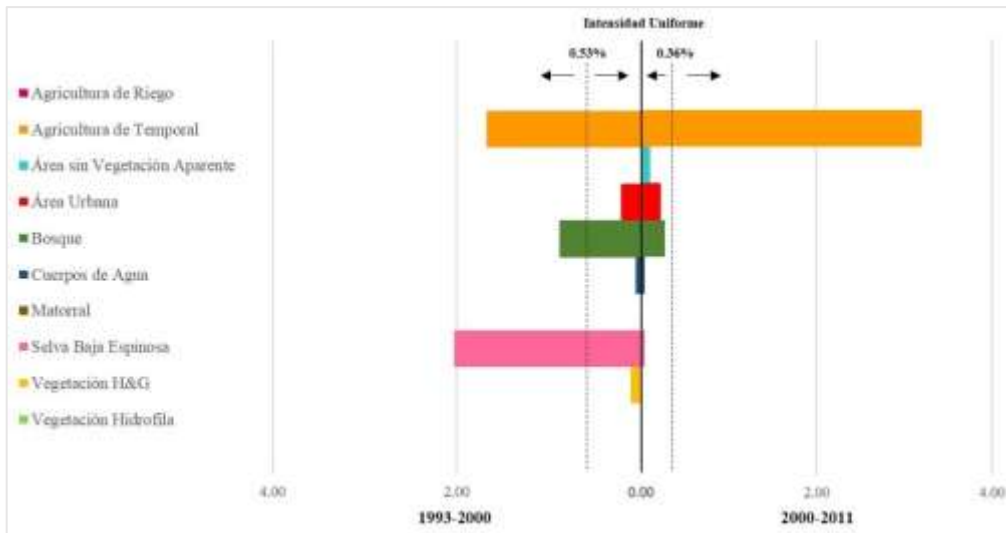


Figura 13. Desde Selva baja caducifolia hacia →

En la figura 14 y 15 se recogen los cambios antes descritos pero de manera espacial, representados en los mapas de las transiciones de 1993-2000 y 2000-2011.

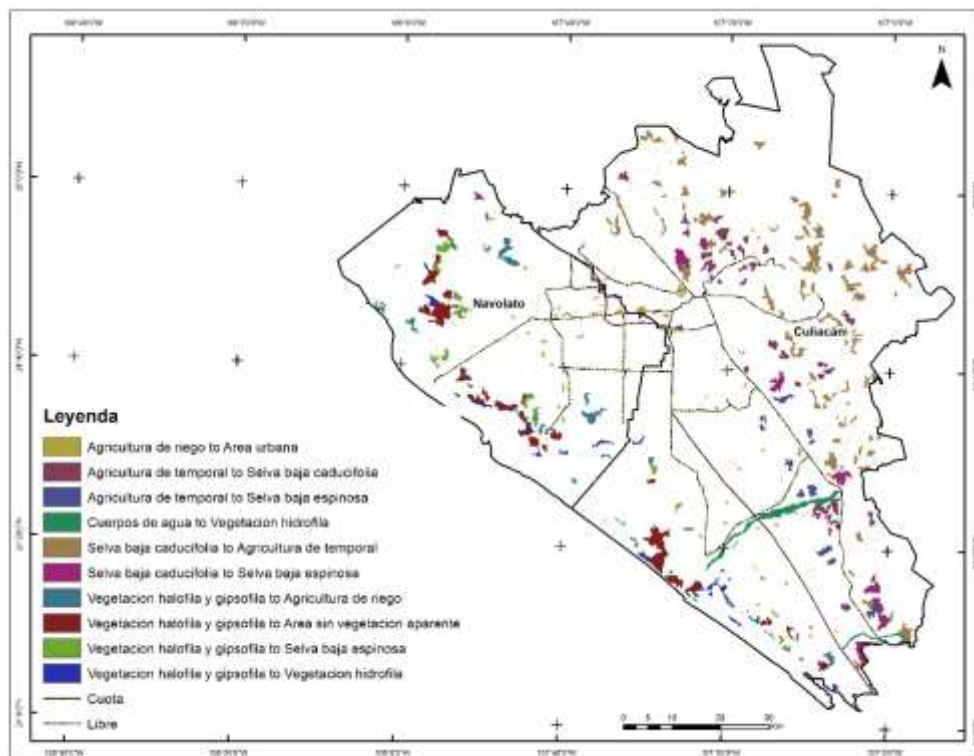


Figura 14. Mapa de cambios 1993-2000

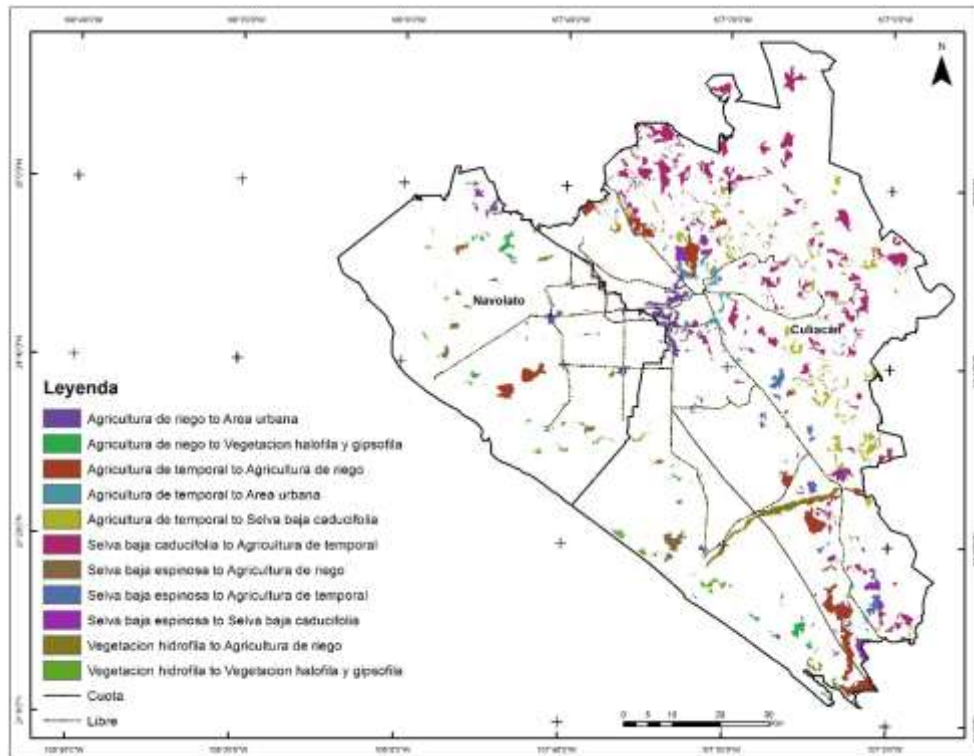


Figura 15. Mapa de cambios 2000-2011

CONCLUSIONES

Del análisis de los cambios de uso de suelo y vegetación se pudo determinar la factibilidad de aplicar la metodología de Pontius y Aldwaik (2007), ya que esta permitió determinar no solo las ganancias, pérdidas y transiciones, sino también su intensidad en tres niveles (periodos, categoría y transiciones), lo cual a la luz de los resultados obtenidos, aclara y da nuevos datos sobre la dinámica espacio-temporal en los municipios de Culiacán y Navolato, Sinaloa. Por otro lado, se pudo precisar de manera cuantitativa y espacial la vocación agrícola de nuestra área de estudio, pero también, los procesos tan desordenados bajo los cuales se tiene inmerso a nuestro territorio, lo cual ocasiona daños al medio ambiente y a la biodiversidad. Asimismo, es relevante la dinámica urbana bajo la cual ha estado inmerso el territorio en las últimas dos décadas, ocasionando el abandono de tierras agrícolas y la pérdida de selva baja en las cercanías de las áreas urbanas consolidadas para su posterior reclasificación a áreas urbanizables, sin contar políticas sustentables de desarrollo urbano y territorial a corto y mediano plazo.

BIBLIOGRAFÍA

Aldwaik, S. Z. & Pontius Jr., R. G., 2012. Intensity analysis to unify measurements of size and stationary of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, Issue 106.

Corrales Barraza, G., 2013. *Ánalisis de cambio de uso de suelo para el estado de Sinaloa, utilizando Sistemas de Información Geográfica*. En Culiacán: s. n.,

F. A. O., 2010. *State of the World Forest*.

Groombridge, B. & Jenkins, M. D., 2000. *Global biodiversity*. S.1.: United Nations Environment.

Pineda, N., 2010. Descripción, análisis y simulación de procesos forestales en el Estado de México mediante Tecnologías de la Información Geográfica, Tesis Doctoral, Universidad Alcalá de Henares, Madrid.

Pontius, R. G. & Aldwaik, S. Z., 2007. *Intensity Analysis* [Online] Disponible en: <https://sites.google.com/site/intensityanalysis/home>

Pontius, R. G., Shusas, E. & McEachern, M., 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Elsevier*, Issue 101.

Roldan López, H., 2006. *La Urbanización Metropolitana de Culiacán*. Culiacán: Fontamara, México.

Turner, B. L. I. & Meyer, W. B., 1994. *Changes in land use and land cover: A global perspective*.