

---

---

**XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica  
25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.**

---

---

**Análisis de los cambios de uso y cobertura del suelo para el  
Estado de Sinaloa mediante Sistemas de Información Geográfica**

Gabriela Corrales Barraza<sup>a</sup>, Wenseslao Plata Rocha<sup>a\*</sup>, Geovanna Guadalupe  
Hinojoza Castro<sup>a</sup>, Juan Martín Aguilar Villegas<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Universidad Autónoma de Sinaloa*

---

**Resumen**

En los últimos años todo el planeta ha estado sufriendo notables cambios, entre ellos de Uso y Cobertura del Suelo, siendo éste es uno de los muchos componentes del cambio global. El presente estudio tiene como objetivo principal analizar, cuantificar y describir los cambios de uso y cobertura del suelo en el Estado de Sinaloa en el periodo 1976 - 2007. Para ello, se utilizaron tres mapas de Uso de Suelo y Vegetación de 1976, 1993 y 2007. Dicho análisis se llevó a cabo aplicando técnicas estadísticas y Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología se basa en el análisis de la matriz de tabulación cruzada o matriz de cambio, a partir de la cual es posible obtener indicadores de cambio para cada intervalo de tiempo analizado (1976-1993 y 1993-2007) como es la ganancia y la pérdida de cada una de las 10 categorías que contienen los mapas. Para elevar el nivel de detalle del análisis se estudiaron los cambios anuales considerando para ello la intensidad de las ganancias y pérdidas anualmente. También se elaboraron gráficas y mapas que permitieron describir e identificar la magnitud y distribución espacial de los cambios. Los resultados obtenidos muestran un detrimento en las selvas, cambios importantes en la agricultura de riego y temporal e intercambio espacial de las zonas forestales, así como un aumento considerable de las zonas urbanas.

Palabras clave: cambio; uso; intensidad; SIG; Sinaloa; México;

---

---

\* E-mail: [wenses@uas.edu.mx](mailto:wenses@uas.edu.mx).

## 1. Introducción

En los últimos años en todo el planeta se están produciendo importantes y significativos cambios debido a la conversión de la cobertura de uso y ocupación del suelo, lo cual impacta en la sostenibilidad global y en la calidad de vida de la población (Vitousek, Mooney, Lubchenco & Melillo, 1997). Dichos cambios son producidos por la interacción entre el medio humano y natural, factor importante en el desarrollo económico pero también en el impacto ambiental de los diferentes ecosistemas (Mustard, Fisher, & Moran, 2004), por lo que se reconoce a nivel mundial la importancia de estudiar y comprender las dinámicas del cambio de cobertura/uso del suelo y su efecto e impacto sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Lambin, Helmut & Lepers, 2003).

Bajo esta preocupación se impulsaron un gran número de iniciativas de investigación a escala global, regional y local, reconociéndose como un componente importante del sistema ambiental global y un factor precursor del cambio climático global, a la dinámica de los usos de suelo. A partir de esto se conformó la iniciativa de investigación, “análisis del cambio de uso y cobertura del suelo” (*LUCC*, por sus siglas en inglés “*Land Use and Cover Change*”), en la cual se han enmarcado y desarrollado un gran número de proyectos y estudios en esta disciplina, lo que ha impulsado la nueva ciencia de los cambios de uso y cobertura del suelo. Los principales avances de esta ciencia abordan la observación y el monitoreo de la dinámica de uso del suelo, con el fin de entender las causas, impactos y consecuencias de estos cambios sobre nuestro territorio y su población (Turner, Lambin & Reenberg, 2007; Rindfuss, Walsh, Fox & Mishra, 2004).

México no escapa de las tendencias mundiales, presentando importantes procesos de cambio de uso y cobertura del suelo en sus casi dos millones de kilómetros cuadrados de superficie. En general se observan una gran cantidad de cambios que están por arriba de la media mundial en cuanto a tasas de deforestación, incremento de las áreas de cultivo y pastoreo, expansión urbana y muchos otros (Mas, Velásquez, Bocco & Fernández, 2004; Guevara, De la Torre & Rivera, 2001; Sánchez & Velásquez, 2008; Mas, Velásquez, Alcántara, Bocco, Castro & Fernández, 2004).

Asimismo, se han realizado trabajos específicos en diversas zonas del País que han señalado y cuantificado el impacto que provocan los procesos de alteración y deforestación en las comunidades forestales (Castillo, García, March, Fernández & Osorio, 1988; Reyes, García, & Castillo, 2001; Mendoza, Bocco, López & Bravo, 2002; Guerra & Ochoa, 2006).

En este sentido, Sinaloa, es una región de una variada e importante biodiversidad y con una gran cantidad de recursos forestales, pecuarios, agrícolas, acuícolas, industriales, comerciales, turísticos, entre otros; los cuales presentan una dinámica que ha modificado y fragmentado el paisaje del Estado, afectando la sostenibilidad del territorio.

Ante esta problemática, nuestro objetivo principal consiste en estudiar y describir los cambios de uso de suelo en el Estado de Sinaloa en un periodo comprendido entre los años 1976 y 2007. Los cambios serán analizados mediante la metodología propuesta por Pontius (Pontius, Shusas, & McEachern, 2004) y la ayuda de Sistemas de Información Geográfica.

## 2. Área de estudio y datos

El Estado de Sinaloa, al igual que otras entidades del País, ha sufrido un gran impacto en su medioambiente, paisaje, áreas naturales, principalmente, como consecuencia de una dinámica económica y demográfica, la cual impacta en sus ecosistemas, bajo una carente e inadecuada planeación territorial. Dicha dinámica se debe a la ubicación geográfica del Estado, el cual está localizado al noroeste del País entre los 27° 02' y 22° 29' de Latitud norte y los 105° 24' y 109° 27' de Longitud oeste; colindando al norte con el Estado de Sonora y Chihuahua, al sur con el Estado de Nayarit y el Océano Pacifico, al este con el Estado de Chihuahua, Durango y Nayarit y al oeste con el Océano Pacifico (Fig. 1).

La superficie total del Estado de Sinaloa es de 57.365 km<sup>2</sup> cantidad que representa el 2,9 % de la superficie total del País. El Estado ha experimentado un gran incremento poblacional, pasando de tener 1.266.528 habitantes en el año 1970 a 2.767.761 en el año 2010.

Para el análisis se utilizó la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación de los años 1976, 1993 y 2007, diseñados a una escala 1:250.000, la cual permite conocer el estado de la vegetación en la totalidad del territorio nacional, conservando un grado de detalle aceptable para las características de nuestro País.

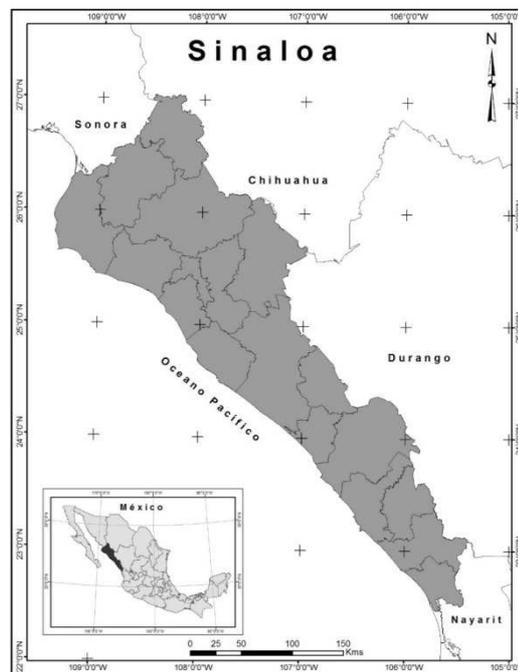


Fig. 1. Localización geográfica del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

## 3. Metodología

Un análisis de la dinámica de los uso de suelo a detalle debe contener, además del estudio de los cambios durante los intervalos de tiempo, la intensidad anual de las transiciones. Para realizar dicho estudio primero que nada se recopiló la cartografía oficial de uso de suelo y vegetación, la cual fue necesario reclasificar,

homogenizar y validar, con la finalidad de contar con una cartografía con una correcta equivalencia en la leyenda y sin errores de topología. De esta manera se obtuvieron 3 mapas de diferente fecha con una leyenda con 10 categorías, a un nivel de detalle adecuado para examinar los procesos de cambio en la ocupación del suelo a nivel Estatal (Fig. 2).

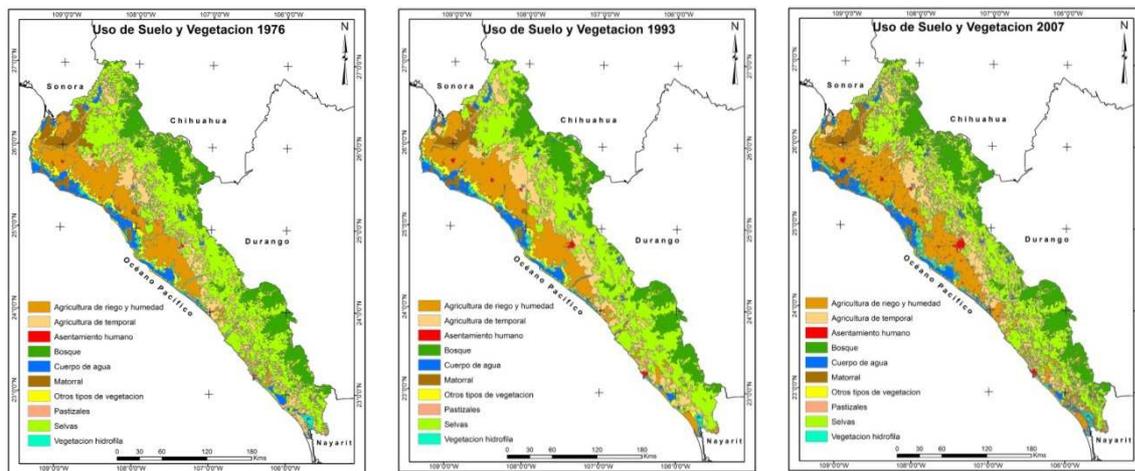


Fig. 2. Mapas de usos de suelo y vegetación (1976, 1993 y 2007)

*Para estudiar los cambios se aplicó una metodología (Pontius, Shusas & McEachern, 2004), la cual parte del resultado obtenido en una matriz de tabulación cruzada (*

Tabla 1) entre mapas de usos de suelo de diferentes fechas (1976 – 1993 y 1993 -2007). Posteriormente, se calcularon las ganancias (Ec. 1), las pérdidas (Ec. 2), el cambio neto (Ec. 3), el intercambio (Ec. 4) y el cambio total (Ec. 5).

$$G_{ij} = P_{+j} - P_{jj} \quad (1)$$

$$L_{ij} = P_{j+} - P_{jj} \quad (2)$$

$$D_j = |L_{ij} - G_{ij}| \quad (3)$$

$$S_j = 2 \times \text{MIN}(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) \quad (4)$$

$$DT_j = G_{ij} + L_{ij} \tag{5}$$

Tabla 1. Matriz de cambios entre dos mapas de diferente fecha. Fuente. Pontius, Shusas, & McEachern, 2004.

		Tiempo 2						
		1	2	3	4	5	6	7
Tiempo 1	1		Clase 1	Clase 2	.....	Clase n	Suma T <sub>1</sub>	Pérdidas
	2	Clase 1	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	.....	P <sub>1n</sub>	P <sub>1+</sub>	P <sub>1+</sub> - P <sub>jj</sub>
	3	Clase 2	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	.....	P <sub>2n</sub>	P <sub>2+</sub>	P <sub>2+</sub> - P <sub>jj</sub>
	4	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	5	Clase n	P <sub>n1</sub>	P <sub>n2</sub>	.....	P <sub>nn</sub>	P <sub>n+</sub>	P <sub>n+</sub> - P <sub>jj</sub>
	6	Suma T <sub>2</sub>	P <sub>+1</sub>	P <sub>+2</sub>	.....	P <sub>+n</sub>	P	
	7	Ganancias	P <sub>+1</sub> - P <sub>jj</sub>	P <sub>+2</sub> - P <sub>jj</sub>	.....	P <sub>+n</sub> - P <sub>jj</sub>		

También se obtuvo el porcentaje y tasa anual de cambio, así como la intensidad de las ganancias (Ec. 6) y pérdidas (Ec. 7) de cada categoría (Aldwaik & Pontius Jr., 2012).

$$G_{ij} = \frac{\text{área de las ganancias totales de categoría } j \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}]/ \text{duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{área de categoría } j \text{ en el tiempo } Y_{t+1}} \cdot 100\% \tag{6}$$

$$L_{ti} = \frac{\text{área de las pérdidas totales de categoría } i \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}]/ \text{duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{área de categoría } i \text{ en el tiempo } Y_t} \cdot 100\% \tag{7}$$

El análisis se realizó con la ayuda del software IDRISI y el módulo Land Change Modeler, teniendo como base el esquema metodológico de la Fig. 3.

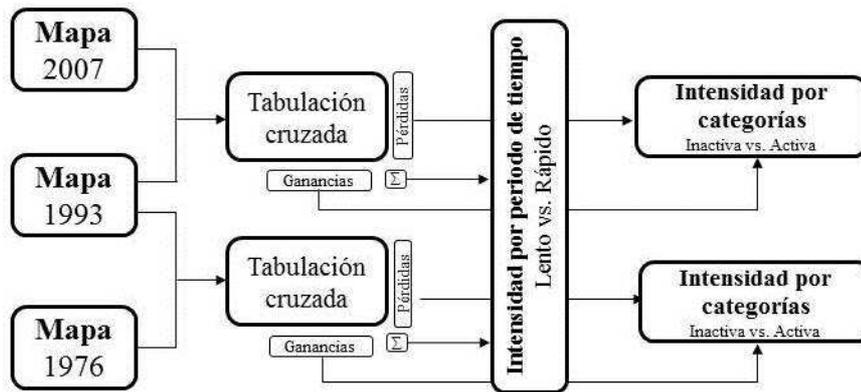


Fig. 3. Esquema metodológico para el análisis de los cambios de uso de suelo y vegetación. Fuente: Modificado de Aldwaik & Pontius Jr., 2012

#### 4. Resultados

En primera instancia, del análisis se observó que las categorías que representan la mayor superficie son: selvas (hasta un 40%), agricultura de riego y humedad (hasta un 19%), bosques (15%) y agricultura de temporal (hasta un 15,9%), principalmente. Asimismo se detectó que la selva disminuyó en más de un 5%, mientras que los bosques mantienen su superficie. En el caso de la agricultura de riego y la de temporal se observó que estas se incrementaron en un 4% y un 2%, respectivamente. Por su parte, los asentamientos humanos incrementaron un 1%, parece poco, pero significa un cambio muy significativo, con respecto a su superficie inicial aumentó en 10 veces (Fig. 4).

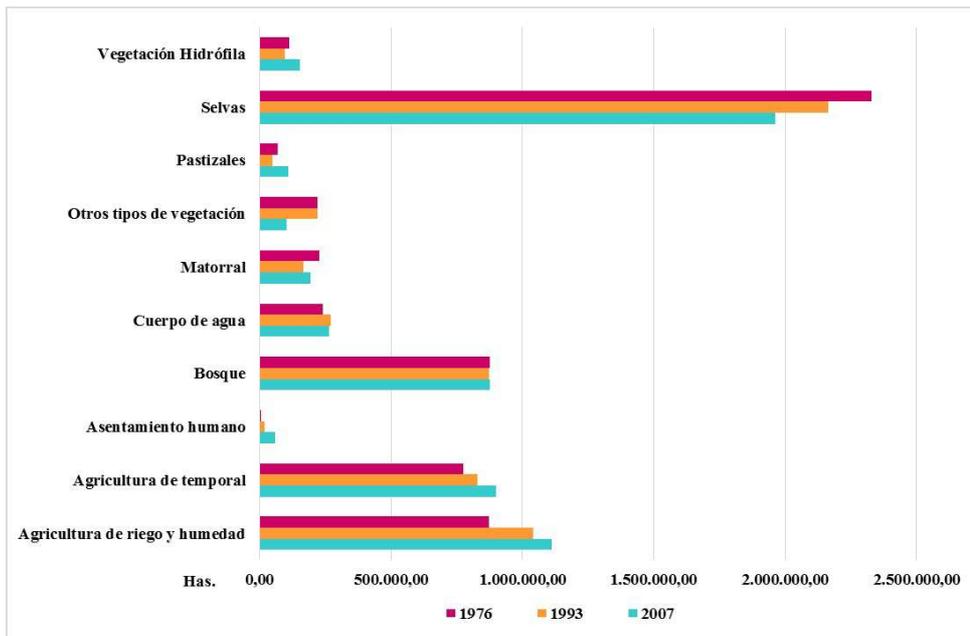


Fig. 4. Superficie de las categorías en los tres años estudiados (1976, 1993 y 2007)

Analizando los cambios entre los intervalos de tiempo (1976-1993 y 1993-2007) se puede observar que la agricultura de temporal y riego y las selvas son las que mayores ganancias anuales tuvieron, mientras que las selvas son las que tienen la mayor pérdida anual, seguidas de la agricultura de temporal. Aquí se encontró que existe un intercambio muy fuerte en las categorías de agricultura de temporal y las selvas, ya que ambas tienden a ganar y perder y, si ponemos atención en los bosques, estos prácticamente pierden y ganan la misma superficie en ambos periodos de tiempo (Fig. 5).

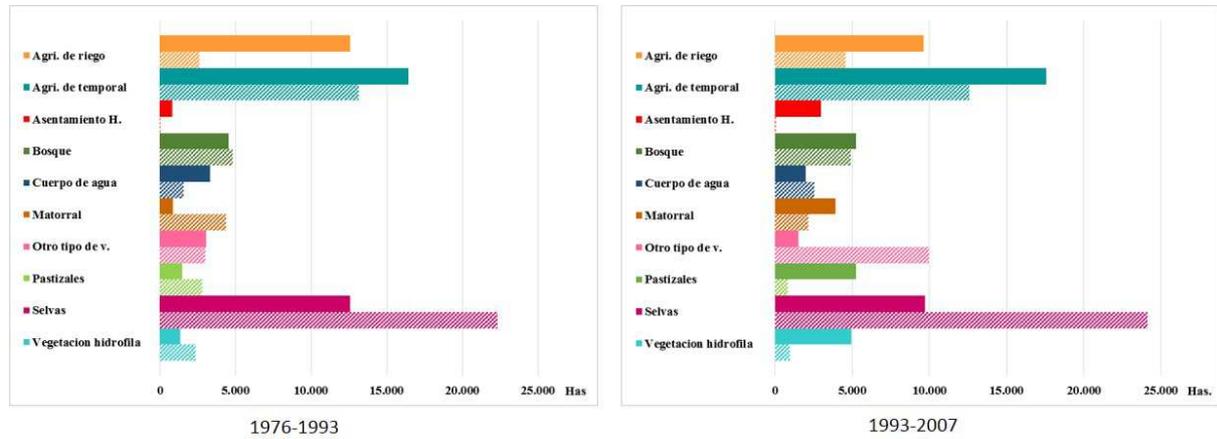


Fig. 5. Ganancias (color sólido) y pérdidas (color achurado) anuales entre ambos intervalos de tiempo.

Ahora bien si analizamos las ganancias y las pérdidas pero desde el punto de vista de su intensidad uniforme (Fig. 6), encontramos que el incremento de los asentamientos humanos lo convierte en la categoría que creció con una mayor intensidad anual en los dos períodos estudiados, aun cuando solo tiene un 1% de superficie. En el periodo de 1976 a 1993 se observa que la pérdida de los pastizales y, más por debajo sus ganancias, tuvieron una intensidad anual muy activa.

Como observación se puede comentar que aun cuando las selvas fueron las que más pérdidas y considerables ganancias tuvieron en ambos intervalos de tiempo, su intensidad anual de cambio se considera inactiva con respecto a la intensidad uniforme de cada intervalo de tiempo, debiéndose a su gran extensión de superficie que tiene en el Estado de Sinaloa. No es el caso de la agricultura de temporal, la cual también fue una de las categorías con mayores cambios, y la cual mantiene una intensidad anual activa, por encima de la intensidad uniforme en cada periodo.

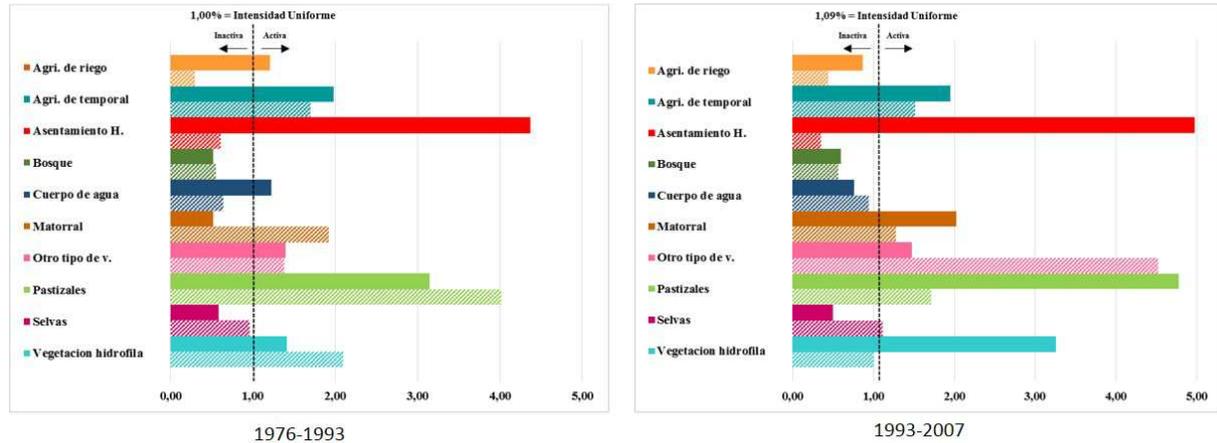


Fig. 6. Intensidad anual presentada en ambos intervalos de tiempo para las ganancias (color solid) y pérdidas (color achurado).

Asimismo se puede observar que la agricultura de riego se incrementa ocupando áreas de agricultura de temporal en ambos periodos en la zona centro-norte y sur del Estado. Mientras que las pérdidas de selvas se deben principalmente a la habilitación de tierras para agostadero y siembra de temporal al pie de la sierra del Estado de Sinaloa (Fig. 7).

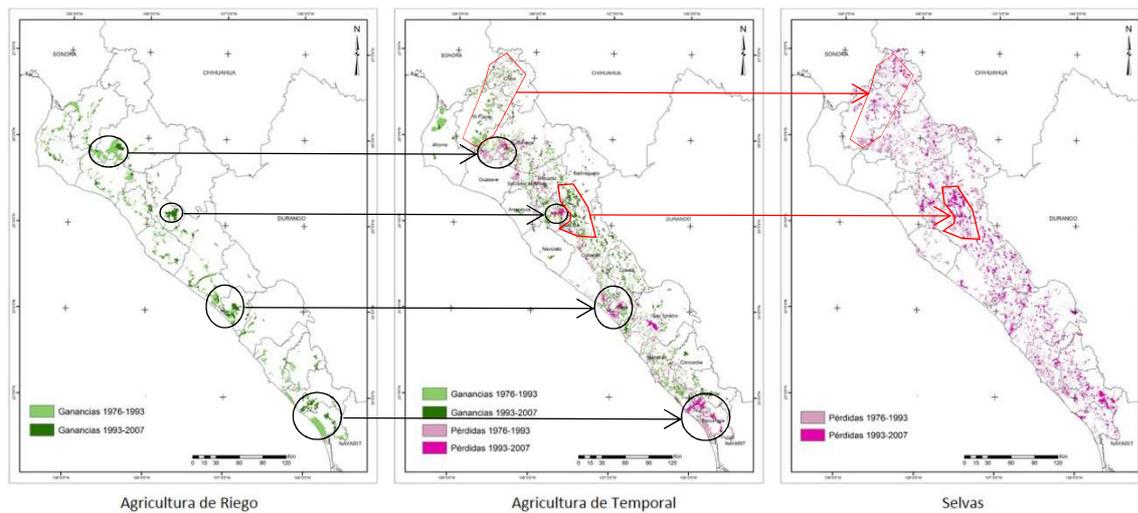


Fig. 7. Ganancia y pérdidas de agricultura de riego, temporal y selvas.

## 5. Conclusiones

Éste trabajo muestra los resultados del análisis de cambios de uso y cobertura del suelo para el Estado de Sinaloa, de donde se pudo obtener en primer lugar que el 80% de la superficie total del Estado de Sinaloa no cambia, por lo que, solo el 20% presentó cambios en la ocupación del suelo.

En cuanto a su dinámica, en primer lugar, podemos señalar que aun cuando las superficies de bosque se mantienen en ambos periodos es importante señalar que la pérdida de estos está por encima de la media anual nacional en cuanto a tasas de deforestación. Asimismo, se ha observado una transición importante de la agricultura de temporal a la agricultura de riego, debido a la apertura de presas en la sierra del Estado y la habilitación de sistemas de riego por gravedad y tecnificados que han dado paso al cultivo intensivo en la región.

La metodología aplicada permitió no solo estimar las ganancias y pérdidas de cada categoría, sino más aun determinar su intensidad anual. A partir de esto se pudo discernir entre el impacto de las pérdidas de selvas (casi 500.000 Has.) y el incremento de las zonas urbanas (55.000 Has.). Si bien las selvas superan en 10 veces el incremento de las zonas urbanas, se determinó que la intensidad anual de los asentamientos humanos es muy activa mientras que la de las selvas es inactiva, debido principalmente a la superficie que comprende cada una en el Estado de Sinaloa.

Por último, se corrobora el hecho que el Estado de Sinaloa, México tiene una gran vocación agrícola, ya que en las últimas 3 décadas alcanzó una superficie superior a las 2.000.000 de hectáreas, y posee un gran valor ambiental y productivo en lo respecta a zonas forestales, contando en el año 2007 con más de 3.000.000 de hectáreas.

## Referencias

- Aldwaik, S. & Pontius, R. (2012). Intensity Analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning* 106, 103-114.
- Castillo, S., García, G., March, J., Fernández, J., & Osorio, M. (1988). Diagnóstico geográfico y cambios de uso del suelo en la Selva El Ocote, Chiapas". . U.S. AID: Informe Final. El Colegio de la Frontera Sur-Word Wildlife Found-México, Biodiversity Support Program.
- Guerra, M., & Ochoa, G. (2006). "Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990- 2000)". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.*, Num. 59, pp.7-25.
- Guevara, S., De la Torre, A. J., & Rivera, P. (2001). Pobreza y degradación ambiental. Un enfoque de acervos. México. D.F.: INE-SEMARNAT.
- Lambin, E., Helmut, J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Reviews Environment Resource*, 205–241.
- Mas, J., Velásquez, J., Alcántara, C., Bocco, G., Castro, R., & Fernández, T. (2004). Monitoreo de los recursos forestales de México en las tres últimas décadas. Aplicaciones de geotecnologías para la ingeniería forestal. Memorias del VI seminario de actualización en Sensores Remotos y SIG aplicados a la ingeniería forestal, editado por A.A. Disperati y J.R. dos Santos, 41-49.
- Mas, J., Velásquez, J., Bocco, G., & Fernández, T. (2004). Monitoreo de los recursos forestales de México en las tres últimas décadas. Aplicaciones de geotecnologías para la ingeniería forestal. Memorias del VI seminario de actualización en Sensores Remotos y SIG aplicados a la ingeniería forestal., pp. 44-49.
- Mendoza, M., Bocco, G., López, E., & Bravo, M. (2002). "Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.*, Núm. 49, pp. 92-117.
- Mustard, J., Fisher, T., & Moran, E. (2004). Land-use and land-cover change pathways and impacts, in *Land Change Science: Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Pontius, R., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101, 251-268.
- Reyes, G., García, G., & Castillo, A. (2001). "Uso del suelo y transformación de selvas en un ejido de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.*, Num. 44, pp. 39-53.
- Rindfuss, R., Walsh, S., Fox, J., & Mishra, V. (2004). Developing a science of land change: Challenges and methodological issues". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* , Vol. 101 No. 39 13976-13981.
- Sánchez, S., & Velázquez, A. (2008). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. II Estudio de país. México, DF.
- Turner, B., Lambin, E., & Reenberg, A. (2007). The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability. *National Academy of Sciences of the United States of America.* Vol. 104 No. 52, 266-271.
- Vitousek, P., Mooney, H., Lubchenco, J., & Melillo, J. (1997). "Human domination of Earth's ecosystems". *Science*, 277, 494-499.