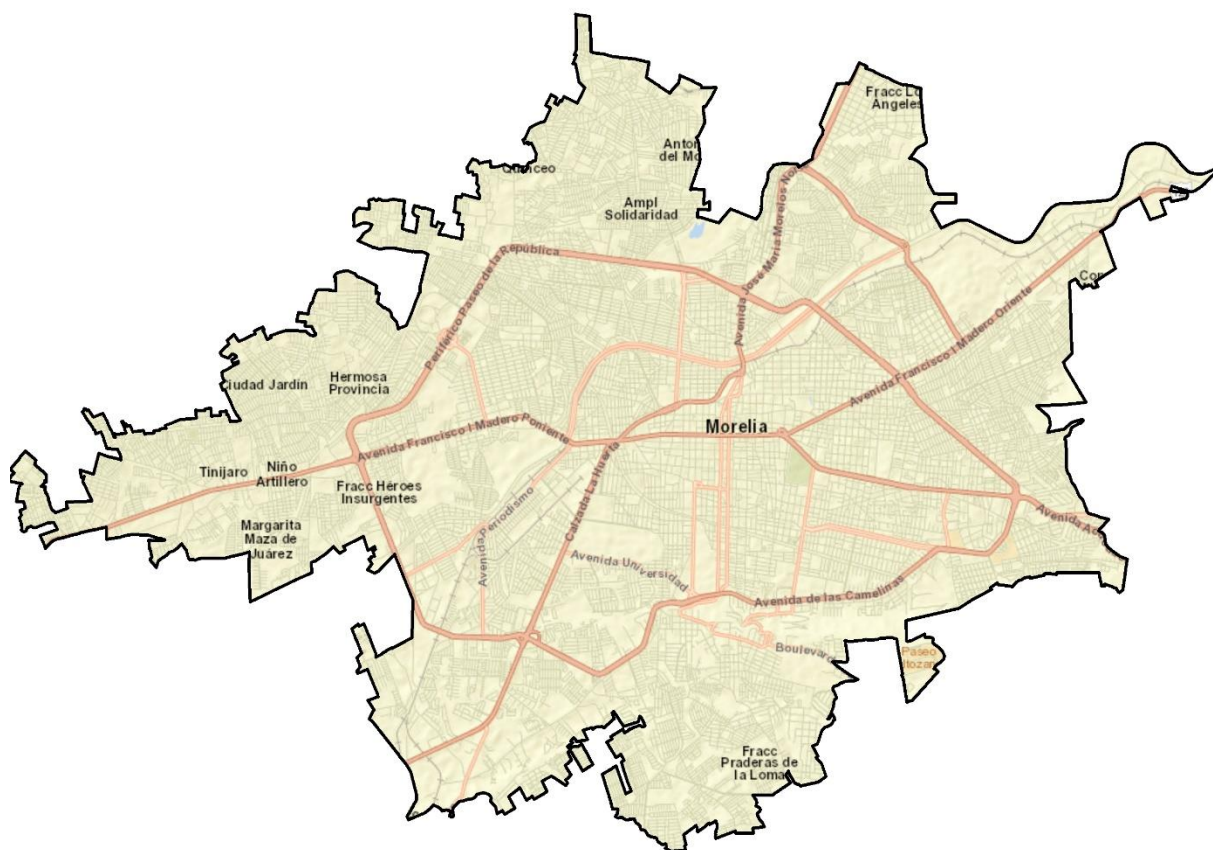


Evaluación y elaboración de mapas de servicios ecosistémicos con enfoque en los paisajes de la ciudad de Morelia y la cuenca de Cuitzeo.



Por encargo de:

giz

Xalapa, Ver., Julio de 2018

Responsable de la investigación y Reporte Técnico:

M. en C. Pierre Mokondoko Delgadillo

Tel.: (045) 228-190-2442

pierre.mokondoko@gmail.com

Elaborado para el proyecto: *Cooperación Internacional entre México y Alemania: Protección del Clima en la Política Urbana de México (CiClim)*”

Tabla de Contenido

1. Presentación.....	3
2. Introducción y Justificación	3
3. Metodología	5
3.1 Delimitación geográfica.....	5
3.2 Distribución espacial y proyección de uso de suelo y cobertura vegetal	6
3.3 Cuantificación y mapeo de los servicios ecosistémicos	8
3.4 Priorización de los servicios ecosistémicos y su relación socio-ecológica	13
4 Resultados	14
4.1 Uso de suelo y cobertura vegetal.....	14
4.2 Cuantificación y mapeo de los servicios ecosistémicos.....	17
4.2.1 Provisión superficial del agua.....	17
4.2.2 Almacenamiento de carbono.....	18
4.2.3 Retención del suelo.....	19
4.2.4 Infiltración de agua.....	22
4.3 Priorización de los servicios ecosistémicos	23
4.3 Áreas de importancia social y ecológica.....	24
5.- Conclusiones	31
6.- Bibliografía.....	32

1. Presentación

Este reporte presenta los resultados del estudio sobre evaluación, mapeo y priorización de cuatro Servicios Ecosistémicos en los paisajes de la Ciudad de Morelia y micro-cuencas de la Cuenca de Cuitzeo, en Michoacán. En esta consultoría se hizo uso de los modelos de provisión superficial del agua, sedimentación y almacenamiento de carbono de la herramienta de modelación espacialmente explícita InVEST (www.naturalcapitalproject.org).

El presente estudio se desarrolló como parte de las actividades del Programa “Cooperación Internacional entre México y Alemania: Protección del Clima en la Política Urbana de México (2017-2021)”, conocido como “CiClim” (Ciudad y Clima). El cuál es implementado por la Cooperación Alemana de Desarrollo (GIZ), la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

1.1. Objetivo del estudio

El objetivo principal del programa es, fortalecer capacidades institucionales y personales para la planeación e implementación de políticas, estrategias y medidas de protección climática en tres componentes temáticos: 1) Desarrollo urbano amigable con el clima, 2) integración de servicios ecosistémicos, y 3) movilidad urbana sustentable.

De acuerdo con los Términos de Referencia del proyecto (PN 14.9046.5-001-04), el presente trabajo tuvo como objetivo: *Cuantificar y mapear la provisión potencial de los servicios ecosistémicos de provisión superficial del agua, retención de sedimentos, infiltración de agua y almacenamiento de carbono en las regiones de León, Morelia, Tlaquepaque, Hermosillo y Mérida.* Así como identificar zonas prioritarias de provisión bajo una perspectiva conceptual del paisaje urbano y su relación a la vulnerabilidad hídrica y social.

2. Introducción y Justificación

En los últimos años el cambio en el uso del suelo y las variaciones en el clima han demostrado ser los principales factores de degradación de los ecosistemas. Dando lugar a las más altas tasas de deforestación registradas en México. Este acelerado deterioro de los recursos

naturales, está causando una pérdida irreversible en la capacidad de los ecosistemas para brindar bienes y servicios (Hansen *et al.* 2013). Los servicios ecosistémicos (SE) se definen como “*aquellas funciones que resultan de las distintas combinaciones de los procesos físicos, químicos y biológicos, que contribuyen al auto-mantenimiento de los ecosistemas*” (de Groot *et al.* 2012). A su vez, las distintas combinaciones de estas funciones resultan en beneficios tangibles e intangibles que sostienen y satisfacen el bienestar de las sociedades humanas (Daily y Matson, 2008).

Con la publicación de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, por sus siglas en inglés) en 2005, se documentó la importancia de los SE sobre el bienestar humano, desarrollo económico y sustentabilidad. Sin embargo, la misma MEA estima que el 62% de los SE analizados, se encuentran ampliamente degradados. Lo que supone, una amenaza inminente para el suministro y flujo continuo de SE, del cual dependen las generaciones futuras. Escenario que permitió la revaloración de los ecosistemas naturales y antropogénicos desde una perspectiva en donde los procesos ecológicos tienen un impacto directo en el desarrollo de modelos económicos y en los procesos de toma de decisiones. En respuesta a esto, empresas privadas, gobiernos e instituciones y actorales locales han incrementado su interés para incorporar este enfoque en la toma de decisiones, principalmente por la pobre caracterización biofísica y económica del flujo de SE a escalas regionales y locales (Chan *et al.*, 2006).

Para entender como los ecosistemas proveen servicios y como su valor económico puede asegurar su conservación (Nelson *et al.*, 2009), recientemente se han desarrollado numerosos métodos y herramientas espacialmente explícitas enfocadas en la cuantificación, mapeo de los diversos SE y en la identificación de sitios con características excepcionales para la conservación de SE (Maass *et al.*, 2005). Además, estas herramientas han presentado evidencia de la relación entre el bienestar humano y la provisión de SE, como apoyo en la generación de políticas públicas y acciones encaminadas al uso sustentable de los ecosistemas. Estas herramientas de modelado van desde el uso de hojas de cálculo en Excel, hasta algoritmos

computacionales cada vez más potentes y softwares complejos que simulan procesos ecológicos en un contexto geográfico.

En este sentido, se ha propuesto el uso de mapas de SE, para representar las condiciones biológicas, físicas y químicas de un territorio que condicionan los patrones de provisión de los SE. Así, el mapeo se convierte en una herramienta útil para la cuantificación y ubicación de las zonas donde los SE son producidos en mayor cantidad; insumos necesarios para comunicar al público, de manera sencilla, información de alta complejidad para la toma de decisiones (Eigenbrod *et al.*, 2008). También, permiten entender las tendencias en el cambio de uso de suelo y su posible impacto sobre la provisión de SE clave. A partir de esta información se puede conciliar la conservación de los ecosistemas, el aprovechamiento sustentable de los SE y una mejor distribución de las actividades productivas. Para apoyar estas estrategias, en este documento se propone la generación de mapas de provisión de SE, los cuáles serán insumos para la priorización de zonas de provisión de SE.

3. Metodología

3.1 Delimitación geográfica

En la delimitación del área de estudio se utilizó como base a las áreas geo-estadísticas urbanas de la ciudad de Morelia. Posteriormente se seleccionaron las subcuencas hidrográficas que coincidieran espacialmente con el conjunto vectorial del municipio de Morelia (INEGI,2010). Mediante la revisión de dicha información, la cuenca de estudio incluyó a la subcuenca de la Laguna de Cuitzeo, con un área de influencia de más de ~4,281.5 ha. Mediante una consulta con expertos de la zona y por objetivos particulares de los actores trabajando en esta región, se decidió que el análisis incluyera también 18 microcuencas ubicadas en la parte baja de la subcuenca (Figura 1).

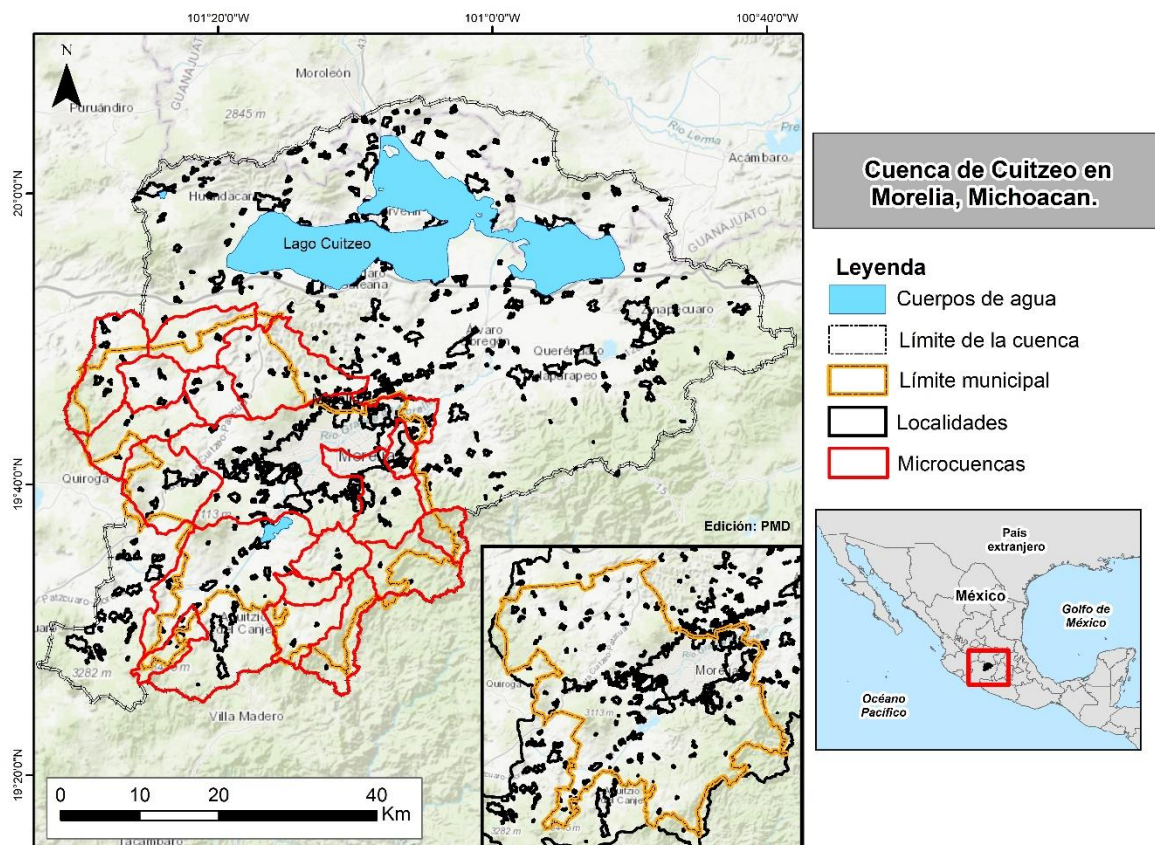


Figura 1.- Ubicación del área de estudio

3.2. Distribución espacial de los usos de suelo y cobertura vegetal

Para la evaluación y proyección de escenarios de cambios en el uso de suelo y cobertura vegetal (LULC, pos sus siglas en inglés), en un futuro cercano (2039), se utilizaron los conjuntos vectoriales generados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para los años 2002 (Serie III) y 2016 (Serie VI), escala 1:250,000. Los cuales están basados en análisis de fotointerpretación de imágenes de satélite Landsat TM8 (seleccionadas para el año 2014) y datos dasométricos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Los cuáles fueron reclasificados en doce categorías para su posterior comparación, siendo estas: bosque de oyamel, bosque de pino encino, bosque de encino-pino, bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña, cuerpos de agua, cultivos agrícolas, pastizal inundable, plantación forestal, selva baja, suelo desnudo y zonas urbanas.

Se realizaron matrices de transición entre las capas de la Serie III (Figura 2) y Serie VI (Figura 3), con el objetivo de conocer cuáles son las tendencias de cambio en el uso de suelo dentro del área de estudio. Con dichas tendencias se generó un escenario futuro de cambios en el uso de suelo para el año 2039.

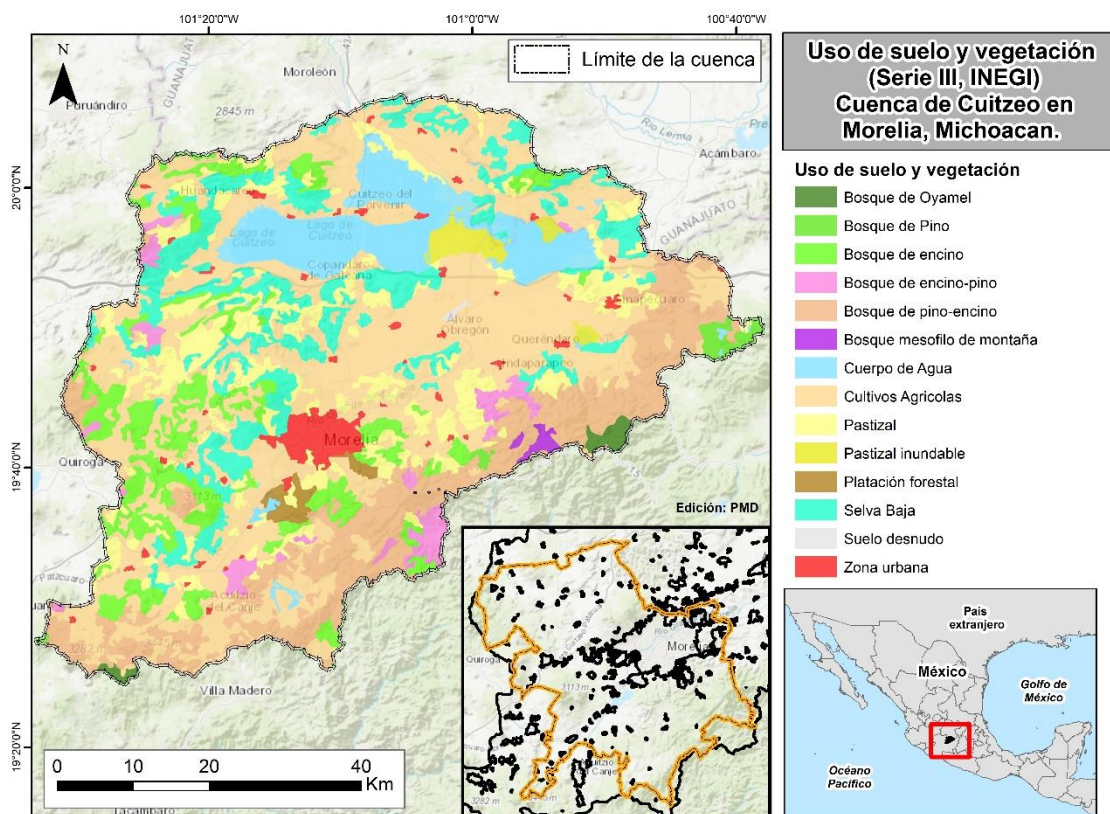


Figura 2.- Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal de INEGI (Serie III)

El escenario se hizo mediante el uso de Cadenas de Markov y Autómatas Celulares, en el software “*Idrisi TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System v18.21*” (<http://www.clarklabs.org/>). Cadenas de Markov, es un método estadístico que permite calcular las probabilidades de cambio en un tiempo determinado a partir de estados precedentes (Paegelow *et al.* 2003). Mientras que los Autómatas Celulares son un método de representación espacial, que se compone de reglas de transición dadas por la influencia de las celdas (equivalente a un pixel en la imagen) colindantes a una celda central. En el caso de las simulaciones realizadas se utilizó el vecino (o filtro) Von Neumann Extendido (5X5),

que viene incluido en el módulo CA_MARKOV de IDRISI como el filtro o configuración pre-determinada.

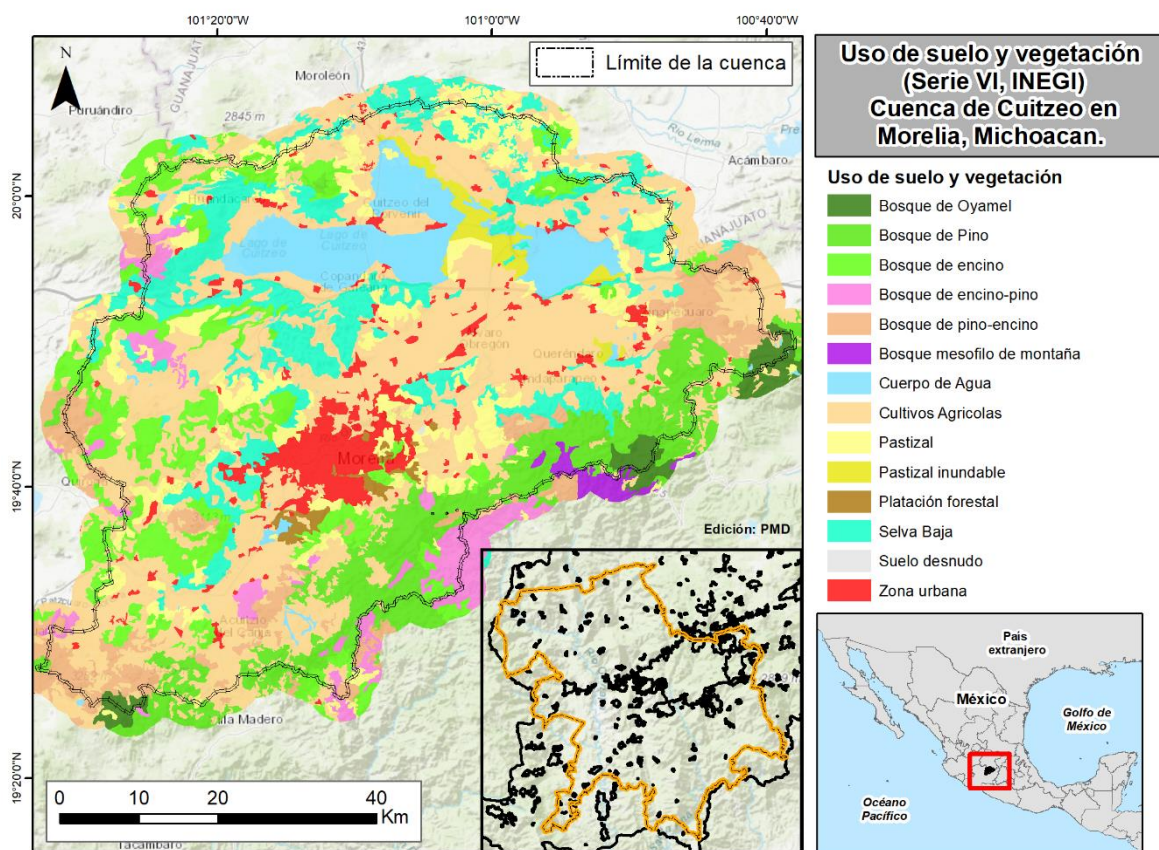


Figura 3.- Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal de INEGI (Serie VI)

3.3. Cuantificación y mapeo de servicios ecosistémicos

Tomando en cuenta los objetivos del estudio, en este trabajo la cuantificación de los SE fue ejecutada mediante la implementación de sub-modelos de la herramienta de modelación espacialmente explícita, InVEST. Desarrollados por el Natural Capital Project de la Universidad de Stanford (Tallis *et al.*, 2010). Los modelos de InVEST, son herramientas bien documentadas que fueron desarrolladas para mapear, evaluar y valorar económicamente diferentes SE. Dichas herramientas tienen el fin de respaldar las decisiones de uso de los recursos naturales (Bai *et al.*, 201). InVEST tiene una ventaja comparativa, al permitir a los

usuarios combinar datos de uso de suelo con información sobre el suministro de SE a diferentes escalas espaciales (Vigerstol *et al.*, 2011).

Los modelos específicos para evaluar la provisión de SE fueron: 1) retención de sedimentos (*sediment retention*), provisión superficial del agua (*water yield*), y almacenamiento de carbono (*carbon storage*). Los modelos de Nivel 1 de InVEST v. 3.3 se parametrizaron utilizando datos biofísicos espaciales y no espaciales de estudios regionales, literatura y bases de datos nacionales, a una resolución espacial de 15 m. Cabe mencionar, que los datos de la región de estudio tuvieron prioridad sobre las fuentes de información más generales. El análisis comprendió muchos pasos intermedios para construir los insumos adecuados para los parámetros de los modelos, los cuales se describen más adelante. La Tabla 1 describe el tipo de insumos utilizados en la parametrización de modelos y sus unidades. Los diferentes conjuntos vectoriales, los mapas de uso de suelo y otras capas de datos relevantes (*raster*), se procesaron en ERDAS 8.7 y ArcGis v.10.3. Toda la información fue sometida a un proceso de re-proyección al Sistema de Referencia Proyectado *Transverse Mercator* – UTM Zona 14 (Elipsoide WGS 1984). A continuación, se proporciona una breve descripción de cada uno de los modelos y el trabajo necesario para la elaboración de insumos.

Provisión superficial del agua: El modelo se basa en una aproximación de la curva de Budyko (Zhang et al 2011) y un modelo de balance hidrológico simplificado. EL cual usa datos biofísicos y climáticos (precipitación promedio anual) para modelar la contribución potencial de cada zona del paisaje en la escorrentía y provisión anual del agua (mm y^{-1}). Este análisis puede demostrar cómo los cambios en el uso del suelo, o cada píxel del paisaje, pueden afectar anualmente la provisión superficial del agua, escorrentía y evapotranspiración. Además, simplifica el movimiento del agua al combinar los flujos de aguas subterráneas y superficiales, bajo el supuesto de que las aguas subterráneas siguen la misma trayectoria que el flujo superficial para alcanzar el cauce de un río. Finalmente, para el cálculo final, los valores por píxel de provisión superficial del agua se suman para proporcionar un rendimiento total a nivel de cuencas hidrográficas.

Tabla 1.- Fuentes de datos e insumos utilizados en el mapeo de SE en InVEST.

Sub-modelo	Variables requeridas	Mapa final
Provisión de agua	Uso de suelo y cobertura vegetal (LULC) Profundidad del suelo (mm) Precipitación promedio anual (mm) Evapotranspiración de referencia (mm) Contenido volumétrico de agua (PAW [0-1]) Profundidad de raíces (mm) Coeficiente de evapotranspiración Conjunto vectorial de la Red Hidrológica (Cuencas) Coeficiente de estacionalidad (0-30)	Provisión de agua promedio anual (mm año ⁻¹)
Retención de suelo	Modelo digital del terreno, DEM (m) Uso de suelo y cobertura vegetal (LULC) Erosividad de la lluvia (R) (Mj * mm / (ha * hr)) Erodabilidad del suelo (Ton * ha * hr / (MJ* ha * mm)) Conjunto vectorial de la Red Hidrológica (Cuencas) Factores de conservación del suelo y prácticas de manejo	Promedio anual erosión del suelo (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹) Promedio anual de retención del suelo (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)
Almacenamiento de carbono	Biomasa aérea (Mg ha ⁻¹) Biomasa en el suelo (Mg ha ⁻¹) Carbono orgánico en el suelo (Mg ha ⁻¹) Biomasa muerta (Mg ha ⁻¹) LULC actual (2014)	Mapa de carbono almacenado (Mg ha ⁻¹)
Secuestro de carbono	LULC futuro (2039)	Cambios en el almacenamiento de C (Mg ha ⁻¹)

El modelo de provisión superficial del agua fue realizado con los siguientes insumos de información:

- Capa de usos de suelo y cobertura vegetal (formato *raster*): conjuntos vectoriales generados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para los años 2002 (Serie III) y 2014 (Serie VI).
- Capa de restricción del crecimiento de raíces (formato *raster*): es la profundidad promedio (95% de la profundidad del suelo) obtenida del conjunto de datos vectoriales edafológicos y alfanuméricos de los perfiles de suelo, SERIE II de INEGI (2012). En consecuencia, los datos fueron interpolados mediante el método *Kriging* en el *Spatial Analysis* de ArcGis v.10.3 y corregido con un mapa de pendientes del

área de estudio (resolución de 15 m) basado en el Modelo de Evaluación Continua de INEGI con datos a 15 metros.

- Precipitación promedio anual (formato *raster*): Es una capa basada las series de tiempo de las normales climatológicas de los últimos 40 años y la base de datos ERIC III, para 34 estaciones, comprendidas en la zona de estudio. Los cuales fueron interpolados mediante el método IDW para proyectar el promedio de precipitación anual en toda la zona de estudio (15 metros de resolución). Libres para su descarga en <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mich>. En el Anexo A, se encuentra la lista de estaciones utilizada en este estudio.
- Contenido volumétrico de agua disponible para las plantas (formato *raster*): corresponde a la fracción de agua que puede ser almacenada en el perfil de suelo y que está disponible para las plantas. El cual fue calculado usando los valores de textura del suelo (porcentajes de limos, arenas y arcillas), obtenidos de la base de perfiles de suelo, SERIE II de INEGI (2012) y calculado, mediante la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente. Los cuales fueron calculados haciendo uso del algoritmo computacional de Saxton, *Soil Water Characteristics* (<https://www.ars.usda.gov>).
- Evapotranspiración potencial (Formato *raster*): se calculó de acuerdo a la ecuación modificada de Hargreaves, basado en los datos de precipitación y las temperaturas promedio, máxima y mínima de las series de tiempo de las normales climatológicas.
- Mapa de cuencas (formato *shape*): se utilizó la información de los conjuntos vectoriales de la Red Hidrológica de INEGI, escala 1:50,000, edición 2.0 (RH32Aa).

Almacenamiento de carbono y secuestro de carbono: este modelo es una simplificación del ciclo del carbono y genera un mapa de carbono total almacenado en los diferentes reservorios (Mg C ha^{-1}). El mapa resultante representa la suma de los valores de carbono estimados para la biomasa aérea y subterránea, carbono orgánico en el suelo y carbono en la materia muerta (hojarasca combinada con otra materia orgánica muerta). Esta información se obtuvo a través de tablas de coeficientes para cada una de las 12 clases de

LULC, de diferentes fuentes literarias nacionales. Dado que el insumo principal es el mapa de uso de suelo y cobertura vegetal, es posible usar mapas de diferentes años al modelo para calcular cambios en el almacenamiento de carbono, usando una comparación pixel-a-pixel. Por ello, para el cálculo en el secuestro de carbono (pérdidas y ganancias en el carbono almacenado en los cinco reservorios) se utilizó para proyección de cambio en el uso del suelo de el 2039.

Retención de suelo: este modelo permite estimar la capacidad que tienen el terreno para retener los suelos y prevenir la erosión, mediante datos morfológicos de suelo, clima, vegetación y prácticas de uso del suelo (Tallis *et al.*, 2010). Primero calcula la erosión potencial para diferentes usos de suelo y exportación de sedimentos para cada píxel del paisaje ($\text{Ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). La retención de suelo se calcula haciendo una diferencia entre la pérdida potencial de suelo y el porcentaje de erosión retenido por la vegetación.

- Erodabilidad del suelo (formato raster a 15 metros de resolución): es un factor que representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado por el agua de lluvia. Para el cálculo de este factor se hizo uso de la información de las propiedades físicas del suelo (textura y estructura del suelo) del conjunto nacional de datos vectoriales edafológicos y alfanuméricos Serie II. Se hizo uso del método propuesto por Ismail y Ravichandran (2008) y la FAO.
- Erosividad de la lluvia (factor raster): este factor fue calculado con los datos de las estaciones climatológicas y mediante el uso de la ecuación modificada del método de Fournier para obtener el índice de erosividad de los datos mensuales.
- Modelo digital de elevación (formato raster): Se creó una capa en formato raster del Modelo de Evaluación Continua de INEGI con datos a 15 metros.

Infiltración del agua: Los factores que afectan a la capacidad de infiltración del suelo (K_s) son: el tiempo de los ciclos de riego, contenido inicial de humedad, la conductividad hidráulica y las condiciones de la superficie. Dependiendo de las texturas del suelo se alcanzarán diferentes valores de infiltración, y las curvas serán a su vez distintas

según se traten de suelos pesados como los arcillosos o ligeros como los arenosos. Por tal motivo, para el cálculo de infiltración se generó un modelo de pedotransferencia, basado en análisis estadísticos, utilizaron datos de textura (porcentaje de arcilla y arenas), el contenido de materia orgánica, contenido volumétrico del agua en el suelo y el modelo “Soil Water Characteristics Saxton Model”. Al finalizar a partir de los puntos de muestreo se hizo una interpolación Kriging de los valores K_{fs} (mm hr^{-1}) en toda el área de estudio.

Importancia social: entender la relación entre la sociedad y los servicios ecosistémicos es de suma importancia para poder realizar planes de manejo en los que ambos salgan beneficiados. Las regiones que presentan alta biodiversidad en México están ubicadas dentro de territorios indígenas cuyas comunidades generalmente se encuentran en condiciones de marginación (Tetreault y Lucio-Lopez 2011). Para poder entender la relación se utilizaron los índices de marginación por localidad de CONAPO (2010), y se hizo un análisis de superposición espacial con las zonas identificadas como prioritarias en la provisión de servicios ecosistémicos.

3.4.- Priorización de los servicios ecosistémicos y su relación socio-ecológica

La priorización espacial busca acotar las zonas de intervención, de modo que sea posible concentrar los esfuerzos en las áreas donde se ha determinado que se obtendrá el mayor beneficio. La priorización de los servicios ecosistémicos se realizó mediante un análisis de concordancia y correlación espacial. Para la modelización espacial, los mapas de provisión de SE fueron estandarizados, ya que se encontraban en diversas unidades métricas y disímiles. La función de superposición ponderada se usa con mayor frecuencia para el análisis de idoneidad del sitio, que identifica las ubicaciones más preferidas para un fenómeno específico (Baidya et al 2014). En el presente estudio se usaron cinco categorías (baja, media y alta importancia) como escala común. Posteriormente todos los mapas fueron integrados en la herramienta Fuzzi Overlay, para crear mapas de provisión de múltiples SE. Esta metodología ha dado resultados satisfactorios en términos de idoneidad de sitio (Baidya et al., 2014). Por último, se realizó una correlación espacial entre las zonas prioritarias para los servicios ecosistémicos y el nivel de marginación de la región.

4 Resultados

4.1 Uso de suelo y cobertura vegetal

En el periodo de 2002- (Serie III, INEGI) 2016 (Serie VI, INEGI), de la superficie total del área de estudio, se perdieron alrededor de ~29,582.71 ha de superficie forestal (Tabla 2). Sin embargo, la reforestación fue levemente superior llegando a las 32,596.71 ha. Por lo anterior, durante el periodo evaluado (14 años), se encontró una ganancia neta del 1.3% en la cobertura forestal, lo cual coincide con lo obtenido en el Ordenamiento ecológico territorial de la Cuenca de Lago Cuitzeo (2006). En este trabajo se encontró que entre los años 1975-2000, existió una recuperación del 3.1% de la cobertura forestal en la cuenca de Cuitzeo. En la Tabla 3, se puede observar la matriz de transición para los años 2002-2016. Además, ilustra que las tres principales causas del proceso de deforestación son: las transiciones de bosque de pino-encino a cultivos agrícolas (6,959.46 ha), de selva baja a cultivos agrícolas (4,734.39 ha) y de selva baja a pastizales (4,575.78 ha).

En cuanto a la recuperación de las zonas forestal, se puede encontrar que las tres principales causas fueron: las transiciones de cultivos agrícolas a selva baja (8,630.59 ha), de cultivos agrícolas a bosque de encino (7,542.08 ha) y de pastizales a selva baja (4,743.39 ha). Posteriormente al desarrollo de la matriz de transición para los años 2002-2014, se procedió a calcular la matriz de probabilidad de transición para el año 2039. Se observó que la probabilidad de transición de una categoría de no bosque a bosque fue de 0.35, mientras que la de bosque a no bosque fue de 0.32, por lo que se calculó que la cobertura forestal se recuperará en un 2.95%. En la Tabla 3 y Figura 4 se pueden observar las probabilidades de cambio y la proyección de cambios en el uso de suelo/cobertura vegetal para el 2039. Insumos utilizados para los cálculos de secuestro de carbono y cambios en la provisión superficial del agua, para el año 2039.

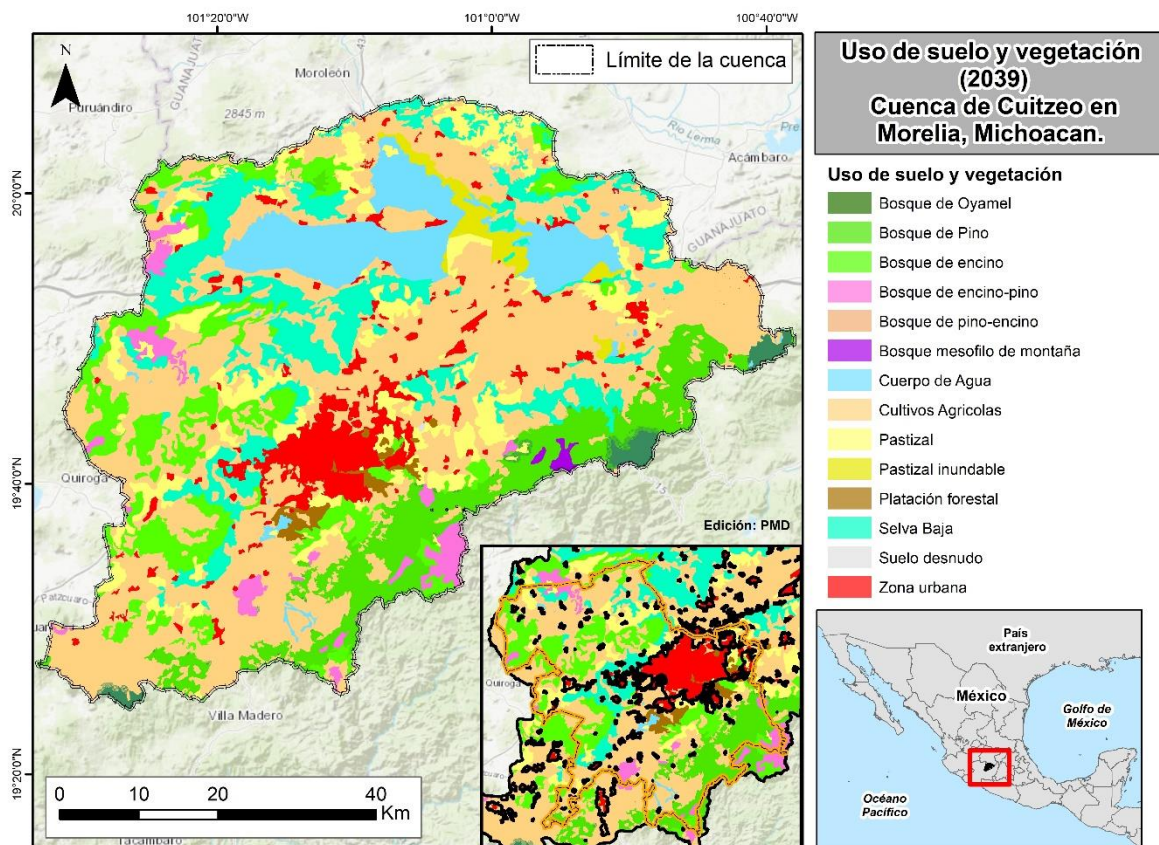


Figura 4.- Proyección de cambio en el uso de suelo y cobertura vegetal (2039)

Tabla 2. Superficie (ha) de los diferentes usos de suelo y cobertura vegetal

INEGI series de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal		
LULC	Serie III (2002)	Serie VI (2016)
Bosque de encino	49,124.10	51,608.52
Bosque de encino-pino	18,327.89	18,839.66
Bosque de Oyamel	5,520.51	8,956.82
Bosque de Pino	8,206.39	52,836.88
Bosque de pino-encino	86,322.63	33,657.56
Bosque mesófilo de montaña	1,905.93	3,565.60
Cuerpo de Agua	36,616.40	34,240.53
Cultivos Agrícolas	195,720.79	187,304.83
Pastizal	55,963.48	47,436.26
Pastizal inundable	5,201.09	6,787.67
Plantación forestal	3,093.90	3,207.83
Selva Baja	56,658.02	59,500.48
Suelo desnudo	287.58	93.64
Zona urbana	9,879.55	24,791.96

Tabla 3. Matriz de transición (2002-2014) y probabilidad de transición entre 2014-2039

Serie III. 2002		Serie VI. 2014 (Transiciones)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Bosque de encino	35,872	1,149		295	1,840		0	3,909	3,848		703	958		549
2	Bosque de encino-pino	244	14,538	0	312	1,088		1	784	102			1,257		0
3	Bosque de Oyamel		2	4,780	468	2	176	6	61	26					
4	Bosque de Pino	1		3,342	51,763	753		15	870	92					1
5	Bosque de pino-encino	972	1,463	577	45,609	15,641	1,984	1	6,959	982			1,079		
6	Bosque mesófilo de montaña			1	587	6	1,277		36						
7	Cuerpo de Agua	0		34	3	25		32,658	439	303	3,140	1	7		6
8	Cultivos Agrícolas	7,542	912	109	1,761	2,709	129	583	149,781	12,924	405	121	8,631	32	10,081
9	Pastizal	3,426	737	114	669	530		29	18,073	23,425	1,084	195	4,743	62	2,875
10	Pastizal inundable							908	1,209	974	2,022		88		0
11	Plantación forestal	360						20	268	160		2,105			181
12	Selva Baja	3,184	38			0		18	4,734	4,576	137		42,727		1,243
13	Suelo desnudo								20						267
14	Zona urbana	8	0		0	7		1	160	22		83	10		9,588
Serie III. 2002		Serie VI. 2014 (Probabilidad de cambio)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Bosque de encino	0.44	0.05		0.04	0.05			0.19	0.12		0.03	0.05		0.03
2	Bosque de encino-pino	0.03	0.53	0.01	0.07	0.09			0.09	0.02			0.15		
3	Bosque de Oyamel			0.66	0.18	0.01	0.08		0.05	0.01					
4	Bosque de Pino	0.01		0.55	0.18	0.06	0.02		0.15	0.02			0.01		0.01
5	Bosque de pino-encino	0.02	0.02	0.27	0.35	0.11	0.02		0.17	0.02			0.02		
6	Bosque mesófilo de montaña			0.15	0.37	0.04	0.36		0.07	0.01					
7	Cuerpo de Agua							0.68	0.07	0.05	0.18				
8	Cultivos Agrícolas	0.08	0.01	0.01	0.03	0.02		0.01	0.51	0.11	0.01		0.10		0.12
9	Pastizal	0.10	0.02	0.01	0.02	0.02		0.01	0.44	0.15	0.02	0.01	0.13		0.10
10	Pastizal inundable	0.02				0.01		0.24	0.36	0.17	0.11		0.05		0.02
11	Plantación forestal	0.20				0.01		0.01	0.18	0.08		0.37	0.01		0.12
12	Selva Baja	0.12				0.01			0.20	0.13	0.01		0.48		0.06
13	Suelo desnudo								0.07	0.01		0.01		0.00	0.90
14	Zona urbana	0.01							0.11	0.02		0.05	0.01		0.80

4.2. Cuantificación y mapeo de los servicios ecosistémicos

4.2.1 Provisión superficial del agua

La provisión superficial del agua es considerada como uno de los SE de mayor importancia, debido al enfoque hidrológico por parte del esquema nacional de Pago por Servicios Ambientales. El modelo generó diversos resultados biofísicos que permiten hacer comparaciones sobre la distribución del agua en el paisaje en mm/año. EL rango de provisión se encontró entre los 570.3 y los 1,316 mm año⁻¹ (Figura 5). La Tabla 4, reporta los valores de volumen promedio anual estimados, donde la subcuenca de Cuitzeo contó con un volumen producido de agua 3,539 millones de m³ al año, con un promedio de 784.06 mm x m².

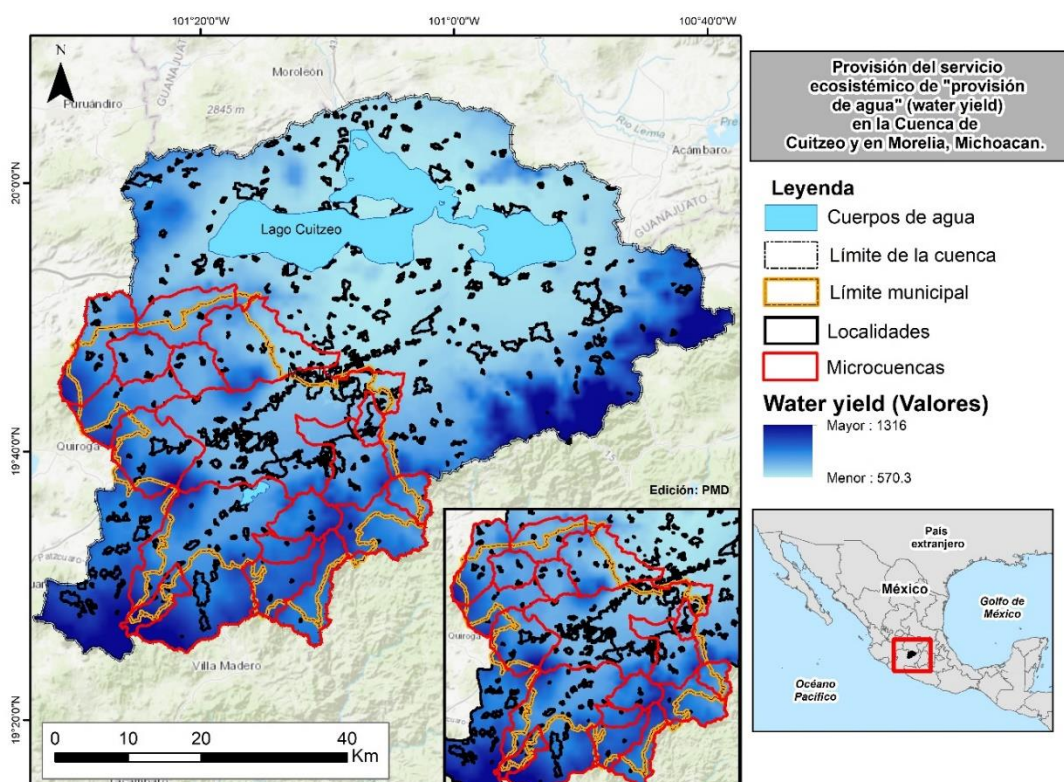


Figura 5.- Valores de “producción superficial del agua” (water yield) en las subcuenca y microcuencas dentro del área de estudio

Las cuencas de Atécuaro, San Andrés y Tirio, tuvieron una mayor capacidad en la provisión superficial del agua, llegando alrededor de 1,000 mm/año. Sin embargo, debido a su extensión, las cuencas con mayor producción de agua fueron Río grande, Lagunillas y San

Marcos. Cabe resaltar que el modelo no presenta resultados sobre el comportamiento de los caudales.

Tabla 4.- Valores de “producción superficial del agua” en las subcuenca y microcuencas dentro del área de estudio

Cuenca	Superficie (Ha)	Precipitación media anual	Evapotranspiración potencial (mm)	Volumen de "producción de agua" (m³)
Subcuenca				
Cuitzeo	428,145.41	870.35	45.10	3,539,279,267.74
Microcuenca				
Santa Inés	6,687.99	844.13	48.72	53,142,113.49
El Fresnito	4,577.26	858.29	51.12	36,944,838.19
Teremendo Jasso	7,247.74	928.46	55.76	63,243,022.18
Río Grande	33,382.20	850.89	35.17	272,245,508.78
Cápula	9,801.75	957.37	53.61	88,571,490.51
Río Chiquito	8,757.65	957.64	42.69	80,089,259.68
Umécuaro	5,733.57	1,100.89	60.46	59,644,636.48
Atécuaro	4,346.51	1,065.40	56.44	43,853,767.24
Lagunillas	30,390.50	1,031.79	55.11	296,778,073.69
Los Pirules	1,855.58	859.63	28.91	15,405,593.81
San Andrés	3,118.56	1,135.16	62.27	33,445,030.10
Paredones (Ichaqueo)	7,401.08	993.24	53.52	69,536,523.06
Santas Marías	5,996.05	1,053.22	56.28	59,748,645.38
Barranca de agua	2,842.37	926.64	50.25	24,869,215.10
Teremendo	8,913.45	896.97	53.07	75,164,824.14
San Marcos	13,219.00	840.70	45.48	105,035,812.51
Tirio	2,355.96	1,058.18	56.70	23,596,257.14
Tiristarán	3,992.81	873.01	47.54	32,960,360.73

4.2.2 Almacenamiento de carbono

Los diferentes usos de suelo y cobertura vegetal de la subcuenca de Cuitzeo pueden almacenar un total de 104,734,517.5 Ton de Carbono, desagregados en los diferentes reservorios (Figura 5). La proyección de futuro cercano de 2039 indicó poca variación en el secuestro de carbono, mostrando valores similares a los reportados en 2014. El cual llegó a las 104,368,186.85 toneladas de carbono. Las 18 microcuencas tuvieron una capacidad de almacenamiento de 35,044,306.13 toneladas de C.

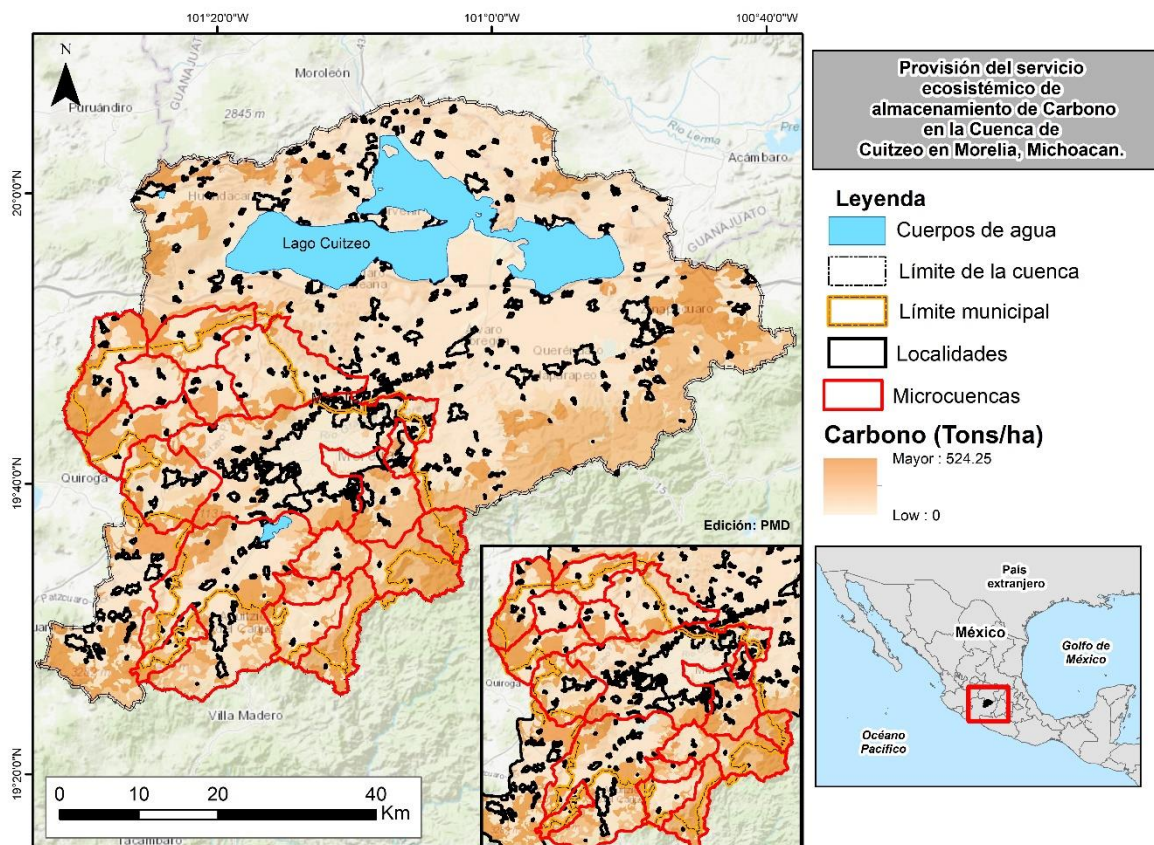


Figura 6.- Almacenamiento de carbono en el área de estudio

4.2.3 Retención del suelo

El modelo permitió determinar la capacidad que tiene el paisaje en retener sedimentos. Por lo tanto, la vegetación ribereña y la de las laderas, jugó un papel muy importante en este modelo. Los valores altos se ubicaron en las cercanías de los cauces, los cuales fueron influenciados principalmente por las pendientes, los usos de suelo y la cobertura vegetal. Dada la naturaleza del modelo, hay un aporte de las partes altas de las cuencas hacia las partes bajas. Los valores de capacidad de retención oscilaron de 0 a las $651.8 \text{ Ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, llegando a retener un total de 54,181,460.37 Toneladas por año (Figura 7). Sin embargo, se observó una pérdida potencial del suelo de 1,522,655.63 de toneladas por año (Figura 8), los cuales pueden alcanzar los cauces de los ríos en eventos fuertes de lluvia. Las microcuencas Río Chiquito y San Marcos a pesar de ser microcuencas pequeñas presentan una gran

exportación de sedimentos (71,389 y 80,352.91 toneladas/año), mientras que las microcuencas de Santa Inés y Barranca de agua (702 y 1,170 toneladas/año) son las que presentan los menor valores de perdida potencial de suelo (Tabla 5).

Tabla 5.- Cantidad de sedimentos retenidos y exportados en las microcuencas dentro del área de estudio

Microcuenca	Superficie (Ha)	Sedimentos retenidos (toneladas)	Sedimentos exportados (toneladas)
Santa Inés	6,687.99	12,109.72	702.42
El Fresnito	4,577.26	281,414.46	35,106.45
Teremendo Jasso	7,247.74	499,672.72	29,450.77
Río Grande	33,382.20	2,105,869.50	74,267.09
Cápula	9,801.75	1,159,405.38	48,809.54
Río Chiquito	8,757.65	1,735,284.22	71,389.68
Umécuaro	5,733.57	459,817.58	36,899.27
Atécuaro	4,346.51	677,323.49	23,499.13
Lagunillas	30,390.50	3,001,836.75	130,064.10
Los Pirules	1,855.58	474,559.32	14,105.65
San Andrés	3,118.56	607,509.80	21,995.85
Paredones (Ichaqueo)	7,401.08	2,669,666.75	6,402.15
Santas Marías	5,996.05	1,224,300.53	10,320.09
Barranca de agua	2,842.37	1,325,196.89	1,170.43
Teremendo	8,913.45	1,409,603.44	15,613.66
San Marcos	13,219.00	1,327,726.58	80,352.91
Tirio	2,355.96	280,746.31	11,826.96
Tiristarán	3,992.81	148,789.11	13,183.76

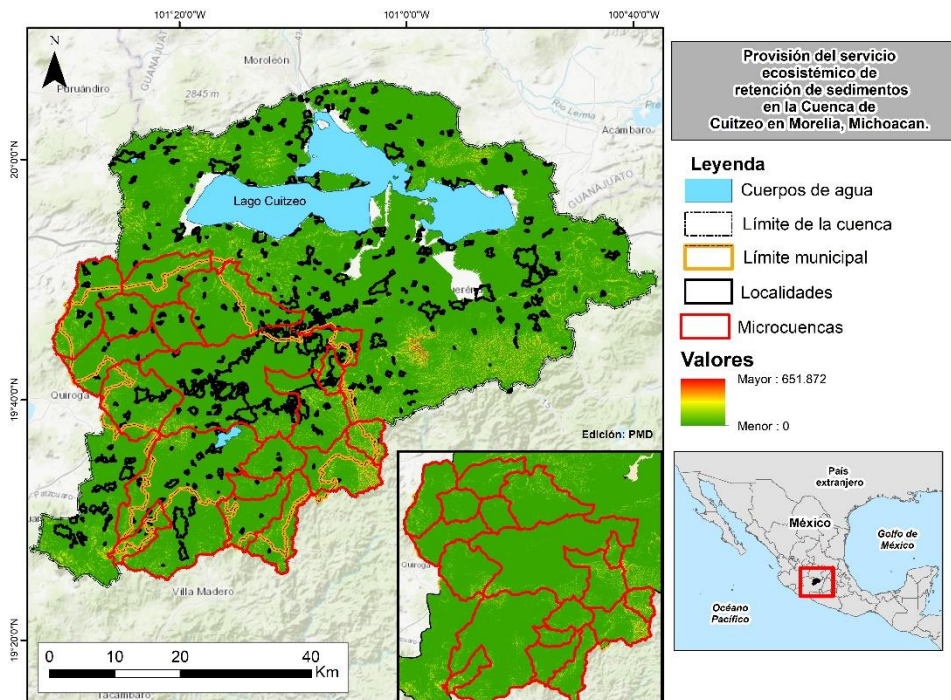


Figura 7.- Retención de sedimentos en el área de estudio

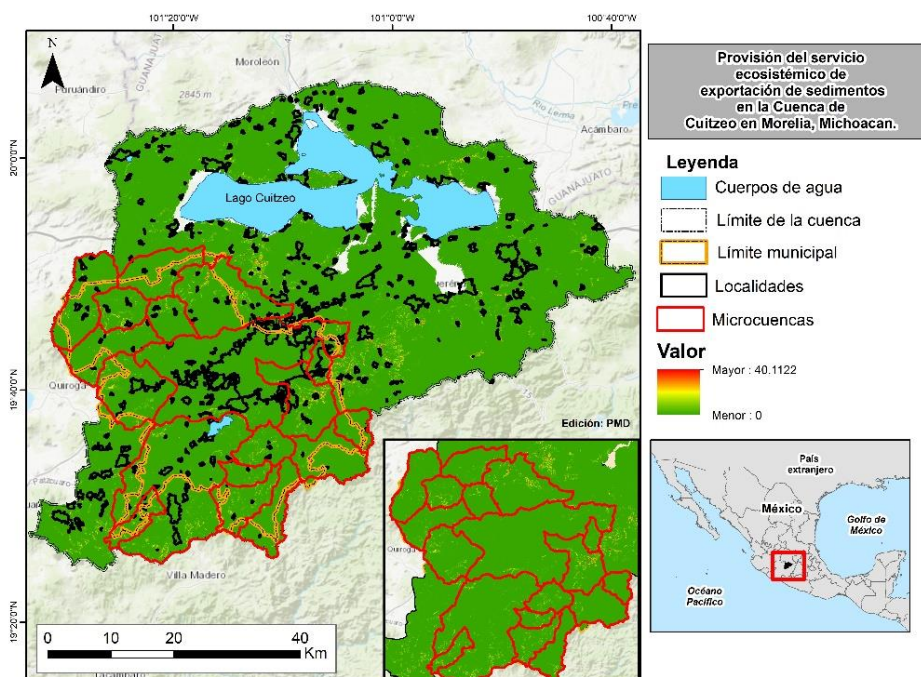


Figura 8.- Exportación de sedimentos en el área de estudio

4.2.4 Infiltración de agua

Las características del suelo y la cubierta vegetal, son factores clave en la variación de la conductividad hidráulica. Los resultados indican que existe un componente importante de variación en los valores de conductividad hidráulica en la Cuenca. Se obtuvieron valores de infiltración o conductividad hidráulica (mm) que fueron de los 120 a 332 mm/hr, en condiciones de saturación de agua en el suelo. La cuenca de San Andrés presentó los valores máximos de infiltración, llegando a los 332 mm/hr. Mientras que la microcuenca de San Marcos presentó los valores más bajos. En general los sitios con mayor cubierta vegetal presentaron los valores más altos de infiltración.

Tabla 6.- Valores de infiltración en la subcuenca y microcuencas dentro del área de estudio

Nombre	Superficie (Ha)	Infiltración (mm)	
		Valor mínimo	Valor máximo
Subcuenca			
Cuitzeo	428,145.41	120.86	332.13
Microcuenca			
Santa Inés	6,687.99	186.62	264.94
El Fresnito	4,577.26	199.74	265.05
Teremendo Jasso	7,247.74	204.07	318.11
Río Grande	33,382.20	149.72	316.06
Cápula	9,801.75	194.95	311.98
Río Chiquito	8,757.65	175.42	286.52
Umécuaro	5,733.57	244.43	292.15
Atécuaro	4,346.51	219.21	297.15
Lagunillas	30,390.50	181.77	331.25
Los Pirules	1,855.58	167.73	221.36
San Andrés	3,118.56	227.85	332.13
Paredones (Ichaqueo)	7,401.08	157.71	298.91
Santas Marías	5,996.05	214.58	300.48
Barranca de agua	2,842.37	163.14	285.71
Teremendo	8,913.45	183.48	318.93
San Marcos	13,219.00	148.94	281.36
Tirio	2,355.96	221.98	275.40
Tiristarán	3,992.81	189.36	277.27

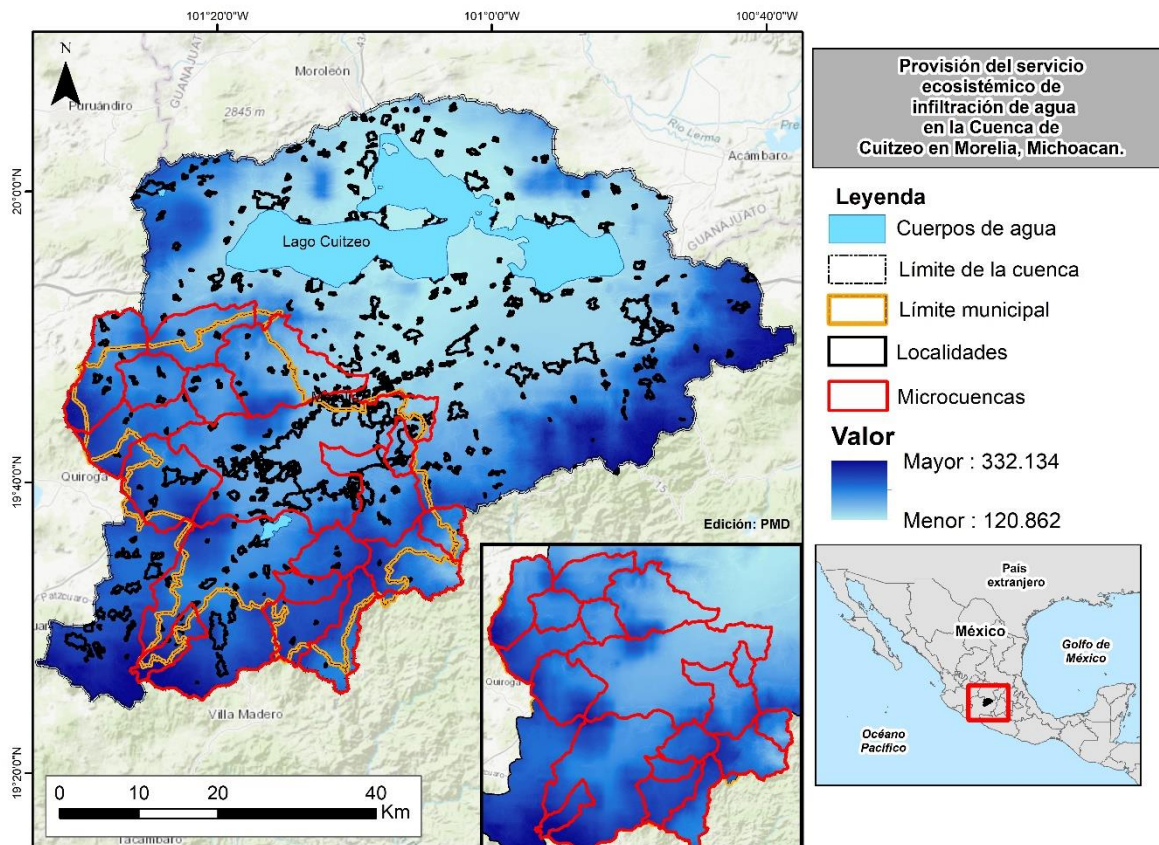


Figura 9.- Infiltración del agua dentro del área de estudio

4.3 Priorización de los servicios ecosistémicos

El mapa resultante de los análisis de concordancia espacial de servicios ecosistémicos fue clasificado en cinco categorías para resaltar su valor de priorización. Se encontró que cerca del 50% de la superficie de la subcuenca se encuentra en la categoría de muy baja priorización, mientras que cerca del 30% se encuentra dentro de las categorías de media a muy alta (Tabla 7). La Figura 10 muestra que las subcuencas con valores más altos de priorización se encuentra en la parte sur y sureste de la zona de estudio.

Tabla 7.- Superficies de las cinco categorías de priorización de los servicios ecosistémicos

Categoría	Superficie (Ha)	%
Muy baja	203,909.71	47.63
Baja	104,262.30	24.35
Media	72,547.54	16.94
Alta	28,539.86	6.67
Muy alta	18,886.01	4.41

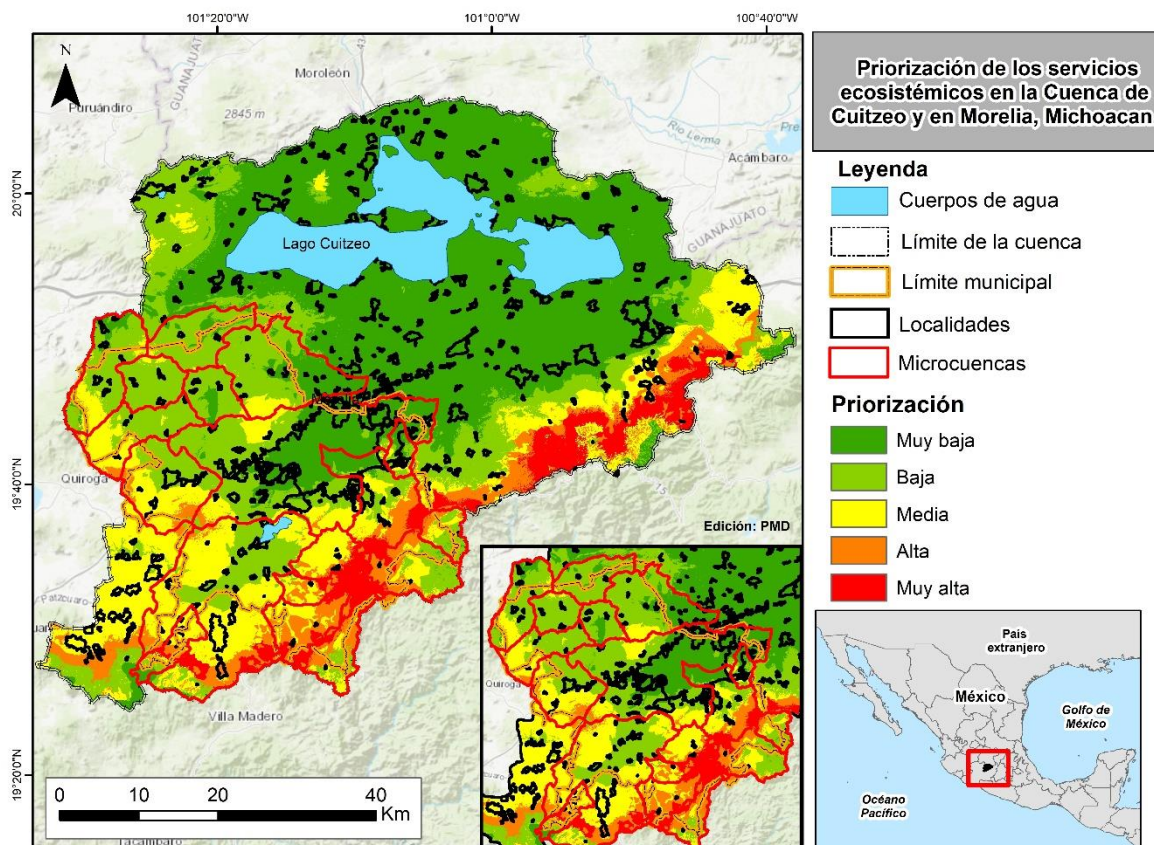
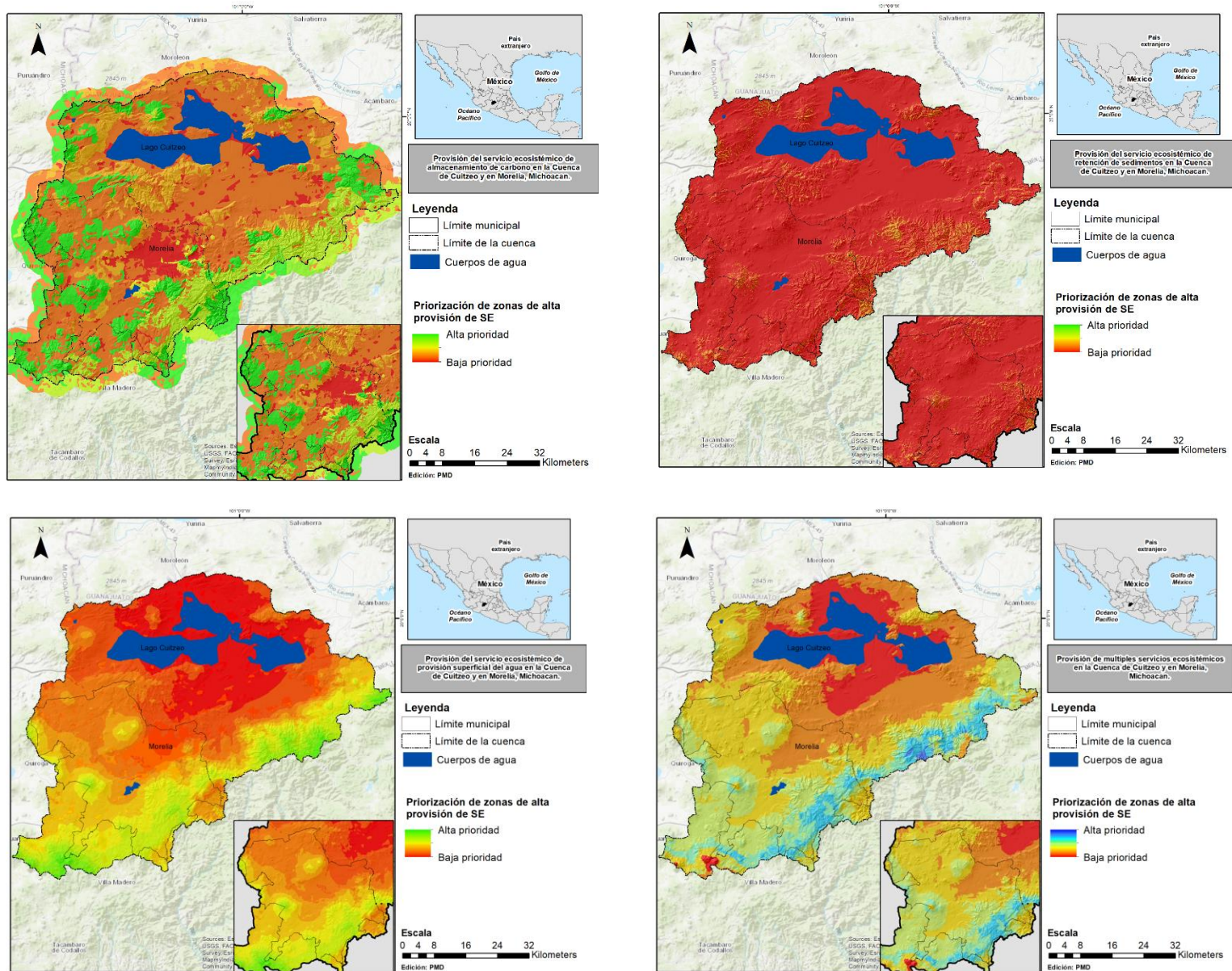


Figura 10.- Áreas de priorización de los servicios ecosistémicos

Figura 11.- Áreas de priorización de los servicios ecosistémicos evaluados



4.4 Áreas de importancia social y ecológica

De acuerdo a los datos de la CONAPO (2010), se encontraron 839 localidades dentro de la subcuenca de Cuitzeo, de las cuáles 170 localidades no cumplieron con los criterios para realizar la evaluación de marginación, 66 localidades se encuentran en la categoría de marginación baja, 42 en baja, 120 en medio, 392 en alta y 49 en muy alto (Figuras 12 y 13)

En la Tabla 8 se reporta la relación de las localidades entre los niveles de marginación y su superposición con las zonas de importancia de SE. Se encontró que 418 localidades se ubicaron en zonas de muy baja importancia para los SE, 206 en zonas de baja prioridad, 132 en media, 60 en alta y 23 en zonas con muy alta importancia para los servicios ecosistémicos.

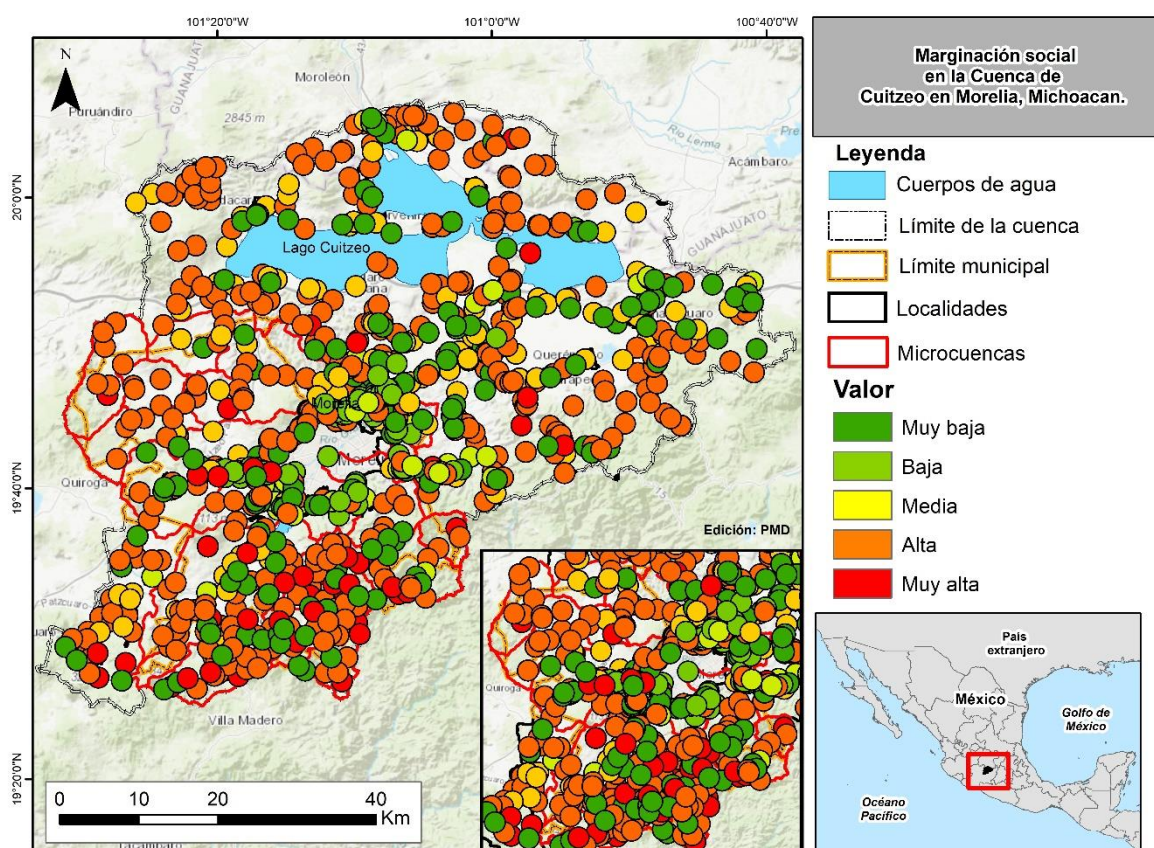


Figura 12.- Grados de marginación de las localidades dentro del área de estudio

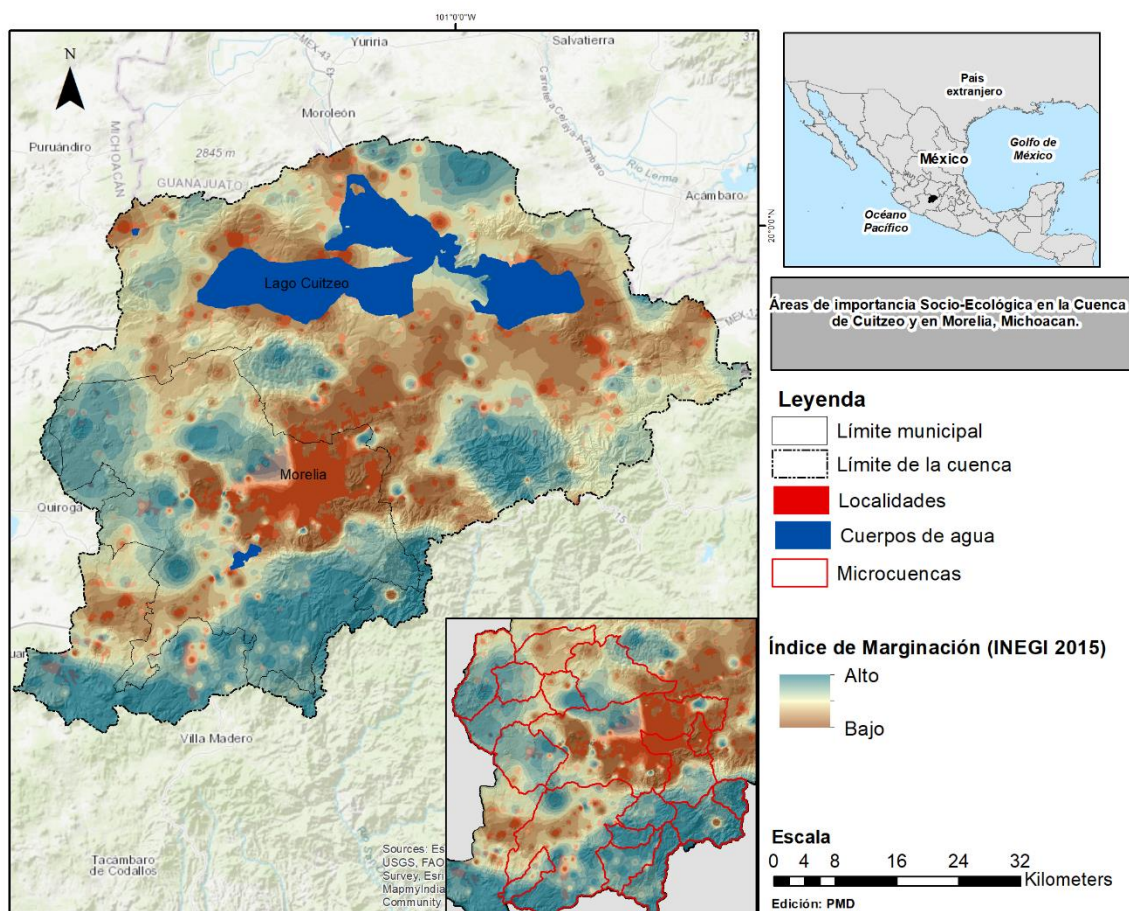


Figura 13.- Áreas de importancia Socio-Ambiental

Tabla 8- Nivel de marginación y priorización de SE en las localidades (CONAPO, 2010) ubicadas dentro de la subcuenca del Cuitzeo

Estado	Municipio	Localidad	Población total	Nivel marginación	Priorización SE
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	El Moral	1	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	La Ortiga	1	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Rancho Viejo	4	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Las Tinajas (La Tinaja)	10	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	El Salto	7	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Puerto de Celaya	6	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Agua Zarca	2	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	El Alacrán	5	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Planchapón (Peñas de San Pedro)	16	No aplica	Alta

Michoacán de Ocampo	Morelia	Huertitas	7	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	El Reparó	4	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	El Renóval	1	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Pátzcuaro	El Tigre (Rincón de Catácuaro)	12	No aplica	Alta
Michoacán de Ocampo	Zinápécuaro	La Parra (El Naranjo)	31	Medio	Alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	El Auxilio (Los Tanques)	65	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Las Canoas	50	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Cúztaro (Cúzaro)	664	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Huajumbo	210	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Páramo	225	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Paso del Muerto	36	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	La Huizata	56	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Charo	Pitorreal (Pino Real)	204	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Hidalgo	El Tren	112	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Huiramba	Las Tablas	582	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	La Yerbabuena	30	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	Los Cimientos	80	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Chihuerio	579	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Hojas Anchas	74	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Ichaqueo	213	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Loma Caliente	182	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Loma Puerto del Tigre (Loma del Tigre)	29	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Nieves	332	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Ojo de Agua	14	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	La Artesa	48	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Las Palomas	39	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Pueblo Viejo	14	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	San Miguel Coapa	177	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	La Ceja	10	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	El Agua Escondida	45	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	El Laurelito (La Izama)	131	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Ojo de Agua (Escorpión Potrerito)	24	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Palo Amarillo	15	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	El Tejocote (La Cortina)	80	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Pátzcuaro	El Refugio	555	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Queréndaro	San Miguel las Cuevas	153	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Queréndaro	Ojo de Agua Chico (Ojo de Agua Chiquito)	28	Alto	Alta

Michoacán de Ocampo	Queréndaro	Ojo de Agua Grande	105	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Queréndaro	Tiradores (San Antonio Tiradores)	347	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Tzitzio	Piedras de Lumbre	47	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	San José Carpintero	346	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Zinapécuaro	Taiméo el Chico (La Yerbabuena)	442	Alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Cruz Gorda	9	Muy alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	El Varal	80	Muy alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	La Vinata	56	Muy alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	Curimeo	28	Muy alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Madero	Coronillas	25	Muy alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Parritas	27	Muy alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Puentecillas (Puentecitas)	71	Muy alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Pátzcuaro	La Noria	98	Muy alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Tzitzio	Los Potreros	20	Muy alto	Alta
Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	El Zurumutal	3	No aplica	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Madero	La Pitahaya	4	No aplica	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Madero	La Pera	3	No aplica	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Puerto la Sosa	4	No aplica	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	La Esperanza	4	No aplica	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Ejido Torrecillas	1	No aplica	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Queréndaro	La Huerta de las Manzanas	2	No aplica	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	Las Cruces	35	Medio	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	El Paredón	24	Alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Rosa de Castilla	52	Alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Acuitzio	Loma del Pastor	19	Alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	Tinguaragues	23	Alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	Las Estacas	57	Alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Puerto del Madroño	104	Alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	El Laurel	15	Alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	La Cieneguita (La Ciénega)	93	Alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Queréndaro	Real de Otzumatlán	197	Alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Queréndaro	El Jazmín del Rincón	12	Alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	Las Pitahayas	85	Muy alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Indaparapeo	Jorio	42	Muy alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Curimeo	20	Muy alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	El Carretero	17	Muy alto	Muy alta
Michoacán de Ocampo	Morelia	Los Capulines	11	Muy alto	Muy alta

De acuerdo a UNIATMOS del Centro de Ciencias de la Atmosfera Universidad Nacional Autónoma de México, en el Quinto reporte de evaluación del IPCC sobre cambio climático (5AR) se presentarán nuevos escenarios regionales. Para conocer los posibles cambios en la provisión superficial del agua, ocasionados por el cambio climático, se incorporó el modelo (MGC) de ENSAMBLEREA RCP4.5 de futuro cercano (2039), junto con el escenario de cambios en el uso del suelo (2039). Insertamos los datos climáticos del modelo de cambio climático y usos de suelo en InVEST para conseguir nuevos escenarios que ayudarán a identificar las zonas de riesgo hídrico asociados a escenarios futuros de cambio en el uso del suelo. Los resultados muestran, una baja considerable en la provisión superficial del agua, resultado de la reducción en el promedio de precipitación anual y los incrementos en la temperatura y evapotranspiración dentro de la zona de estudio (Figura 14).

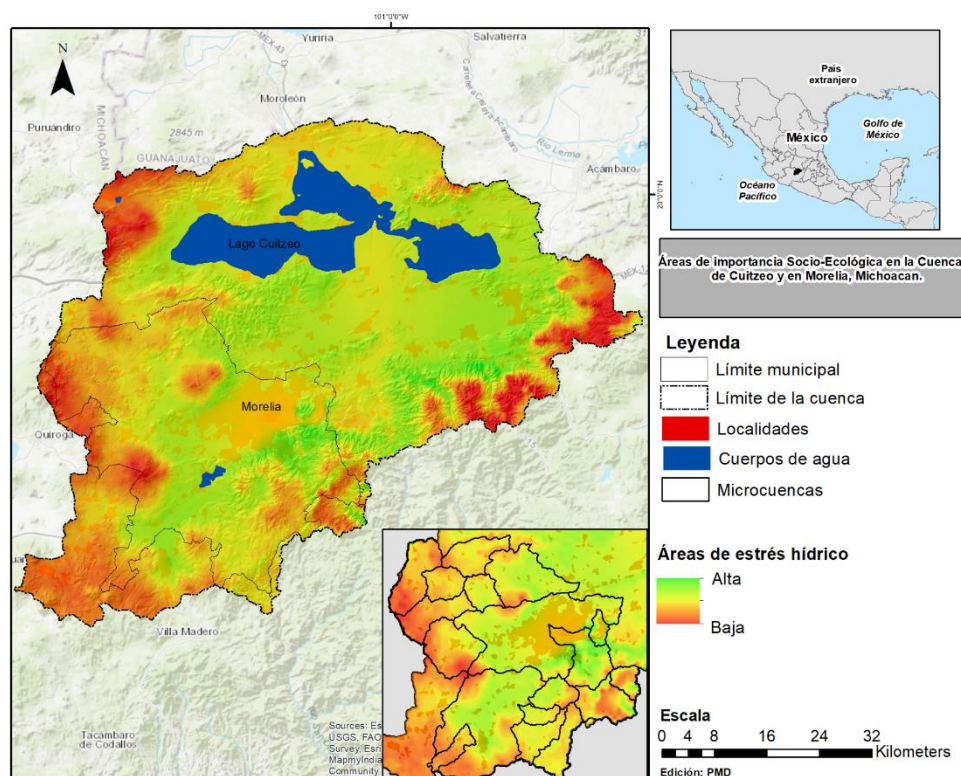


Figura 14.- Proyecciones de zonas de riesgo hídrico al 2039

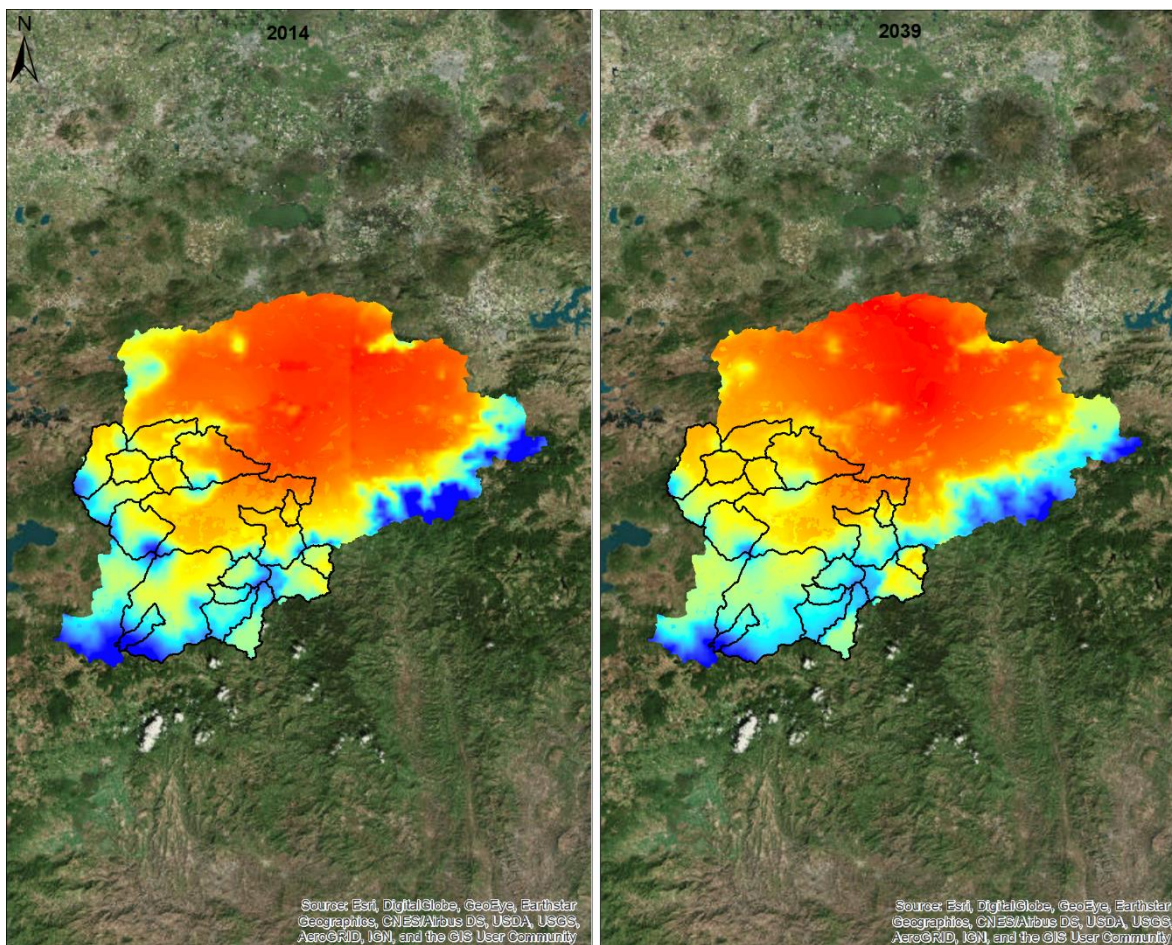


Figura 15.- Provisión superficial del agua en el año 2014 y cambios en la provisión de servicios para el 2039.

5.- Conclusiones

1. El mapeo de los servicios ecosistémicos es una herramienta útil y precisa que permite determinar de una manera adecuada zonas importantes de provisión de servicios ecosistémicos.
2. La subcuenca de Cuitzeo ha sufrido un proceso de deforestación y reforestación similares en las últimas décadas.
3. La provisión de los servicios ecosistémicos se da principalmente en las cadenas montañosas de la parte baja de la subcuenca.
4. Es importante el desarrollo de actividades sustentables en zonas prioritarias de media a muy alta, con el objetivo de no perder zonas importantes en la provisión de los servicios ecosistémicos.
5. Existe una correlación entre las zonas con marginación alta y zonas prioritarias para los servicios ecosistémicos, lo cual hace imperativo que las zonas con marginación alta puedan asumir un papel central en la conservación de los servicios ecosistémicos. De igual forma, se debe destacar la importancia de conocimientos, creencias y prácticas de los pueblos útiles para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad.

6.- Bibliografía

- Baidya, P., et al. (2014) Effectiveness of Fuzzy Overlay Function for Multi-Criteria Spatial Modeling—A Case Study on Preparation of Land Resources Map for Mawsynram Block of East Khasi Hills District of Meghalaya, India. *Journal of Geographic Information System*, 6, 605-612. <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2014.66050>
- Clark Labs, 2015. Terrset. GIS software package, Clark University
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A. A., Tyukavina, A., ... & Kommareddy, A. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *science*, 342(6160), 850-853.
- Maass, J. M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G. C., Mooney, H. A., Ehrlich, P., ... & Martínez-Yrizar, A. (2005). Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and society*, 10(1).
- Millennium ecosystem assessment. (MEA) *Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*, Published by World Resources Institute, Washington, DC.
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D., ... & Lonsdorf, E. (2009). Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 4-11.
- Paegelow, M., Olmedo, M. C., & Toribio, J. M. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *GeoFocus*, (3), 22-44.
- Tallis, H., Levin, P. S., Ruckelshaus, M., Lester, S. E., McLeod, K. L., Fluharty, D. L., & Halpern, B. S. (2010). The many faces of ecosystem-based management: making the process work today in real places. *Marine Policy*, 34(2), 340-348.
- Tetreault, D. V., López, L., & Federico, C. (2011). Diversidad biocultural en el estado de Jalisco: Pueblos indígenas y regiones de alto valor biológico. *Espiral (Guadalajara)*, 18(51), 165-199.
- Vigerstol, K. L., & Aukema, J. E. (2011). A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of environmental management*, 92(10), 2403-2409.

Zhang, S., Li, P., Yang, X., Wang, Z., & Chen, X. (2011). Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize. *Soil and Tillage Research*, 112(1), 92-97.