



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN HIDROELÉCTRICAS MEXICANAS CON DATOS DE
PERCEPCIÓN REMOTA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

ZULEYMA ZARCO GONZÁLEZ

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México Agosto 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN HIDROELÉCTRICAS MEXICANAS CON DATOS DE
PERCEPCIÓN REMOTA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

ZULEYMA ZARCO GONZÁLEZ

COMITÉ DE TUTORES:

DR. OCTAVIO MONROY VILCHIS

DRA. XANAT ANTONIO NÉMIGA

DR. ANGEL ROLANDO ENDARA AGRAMONT

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México Agosto 2017

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	1
Abstract	1
Agradecimientos	2
Lista de cuadros y figuras	3
1. Introducción general	4
2. Revisión de literatura	6
3. Objetivo	6
4. Material y método	7
4.1 Zona de estudio	7
4.2 Procesamiento de imágenes	8
4.3 Análisis socioeconómico	9
5. Resultados	11
6. Discusión general	33
Referencias	36

RESUMEN

Las represas son un elemento de fragmentación que afecta a diferentes niveles, uno de los cuales es el uso de la tierra. La teledetección es actualmente una de las principales herramientas de monitoreo y manejo de los recursos naturales. Este es el primer estudio en México con el objetivo de evaluar el cambio de uso del suelo en ocho de las principales centrales hidroeléctricas de México a partir de imágenes satelitales. Se utilizaron 26 imágenes de Landsat clasificadas con el algoritmo Support Vector Machine. Se evaluaron los mapas con el complemento de Qgis Accurassess, obteniéndose valores superiores al 85% de precisión global en todas las clasificaciones. Hubo principalmente una disminución de la selva y cobertura forestal y un aumento en la agricultura y el uso urbano. También se evaluó el impacto en algunos indicadores socioeconómicos antes y después de la construcción de las presas, aunque se encontraron cambios significativos, el deterioro ambiental a su alrededor muestra que no son proyectos sustentables.

Palabras clave: percepción remota, grandes represas, México, cambio de uso de suelo, sustentabilidad

ABSTRACT

Dams are an element of fragmentation that affects at different levels, one of which is land use. Remote sensing is currently one of the main tools for monitoring and managing natural resources. This is the first study in Mexico with the objective of evaluating the change of land use in eight of the main hydroelectric plants in Mexico from satellite images. We used 26 Landsat images classified with the Support Vector Machine algorithm. Were evaluated the maps with the complement of Qgis Accurassess, obtaining values greater than 85% of global precision in all the classifications. There was mainly a decrease in rainforest and forest cover and an increase in agriculture and urban use. Was also evaluated the impact on some socio-economic indicators before and after the construction of the dams, although significant changes were found, the environmental deterioration around them shows that they are not sustainable projects.

Key words: remote sensing, big dam, Mexico, land use change, sustainability

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por hacer posible este estudio a través de la beca 585490.

A mi ma, pa, hermonos y demás familia por las porras y las palabras de aliento en los momentos complicados. Gracias por estar siempre para mí.

A Tavo por la confianza, por el lugar en su equipo y por seguir siendo mi guía en el camino de la ciencia.

A Giovano por los momentos compartidos, te quiero gusano.

A Pángel y al Tano por la amistad que crece y crece.

A los Dres. Angel y Xanat por el apoyo técnico y académico.

A quienes se tomaron el tiempo de revisar este documento (Dr. Sunny, Dr. Dídac, Dr. Miguel).



¡ Gracias!

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Tamaño de área de influencia calculada por represa

Cuadro 2. Descripción de los indicadores utilizados en el análisis socioeconómico del impacto de las represas a nivel municipal.

Figura 1. a) Ubicación de las represas analizadas en este estudio y b) determinación del área de influencia.

Figura 2. Cambio de uso de suelo en la represa Aguamilpa entre 1992 y 2008.

Figura 3. Cambio neto de 1992 a 2008 en Aguamilpa.

Figura 4. Cambio de uso de suelo en la represa Bacurato entre 1976 y 2012.

Figura 5. a) Cambio neto de 1976 a 2012 en Bacurato y b) Cambio neto en los cuatro periodos analizados.

Figura 6. Cambio de uso de suelo en la represa El Cajón entre 2002 y 2014.

Figura 7. Cambio neto en El Cajón entre 2002 y 2014.

Figura 8. Cambio de uso de suelo en El Caracol entre 1983 y 2016.

Figura. 9. Cambio neto de 1983 a 2016 en El Caracol.

Figura 10. Cambio de uso de suelo en Chicoasén de 1975 a 2013.

Figura 11. Cambio neto en Chicoasén de 1975 a 2013.

Figura 12. Cambio de uso de suelo en El Comedero entre 1978 y 2011.

Figura 13.a) Cambio neto de 1978 a 2011 en El Comedero y b) Cambio neto en los cuatro periodos analizados.

Figura 14. Cambio de uso de suelo en Huites entre 1993 y 2013.

Figura 15. a) Cambio neto de 1993 a 2013 en Huites y b) Cambio neto en los tres periodos analizados.

Figura 16. Cambio de uso de suelo en Peñitas entre 1982 y 2016.

Figura 17. Cambio neto en Peñitas entre 1982y 2016.

Figura 18. Gráfica radial de los indicadores sociales y económicos por represa.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

A nivel global existen alrededor de 50,000 grandes represas en funcionamiento, interrumpiendo el flujo del 46% de las 106 vertientes fundamentales del planeta (Berga 2009, WWF 2016). Su construcción se promueve como un medio para la satisfacción de necesidades como la irrigación de cultivos, generación de energía eléctrica, abastecimiento urbano-industrial, control de inundaciones, entre algunas otras. De acuerdo con la Comisión Mundial de Represas, todo proyecto debe representar un avance significativo en el desarrollo humano que tenga viabilidad económica, que sea socialmente equitativo y ambientalmente sostenible. Sin embargo, los impactos de éstas son más negativos que positivos, ocasionando pérdida irreversible de especies y ecosistemas (WCD 2000).

Las represas son el principal elemento físico de fragmentación en los ecosistemas fluviales (WCD 2000) no obstante también afectan a los terrestres a través del desplazamiento de las poblaciones locales (McCartney et al. 2001) ya que el proceso de migración y adopción de nuevas actividades de subsistencia, aunado al incremento poblacional normal puede agudizar la tasa de degradación ambiental en las regiones de ribera (Asefa 1994). Una de las principales razones para construir grandes represas en la región neotropical es la generación de energía eléctrica (WCD 2000). En México, la Comisión Federal de Electricidad construyó hasta la fecha 64 hidroeléctricas para satisfacer la demanda nacional, la cual durante el periodo de 2003 al 2013 tuvo la mayor tasa de crecimiento medio anual (3.4%) en el consumo de electricidad en la región de América del Norte (SENER 2015). Además de éstas, existen más de 4 300 represas distribuidas a lo largo del país, de las cuales 836 se consideran grandes represas de acuerdo con los criterios establecidos por la Comisión Internacional de Grandes Presas (Arreguín-Cortés et al. 2013), es decir, que cuentan con una cortina superior a los 15 metros de altura o tienen entre 1 y 15 metros de altura con un embalse mayor a los 3 millones de metros cúbicos de agua (ICOLD 2017).

La evaluación de los impactos de proyectos hidroeléctricos debería ser una prioridad de la política ambiental (Benchimol y Peres 2015), sin embargo, en México no se ha realizado ningún estudio con este propósito. Llevar a cabo dicha evaluación a partir de métodos tradicionales en campo puede implicar una inversión considerable de tiempo y recursos tanto económicos como humanos (Kellogg y Zhose 2014, Tefera y Sterk 2015), sobre todo si los efectos reales de estos megaproyectos pueden medirse hasta treinta años después de su establecimiento (Kellogg y Zhose 2014).

Una manera de evaluar el impacto en el cambio de uso de suelo es a través de percepción remota, la cual es hoy en día una de las herramientas más utilizadas para el monitoreo y manejo de los recursos naturales (Gross et al. 2006), debido a la resolución espacial es posible observar grandes áreas de terreno, incluyendo aquellas áreas donde el acceso es difícil o peligroso (Schuck et al. 2003). El incremento en la generación, disponibilidad y calidad de la información sobre la superficie terrestre ha favorecido el desarrollo de nuevas aplicaciones y técnicas de análisis de dicha información. Un ejemplo son los análisis de detección de cambios, los cuales cuantifican las variaciones de un estado o fenómeno por medio de la observación a diferentes tiempos (Singh 1989). En estos análisis la resolución temporal resulta muy importante ya que imágenes con resolución temporal alta no pueden cubrir procesos de cambio lentos, mientras que una resolución temporal baja puede aumentar el error de comisión sesgando la detección de cambios (Lunetta et al. 2006).

El proyecto Landsat representa más de cuarenta años de información contenida en imágenes con la resolución espacial y temporal adecuada para evaluar cambios sutiles en la superficie terrestre a partir de sensores remotos (Hermosilla et al. 2015).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Los impactos de las represas se han documentado ampliamente desde diferentes puntos de vista. Algunos estudios anteriores son: incremento en la emisión de gases de efecto invernadero (Fearnside 2013), disminución de la calidad del agua (Cooney y Kawak 2013), aumento de sedimentos (Yang et al. 2007, Asaeda y Rashid 2012), propagación de enfermedades transmitidas por insectos (Keiser et al. 2007, Kibret et al. 2015), inundaciones, pérdida de sitios arqueológicos (Lawler, 2002), las modificaciones en los medios de vida y los desplazamientos forzados que surgen como consecuencia de la creación de represas (Drew 2014, Obour et al. 2015), cambio de uso de suelo (Zhao et al. 2010, Tefera y Sterk 2008, Uddin et al. 2014), alteraciones en la vegetación de ribera y otras especies de árboles (Chikodzi et al. 2013, Kellogg y Zhou 2014), entre otros.

3. OBJETIVO

Cuantificar el cambio de uso de suelo en ocho de las principales represas hidroeléctricas de México usando percepción remota.

4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1 Zona de estudio

Se seleccionaron las represas cuyo uso fuera la generación de energía eléctrica y que la fecha de construcción estuviera entre 1972 y 2015, ya que a partir de esta fecha se cuenta con imágenes de satélite, obteniendo ocho hidroeléctricas. La zona de influencia analizada en cada represa se determinó calculando la distancia de la cortina al punto más alejado del polígono inundado, ésta se consideró como radio sobre el cual se trazó un círculo (Fig. 1). La delimitación del buffer se realizó tomando como radio el polígono principal del embalse, el cual nos da un panorama regional de las modificaciones ambientales posteriores a la nueva zona de inundación (Kellogg y Zhou 2014).

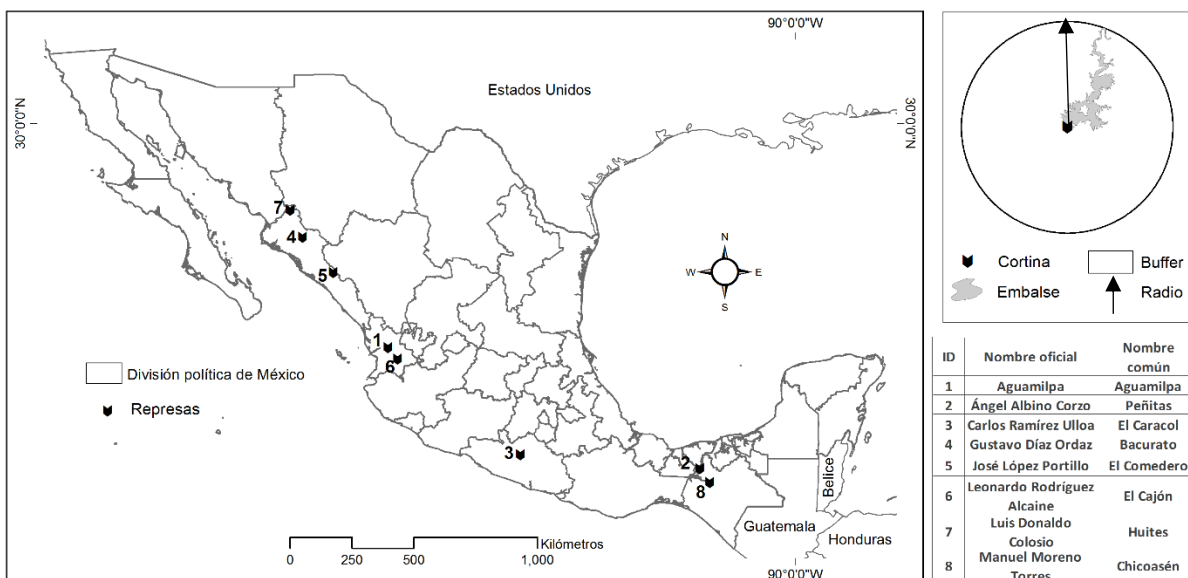


Fig. 1 a) Ubicación de las represas analizadas en este estudio y b) determinación del área de influencia.

Para la obtención de las imágenes se consultó la plataforma Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) donde están contenidas todas las imágenes de la serie LANDSAT. Se determinaron cuatro periodos de análisis: 1) antes de la construcción de la represa, 2) uno o dos años

después y en algunos casos 3) 15 y 30) años después del establecimiento de la represa. Las imágenes correspondientes a cada periodo se descargaron en formato TIFF.

4.2 Procesamiento de imágenes

Todas las imágenes se calibraron y corrigieron geoméricamente utilizando el vector de la red vial de INEGI (2015). Posteriormente se definieron áreas de interés o sitios de entrenamiento (ROIs) que son polígonos de al menos 100 píxeles representativos de cada categoría de cobertura o uso de suelo, se tomó como referencia la cartografía de las cinco series de INEGI además de la interpretación visual y el patrón de firma espectral de las imágenes satelitales. Se evaluó la separabilidad espectral por pares de ROIs que toma valores de 0 a 2 e indica la independencia estadística de las categorías seleccionadas. Valores cercanos a 2 (>1.9) indican que las categorías tienen una buena separabilidad, valores entre 1.9 y 1 indican que es necesario editar los sitios de entrenamiento y valores inferiores a 1 indican que ese par de categorías debe considerarse como una sola. Una vez identificados los sitios de entrenamiento, las imágenes se clasificaron con el algoritmo *Support Vector Machine*, ya que ha demostrado tener un buen desempeño en estudios de percepción remota (Mountrakis *et al.* 2011), obteniendo al final un mapa temático

La evaluación de la fiabilidad de mapas temáticos es un proceso que se divide en tres etapas: a) selección de los sitios de verificación (muestreo), b) evaluación de los sitios, a través del cual se obtienen las categorías correspondientes a cada sitio y c) análisis de datos, que consiste en una matriz de confusión acompañada de índices de fiabilidad (Stehman y Czaplewski 1998). En este caso la selección de los sitios de verificación se realizó a partir de un muestreo aleatorio estratificado, generando 40 puntos por categoría para cada mapa. Posteriormente se caracterizaron los sitios de verificación para asociarlos a las clases del sistema clasificatorio del mapa a evaluar y con ayuda del

complemento *AccurAssess* en el software QGis se calculó la precisión global (porción del área total correctamente clasificada), la precisión del usuario (errores de omisión, muestra la proporción de la muestra de referencia de una categoría clasificada correctamente en el mapa) y del productor (errores de comisión, proporción de muestras clasificadas como una categoría particular en el mapa) con el intervalo de confianza correspondiente (Mas et al. 2014).

Para el análisis de los cambios en el uso de suelo se utilizó el módulo *Land Change Modeler* de Idrisi versión Selva donde se calculó y graficó el área ganada o perdida por categoría.

4.3 Análisis socioeconómico

Para realizar una evaluación más integral del impacto de las represas se consultaron bases de datos gubernamentales con información histórica acerca de indicadores de desarrollo social y económico. Se seleccionaron aquellos que estuvieran disponibles para todos los sitios a nivel municipal y que consideramos que tenían relación con el establecimiento de la represa. Dichos indicadores se convirtieron en porcentaje y se aplicó una ji cuadrada para ver si había diferencias estadísticamente significativas antes y después del establecimiento de la represa.

Cuadro 1. Indicadores usados en el análisis socioeconómico del impacto de las represas a nivel municipal.

Descripción	Indicador
Población del municipio respecto a la población total del estado	Población del municipio
Población económicamente activa de 12 años y más	Población ocupada
Porcentaje de la población que labora en el sector primario	Primario
Porcentaje de la población que labora en el sector secundario	Secundario
Porcentaje de la población que labora en el sector comercio	Comercio
Porcentaje de la población que labora en el sector servicios	Servicios
Población ocupada que gana hasta 1 salario mínimo mensual o de 0 a 2 499 pesos	Hasta 1 s.m.
Población ocupada que gana más de 1 hasta dos salarios mínimos mensuales o de 2 500 a 4 499 pesos	Más de 1 a 2 s.m.
Población ocupada que gana más de 2 salarios mínimos mensuales o más de 5 000 pesos	Más de 2 s.m.
Población de 12 años y más que cuenta con educación superior	Escolaridad
Viviendas ocupadas con acceso a agua entubada	Agua
Viviendas ocupadas con energía eléctrica	Electricidad

5. Resultados

Evaluation of land use change in Mexican dams using remote sensing: conservation implications

Zuleyma Zarco-González^a, Octavio Monroy-Vilchis^{a,*}, Xanat Antonio-Némiga^b y Angel R. Endara-Agramont^c

^aCentro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario 100, Centro. 50000, Toluca, México.

^bUniversidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario 100, Centro. 50000, Toluca, México.

^cInstituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario 100, Centro. 50000, Toluca, México.

*Corresponding author

E-mail addresses: zuleyma.zarco.g@gmail.com (Z- Zarco-González),

tavomonroyvilchis@gmail.com (O. Monroy-Vilchis), xanynemiga@rocketmail.com (X. Antonio-Némiga), rolandoendara@hotmail.com (A.R. Endara-Agramont)

Abstract

Dams are an element of fragmentation that affects at different levels, one of which is land use.

Remote sensing is currently one of the main tools for monitoring and managing natural resources.

This is the first study in Mexico with the objective of evaluating the change of land use in eight of the main hydroelectric plants in Mexico from satellite images. We used 26 Landsat images

classified with the Support Vector Machine algorithm. Were evaluated the maps with the

complement of Qgis Accurassess, obtaining values greater than 85% of global precision in all the

classifications. There was mainly a decrease in rainforest and forest cover and an increase in agriculture and urban use. Was also evaluated the impact on some socio-economic indicators before and after the construction of the dams, although significant changes were found, the environmental deterioration around them shows that they are not sustainable projects.

Key words: remote sensing, big dam, Mexico, land use change, sustainability

1. Introduction

There are approximately 50,000 large dams in 46% of the planet's major watersheds (Berga 2009, WWF 2016). Its construction is promoted to meet needs in agriculture, electric power, urban-industrial supply, flood control, and others. According to the World Commission on Dams, every project must provide human development with economic viability, socially equitable and environmentally sustainable. However, the environmental factor is a few considered and the environmental impacts are negative, causing irreversible loss of species and ecosystems, showing that the projects are not sustainable (WCD 2000).

Dams are the main physical element that fragments river and terrestrial ecosystems, due to increased environmental degradation, resulting in human population migration and adoption of new productive activities (Asefa 1994, WCD 2000, McCartney et al. 2001). Most of the current dams (5,000) were built in developed countries during the 20th century, mainly between 1970 and 1975 (WCD 2000). In Mexico, 64 large hydroelectric dams have been built (2016) to meet national demand, with the highest rate of increase (3.4%) in North America between 2003 and 2013 (SENER 2015). In addition, there are more than 4 300 dams distributed in the country, of which 836 are considered to be large dams (Arreguín-Cortés, 2013), a height of 15 metres or greater from the base or with a reservoir greater than 3 million cubic meters of water (ICOLD 2016).

Some effects of large dams are: increase in greenhouse gas emissions (Fearnside 2013), water quality decrease (Cooney and Kawak 2013), sediment increase (Yang et al., 2007, Asaeda and Rashid 2012), propagation of insect diseases (Keiser et al., 2007, Kibret et al., 2015), floods, loss of archaeological sites (Lawler, 2002), change in productive activities and forced displacement (Drew 2014, Obour et al. 2015), land-use change (Zhao et al. 2010, Tefera y Sterk 2008, Uddin et al. 2014), alterations in riparian vegetation and other tree species (Chikodzi et al., 2013, Kellogg and Zhou 2014), and others.

The evaluation of impacts of large dams (hydroelectric) should be a priority of environmental policy, however, there are few studies in the world (Benchimol and Peres 2015). Evaluating these effects from traditional methods in situ involves significant economic and human costs (Kellogg and Zhou 2014, Tefera and Sterk 2015), especially if the real effects of these megaprojects can be measured up to thirty years after their establishment (Kellogg and Zhou 2014).

Remote sensing is a reliable way to assess the impact on land use change. Currently, it is a widely used tool for the monitoring and management of natural resources on a large temporal and spatial scale (Gross et al., 2006). The increase in the generation, availability and quality of the information on the terrestrial surface has favored the development of new applications and techniques of analysis. The objective of this study is to quantify the change in land use in eight of the main hydroelectric dams in Mexico using remote sensing.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study zone

We worked with 8 large dams distributed throughout the country and that their construction was between 1972 and 2015, since from this date there are satellite images. The area of influence of each dam was calculated considering the distance of the dam to the point farthest from the flooded

area, this value was used as the radius on which a circle was drawn. In this area of influence, environmental and social parameters were evaluated (Figure 1, Kellogg and Zhou 2014).

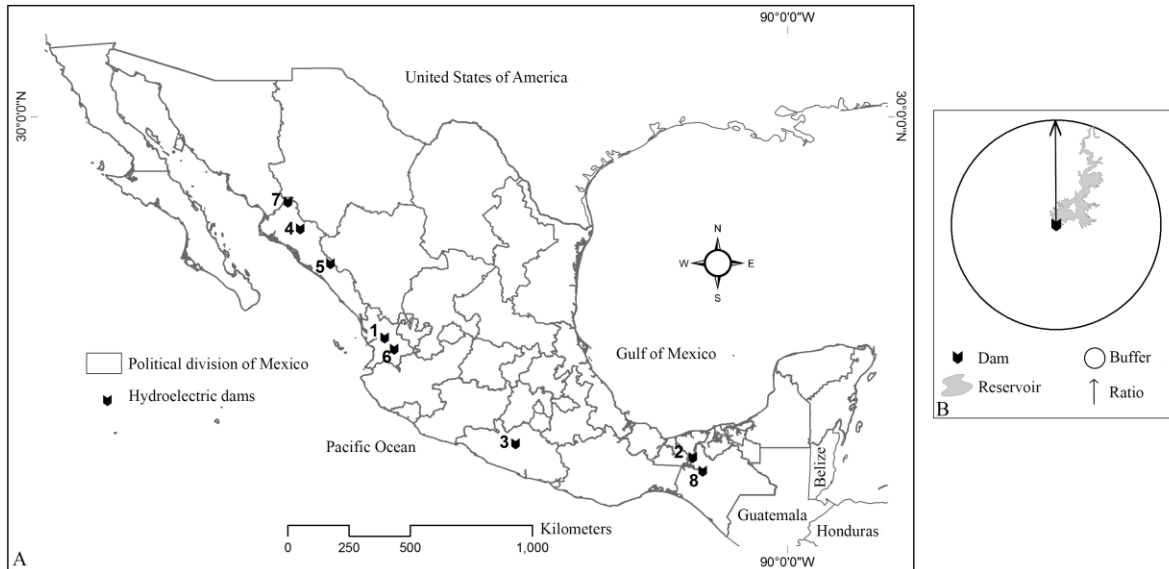


Fig. 1 A) Location of dams (1: Aguamilpa, 2: Peñitas, 3: El Caracol, 4: Bacurato, 5: El Comedero, 6: El Cajón, 7: Huites y 8: Chicoasén) and B) Determination of area of influence.

2.2 Image processing

All images were calibrated and corrected geometrically using the road network vector (INEGI 2015). Subsequently, training sites (ROIs) of at least 100 pixels were defined by coverage or land use. The 5 INEGI series (1985 - 2011) were considered as a cartographic reference, in addition to the visual interpretation and the spectral signature pattern of the satellite images. Was evaluated the spectral separability by ROI pairs to identify the statistical independence of the selected coverage. Was obtained a thematic map with the training sites, the images were classified with the Support Vector Machine algorithm, because it has shown to perform well in studies of remote perception (Mountrakis et al., 2011).

The assessment of the accuracy of thematic maps is divided into three stages: a) selection of verification sites (sampling), b) evaluation of sites, to obtain coverages and c) data analysis, consisting of a matrix of confusion accompanied by accuracy indexes (Stehman and Czaplewski 1998). Stratified sampling was applied to identify the 40 verification sites per map coverage. Subsequently, the verification sites were characterized to associate them to the classes of the classification system of the map to be evaluated, and with the AccurAssess complement in the QGIS software, global precision (portion of the total area correctly classified), user accuracy (errors of omission, proportion of the reference sample of a classified coverage correctly) and producer accuracy (commission errors, proportion of samples classified as a specific coverage) was calculated with the corresponding confidence interval (Mas et al., 2014). For the land use change analysis, we used the Land Change Modeler module from Idrisi.

2.3 Socioeconomic analysis

In order to integrally evaluate the impact of the dams, 12 indicators of social and economic development were considered at the municipal level (Table 1, INEGI 2017). These indicators were converted into percent and a square chi was applied to evaluate the significance of the variation before and after the dam.

Table 1. Indicators used in the socio-economic analysis of the impact of dams at the municipal level.

Description	Indicator
Population of the municipality with respect to the total population of the state	Population of the municipality
Economically active population aged 12 and over	Occupied population
Percentage of the population working in the primary sector	Primary

Percentage of the population working in the secondary sector	Secondary
Percentage of the population working in the commerce sector	Commerce
Percentage of the population working in the services sector	Services
Employed population earning up to 1 monthly minimum salary or Mx \$ 0 to \$ 2 499	Up to 1 m.s.
Employed population that earns more than 1 up to two monthly minimum salaries or from Mx \$2 500 to \$4 499	More than 1 to 2 m.s.
Employed population that earns more than 2 monthly minimum salaries or more than Mx \$5 000	More than 2 m.s.
Population aged 12 and over who have higher education	Scholarship
Occupied homes with access to cased water	Cased water
Houses occupied with electric power	Electricity

3. Results

A total of 26 multispectral images were used considering the time interval; the spatial resolution of the images was between 30 and 60 meters. The largest area of influence was the Aguamilpa dam (10 807.24 km²), while the smallest was Chicoasen (289.93 km², Table 2).

Table 2. Size of area of influence analyzed by dam.

Dam	Area of influence (km ²)
Aguamilpa	10 807.24
Peñitas	3 450.44
Bacurato	1 190.70
El Caracol	2 793.59
El Comedero	1 114.30
El Cajón	5 290.82
Huites	1 285.53
Chicoasén	289.93

Seven coverages were identified: water, agriculture, forest, forest, no vegetation, urban and aquatic vegetation. For each site, global accuracy (OA), user precision (UA) and producer precision (PA) with coverage intervals (CI) are shown. We plotted the net change that includes loss and gain between coverage of the oldest and most recent image.

Dam 1 “Aguamilpa”

Two periods 1993 and 2008 were analyzed, two maps were obtained respectively, with six coverages and 240 checkpoints per map were used. The most evident changes are in the coverages of agriculture and forest (Fig. 2). In time 1 (1993) they occupied 123 km² (13.23%) and 4289 km² (40.12%) respectively and at time 2 (2008) agriculture increased 8.89% mainly in the southwest region and forest decreased 9.35%. Urban use increased more than 100% (from 40.56 km² to 98.63 km²) mainly in Tepic, Tuxpan, Ruíz and Santiago Ixcuintla (Fig. 3).

Figure 2. Approximately here.

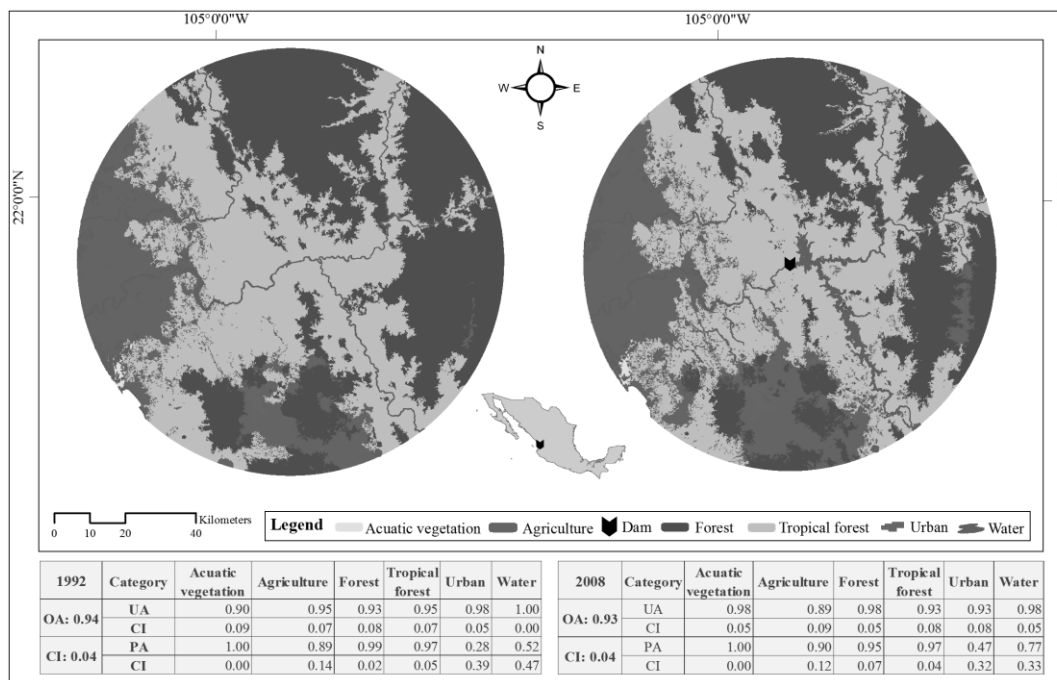


Fig. 2 Land use change in Aguamilpa from 1993 to 2008.

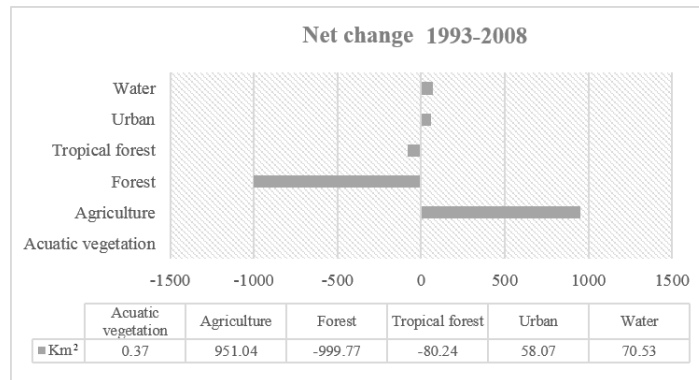


Fig. 3 Net change in Aguamilpa.

Dam 2 “Bacurato”

Four 1976, 1982, 1996 and 2012 periods were analyzed. For 1976 and 1996, three coverages were defined with 120 verification points, for 1982 and 2012 four coverages were identified with 160 points per map (Fig. 4). The change between 1976 and 2012 was the decline of 86.6 km² of forest and an increase of 51.16 km² of agriculture (Fig. 5).

Figure 4. Approximately here.

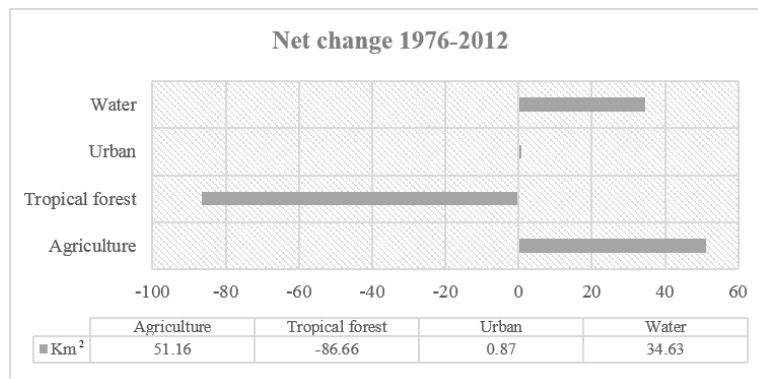


Fig. 5 Net change in Bacurato.

Dam 3 “El Cajón”

This dam was completed in 2006, so two periods 2002 and 2014 were analyzed. Six coverages were identified and 240 checkpoints per map were used (Fig. 6). The coverages with greater change were agriculture that increased 178.1 km² and forest decreased 210.18 km². Urban use coverage increased by 99.16% (from 15.88 km² to 31.49 km², Fig. 7).

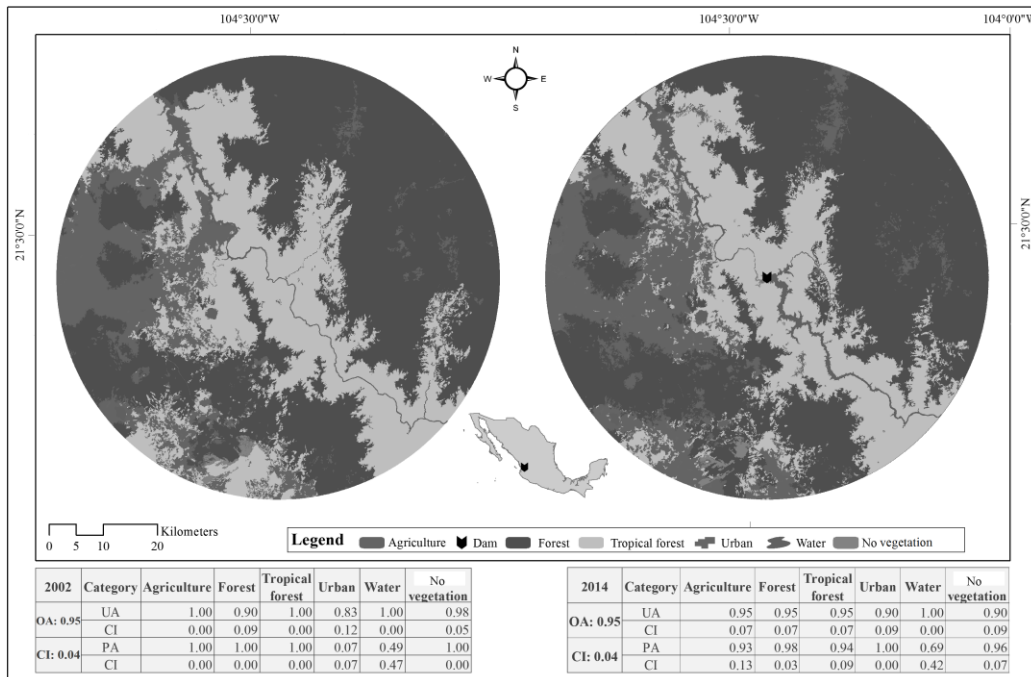


Fig. 6 Land use change in El Cajón from 2002 to 2014.

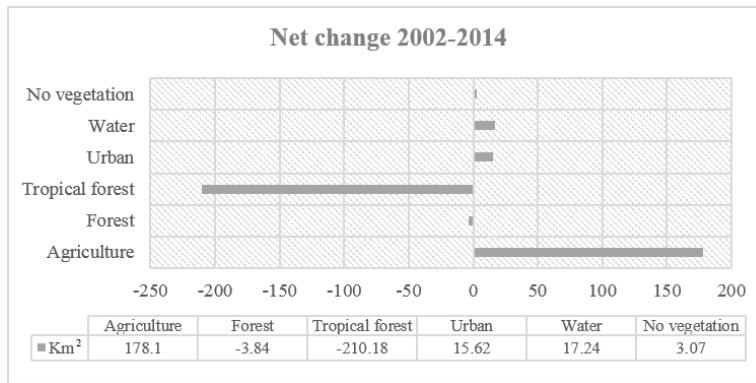


Fig. 7 Net change in El Cajón.

Dam 4 “Caracol”

Four periods were analyzed for 1983, 1991, 2001 and 2016. For the first period four coverages were defined with 160 checkpoints, while for the following three periods six coverages were defined with 300 points per map (Fig. 8). Agriculture increased 314.65 km² while forest and tropical forest decreased (105.32 and 248.16, respectively, Fig. 9).

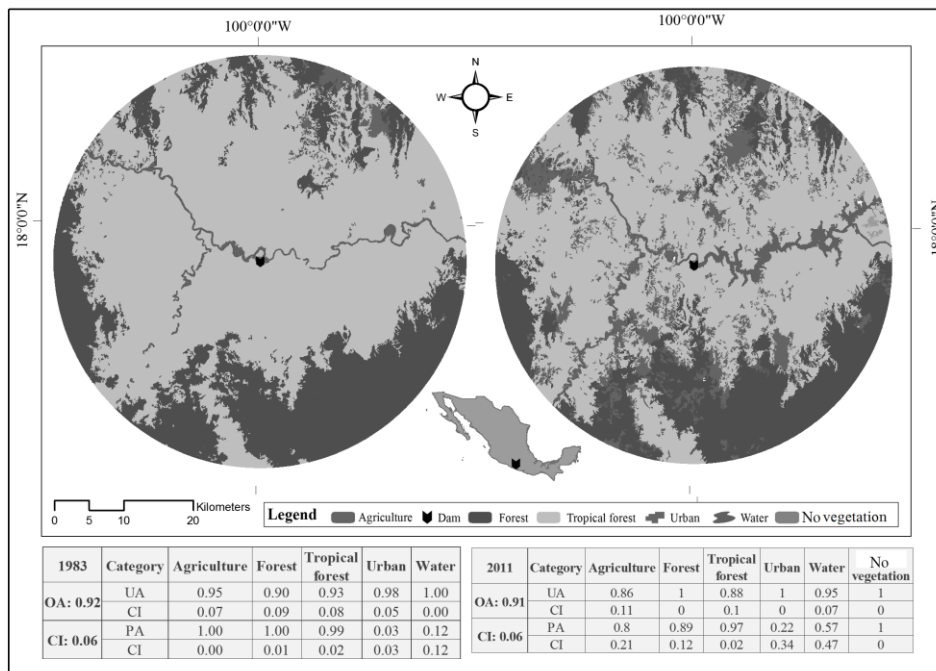


Fig. 8 Land use change in Caracol from 1983 to 2016.

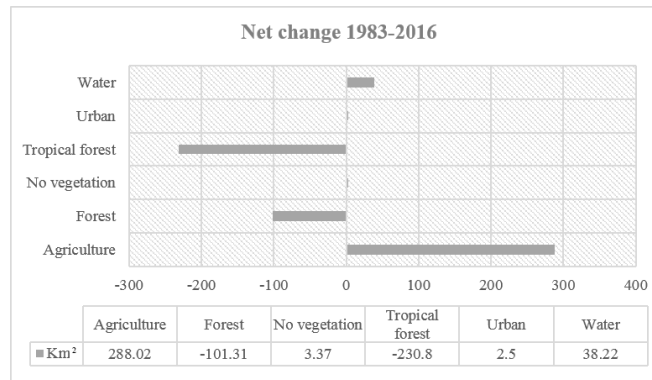


Fig. 9 Net change in Caracol.

Dam 5 “Chicoasén”

Four periods 1975, 1984, 1996 and 2013 were analyzed. For the first two periods, five coverages and 250 checkpoints per map were identified; the following two included the coverage of urban use for which 300 points per map were used. In this dam, 27.22 km² of forest was decreased and 22.51 km² of agriculture increased (Fig. 10). Unlike the other dams in which more than two periods were analyzed, in this one if there is a tendency in the increase of the agriculture (Fig. 11).

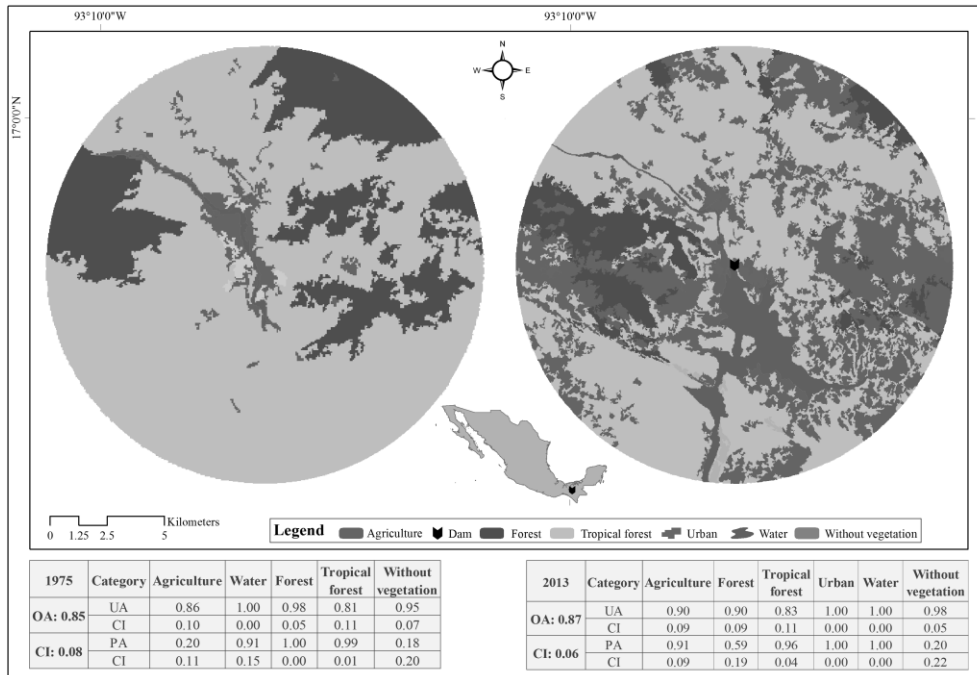


Fig. 10 Land use change in Chicoasén from 1975 to 2013.

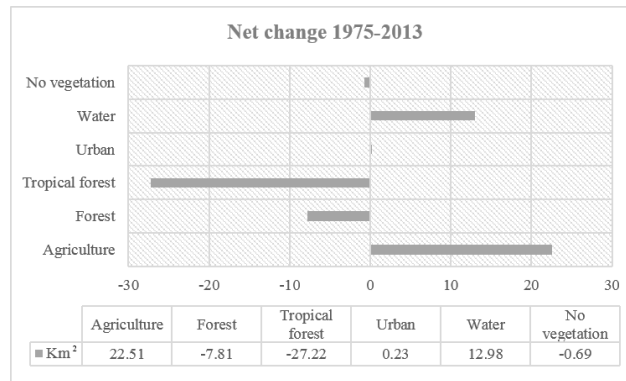


Fig. 11 Net change in Chicoasén.

Dam 6 "El Comedero"

As in the case of Bacurato, 4 periods 1978, 1982, 1996 and 2011 were analyzed in this dam with four coverages and 160 checkpoints per map (Fig. 12). It increased 29.91 km² of water and 46.84

km² of agriculture and lost 28.10 km² of forest and 48.64 km² of jungle (Fig. 13). Specifically, there is a decrease in forest area in the northern region of the analyzed area and an increase in agriculture in the southwest region.

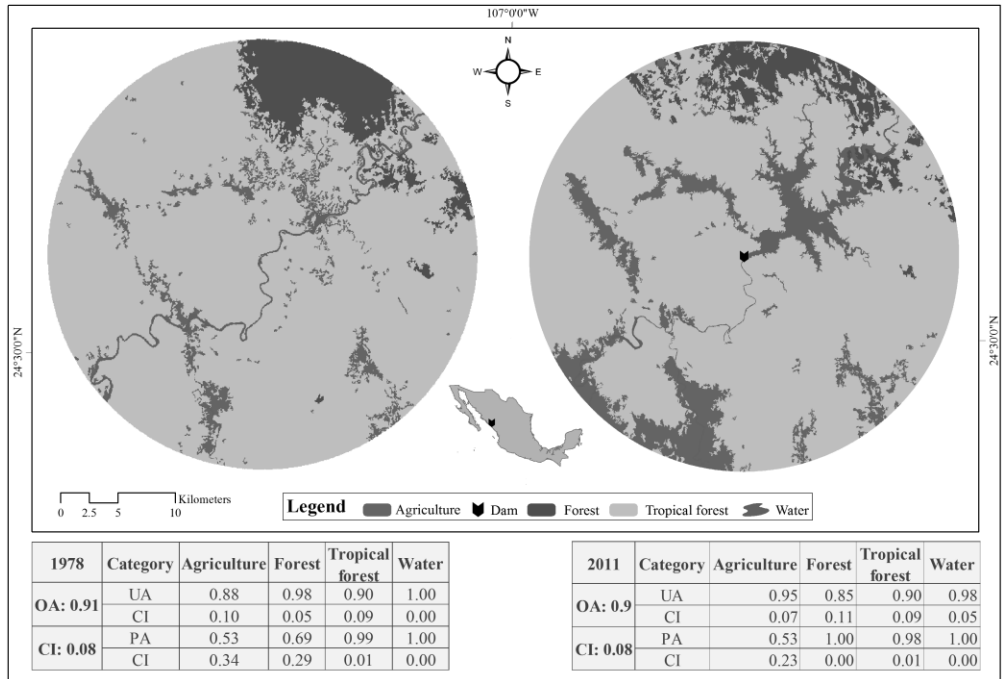


Fig. 12 Land use change in El Comedero from 1978 to 2011.

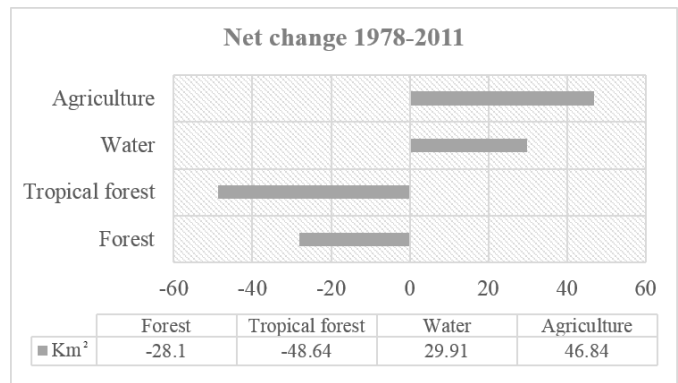


Fig. 13 Net change in El Comedero.

Dam 7 “Huites”

Three periods were analyzed, 1993, 1999 and 2011, six coverages with 400 checkpoints per map were defined. The tropical forest increased 41.88 km² and decreased forest 50.43 km² and agriculture 29 km² (Fig. 15). The change in the coverage of urban use is represented mainly by the municipality of Choix (Fig. 14).

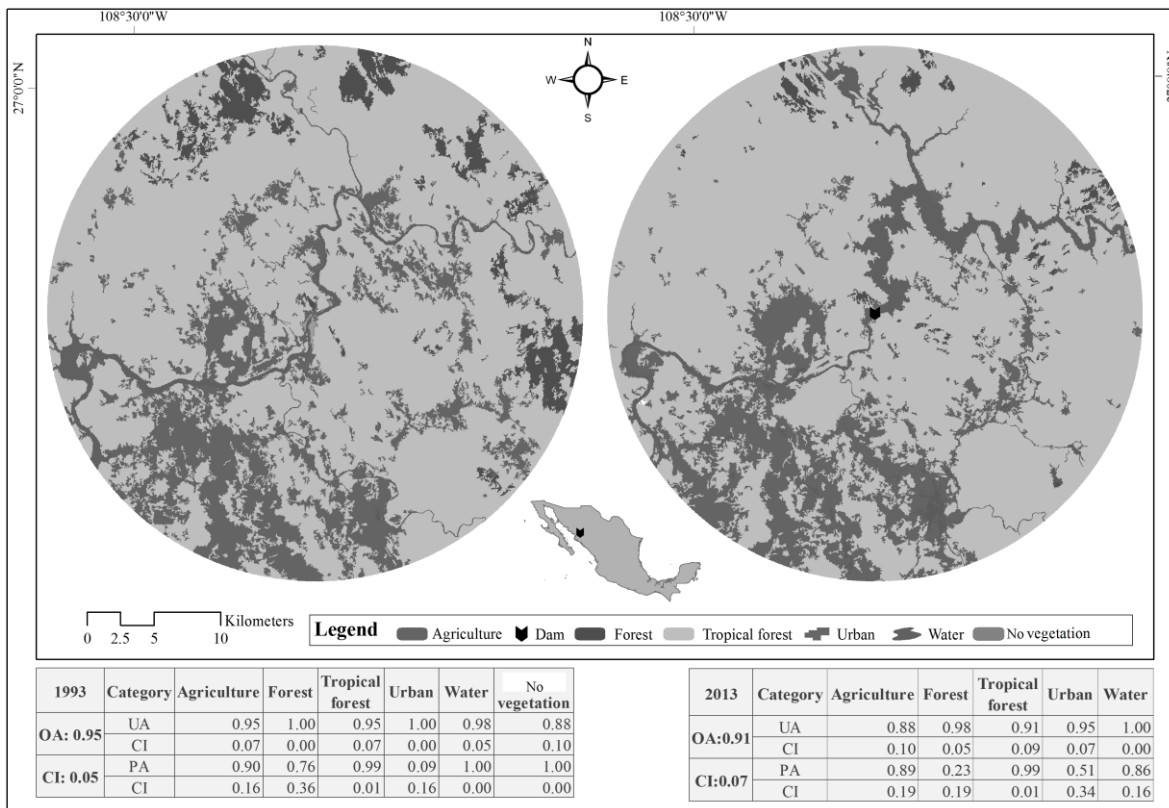


Fig. 14 Land use change in Huites from 1993 to 2011.

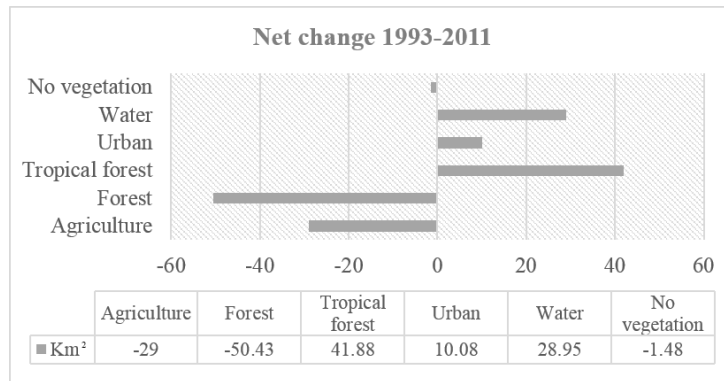


Fig. 15 Net change in Huites.

Dam 8 "Peñitas"

Three periods 1986, 2002 and 2016 were analyzed; in the first map four coverages were defined with 160 checkpoints and in the other two five were defined with 240 points per map. The main changes observed were a decrease of 762.33 km² of jungle and an increase of 732.59 km² of agriculture (Fig. 17). These changes were recorded mainly in time 2 (2002), while in the other coverings no changes were observed (Fig. 16).

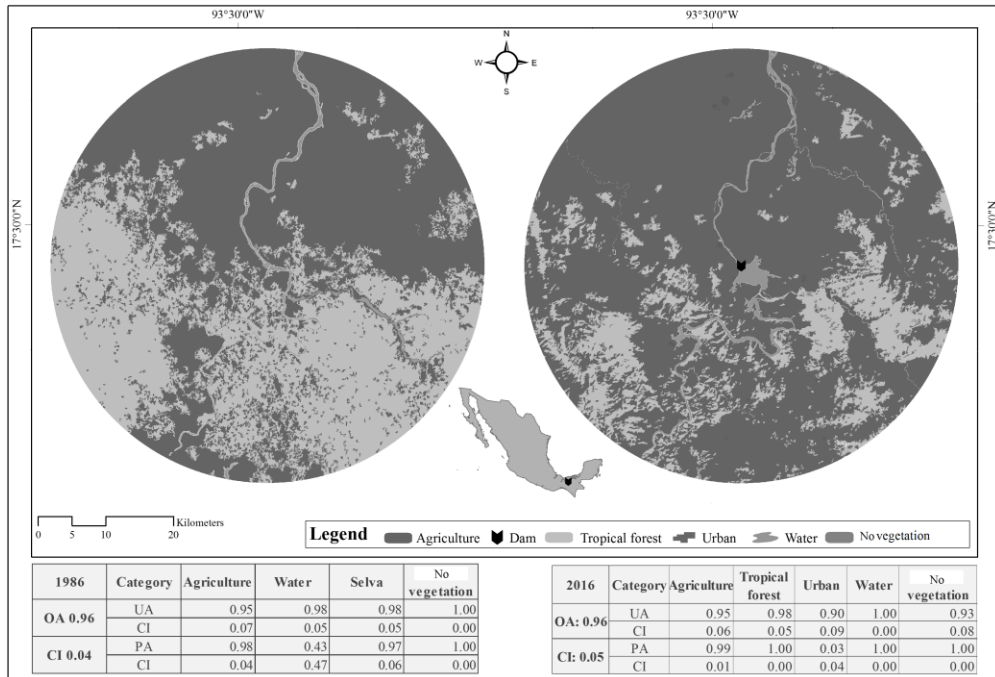


Fig. 16 Land use change in Peñitas from 1986 to 2016.

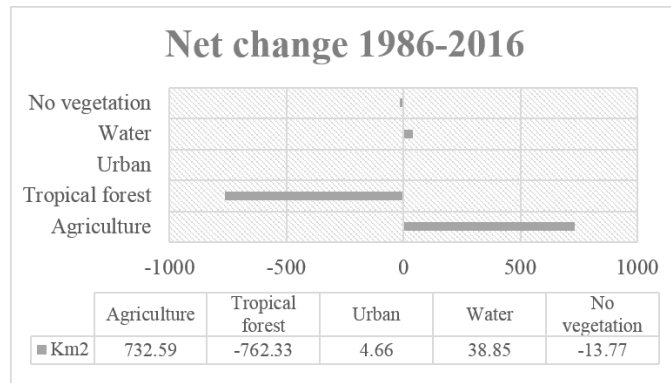


Fig. 17 Net change in Peñitas.

Socioeconomic Indicators

There were significant differences before and after the construction of the dams ($p < 0.05$) and the percentage differences were plotted (Fig. 18). In Aguamilpa, no indicator changed more than 50%,

the evident change was the increase of population dedicated to the services sector with 23.37%. In Bacurato, the most notable change was the increase in occupied housing with access to piped water (80.88%) and electricity (73.98%). El Cajon, like Aguamilpa presented changes <50%; The most important was the increase in the population with more than two minimum wages. In Comedero the most important change was the percentage of families with access to electricity (86.70%), while in Chicoasén, the most notable was the decrease (-76.94%) in the population with up to a minimum wage. In Huites, all indicators presented change <50%. In Pénitas, as in Bacurato, the most evident changes were: access to piped water (73.08%) and electricity (87.42%). Finally, in El Caracol only access to piped water increased more than 50%. The largest increases in population and occupied population were in Chicoasén (6.95% and 15.36%, respectively).



Fig. 18 Radial graph of socioeconomic indicators by dam.

4. Discussion

Previous knowledge and planning on land cover change and land use is essential to reduce problems such as uncontrolled urbanization, environmental degradation, loss of agricultural land, destruction of wetlands, loss of wildlife, and others. An essential element to improve land use is to have current information and its changes over time (Abdi, and Ekasit, 2012). This should be a basic tool for proper environmental planning. This study is the first country-level study in Mexico that integrates remote sensing techniques and geographic information systems to assess environmental and social impacts of dam construction, contributing to the limited knowledge that exists in tropical ecosystems (Anderson et al., 2006).

Although this technique has been recently applied in Mexico to quantify land use change (Cruz-Huerta et al., 2015, Gordillo-Ruíz et al., 2017, Palomeque-De la Cruz et al. 2017), few are the works that describe and carry out a statistically rigorous evaluation; This gives confidence and applicability of the results obtained (Olofsson et al., 2014). The overall accuracy of all maps was above 85%, which is the suggested minimum value of precision, considering that it is potentially useful information in the planning and management of natural resources mainly in areas of critical importance such as areas of development and production of energy (Anderson 1976).

In all the dams there was a decrease in native tree cover and an increase in agriculture and urban use. These changes are directly associated with the construction of the dam, since flooding favors the clearing of new forest areas for agricultural purposes (Zhao et al., 2010). Another factor related to the increase of cultivable soils is the population growth (Abdi 2012), in this study was observed in 2 of the 8 dams analyzed. The change of forest cover to agricultural and later to urban found in all analyzed sites is considered as a characteristic of economic development that modifies components of biodiversity over time (Huston 2005). Due to its size, the removal of forest areas for

the development of agricultural activities is currently the main change in natural ecosystems at the global level (Lambin and Meinfroidt 2010). In particular, the rainforests of the Mexican tropics were intact until the 1940s, prior to colonization programs and the promotion of agricultural activities that favored large-scale deforestation (Challenger and Dirzo 2009).

The construction of hydroelectric dams in Mexico began at the end of the 19th century with the use of the waters of the Batopilas river in Chihuahua. Subsequently, the construction of dams for different purposes increased exponentially throughout the national territory, without any type of evaluation (Ramos-Gutiérrez and Montenegro-Fragoso 2010). This activity is favored by the geographic location of the country, since the hydroelectric potential is in the tropic regions (McCully 2001).

Aguamilpa, has a curtain of 187 meters high, at the time, was the highest in Latin America. It is located less than 100 km from the coastal region of Nayarit, which explains the changes observed in the west of the area of influence, because the development of human activities such as tourism particularly affects coastal areas (Martínez et al. 2007). This characteristic also explains the increase in the employed population in the services sector.

The El Cajón dam is in the lower basin of the Aguamilpa reservoir and in the upper basin is La Yesca, on the flow of the Santiago river. These three dams practically divide the region and are an example of negative impacts on biodiversity considering that for terrestrial organisms an aquatic matrix will be an insurmountable barrier unlike secondary vegetation in a terrestrial landscape (Cosson 1999). Aguamilpa and El Cajón, affect the hydrodynamics of the estuarine system of the National Marsh Biosphere Reserve, due to the modification of water volume and retention of sediments that alter natural fertilizer (SEMARNAT 2013).

Bacurato is a multipurpose dam that is used for crop irrigation, electric power generation and flood control of productive areas and villages. However, the lack of maintenance and the unusual increase in the water level of the dam can lead to greater loss of human life and property (Graham 2009). It was completed in 1986 and because of the poor state of the hydraulic infrastructure it loses up to 50% of the volume stored (Gaspar-Dillanes et al. 2013). The increase in agricultural use is due to the fact that 85% of the water is used for this activity. On the other hand, within the reservoir are developed fishing activities of exotic species: tilapia (*Oreochromis aureus*), catfish (*Ictalurus punctatus*) and bass (*Micropterus salmoides*); however, it has declined in the percentage of the employed population in the primary sector. This activity within reservoirs is considered a poor substitute for river fisheries because of low productivity and the need to periodically reintroduce fish stocks (Baran et al., 2007). These fishing activities are also carried out at the Huites dam. This dam was constructed simultaneously with five other dams during a period of intensification of irrigation activities, since between 1970 and 1990, the irrigated area of the state of Sinaloa doubled (Norzagaray-Campos et al., 2010).

On the other hand, in the El Comedero dam, fishing activities were recently affected by mining runoff in the upper part of the river, causing fish mortality due to high levels of mercury, zinc and other heavy metals (Pedraza-Chávez, 2013). The contamination of the dam as well as affecting the economy of the fishing sector is also a risk to the health of the population that develops any other activity around the dam, evidencing bad planning in the establishment of mining zones.

The El Caracol dam is located in a topographically important region suitable for the country's electricity generation (Ramos-Gutiérrez and Montenegro-Fragoso 2012).

There is no significant land use change in this dam, probably because of the closure that has prevented the use of tributaries and sub-fluids since 1966 for purposes other than electric power

generation (DOF.1966). This may be a strategy to reduce the negative impact of dams on the environment. However, productive activities or alternative services for local development should be considered.

The Mexican Federal Electricity Commission (MFEC) considers that the Grijalva River basin contains approximately 50% of national hydroelectricity. The upper Grijalva, Malpaso, La Angostura, Chicoasén and Peñitas generate 43.6% of the national energy, being the largest hydroelectric development in Mexico (CFE 2011). According to the foresight of the Electricity Sector 2015-2029, it is planned to establish at least 8 new hydroelectric projects in this basin (SENER 2015). Despite the national importance of this system, local benefits are scarce. The National Council for the Evaluation of the Social Development Policy (CONEVAL 2005) mentions that the municipalities where the dams are located had high levels of social backwardness and high levels of patrimonial and food poverty (from 62% to 83% And from 39% to 56% respectively, CONEVAL 2005). The increase in the percentage of the population and the population occupied in Chicoasén is due to the dam being in the National Park Canyon of the Sumidero that is one of the main tourist attractions of Chiapas. This park was created after the construction of the dam in order to protect endemic species and archaeological works that had not been lost after the flood caused by the dam (INE 1983).

Particularly Peñitas, presented the greatest change of forest cover to agricultural. The location of the dam and its area of influence are the union of three states with the highest rates of deforestation at national level (Veracruz, Tabasco and Chiapas, Aguilar et al., 2000).

The results of this study are very important considering that Mexico has more than 100 years building large and small dams, without any prior integral analysis at the national level. While in other countries, is analyzed the possibility of dismantling these projects, considering the

environmental and economic costs of maintaining structures when they exceed their useful life (McNally et al., 2009). The results show that there is no evaluation or assessment of environmental resources in the construction and operation of large dams, in addition, they are not environmentally sustainable and in some cases the social indicators are also not favorable.

5. Acknowledgements

We would like thank to Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) that supported the study through the scholarship (ZZG-585490) and to Universidad Autónoma del Estado de México.

6. Discusión general

El conocimiento sobre el cambio de cobertura y uso de la tierra es indispensable para disminuir problemas como la urbanización incontrolada, el deterioro ambiental, pérdida de tierras agrícolas, destrucción de humedales, pérdida de vida silvestre, entre otros. Un elemento esencial para un mejor uso de suelo es tener información acerca de los patrones de uso de suelo actuales y sus cambios a través del tiempo (Abdi, A. y Ekasit, K. 2012). Esto, debe ser una herramienta básica para la correcta planeación ambiental.

Este estudio es el primero a nivel país, en México, que integra técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica con la finalidad de evaluar los impactos ambientales y sociales de la construcción de represas, contribuyendo así al limitado conocimiento que existe de los efectos de las represas (Anderson *et al.* 2006), particularmente hidroeléctricas en ecosistemas tropicales.

Aunque éstas técnicas ya se han aplicado en México para cuantificar cambio de uso de suelo (Cruz-Huerta et al. 2015, Gordillo-Ruíz et al. 2017, Palomeque-De la Cruz et al 2017), pocos son los trabajos que describen y realizan una evaluación estadísticamente rigurosa del mapa final como en este caso, lo cual refleja la fiabilidad (precisión) de los resultados obtenidos y cumple con los criterios sugeridos

por Olofsson et al. (2014). La precisión global de todos los mapas generados fue superior a 85%, el cual es el valor mínimo de precisión sugerido, considerando que es información potencialmente útil en la planificación y gestión de los recursos naturales principalmente en áreas de importancia crítica como zonas de desarrollo y producción de recursos energéticos (Anderson 1976).

En todas las represas se presentó disminución de cobertura arbórea nativa e incremento en agricultura y uso urbano. Estos cambios, se asocian directamente con la construcción de la represa ya que la inundación de zonas agrícolas favorece la tala de nuevas zonas forestales con fines agrícolas (Zhao et al. 2010). Otro factor relacionado con el incremento en la demanda de suelos cultivables es el crecimiento poblacional (Abdi 2012), en este estudio se observó este fenómeno en 2 de las 8 represas analizadas. Esto se debe a que los indicadores de población se consultaron a nivel municipal y cada área de influencia incluye más de un municipio, por lo tanto al consultar este indicador a nivel estatal, efectivamente se observa un aumento poblacional en los 8 sitios.

El cambio de cobertura forestal a agrícola y posteriormente a urbana encontrado en todos los sitios analizados, se considera como una característica del desarrollo económico que modifica componentes de la biodiversidad a través del tiempo, en función de la distribución y disponibilidad de los recursos necesarios para el crecimiento poblacional (Huston 2005). Por sus dimensiones, la remoción de zonas forestales para el desarrollo de actividades agropecuarias actualmente es el principal cambio en los ecosistemas naturales a nivel global (Lambin y Meinfroidt 2010). De manera particular, las selvas del trópico mexicano se consideraban intactas hasta la década de los 40 cuando surgieron los programas de colonización y fomento de las actividades agropecuarias favoreciendo la deforestación a gran escala principalmente en el sureste de México (Challenger y Dirzo 2009).

La construcción de centrales hidroeléctricas en México tuvo su origen a finales del siglo XIX con el aprovechamiento de las aguas del río Batopilas en Chihuahua, desde entonces la construcción de represas con diferentes fines se incrementó de manera exponencial a lo largo del territorio nacional, sin ningún tipo de evaluación (Ramos-Gutiérrez y Montenegro-Fragoso 2010). Esta actividad se ve favorecida por la ubicación geográfica del país, ya que de acuerdo con McCully (2001), el potencial hidroeléctrico a nivel mundial se encuentra actualmente en las regiones tropicales.

REFERENCIAS

- Abdi, A. and Ekasit Kositsakulchai Land Use Change Analysis Using Remote Sensing and Markov Modeling in Fincha Watershed, Ethiopia. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 46: 135 - 149 (2012).
- Aguilar, C. Matínez, E. y Arriaga, L. 2000. Deforestación y fragmentación de ecosistemas: qué tan grave es el problema en México. *CONABIO*. 30:7-11.
- Anderson, E. Transforming tropical rivers: an environmental perspective on hydropower development in Costa Rica. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 16: 679–693 (2006).
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T. and Witmer, R. E., 1976, A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. Geological Survey Professional Paper 964, 28pp.
- Arreguín-Cortés, Felipe I., Murillo-Fernández, Rodrigo, Marengo-Mogollón, Humberto, Inventario nacional de presas Tecnología y Ciencias del Agua [on line] 2013, IV (Septiembre-October) [Accessed 23.07.2017] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531984013>> ISSN 0187-8336.
- Asaeda, T, y Rashid, H. 2012. The impacts of sediment released from dams on downstream sediment bar vegetation. *Journal of Hydrology*. Volumes 430–431, 25–38.
- Assefa K. 1994. Valuing Environmental Quality Changes in Horro-Guduru. Field Survey Report. Neqamte, Ethiopia: The Finnish Forest Research Institute.
- Baran, E., Jantunen, T. and Chong, C.K. 2007. Values of inland fisheries in the Mekong River Basin. Phnom Penh, Cambodia: WorldFish Center.

- Benchimol, M. y Peres, C. 2015. Widespread Forest Vertebrate Extinctions Induced by a Mega Hydroelectric Dam in Lowland Amazonia. PLoS ONE 10(7): e0129818.
- Berga, L. Las presas y el agua: un mecanismo para el desarrollo sostenible. Santo Domingo, República Dominicana: Comisión Internacional de Grandes Presas, 2009.
- CFE (Comisión Federal de Electricidad) 2011. In: Rubio Carriquiriborde, Ignacio, *La estructura de vulnerabilidad y el escenario de un gran desastre. Investigaciones Geográficas (Mx) [online] 2012, (No month).*
- Challenger, A., R. Dirzo et al. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 37-73.
- Chikodzi D., Mutowo G. and Makaudze B Impacts of dam construction on tree species diversity in semi-arid regions: the case of Ruti Dam in Zimbabwe. Greener Journal of Environmental Management and Public Safety. Vol. 2 (1), pp. 016-021.
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) 2005. Gobierno Federal. Índices de Rezago Social.
- Cosson, J. Ringuet, S. Claessens, O. de Massary, J. Dalecky A, Villiers J, Granjon, L. y Pons J. 1999. Ecological changes in recent land-bridge islands in French Guiana with emphasis on vertebrate communities. Biological Conservation; 91:213–222.
- Cruz-Huerta, C., González-Guillén, M. J., Martínez-Trinidad, T., & Escalona-Maurice, M. J. (2015). Modeling land-use change and future deforestation in two spatial scales. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 21 (2), 137–156.

- DOF (Diario Oficial de la Federación). Declaratoria de constitución de las reservas nacionales de energía eléctrica en las aguas del río Balsas (1966); Decreto por el que se modifican los diversos por los que se constituyen reservas de aguas nacionales y se establece la veda en la Región Hidrológica núm. 18 Balsas (marzo, 2011).
- Drew, G. 2014 Mountain Women, Dams, and the Gendered Dimensions of Environmental Protest in the Garhwal Himalaya. *Mountain Research and Development*, 34(3):235-242.
- Fearnside, P.M. 2013. Impacts of Brazil's Madeira River dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Science & Policy*.
- Gaspar-Dillanes, M.T. González-Gallardo, V. y Romero-Beltrán, E. 2013. Presa Lic. Gustavo Díaz Ordaz “Bacurato”, Sinaloa En: *Pesquerías Continentales de México*, Edition: Primera, Chapter: 2, Publisher: Instituto Nacional de Pesca, Editors: Gaspar-Dillanes, M.T. y D. Hernández-Montaño, pp.15-33.
- Gordillo-Ruíz, M, y Castillo-Santiago, M. 2017. Land-use change in the Sabinal river watershed, Chiapas, Mexico. *Esosist. Recur. Agropec.* 4(10):39-49.
- Graham, W.J., 2009. Major U.S. dam failures: their cause, resultant losses, and impact on dam safety programs and engineering practice. In: J.R. Rogers, Ed. *Great rivers history*, 17–19. May 2009, Kansas City, MO. Reston, VA: American Society of Civil Engineers and Proceedings of the history symposium of the world environmental and water resources congress, 52–61.
- Gross, J. E. Nemani, R. R. Turner, W. y Melyon, F. 2006. Remote sensing for the national parks. *Park Science*, 24, 30–36.

- Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., Coops, N. C., & Hobart, G. W. (2015). An integrated Landsat time series protocol for change detection and generation of annual gap-free surface reflectance composites. *Remote Sensing of Environment*, 158, 220-234.
- Huston, M. The three phases of land-use change: implications for biodiversity. *Ecological Applications*, 15(6), 2005, pp. 1864–1878.
- ICOLD (International Commission on Large Dams) 2016. Definition of a Large Dam. http://www.icold-cigb.net/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). Texto para la Elaboración de un Folleto sobre el Parque Nacional Cañón del Sumidero, Chiapas.Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Parques, Reservas y Áreas Ecológicas Protegidas.
- Keiser, J. Caldas de Castro, M. Maltese, M. Bos, R, Tanner, M. Singer, B. y Utzinger, J. Effect of irrigation and large dams on the burden of malaria on a global and regional scale. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 72(4), pp. 392–406.
- Kellogg, C. y Zhou, X. 2014. Impact of the construction of a large dam on riparian vegetation cover at different elevation zones as observed from remotely sensed data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 32 (2014) 19–34.
- Kibret, S. Wilson, G. Ryder, D. Tekie, H. y Petros, B. 2015. The Influence of Dams on Malaria Transmission in Sub-Saharan Africa. *EcoHealth*.
- Lambin, E. y Meyfroidt, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *PNAS* March 1, 2011.vol. 108, no. 9 | 3465–3472.
- Lawler, A. 2002. Dam Threatens Iraqi Ancient Sites. *SCIENCE*. Vol 295.

- Lunetta, R.L., Knight, F.K, Ediriwickrema, J., Lyon, J.G., and Worthy, L.D. (2006). Landcover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 105, 142-154.
- McNally, A., Magee, D., Wolf, A.T., 2009. Hydropower and sustainability: Resilience and vulnerability in China's powersheds. *Journal of Environmental Management* 90 (S3), S286–S293.
- Martínez, M.L., Intralawan, A., Vazquez, G., Perez-Maqueo, O., Sutton, P., Landgrave, R., 2007. The coasts of our world: ecological, economic and social importance. *Ecological Economics* 63 (2–3), 254–272.
- Mas J.F. Pérez-Vega, A. Ghilardi, A. Martínez, S. Loya-Carrillo, J. and Vega, E. A Suite of Tools for Assessing Thematic Map Accuracy. *Geography Journal*. Volume 2014, Article ID 372349, 10 pages.
- McCartney, M. Sullivan, C. y Acreman M. 2001. Ecosystem Impacts of Large Dams. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources and the United Nations Environmental Programme. Background Paper Nr. 2 Prepared for IUCN / UNEP / WCD.
- McCully P. 2001. *Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams*. Zed Books: London.
- Mountrakis, G. Im, J. Ogole, C. Support vector machines in remote sensing: A review. *SPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Norzagaray-Campos, M. García-Gutiérrez, C. Llanes-Cárdenas, O. Troyo-Diéguéz, E. y Muñoz-Sevilla, P. Análisis de la producción agrícola extensiva en Sinaloa: alternativas para el uso sostenible del agua. *Ra Ximhai* Vol. 6. Número 1, enero - abril 2010, pp. 45-50.

- Obour, P. Owusub, K. Agyemanc, E. Ahenkand, A. y Madrid, A. 2015. The impacts of dams on local livelihoods: a study of the Bui Hydroelectric Project in Ghana. *International Journal of Water Resources Development*.
- Olofsson, P. Foody, G. Herold, M. Stehman, S. Woodcock, C. and Wulder, M. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148 (2014) 42–57.
- Palomeque-De la Cruz, Miguel Á., Galindo-Alcántara, Adalberto, Escalona-Maurice, Miguel J., Ruiz-Acosta, Silvia del C., Sánchez-Martínez, Alberto J., Pérez-Sánchez, Eunice, Analysis of land use change in an urban ecosystem in the drainage area of the Grijalva river, Mexico *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* [en línea] 2017, XXIII (Enero-Abril) ISSN 2007-3828.
- Pedraza-Chávez, I. 2013. Proposición con Punto de Acuerdo con relación a la afectaciones del sector pesquero de Cosalá, Sinaloa, generadas por la contaminación de la Presa Presidente José López Portillo, conocida como Presa del Comedero. Oficio No. DGPL-1P2A.-3935. México, D.F.
- Ramos-Gutiérrez, Leonardo de Jesús, Montenegro-Fragoso, Manuel, Las centrales hidroeléctricas en México: pasado, presente y futuro *Tecnología y Ciencias del Agua* [en línea] 2012, III (Abril-Junio)
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit. 2013. México.
- SENER (Secretaría de Energía) 2015. Prospectiva del sector eléctrico 2015-2029. Pp. 136

- S. V. Stehman and R. L. Czaplewski, "Design and analysis for thematic map accuracy assessment: fundamental principles," *Remote Sensing of Environment*, vol. 64, no. 3, pp. 331–344, 1998.
- Tefera, B. y Sterk, G. 2015. Environmental Impact of a Hydropower Dam in Fincha'a Watershed, Ethiopia: Land Use Changes, Erosion Problems, and Soil and Water Conservation Adoption. Sustainable Sloping Lands and Watershed Management Conference.
- Uddin, J. Asaeda, T y Rashid, H. 2014. Large-scale changes of the forestation in river channel below the dams in southern african rivers: assessment using the google earth images. *Polish Journal of Ecology* 62: 607–624.
- © [22-06-2016] WWF (panda.org). Some rights reserved.
http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/water/dams_initiative/
- WCD [World Commission on Dams] 2000. Dams and Development. A New Framework for Decision Making: The Report of the World Commission on Dams. Earthscan Publications, London, England. <http://www.dams.org/report>.
- Yang, S. Zhang, J. y Xu. X. 2007. Influence of the Three Gorges Dam on downstream delivery of sediment and its environmental implications, Yangtze River. *Geophysical Research Letters*, Vol. 34.
- Zhao Qinghe. Shiliang Liu ShikuiDong. Effect of Dam Construction on Spatial-Temporal Change of Land Use: A Case Study of Manwan, Lancang River, Yunnan, China. *Procedia Environmental Sciences* 2 (2010) 852–858.