



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS



MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

**IDENTIFICACIÓN DE SITIOS PARA LA CONSERVACIÓN EN EL
CENTRO DE POBLACIÓN DE ENSENADA**

TESIS

Que presenta:

CARLOS IVÁN SALINAS ESPINOSA

Como requisito para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

DIRECTOR DE TESIS

BERNARDINO RICARDO EATON GONZÁLEZ

Ensenada, B.C, México. Agosto de 2014



Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ciencias
Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas



**“Identificación de sitios para la conservación en el
Centro de Población de Ensenada”**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

Carlos Iván Salinas Espinosa

APROBADA POR:

M.C. Bernardino Ricardo Eaton González
Director de tesis

Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera
Sinodal
Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal
Sinodal

AGOSTO DE 2014

ÍTACA (LA META)

Cuando emprendas tu viaje a Ítaca
pide que el camino sea largo,
lleno de aventuras, lleno de experiencias.
No temas a los lestrigones ni a los cíclopes
ni al colérico Poseidón,
seres tales jamás hallarás en tu camino,
si tu pensar es elevado, si selecta
es la emoción que toca tu espíritu y tu cuerpo.
Ni a los lestrigones ni a los cíclopes
ni al salvaje Poseidón encontrarás,
si no los llevas dentro de tu alma,
si no los yergue tu alma ante ti.

Pide que el camino sea largo.
Que muchas sean las mañanas de verano
en que llegues -¡con qué placer y alegría!-
a puertos nunca vistos antes.
Detente en los emporios de Fenicia
y hazte con hermosas mercancías,
nácar y coral, ámbar y ébano
y toda suerte de perfumes sensuales,
cuantos más abundantes perfumes sensuales puedas.
Ve a muchas ciudades egipcias
a aprender, a aprender de sus sabios.

Ten siempre a Ítaca en tu mente.
Llegar allí es tu destino.
Mas no apresures nunca el viaje.
Mejor que dure muchos años
y atracar, viejo ya, en la isla,
enriquecido de cuanto ganaste en el camino
sin aguantar a que Ítaca te enriquezca.

Ítaca te brindó tan hermoso viaje.
Sin ella no habrías emprendido el camino.
Pero no tiene ya nada que darte.

Aunque la halles pobre, Ítaca no te ha engañado.
Así, sabio como te has vuelto, con tanta experiencia,
entenderás ya qué significan las Ítacas.

Constantino Kavafis (1911).

AGRADECIMIENTOS

Sin duda alguna aunque para algunos la maestría y la tesis resultan tediosos, para mí no lo fueron, y aunque con altibajos, lo disfrute enormemente. Llegue con muchas metas y objetivos, creo que se cumplieron, pues el aprendizaje fue grande. Son muchas las personas e instituciones a las cuales debo de agradecer. De antemano una disculpa si alguien se me olvida, es difícil por el espacio poner a todos los que te ayudaron.

Primeramente agradecer a CONACYT por la beca de manutención otorgada durante la maestría, así como la beca mixta de movilidad al extranjero. Espero en algún momento poder retribuir el gran esfuerzo realizado por la gente, que pagando sus impuestos hace posible la obtención de estos beneficios. Después a la UABC por abrirme sus puertas, creo que es una gran institución académica opacada solo por la burocracia administrativa. Que también me permitió por su presupuesto la asistencia a dos congresos que fueron importantes en mi formación.

Al "sensei" Ricardo Eaton, por su asesoría dentro y fuera de la tesis, no solo fuiste mi director de tesis sino que te convertiste en un buen amigo, que siempre estuvo ahí cuando lo necesite, para decirme lo que era adecuado hacer. Aumentaste mi interés, así como el conocimiento previo en el grandioso y fascinante mundo de los SIG. Y aunque algunos no les guste el estilo "ácido" que tienes(o tenemos), trabaje muy agusto, espero haber llenado las expectativas y corresponder al esfuerzo que realizaste en la asesoría para este trabajo.

Agradecer al resto de mi comité de revisión Claudia Leyva, que siempre nos transmitió su energía y optimismo así como su experiencia. A la profa Ileana Espejel Carbajal, su contribución al trabajo fue amplia y sus comentarios realizados fueron de mucha ayuda durante la realización del trabajo y aunque muchas veces no coincidíamos en ideas esto enriqueció el trabajo. Ambas por su apoyo en la parte administrativa fueron importantísimos en la conclusión del trabajo y obtención del título. No solo en eso sino también en la formación adquirida dentro y fuera de las aulas. Debo de admitir que si no hice las observaciones requeridas fue debido a mi natural terquedad.

También un agradecimiento especial a mis profesores con los que tuve la oportunidad de tomar clase por sus enseñanzas y accesibilidad (con sus contadas y autoritarias excepciones). Agradecer a la maestra Evarista, la maestra vecina Paty Aceves, el profe Riemman, Aldo Guevara y los que se me olviden. Así como a mis compañeros de maestría a los 15, pero en especial a Mike, Flor, Gabi y Marta Lisett (aunque me saque canas verdes), Miriam, Eunice y al señor

abogangster el Franco. Aunque a veces los hice enojar creo que la convivencia fue buena y muy gratificante. Así también al joven ensenadense Marco García, muchos de tus sabios consejos fueron de utilidad.

Agradecer también a las instituciones que me albergaron durante breves momentos en estos últimos 2 años, al CIGA-UNAM y al Centro de Sensoramiento Remoto de la Universidad Federal de Minas Gerais en Brasil. Parte de esta tesis se construyó con el conocimiento adquirido en estas instituciones. En especial a. Britaldo Soares Filho y William Lelles, así como al personal del CSR, por las facilidades brindadas durante la estancia en Belo Horizonte, Brasil. Así como a la UABC una gran institución empañada solo por sus trabas administrativas.

Un reconocimiento especial a los que me brindaron su voto de confianza para venir desde, muy, muy muy lejano a estudiar mi maestría y me motivaron a continuar en un posgrado.

Por último y no menos importante, agradecer a mi familia, papá y mamá aunque de lejos siempre estuvieron apoyándome en lo que les fue posible e incluso un poco más. Espero cumplir sus expectativas, al menos les puedo decir que si algo no se me puede reclamar es ser haragán como ustedes me lo enseñaron. A mis hermanas por las latas de siempre. Y a los tres biólogos que siempre estuvieron al pendiente de cómo estaba todo Vicente, Miguel y Alejandro, el empujón inicial fue de mucha ayuda y sin ustedes no habría podido estar en la maestría.

Gracias a todos y a todas por hacer posible subir este pequeño escalón. Ya que: *Yo no jugaba solo.*

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	4
ANTECEDENTES	11
OBJETIVO	14
OBJETIVOS PARTICULARES	14
CAPITULO 1.	15
Cambio de uso del suelo en Ensenada, Baja California: Un acercamiento a los procesos de deforestación.	15
RESUMEN.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
MÉTODO	22
Delimitación de la zona de estudio.....	22
Características de la zona de estudio	22
Análisis de CUS	24
Proceso en software.....	26
Detección e interpretación del cambio.....	27
Calculo de tasas de cambio	28
Análisis de los procesos de cambio	28
RESULTADOS	29
Diferencia entre periodos.....	29
Procesos de CUS.....	31
DISCUSIÓN.....	33
BIBLIOGRAFÍA.....	35
CAPITULO 2.	40
Modelo tendencial de deforestación en Ensenada, Baja California. Los procesos de deforestación vistos a través del tiempo.	40
RESUMEN.....	40
INTRODUCCIÓN.....	41
MÉTODO	45
Matrices de transición	48
Pesos de evidencia.....	49
Autómatas celulares (AC)	49
Consideraciones y fases del proceso modelado	50

Calibración	51
Rangos	52
Simulación	52
Validación.....	53
RESULTADOS	56
Uso del suelo año 1993	56
Uso del suelo año 2009	57
Principales cambios 1993 y 2009.....	58
Matrices de transición anual y múltiple	60
Calculo de rangos.....	61
Pesos de evidencia.....	62
Validación del modelo	64
Escenario tendencial 2025	65
DISCUSIÓN.....	67
BIBLIOGRAFÍA.....	69
CAPITULO 3.	75
Fragmentación de paisaje ante procesos históricos de cambio de uso del suelo ...	75
RESUMEN.....	75
INTRODUCCIÓN.....	76
MÉTODO	79
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	80
BIBLIOGRAFÍA.....	86
CAPITULO 4.	88
Identificación de sitios para la conservación con base en los procesos de deforestación en Ensenada, Baja California.....	88
RESUMEN.....	88
INTRODUCCIÓN.....	89
MÉTODO	96
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	99
BIBLIOGRAFIA.....	102
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES.....	110

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 . Zona de estudio.....	7
Figura 2. Uso del suelo año 2009. Etiquetas utilizadas.....	114
Figura 3. Procesos de cambio de uso del suelo.....	115
Figura 4. Mapas de validación real 2012.	116
Figura 5. Uso del suelo año 1993.....	117
Figura 6. Uso del suelo año 2009.....	118
Figura 7. Mapas de validación simulado hasta el 2012.....	119
Figura 8. Modelo proyectivo año 2025.	120

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Etiqueta original series de INEGI y equivalencia	25
Cuadro 2 . Extensión de las coberturas, estado y diferencia en los periodos de estudio.....	30
Cuadro 3. Matriz de Markov. La diagonal indica la probabilidad de permanencia entre clases.....	31
Cuadro 4. Tasa de cambio anual por categoría de cobertura.....	32
Cuadro 5. Ejemplo de matriz de transición de paso simple.....	48
Cuadro 6. Criterios utilizados en patcher y expander	53
Cuadro 7. Extensión por categoría en 1993.....	56
Cuadro 8. Extensión por categoría en 2009	57
Cuadro 9. Cambios en extensión por categoría en los periodos de estudio.....	59
Cuadro 10. Cambios en extensión por categoría en los periodos de estudio.....	60
Cuadro 11. Transiciones empleadas en el modelado.	61
Cuadro 12. Variables con mayor peso para cada transición	63
Cuadro 13. Extensión por categoría y periodo de estudio	65
Cuadro 14.Categorías de AP sugeridas por la IUCN y su equivalencia para cada país.	92
Cuadro 15.Categoría y numero de AP por categoría en México.....	93
Cuadro 16.AP terrestres en Baja California.	95
Cuadro 17. Ejemplos de selección de sitios con base en procesos de cambio de uso del suelo.	98

RESUMEN

Debido al uso indiscriminado de la diversidad, se ubica a México como el noveno país con tasas de deforestación en el mundo. Esto ocasiona grandes problemas a la biodiversidad. A la par de esta degradación se han creado Áreas Naturales Protegidas para mitigar lo anterior. Aunque estas áreas han sido creadas en lugares que tienen una baja accesibilidad a los posibles usuarios de la población. Este trabajo identifica sitios para la conservación, en el Centro de Población de Ensenada(CPE), con base en las dinámicas de cambio de uso del suelo (CUS) a través del tiempo incorporando un modelo proyectivo realizado hacia el año 2025 mediante software de modelado ambiental(DINAMICA EGO). Utilizando herramientas de un sistema de información geográfico. Y como insumos las series de uso del suelo y vegetación de INEGI. El trabajo se encuentra estructurado en cuatro capítulos a manera de artículos de investigación.

El capítulo 1 es un análisis sobre CUS en el periodo 1993-2025 en el cual a pesar de que el 95% de la zona de estudio se muestra sin cambios, implica un aumento de 130% en la mancha urbana, y una pérdida de vegetación natural de más de 5400 hectáreas. A pesar de esto las tasas de pérdida de vegetación anual, se ubicaron por debajo de las tasas de cambio nacionales, aunque por encima de las tasas de la península en general.

El capítulo 2 desarrolla un modelo proyectivo de deforestación en el cual se simula con base en las categorías de uso de suelo de 1993 y 2009, hacia el año 2025. Los resultados indican que de seguir las tendencias en la zona se seguiría perdiendo vegetación en la zona y la extensión de la mancha urbana aumentaría

en 340% (alrededor de 14,000 hectáreas), respecto al periodo de 1993. Así como la agricultura aumentaría un 1.5% que son más de 1500 hectáreas. Así como una pérdida de más de 11000 hectáreas de vegetación natural. La validación de este modelo fue óptima, con un 0.98 de acuerdo a la prueba estadística realizada y los valores sugeridos por los autores.

El capítulo 3 analiza fragmentación de paisaje, tanto de coberturas naturales como antrópicas. Esto se realizó en tres tiempos diferentes 1993, 2009 y el modelo proyectivo realizado para el año 2025. En el cual se encontró que el chaparral es el menos fragmentado de todas las categorías, contrario al matorral costero, que es el más fragmentado. A través del tiempo la fragmentación de la zona en general, así como de las coberturas antrópicas disminuyó por lo que se concluye que estas no fueron agregándose a manera de fragmentos, sino que se fueron agregando a la extensión de cada categoría de manera envolvente.

El capítulo final identifica sitios para la conservación, basándose en los sitios que no cambian en el tiempo. Se realizó una superposición de los tres tiempos 1993, 2009 y 2025, en los cuales los sitios que no cambiaban con una extensión mayor a un kilómetro cuadrado se seleccionaron y propusieron para su conservación. Fueron seis sitios seleccionados, los cuales son el 81% de la zona de estudio los cuales son en su mayoría chaparral.

Los sitios para la conservación identificados pueden anexarse al sistema de áreas protectoras identificado previamente por los autores y que fue tomado en cuenta por el IMIP como subcentros de servicios ambientales en el plan municipal de

desarrollo. Se sugiere la inclusión de modelos proyectivos en las políticas de manejo y planeación, así como su incorporación como un parámetro más en la selección de sitios para la conservación.

Palabras clave: Cambio de uso del suelo, deforestación, modelos proyectivos, áreas protegidas, fragmentación de hábitat, sitios para la conservación.

INTRODUCCIÓN

En México se encuentra bien documentado la gran diversidad biológica presente en su territorio, se afirma que alberga una gran diversidad biológica a distintos niveles: paisajes, ecosistemas, comunidades, especies y a nivel genético. Esta diversidad es uno de los principales recursos naturales y junto con Brasil, Colombia e Indonesia, México ocupa un lugar privilegiado dentro de los países megadiversos (Ceballos *et al*, 2005; Rodríguez *et al*, 2003; Rusell y Goettsch, 1992).

La diversidad biológica representa una amplia cantidad de beneficios para la población y es uno de los principales sustentos de la vida en el planeta, provee no solo beneficios económicos sino también ambientales. Además de valores éticos y estéticos, la biodiversidad juega un rol en el mantenimiento general del equilibrio en los ecosistemas (Singh, 2002). Algunos de los servicios ecosistémicos que brinda la diversidad son: regulación de las perturbaciones, retención y formación de suelos, fijación de nitrógeno, polinización, control biológico de plagas nocivas para el humano, como refugio para otras especies, materia prima para alimentos e industria, posibilidad para realizar actividades de uso recreacional y de valor estético (Constanza *et al.*, 1997).

A pesar de los beneficios que se tienen por ser un país megadiverso, la aplicación de la legislación vigente respecto a conservación ha dado pocos resultados, ya que debido al uso indiscriminado de la diversidad biológica, se están perdiendo especies por causas humanas de manera alarmante, no solo en México sino en el mundo, esta pérdida de especies por actividades humanas puede rebasar a las

grandes extinciones que se han dado en eras geológicas recientes de manera natural (Dirzo y Raven, 2003). Dentro de las amenazas humanas a la fauna silvestre podemos mencionar al cambio climático global, deterioro de la capa de ozono, acumulación de desperdicios tóxicos, contaminación ambiental, introducción de especies exóticas y la deforestación (Mittermier y Goettsch, 1992; Rodríguez, 2001).

Debido al uso indiscriminado de la diversidad, se ubica a México como el noveno país con mayores tasas de deforestación en el mundo, en Latinoamérica solo es superado por Brasil (Bradshaw *et al.*, 2010). Dentro de los procesos de cambio de uso del suelo (CUS) uno de los que más causa problemas a la biodiversidad es la deforestación. Esta genera diferentes problemáticas ambientales visualizables a distinta intensidad dependiendo de la escala.

Por ejemplo, la deforestación que implica la modificación del hábitat, puede causar daños a nivel de especies, que a su vez ocasiona cambios en las interacciones biológicas de las poblaciones de fauna y flora silvestres, el comportamiento animal y favorece la introducción de especies invasoras (Arriaga, 2009a; Lambin, 1997; Trombulak y Frissell, 2000). A nivel regional induce a la erosión y pérdida de suelo, aumento de la fragmentación del hábitat y cambios en el microclima, afecta el funcionamiento de cuencas hidrográficas modificando los patrones de escorrentía e infiltración dando por resultado en muchos casos inundaciones (Bocco *et al.*, 1993).

Además de lo anterior, se considera que la deforestación causa también la fragmentación del hábitat, que es una de las principales causas de extinción de especies en el mundo, visto de esta manera, la deforestación ocasiona una serie de efectos en cadena que afectan la calidad de los ecosistemas así como la persistencia en el corto y largo plazo de especies a diferentes escalas (Dirzo y Raven, 2003; Dirzo, 1990; Sala *et al.*, 2000). Por lo anterior, el análisis de los patrones de deforestación, así como de la fragmentación del hábitat serán parte fundamental en las propuestas de desarrollo y conservación en los próximos años.

Los ecosistemas de zonas tipo Mediterráneo son una de las zonas reconocidas como de las más amenazadas en el mundo por experimentar presiones humanas, como un alto crecimiento poblacional, que redundará en tasas de deforestación altas (Underwood *et al.*, 2009). De estas México alberga en su territorio una de las cinco zonas de este tipo en el mundo, que solo se encuentran en Chile, Sudáfrica, Asia, Australia y la región californiana (Estados Unidos y México). La parte de Mediterráneo que corresponde a México, se localiza en la porción norte del estado de Baja California, principalmente dentro del municipio de Ensenada. Esta región del país es uno de los sitios con mayor cantidad de endemismos en el norte de México, en especial especies de flora ya que existen alrededor de 3700 especies de flora y alrededor de un quinto de estas son consideradas endémicas (Riemann y Ezcurra, 2007). (Figura, zona de estudio).

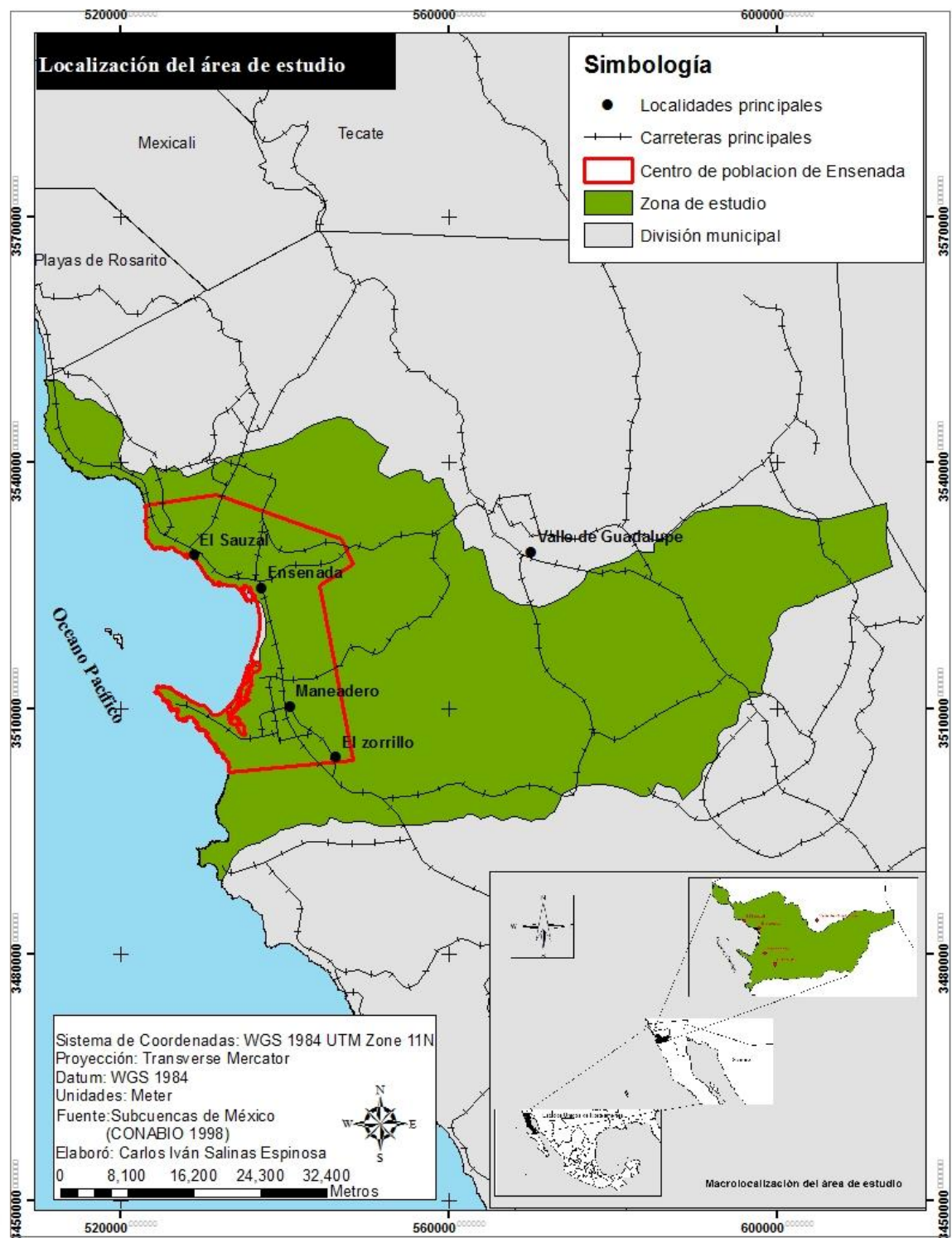


Figura 1 . Zona de estudio

A pesar de su importancia en términos de biodiversidad, esta zona ha enfrentado la presión de la deforestación, ya que la expansión de la mancha urbana hacia sitios con vegetación natural ha producido fragmentación y destrucción de hábitat (Espejel *et al.*, 2001). La zona, geográficamente está enclavada dentro de dos importantes zonas de expansión urbana e industrial, el corredor de desarrollo económico Mexicali-Tijuana-Ensenada, que ha sido seleccionado como un centro de impulso al desarrollo económico por su cercanía a Estados Unidos (Padilla y Castillo, 2011) y el corredor costero Tijuana-Rosarito-Ensenada (COCOTREN) uno de los destinos más visitados del noroeste del país, que ha experimentado en la industria turística nacional, uno de los crecimientos más prolíficos del país.

En los próximos años, la competencia entre un manejo adecuado de los recursos y la presión del desarrollo económico será intensa y de continuar las tendencias de crecimiento y no aplicar políticas y acciones de manejo y conservación de los recursos, se puede perder este ecosistema tan importante para el país. En ésta dinámica, el sector turístico desempeña un papel fundamental, ya que participa de forma dinámica en la conformación y desarrollo de la economía local (Propin *et al.*, 1997), por lo que el desbalance entre la conservación y desarrollo, como se ha dado hasta ahora, puede causar presión de pérdida a comunidades de plantas como el matorral costero, las dunas costeras y el ecosistema ripario, estas dos últimas son apreciados por la población para actividades recreativas, aunque las dunas son más utilizadas por su composición arenosa que por su vegetación (Cervantes *et al.*, 2008).

La deforestación además de los efectos negativos que tiene, brinda en la mayoría de los casos, oportunidades de desarrollo en zonas donde previamente no existían actividades. El caso del estado de Baja California es interesante para estudiar este fenómeno, pues es una de las últimas extensiones del territorio nacional en donde la presión antrópica hacia los recursos naturales es, en términos regionales, muy baja, aunque las mayores presiones se encuentran focalizadas hacia Tijuana, Mexicali y Ensenada (Rosete *et al.*, 2008) en particular su centro de población que ha ampliado sus límites con un crecimiento de la mancha urbana en 450% entre 1980 y 2010 (Salinas-Espinosa *et al.*, 2013).

Para minimizar los efectos de la deforestación hay una gran cantidad de esfuerzos y una de las herramientas más utilizadas es la selección de sitios para la conservación. El fijar zonas para preservar valores naturales ha sido una práctica humana constante desde épocas antiguas. Los criterios para seleccionar estos sitios han sido distintos y han evolucionado respecto de los primeros sitios seleccionados, ya que en años recientes la conservación en el mundo se ha dado de manera sistemática, es decir tratando de homogeneizar criterios para todos los países (Margules y Pressey, 2000). En México los criterios han sido variados, por ejemplo la elección de sitios que cuentan con endemismos, especies raras, alta riqueza de especies, tipos de vegetación particulares, sitios con importancia hidrológica, entre otros (Halffter, 2011).

Constantemente se hace alusión a que resulta necesario en los tiempos actuales un cambio en el paradigma de conservación y áreas protegidas (AP) (Toledo, 2005), ya que la tendencia histórica ha sido conservar sitios alejados de la

civilización, que no tengan una alta densidad poblacional, para tratar de disminuir las posibles amenazas humanas hacia estas áreas (Adams *et al.*, 2004; Sarkar *et al.*, 2006), quedando como áreas inaccesibles para la población en general, alejándolas incluso no solo de actividades económicas, sino también de actividades de bajo impacto que pueden desarrollarse dentro de ellas.

De esta manera resulta conveniente apuntar esfuerzos para tener AP en regiones más accesibles a la población general y zonas de mayor densidad de población, que permitan una mayor posibilidad de aprovechamiento y de diversificación de las oportunidades de uso, manejo y desarrollo, además de que se permita el involucramiento de la sociedad en la conservación de los ecosistemas naturales. De esta manera se podrían explorar las posibilidades de que estas áreas no solo tengan como fin ser AP, sino que sean zonas que integren conservación con el uso, que promuevan la conservación de la biodiversidad en relación con los componentes físicos de los paisajes y con los factores económicos, culturales, demográficos y políticos del desarrollo social de la región (Halfpeter, 2005; Toledo, 2005).

Este trabajo se encuentra estructurado en cuatro capítulos, a manera de artículos de investigación, los tres primeros son de evaluación y el cuarto es una propuesta para la identificación y conservación de sitios para la conservación. El primer capítulo analiza los procesos de cambio de uso del suelo y deforestación entre 1993 y 2009 dentro del centro de población de la ciudad de Ensenada. El segundo presenta un modelo tendencial de deforestación mediante un software especializado en modelado ambiental. El tercer capítulo evalúa la fragmentación

de la zona de estudio por cada categoría de uso del suelo dada a través de tres tiempos, 1993, 2009 y el modelo desarrollado en el capítulo dos hacia el 2025. El cuarto capítulo incluye una propuesta sobre la identificación de sitios prioritarios para la conservación son base en procesos de deforestación históricos. Los capítulos son anteceditos por una introducción general y los antecedentes al tema, los objetivos de este trabajo y una descripción del área de estudio. La metodología utilizada está incluida dentro de cada capítulo.

Ya que se pretende publicar estos resultados, cada capítulo se apega a las normas editoriales de la revista a la cual se pretende enviar. El primer capítulo respeta las instrucciones para autores de la revista *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*. El segundo se encuentra de acuerdo con las instrucciones de la revista *Journal of Land Use Science*, aunque esta revista se publica en el idioma inglés, en etapas posteriores se traducirá a dicho idioma, mediante traducción especializada. El tercer y cuarto capítulo se realiza acorde a las instrucciones de la revista *INTERCIENCIA*.

ANTECEDENTES

En la revisión bibliográfica no se encontraron trabajos para la zona de estudio, por lo que los trabajos enlistados a continuación son trabajos realizados en escalas geográficas diferentes a las realizadas en este trabajo, los tres primero son sobre Cambio de Uso de Suelo (CUS) y deforestación, los siguientes sobre identificación y propuesta de sitios con potencial para la conservación:

Inventarios Nacionales Forestales (INF) 2000 y 2004-2009 (CONAFOR, 2012; Palacio-Prieto *et al.*, 2000): Los INF no son recientes en México, se vienen realizando desde el año de 1960, y aunque se han tratado de estandarizar las categorías de vegetación analizadas así como las metodologías con las que se realiza el inventario, los INF más recientes han sido los únicos en los que es posible realizar una comparación. Estos son inventarios que evalúan la condición de los recursos forestales de México, así como las tasas de deforestación. Los INF son reportados a la Organización para la Agricultura y Alimentación (FAO por sus siglas en inglés) para contribuir al análisis de la situación de los bosques en el mundo a través del tiempo y se debe de realizar periódicamente idealmente cada cinco ó diez años. Los resultados de estos indican tendencias en el tiempo como una deforestación en aumento, aumento de pastizales, agricultura y mancha urbana así como sitios sin vegetación aparente. Además de pérdida de vegetación particular como el bosque mesófilo de montaña, la selva húmeda, y el chaparral.

En los trabajos en la península de Baja California de Rosete *et al.* (2008) y Rosete *et al.* (2013) se analiza el cambio de uso de suelo y de vegetación durante el periodo 1978 a 2000 utilizando información a escala 1:250 000, los autores analizan los procesos de cambio de uso del suelo y encuentran que en el periodo analizado, se dan cambios en el 7.7 % del territorio peninsular. Los procesos de urbanización son más intensos en la zona norte de la península, mientras que la recuperación es mayor en la zona sur. La urbanización en magnitud es el proceso menos importante, pero durante el periodo analizado la superficie ocupada por los asentamientos humanos se incrementó en casi un 270 %.

El trabajo de Leyva (2009) sobre el incremento de áreas verdes urbanas con remanentes de vegetación nativa en regiones áridas analiza el CUS y la pérdida o el aumento de vegetación entre 1973, 1993 y 2007 y lo relaciona con las áreas verdes urbanas en el Centro de Población de Ensenada. Esta autora encuentra un déficit de áreas verdes del 85% y menciona que se perdió el 9.89% de vegetación en un periodo de 34 años.

Myers (1988) incorpora el concepto de “hot-spots” (sitios calientes) en bosques tropicales y su trabajo es considerado uno de los pioneros que proponen áreas con objetivos hacia la conservación. Este autor analiza los “hot-spots” a nivel mundial y encuentra sitios donde existen concentraciones de especies con alto grado de endemismo y además con un nivel alto de amenaza. En ese entonces propuso 10 sitios dentro de los bosques tropicales. Actualmente los “Hot-spots” son utilizados para la planeación de la conservación de la diversidad mundial. En 1990 hace una revisión a los hot-spots (Myers, 1990) y propone la adición de otros cuatro sitios en bosques tropicales como “hot-spots” y propone a cuatro de las cinco regiones mediterráneas del mundo, incluye la zona Californiana.

La CONABIO en 2000 (Arriaga, 2009b) hace una propuesta de regiones terrestres prioritarias (RTP) donde se proponen unidades que destacan por la presencia de una riqueza ecosistémica y específica, comparativamente mayor que en el resto del país, así como una integridad ecológica funcional significativa y donde, además, se tenga una oportunidad real de conservación y ahí aparecen varias zonas de la región Mediterránea mexicana.

En cuanto a las Áreas Naturales Protegidas (ANP) se sabe que existen alrededor de 170 de estas en México y son normadas según lo indicado en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). En México, las primeras propuestas para la creación de Áreas Naturales Protegidas (ANP), se iniciaron en el año de 1917 con el decreto presidencial en el cual se declara como ANP el Desierto de los Leones en el Distrito Federal. A partir de ahí se propusieron las demás según lo establecido en la normatividad. Sin embargo, en la región Mediterránea de México no hay ni una sola ANP.

OBJETIVO

Identificar sitios con potencial para la conservación con base en modelos proyectivos de deforestación dentro del centro de población de Ensenada, Baja California.

OBJETIVOS PARTICULARES

Estimar las tasas de cambio de uso del suelo para los años 1993, 2009 en la zona de estudio.

Realizar un modelo proyectivo para cambio de uso del suelo hacia 2025 a partir de la información de cobertura y uso de suelo para los años 1993 y 2009.

Estimar el índice de fragmentación a partir de la información de cobertura y uso de suelo para los años 1993, 2009 y 2025.

Identificar áreas prioritarias para la conservación con base en el modelo proyectivo de deforestación elaborado.

CAPITULO 1.

Cambio de uso del suelo en Ensenada, Baja California: Un acercamiento a los procesos de deforestación.

RESUMEN

La región mediterránea de Baja California, México, es ejemplo de los conflictos del desarrollo y la conservación. Es una región reconocida como “hot-spot” de biodiversidad mundial y también como zona estratégica para el desarrollo económico por su cercanía con Estados Unidos. Se eligió el centro de población de Ensenada y el contexto de las subcuencas que la rodean, como ejemplo regional para representar el cambio de uso del suelo, las tasas de deforestación y los procesos que han dado lugar a los cambios en un periodo de 16 años (1993-2009). Para el análisis de las tasas de pérdida de cobertura vegetal se utilizaron herramientas de un sistema de información geográfica en dos escalas temporales diferentes con insumos de la serie II-1993 y la serie IV-2009 de uso de suelo y vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Como resultado se encontró que las tasas de deforestación del polígono elegido se ubican por encima de las tasas regionales calculadas, aunque por debajo de las tasas de deforestación nacionales. Si bien el 95% del polígono permanece sin cambios, el 5% restante significa un aumento de 130% de la superficie de los asentamientos humanos junto con la cobertura agrícola, ambos sobre el matorral costero y el chaparral que son de los tipos de vegetación con más endemismos del norte de México. Aunque la deforestación regional en términos generales en la zona es baja comparada con la media nacional, se sugiere seguir monitoreando

este fenómeno así como evaluar las causas que llevan a realizar esta deforestación.

Palabras clave: cambio de uso del suelo, problemáticas del cambio de uso, deforestación, vegetación tipo Mediterráneo, zona estratégica de desarrollo.

INTRODUCCIÓN

Se estima que a nivel mundial se han perdido en el periodo de 1990 a 2010 alrededor de 6.7 millones de hectáreas de bosque por año (el total de área de bosque en el mundo en 2010 se estimó en 4000 millones de hectáreas, esto es 31% del área total de la tierra) por lo que las pérdidas calculadas equivalen a un promedio de 0,6 hectáreas perdidas por habitante en el mundo (FAO, 2010). México contribuye a estas cifras al perder alrededor de 274 mil hectáreas anuales (de los 64 millones de hectáreas que tiene México de bosques (CONAFOR, 2012).

De igual manera, los tipos de vegetación más afectados en México por la deforestación son los bosques tropicales perennifolios, los humedales y los bosques mesófilos de montaña, con más del 40% de su superficie ya totalmente transformada; mientras que los matorrales xerófilos son los que muestran menos pérdidas (Challenger y Soberón, 2008; Martínez-Meyer *et al.*, 2012).

Una de las principales causas a las cuales se les atribuye el CUS es el crecimiento demográfico. El crecimiento demográfico acelerado ocasiona una demanda mayor de espacio en México tanto para viviendas, como para industria y turismo. Según datos del (INEGI, 2010a), la población habitando en las ciudades se ha duplicado en 40 años, ya que en 2010 el 78% de la población total del país habitaba en

zonas urbanas, cuando en 1950 lo hacía solo el 42%. El fenómeno del crecimiento poblacional en Baja California resulta interesante, ya que la dinámica poblacional se ha duplicado en los últimos 25 años, pasando de ser un estado con 1,666,000 habitantes en 1990, a tener 3,155,070 habitantes en 2010 (INEGI, 1990, 2010a). Para el mismo periodo la tasa anual de crecimiento poblacional se encuentra entre las primeras tres del país (3.26 % anual), solo superado por el estado de Quintana Roo y Baja California Sur con tasas de 5.07% y 3.54% respectivamente. Cambiando el nivel, el municipio de Ensenada no es la excepción, ya que el crecimiento también se ha dado. Los cinco municipios de Baja California se encuentran por encima de la media de crecimiento demográfico nacional. El caso particular del municipio de Ensenada muestra un aumento de 3.98% anual, también duplicando (55%) su población de 259,979 habitantes en 1990 a 466,814 habitantes en 2010. Esto nos hace suponer la presión que podría tener esta zona en un futuro, de continuar las tendencias de crecimiento como hasta ahora.

Uno de los temas más invocados por los estudiosos de impacto ambiental y planificadores del desarrollo, es el análisis de los patrones de CUS ya que un mapa de CUS explica el impacto espacial de una política ambiental o de un proyecto de inversión; además permite elaborar escenarios y visualizar el futuro de los proyectos de desarrollo de forma espacial (Bocco *et al.*, 2001; Díaz-Gallegos *et al.*, 2008; Garibay y Bocco, 2011; Mas *et al.*, 1996; Mas y Flamenco, 2011; Velázquez *et al.*, 2001). Por tanto, en los estudios de CUS es importante demostrar los diversos cambios que son detectables en una escala dada. La importancia de identificar las causas del CUS varía ampliamente según sea el

contexto socioeconómico de la zona (crecimiento demográfico, políticas públicas, apoyo a actividades definidas, marginación, etc.). Muchas de estas causas están ligadas entre sí (Lambin, 1997; Lambin, 1994) por lo que se hacen análisis de causalidad para encontrar el origen de las mismas.

Uno de los efectos inmediatos del CUS es la deforestación, que es el proceso mediante el cual la cobertura vegetal natural se pierde o se sustituye por coberturas predominantemente de uso humano. La deforestación, brinda en la mayoría de los casos, oportunidades de desarrollo en zonas donde previamente no existían actividades, aunque también ocasiona diversas problemáticas ambientales por ejemplo: indirectamente, es posible inferir daños a nivel de especies porque se modifica el hábitat, que a su vez ocasiona cambios en las interacciones biológicas de las poblaciones de fauna y flora silvestres, el comportamiento animal y favorece la introducción de especies invasoras (Arriaga, 2009a; Lambin, 1997; Trombulak y Frissell, 2000). A nivel regional, la deforestación induce la erosión y pérdida de suelo, aumento de la fragmentación del hábitat y cambios en el microclima, a nivel regional afecta el funcionamiento de cuencas hidrográficas modificando los patrones de escorrentía e infiltración dando por resultado en muchos casos inundaciones como las ocurridas en Tijuana en el año de 1993 (Bocco, Sánchez, y Riemann, 1993). A nivel global, el CUS coadyuva a las emisiones de gases de efecto invernadero que dan como resultado cambios en los procesos ecosistémicos que a su vez agudizan el problema del cambio climático global (Bocco *et al.*, 2001).

La deforestación tiene causas naturales (incendios, inundaciones) y causas humanas, dentro de las cuales las actividades económicas mal manejadas son la principal causa de pérdida de la cobertura vegetal natural. El cambio de uso de suelo (CUS) es el indicador de deforestación por excelencia (Vitousek *et al.*, 1997) porque se puede analizar cuantitativamente. Además de que el análisis de los procesos de CUS se utiliza para evaluar la integridad del ecosistema, debido a su relación con procesos de deterioro (Bocco *et al.*, 2001; Figueroa *et al.*, 2011; Lambin, 1997; Mas, 2005; Vitousek *et al.*, 1997). Si bien no todo proceso de CUS se traduce en una reducción de la integridad del ecosistema, los procesos de gran magnitud pueden inducir la modificación de la estructura y el funcionamiento de estos (Turner *et al.*, 2007). Si a una escala gruesa se detectan cambios dañinos, en una escala fina los cambios pueden ser peores, de ahí la importancia de analizar el CUS a diferentes escalas. Se entiende por uso de suelo, al destino que otorga el humano a la cobertura de la tierra para realizar sus actividades y obtener beneficios directa o indirectamente de ellos (Briassoulis, 2000; Lambin, 1994; Turner *et al.*, 1995).

La península de Baja California es un caso interesante para estudiar la deforestación porque es una de las últimas extensiones del territorio nacional en donde la presión antrópica hacia los recursos naturales es, en términos regionales, muy baja. La presión se encuentra muy focalizada hacia Tijuana, Mexicali (Rosete, Pérez, y Bocco, 2008) y Ensenada, en particular su centro de población que ha ampliado sus límites con un crecimiento de la mancha urbana en 450% entre 1980 y 2010 (Salinas-Espinosa, *et al.*, 2013). En la zona donde se focaliza la presión

antrópica la expansión de la mancha urbana hacia sitios con vegetación natural, ha producido la fragmentación y destrucción de hábitat (Espejel *et al.*, 2001). Las comunidades de plantas más afectadas por el crecimiento urbano son el matorral costero, las dunas costeras y el ecosistema ripario, estos dos últimos son bien apreciados por la comunidad para la realización de actividades recreativas, aunque las dunas son más utilizadas por su estructura arenosa que por su vegetación (Cervantes, Espejel, Arellano, y Delhumeau, 2008).

A pesar de que la presión hacia los recursos, en términos generales es baja y está focalizada hacia el norte del estado, que es donde se han dado los aumentos poblacionales anteriormente mencionados, sigue siendo una zona de importancia para este tipo de estudios, por su importancia biológica y la forma en la cual se ha llevado en las últimas décadas su desarrollo económico y social. Se sabe que Baja California se encuentra dentro de la región denominada California Mediterránea (CONABIO, 2008) y del "hot-spot" californiano, en el cual comparte extensión con el estado de California en Estados Unidos de Norteamérica, ya que es donde se encuentra uno de los cinco ecosistemas de tipo Mediterráneo en el mundo, que en conjunto además de poseer una biodiversidad impresionante, es uno de los territorios más amenazados por esta dinámica del CUS (Myers, 1990; Underwood, Viers, Klausmeyer, Cox, y Shaw, 2009), siendo una región de gran importancia debido a la singularidad de estos ecosistemas (Cowling *et al.*, 1996; Médail y Quézel, 1999). Uno de los municipios que forma parte de esta zona tan importante es el municipio de Ensenada, Baja California, del cual destaca su centro de población y la zona portuaria ya que concentra el desarrollo urbano, pesquero y

turístico. Estos usos son la causa de la pérdida acelerada de cobertura vegetal natural caracterizada por un alto número endemismos y única en el país.

Esta cobertura vegetal natural, proporciona una serie de funciones y servicios ambientales a la ciudad misma, como es la retención de suelos, la captura de carbono, el control de la erosión (González-Botello y Bullock, 2012), la estabilidad de los cantiles, y es hábitat para especies de fauna nativa, que además ofrecen la oportunidad a los ciudadanos de utilizar los remanentes de vegetación como áreas verdes (Gómez- Baggethun y Groot, 2007; Torres-Catril, 2006) que en este caso son muy singulares porque solo se encuentran en esta sección del país.

Por tanto, la vegetación costera de la ciudad de Ensenada, en especial el matorral costero roseto filo, es uno de los patrimonios más importantes de México en términos de biodiversidad. Pero también se encuentra en el corredor de desarrollo económico denominado Mexicali-Tijuana-Ensenada, que ha sido seleccionado como un centro de impulso al desarrollo económico por su cercanía a Estados Unidos (Padilla y Castillo, 2011), debido a esto la competencia entre un manejo adecuado de los recursos y la presión del desarrollo económico es y será intensa, y de continuar las tendencias, se puede perder esta vegetación tan importante para el país.

Siendo esta zona tan importante para el desarrollo, si no se estudian y difunden los impactos históricos de los proyectos de desarrollo, traducidos en un análisis de CUS, los vacíos de información respecto a esta temática seguirán en aumento y continuarán siendo supuestos sobre la dinámica de CUS en esta zona y el

desarrollo seguirá en aumento y carente de normas adecuadas de manejo. Esto debido a que en la zona las investigaciones sobre esta temática son limitadas y solo se elaboran conjeturas sobre la intensidad del CUS, este trabajo contribuye a llenar un vacío de información existente en la zona comparando en un contexto geográfico y a diferentes escalas el CUS. Dado lo anterior el objetivo de este trabajo es estimar las tasas de CUS entre 1993 y 2009, e identificar los principales procesos de CUS de un polígono que incluye a la ciudad de Ensenada y a las subcuencas hidrológicas como contexto del análisis CUS.

MÉTODO

Delimitación de la zona de estudio

El polígono seleccionado (Anexo 1, Figura 1) comprende el área del Centro de Población de Ensenada, delimitado por el Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada en el año 2009 (IMIP, 2010), así como las subcuencas que se encuentran alrededor del mismo, esto según la delimitación de subcuencas realizadas por CONABIO (1998). La razón principal para seleccionar este polígono fue que la cuenca o subcuenca como unidad del espacio geográfico, interconecta diversos factores, en los cuales el uso de recursos dado en la cuenca interviene en el funcionamiento del ecosistema (Garrido *et al.*, Enríquez, 2010; Walker *et al.*, 2006).

Características de la zona de estudio

Ensenada es una ciudad del estado de Baja California que colinda al norte con los municipios de Tijuana, Tecate y Mexicali, y al sur. Es una ciudad con diversas actividades turísticas que por pertenecer al llamado corredor Tijuana-Rosarito-

Ensenada lo convierte en uno de los destinos más visitados del noroeste del país, este es un corredor que ha experimentado en la industria turística nacional uno de los crecimientos más prolíficos de del país. El sector turístico desempeña un papel fundamental en el contexto de Ensenada ya que participa de forma dinámica en la conformación de la economía local (Propin, Sanchez, y López, 1997). La altitud dentro del área de estudio va desde 0 msnm hasta los 1880 msnm. El área se compone de llanuras costeras y aluviales. El tipo del clima es mediterráneo, similar al del sur de California (Dallman, 1998), este clima esta caracterizado por veranos secos y calientes, e inviernos húmedos, lluviosos y fríos. La temperatura media es 17.8°C; la precipitación media anual es 262,7 milímetros, y humedad relativa a partir del 43,9% a 69,8%.

La flora es la característica de la provincia florística de California (Oberbauer, 1999) que presenta matorral rosetofilo costero, chaparral, dunas de arena, vegetación riparia, y bosque de pino (Pase y Brown, 1982). El matorral rosetofilo costero y el chaparral son las predominantes en la zona, estas se caracterizan por ser arbustos de 0.50 a 1.50 m que permanecen sin hojas la mayor parte del año, a excepción de los meses donde hay mayores grados de humedad y la mayoría de las plantas de este tipo de vegetación florecen (Espejel *et al.*, 2001). Además de ser una zona con un alto grado de endemismos, ya que de las alrededor de las 3500 plantas reportadas para la península de Baja California, un 20% son endémicas (Riemann y Ezcurra, 2007). Esto es un referente sobre la diversidad de flora y a su vez de fauna, que se puede encontrar en la zona.

Análisis de CUS

El análisis de cambio de uso del suelo realizado en este trabajo se basa en la metodología desarrollada por (Bocco *et al.* 2001), en la cual se proponen tres fases para desarrollar este tipo de análisis. Detección e interpretación del cambio, análisis de los patrones de cambio de uso del suelo y análisis de la causalidad del cambio. Para este trabajo solo se realizaron los dos primeros pasos sugeridos, además de que se analizaron las tasas de cambio anual y se compararon con trabajos a otras escalas geográficas. Primeramente se obtuvieron los insumos cartográficos y posteriormente se realizaron los análisis.

Insumos cartográficos: para definir el uso del suelo, los insumos cartográficos utilizados fueron las series II y IV de INEGI de uso de suelo y vegetación, correspondiendo a los años de 1993 y 2009 respectivamente, las cuales se encuentran en escala 1:250,000. Las series de uso de suelo y vegetación de INEGI contienen información de las actividades agropecuarias, forestales y piscícolas, así como datos sobre la distribución de la población y en el caso particular de la serie III y IV recopilan datos sobre erosión (INEGI, 2010b). Ninguna de estas ha adoptado las clasificaciones de vegetación actuales, esto ocasiona que el etiquetado de las capas sea inadecuado para propósitos particulares (Hernández *et al.*, 2011). Para fines de este trabajo se reetiquetaron las series que tienen diversas categorías hasta dejar una sola etiqueta para cada categoría con base en conocimiento experto de la zona (Cuadro 1), y la clasificación propuesta por (Minnich y Franco-Vizcaíno, 1999; Oberbauer, 1999) debido a que no eran compatibles con las propuestas por INEGI.

Cuadro 1. Etiqueta original series de INEGI y equivalencia en la elaboración del reetiquetado.

Etiqueta original	Equivalencia
Agrícola-Pecuaria-Forestal	Agricultura y pastizal
Asentamientos humanos	Asentamientos humanos
Bosque de encino	Ripario
Bosque de pino	Bosque de pino
Chaparral	Chaparral
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua
Matorral rosetofilo costero	Matorral costero
Pastizal cultivado	Agricultura y pastizal
Pastizal halófilo	Agricultura y pastizal
Pastizal inducido	Agricultura y pastizal
Riego	Agricultura y pastizal
Temporal	Agricultura y pastizal
Tular	Marisma
Vegetación de dunas costeras	Dunas costeras
Vegetación de galería	Ripario
Zona urbana	Asentamientos humanos

Se trabajó con nueve categorías (Anexo 1, Figura 2), Agricultura y pastizal, Asentamientos humanos, Bosque de pino, Chaparral, Cuerpo de Agua (artificial), Dunas costeras, Marisma, Matorral rosetofilo costero, Vegetación riparia. Debido al conocimiento previo de la zona se incluyeron varias etiquetas de la fuente original en una sola, las etiquetas de bosque de pino, chaparral, cuerpo de agua (artificial), matorral rosetofilo costero y dunas costeras, se mantuvieron como en la fuente original. Son cuatro las categorías que tuvieron que ser reetiquetadas, ya que no coincidían entre ellas o con la fuente, Agricultura y pastizal, Asentamientos humanos, Marisma y Vegetación riparia, los criterios para el reetiquetado se describen a continuación:

Agricultura y pastizal: estas se englobaron en una misma categoría, debido a la confusión que causan los pastizales con las zonas agrícolas, por lo cual se decidió

una sola etiqueta, así como también las etiquetas de temporal o de riego se englobaron en una sola.

Asentamientos humanos: asentamientos humanos y zona urbana se englobaron en esta etiqueta ya que en Baja California, la distribución espacial de la población no es uniforme y el criterio de tener más de 2500 habitantes no aplica en todas las poblaciones, por lo cual se optó por utilizar la categoría de asentamientos humanos.

Marisma: en la serie original se encuentra etiquetada como Tular, se etiquetó ya que la descripción de esta zona catalogada como Tular no coincidía con la clasificación realizada por (Oberbauer, 1999) y se optó por elegir esta etiqueta por encontrarse más acorde a las características de la marisma de Punta Banda que es el único sitio presente en la zona de estudio.

Vegetación riparia: comprende dos etiquetas, ripario y bosque de encino, se unieron en una sola etiqueta dado que las condiciones de los encinares de la región limitan su distribución a los márgenes de los arroyos (Minnich y Franco-Vizcaíno, 1999) por lo cual en la zona se les denomina vegetación riparia.

Proceso en software

Se utilizaron las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI, serie II-1993 y serie IV- 2009 con claves I11-11, H11-02, H11-03, las cuales fueron recortadas y procesadas mediante el software QGIS 1.8 (QGIS, 2013) de acuerdo al área de estudio, se transformaron a un sistema de referencia cartográfica común, en este caso UTM WGS 84 zona 11N, ya que de origen se encuentran en NAD 1927 e ITRF92 la serie II y IV respectivamente. Se ajustaron los límites a la zona de

estudio mediante procesos de generalización y corte en el software. Con esto obtuvimos el área de estudio y la superficie en hectáreas por tipo de cobertura y por periodo de estudio, mediante QGIS, estos datos fueron analizados mediante una hoja de cálculo en formato Excel.

Posteriormente, cada una de las capas de información, se convirtieron de formato un formato vectorial, a formato raster mediante IDRISI TAIGA (Eastman, 2009), con tamaño de pixel de 100 metros, esto debido a las capacidades del sistema de computo disponible. Con estas capas se realizaron mediante herramientas de cruce y sobreposición el análisis de procesos de CUS. Y se ubicaron espacialmente los sitios donde ocurrieron los cambios.

Detección e interpretación del cambio

Se calcularon las superficies de cada cobertura y posteriormente se analizaron respecto al área total, para analizar su porcentaje y el total de cada cobertura. Se construyó la matriz de Markov de primer orden en la cual se discriminaron del análisis las transiciones menores a 10 hectáreas, ya que estas transiciones debido a la escala son mínimas. En este método se asume que el mejor predictor para analizar el cambio de uso de suelo es el uso pasado y actual del suelo (Irwin y Geoghegan, 2001). El modelo de cadenas de Markov para estimar patrones de uso de suelo se basa en comparar dos mapas de ocupación del suelo que se suceden cronológicamente, uno se le denominará t_0 (tiempo inicial) y al otro t_1 (tiempo actual). Los valores de cada uso en la matriz de Markov van desde 0 hasta 1 (Bocco *et al.*, 2001; López *et al.*, 2001; Paegelow *et al.*, 2003). Y la diagonal de la matriz indica probabilidad de permanencia de clases. Los valores

obtenidos se dividieron en cuatro clases de probabilidad de cambio según lo sugerido por Paegelow y Camacho Olmedo (2008), tomando los valores de 0-60% muy baja, 61-70% baja, 71-80% media y de 81-100% probabilidad de cambio alta.

Calculo de tasas de cambio

Se calcularon las tasas de cambio anual para un periodo de 16 años (1993 vs 2009) según la ecuación sugerida por FAO (1996):

$$\delta n = \left[\frac{S2}{S1} \right]^{1/n} - 1$$

Donde:

δn es la tasa de cambio anual para un periodo dado (para expresar en % hay que multiplicar por 100)

S1 superficie en la fecha 1.

S2 superficie en la fecha 2.

n es el número de años entre las dos fechas en este caso 16.

En este apartado, reducimos las categorías de vegetación natural (Bosque de pino, Chaparral, Dunas costeras, Marisma, Matorral roseto filo costero y Vegetación riparia), en una sola denominada, vegetación natural, esto para poder analizar las tasas de cambio para cada periodo y poderlas comparar con otros trabajos a escalas diferentes.

Análisis de los procesos de cambio

Según Garibay y Bocco (2011) los procesos de cambio se agrupan en tres tipos:

a) permanencia, que se refiere a las coberturas que no han cambiado en superficie a través del tiempo; b) procesos negativos, agrupan a los cambios que

son ocasionados por la pérdida de la cubierta vegetal; y c) procesos positivos, que son los que se dan en áreas en las cuáles la cubierta vegetal se ha recuperado.

Agrupamos estos procesos, y les agregamos un nombre, a los de permanencia se les llamo sin cambio; los procesos negativos fueron de urbanización y deforestación, en ellos se muestran los procesos donde las coberturas en el periodo inicial pasan a ser asentamientos humanos así como agricultura y pastizal. El proceso denominado re-vegetación fue aquel donde las coberturas agricultura y pastizal, así como algunos pequeños fragmentos de asentamientos humanos, recuperaron su vegetación natural. La etiqueta otros cambios fue utilizada cuando se observaban cambios dentro de categorías de vegetación, por ejemplo bosque de pino-hacia matorral, por mencionar alguno.

RESULTADOS

Diferencia entre periodos

La zona de estudio comprende un área de 267,367 hectáreas, para el año 2009 las dos coberturas más abundantes en esta son el chaparral con un 77.79% del área total un 12.40% de agricultura y pastizal, el matorral roseto filo costero con un 4.4.% y los asentamientos humanos con 3.62%, las demás coberturas en conjunto abarcan apenas 1.79%. Los cambios en superficie se muestran en el cuadro 2, que son el aumento de los asentamientos humanos en 129% y una disminución de 11.43% de dunas costeras y 8.41% la marisma. El aumento de agricultura y pastizal es de 433 hectáreas que representa un porcentaje respecto al total del área inicial de 1.33%.

La única cobertura que mantiene la superficie original es la de cuerpo de agua. Y los bosques de pino que solo experimentan cuatro hectáreas de disminución. Si bien el chaparral no experimentó un gran cambio en porcentaje se pierden 4794 hectáreas de esta cobertura. Así como el matorral rosetofilo costero que perdió 942 hectáreas de superficie. Cabe mencionar que la mayoría de cambios están dados en la cercanía de la zona costera, sobre todo el crecimiento de la mancha urbana.

Cuadro 2 . Extensión de las coberturas, estado y diferencia en los periodos de estudio.

Categoría	Año 1993	Año 2009	Diferencia	Estado	Cambio en porcentaje
Asentamientos humanos	4227	9689	5462	Aumenta	129.22
Dunas costeras	210	186	-24	Disminuye	-11.43
Marisma	309	283	-26	Disminuye	-8.41
Vegetación riparia	1518	1405	-113	Disminuye	-7.44
Matorral rosetofilo costero	12708	11766	-942	Disminuye	-7.41
Chaparral	212776	207982	-4794	Disminuye	-2.25
Agricultura y pastizal	32722	33155	433	Aumenta	1.32
Bosque de pino	2799	2803	4	Aumenta	0.14
Cuerpo de agua	98	98	0	Se mantiene	0.00

La matriz de Markov muestra el aporte entre clases de uso del suelo y muestra la probabilidad de cambio en la cual todas las categorías se ubican con probabilidad de permanencia alta. Solo la vegetación riparia se ubica dentro de la categoría de permanencia media.

Cuadro 3. Matriz de Markov. La diagonal indica la probabilidad de permanencia entre clases.

	AyP	AH	Bp	Ch	CA	DC	M	MC	VR
Agricultura y pastizal	0.8721	0.1116	0.0013	0.0150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Asentamientos humanos	0.0062	0.9938	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Bosque de pino	0.0089	0.0000	0.9721	0.0189	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Chaparral	0.0199	0.0042	0.0002	0.9739	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0015
Cuerpo de agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Dunas costeras	0.0000	0.1143	0.0000	0.0000	0.0000	0.8857	0.0000	0.0000	0.0000
Marisma	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9159	0.0841	0.0000
Matorral costero	0.0077	0.0797	0.0000	0.0041	0.0000	0.0000	0.0000	0.9085	0.0000
Vegetación riparia	0.1463	0.0409	0.0000	0.1009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7119

Procesos de CUS

Respecto a los procesos de CUS el 95.79% del área de estudio se mantuvo sin cambios. El proceso que tiene mayor extensión es el de urbanización y deforestación. Aunque el proceso de re-vegetación es de 0.19% un aproximado de 500 hectáreas. Los procesos de deforestación se observan en su gran mayoría en la parte norte de la zona de estudio. Así como el proceso de urbanización no tiene una constante espacial, se distribuye en diferentes zonas, hacia el norte y hacia el sur de la ciudad (Anexo 1, Figura 3).

El cálculo de la tasa de cambio por clase se muestra en el Cuadro 4 en el cual los asentamientos humanos son los que tienen una tasa de aumento mayor, así como la vegetación natural es la única que presenta disminución.

Cuadro 4. Tasa de cambio anual por categoría de cobertura.

Categoría	Tasa de cambio anual
Agricultura y pastizal	0.08
Asentamientos humanos	5.43
Cuerpo de agua	0
Vegetación natural	-0.17

El grafico 1 muestra el análisis realizado a diferentes escalas geográficas (CONAFOR, 2012; FAO, 2010; Rosete *et al.*, 2008), donde la zona de estudio se ubica por encima de las tasas de pérdida de vegetación en la península de Baja California así como de la región Norte y Centroamérica. Aunque por debajo de la tasa de cambio anual para México.

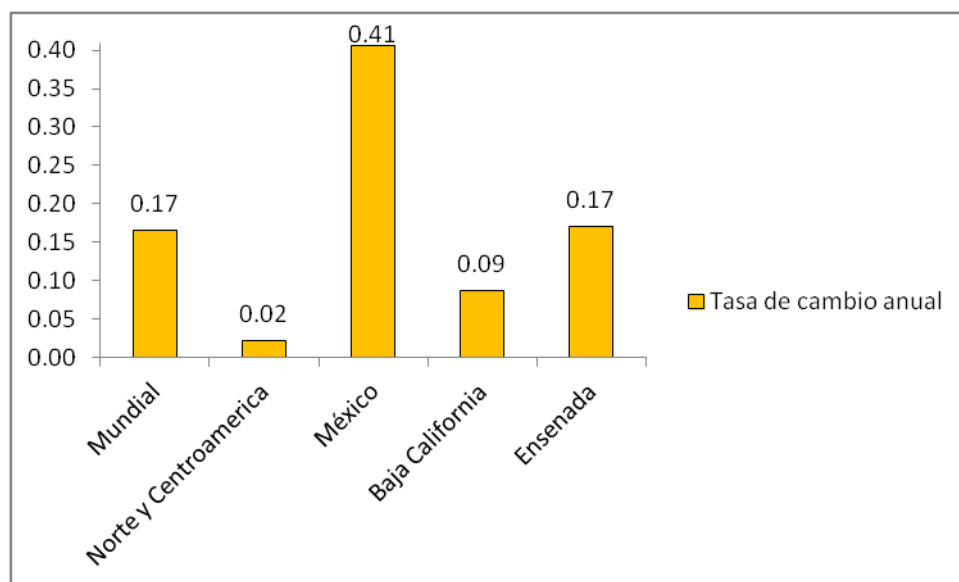


Gráfico 1. Tasa de cambio anual para diferentes estudios en diversas zonas geográficas.

DISCUSIÓN

Los procesos de cambio fueron mayormente hacia coberturas antrópicas y con una tendencia a la deforestación, esto coincide con estudios previos realizados en otras zonas del país (Díaz-Gallegos *et al.*, 2008; Farley *et al.*, 2012; López, Bocco, y Mendoza, 2001; Mas, 2005; Ojeda-Revah *et al.*, 2007; Palacio-Prieto *et al.*, 2000; Rosete *et al.*, 2013; Salinas-Espinosa *et al.*, 2013; Salinas-Espinosa, 2012; Velázquez *et al.*, 2001). En el cual se muestra que las coberturas predominantes son las naturales, pero se van perdiendo en los procesos de cambio. Son diversos los estudios que concluyen esto por lo cual la problemática de uso de suelo hace que Ensenada no sea una ciudad exenta del mismo.

Una de las presiones principales hacia la zona de estudio es la demanda de espacios para asentamientos humanos. Esto puede en un momento dado dar lugar a construir espacios en lugares no aptos para tal propósito que a la larga puede desencadenar eventos catastróficos como inundaciones, ya ocurridas en el pasado y que han llegado a tener eventos destructivos para la sociedad como el caso particular de la ciudad de Tijuana (Bocco *et al.*, 1993).

Las tasas de pérdida de vegetación para el área de estudio (FAO 2010; CONAFOR 2012; Rosete *et al.* 2013; Rosete *et al.* 2008) si bien están por debajo de las nacionales, se encuentran muy por encima de las tasas regionales y mundiales. Esta tasa de pérdida de vegetación al relacionarse con el aumento en la urbanización, vuelve preocupante la situación para la zona mediterránea, ya que pone en riesgo de pérdida a la diversidad biológica mientras crece la mancha

urbana y los cambios de uso del suelo en favor de actividades antropogénicas aumentan.

Esto hace notar la situación que vive actual e históricamente la zona mediterránea, en la que se encuentra nuestra zona de estudio, en la cual las condiciones de ocupación del suelo se vuelven críticas para la protección de los recursos naturales. La pérdida de vegetación natural en la zona de estudio no es comparable en magnitud a la ciudad de Tijuana, zona en donde se pierde vegetación con una tasa de 0.4 anual, esto lo ubica con pérdidas superiores a las de nuestra zona de estudio (Farley *et al.*, 2012; Ojeda-Revah *et al.*, 2007; Ojeda-Revah, 2007). Confirmando el mediterráneo como uno de los más vulnerables en el planeta y que mayor grado de presión experimentan hacia sus recursos (Underwood *et al.*, 2009).

Si bien la economía local está conformada por actividades predominantemente turísticas ya que debido a la ausencia del agua, no es una zona en la que las actividades agrícolas sean predominantes (Propin *et al.*, 1997), se podría pensar que esta actividad se encuentra a la baja, la investigación muestra lo contrario, ya que la agricultura no presenta decremento sino más bien un incremento. Aunque también se puede observar dentro de los procesos que algunas zonas que fueron en el pasado agrícolas ahora son zonas de asentamientos humanos. Por lo que el futuro de la agricultura en estos sitios se torna incierto.

Se requiere de estudios más específicos a escalas geográficas diferentes y con una mayor resolución espacial que este, ya que si bien la escala utilizada es

adecuada a nivel regional, no lo es a otras escalas como a nivel de localidades, o inclusive municipios pequeños. Esto para entender mejor la problemática a escalas espaciales diferentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos : un enfoque multiescalar. *Investigación Ambiental*, 1(195), 6–16.
- Bocco, G., Mendoza, M., y Masera, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán . Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas UNAM*, 44, 18–38.
- Bocco, G., Sánchez, R., y Riemann, H. (1993). Evaluación del impacto de las inundaciones en Tijuana(Enero de 1993). Uso integrado de percepción remota y sistemas de información geográfica. *Frontera Norte*, 5(10), 1993.
- Briassoulis, H. (2000). *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches*. University of the Aegean.
- Cervantes, O., Espejel, I., Arellano, E., y Delhumeau, S. (2008). Users' perception as a tool to improve urban beach planning and management. *Environmental Management*, 42(2), 249–64.
- Challenger, A., y Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. In CONABIO (Ed.), *Capital Natural de México* (Vol. I, pp. 87–108).
- CONABIO. (2008). Ecorregiones terrestres de México.
- CONAFOR. (2012). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe 2004-2009* (p. 228).
- Cowling, R. M., Rundel, P. W., Lamont, B. B., Arroyo, M. K., y Arianoutsou, M. (1996). Plant diversity in mediterranean-climate regions. *TREE*, 11, 362–366.
- Dallman, P. (1998). *Plant life in the world's mediterranean climates*. (University.).
- Díaz-Gallegos, J. R., Mas, J., y Velázquez, A. (2008). Monitoreo de los patrones de deforestación en el corredor biológico mesoamericano, México. *Interciencia*, 33, 882–890.

- Eastman, J. R. (2009). Idrisi Taiga. Worcester, MA: Clark University.
- Espejel, I., Aramburo, G., Leyva, C., Cruz, Y., Bravo, L., y Flores, J. D. (2001). Coastal management in the Mediterranean type of vegetation in Baja California Mexico. Medcoast. In E. Ozhan (Ed.), *Proceedings of the Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*.
- FAO. (1996). *Evaluación de los Recursos Forestales 1990, países tropicales* (p. 41).
- FAO. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 Informe principal* (p. 381).
- Farley, K. a., Ojeda-Revah, L., Atkinson, E. E., y Eaton-González, B. R. (2012). Changes in land use, land tenure, and landscape fragmentation in the Tijuana River Watershed following reform of the ejido sector. *Land Use Policy*, 29(1), 187–197. doi:10.1016/j.landusepol.2011.06.006
- Figueroa, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi, P., y Linaje, M. (2011). Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación . ¿ Un índice es suficiente ? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 951–963.
- Garibay, C., y Bocco, G. (2011). *Cambios de uso del suelo en la mesete purépecha (1976-2005)* (p. 124).
- Garrido, A., Pérez, J. L., y Enríquez, C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. In *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización* (pp. 14–17).
- Gómez- Baggethun, E., y Groot, R. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, 16(3), 4–14.
- González-Botello, M. a., y Bullock, S. H. (2012). Erosion-reducing cover in semi-arid shrubland. *Journal of Arid Environments*, 84, 19–25. doi:10.1016/j.jaridenv.2012.04.002
- Hernández, A., Niño, M., Rodríguez, J., y Argumedo, J. (2011). Generación de información de uso del suelo y vegetación proyectos y convenios escala 1:50000. *INEGI*.
- IMIP. (2010). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada 2030.
- INEGI. (1990). Censo Nacional de Población y Vivienda 1990.

- INEGI. (2010a). Censo Nacional de Población y Vivienda 2010.
- INEGI. (2010b). *Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250,000*.
- Irwin, E. G., y Geoghegan, J. (2001). Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 85(1-3), 7–24. doi:10.1016/S0167-8809(01)00200-6
- Lambin, E. . (1994). *Modelling deforestation processes: A Review* (p. 132).
- Lambin, E. F. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21(3), 375–393. doi:10.1177/030913339702100303
- López, E., Bocco, G., y Mendoza, M. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo . El caso de la ciudad de Morelia Prediction about changes in land-use . The case of Morelia. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 45, 56–76.
- Martínez-Meyer, E., Sosa, J., y Álvarez, F. (2012). El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*. doi:10.7550/rmb.43248
- Mas, J. F., Sorani, V., y Alvarez, R. (1996). Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas UNAM, Núm. espec*, 43–57.
- Mas, J.-F. (2005). Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105(1-3), 69–80. doi:10.1007/s10661-005-3156-5
- Mas, J.-F., y Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico*, 5(1), 1–24.
- Médail, F., y Quézel, P. (1999). Biodiversity Hotspots in the Mediterranean Basin : Setting Global Conservation Priorities. *Conservation Biology*, 13(6), 1510–1513.
- Minnich, R., y Franco-Vizcaíno, E. (1999). La vegetación mediterránea de Baja California. *Freemontia*, 2–15.
- Myers, N. (1990). The Biodiversity Challenge : Expanded Hot-Spots Analysis. *The Environmentalist*, 10(4), 243–256.

- Oberbauer, T. (1999). La vegetación del noroeste de Baja California. *Freemontia*, 16–27.
- Ojeda-Revah, L. (2007). *Una cuenca dos historias. La cuenca del Río Tijuana*. UABC.
- Ojeda-Revah, L., Bocco, G., Ezcurra, E., y Espejel, I. (2007). Land-cover / use transitions in the binational Tijuana River watershed during a period of rapid industrialization. *Applied Vegetation Science*, (December 2007), 107–116. doi:10.3170/2007-7-18331
- Padilla, S., y Castillo, F. (2011). Proceso de urbanización en el corredor económico Ensenada Mexicali, 1950-2005. *Revista Geográfica de América Central*, 1–17.
- Paegelow, M., Camacho, M., y Menor, J. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *GeoFocus*, 3, 22–44.
- Paegelow, M., y Camacho Olmedo, M. T. (2008). *Modelling Environmental Dynamics. Advances in Geomatic Solutions*. (M. Paegelow y M. T. Camacho Olmedo, Eds.) (Springer-V., p. 412).
- Palacio-Prieto, J. L., Bocco, G., Velázquez, A., Mas, J. F., Takaki-Takaki, F., Victoria, A., ... González, F. (2000). La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas*, 43, 183.
- Pase, C. P., y Brown, D. E. (1982). Californian coastal scrub. In *Biotic communities of the southwest of United States and Mexico. Desert Plants*. (pp. 86–89).
- Propin, E., Sanchez, A., y López, A. (1997). Situación geográfico-económica del turismo en el extremo norte de América Latina: El corredor Tijuana-Rosarito-Ensenada. *Revista de Geografía Norte Grande*, 261, 257–261.
- QGIS, D. T. (2013). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- Riemann, H., y Ezcurra, E. (2007). Endemic regions of the vascular flora of the peninsula of Baja California, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 18(3), 327. doi:10.1658/1100-9233(2007)18[327:EROTVF]2.0.CO;2
- Rosete, F., Pérez, J. L., y Bocco, G. (2008). Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península Baja California Península , Mexico. *Investigaciones Geográficas*, 67, 39–58.

- Rosete, F., Velázquez, A., Bocco, G., y Espejel, I. (2013). Multi-scale land cover dynamics of semiarid scrubland in Baja California, Mexico. *Regional Environmental Change*. doi:10.1007/s10113-013-0574-8
- Salinas-Espinosa, C. (2012). *Propiedad de la tierra y cambio de uso del suelo. Un enfoque integral en el municipio de Tancítaro*. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.
- Salinas-Espinosa, C., Leyva, C., y Eaton, R. (2013). Evaluación del crecimiento urbano en ciudades en el noroeste de México caso centro de población de Ensenada, Baja California(Resumen). In *VII Congreso de Ordenamiento Ecológico del Territorio*.
- Torres-Catril, D. A. (2006). *Manejo y estado del arbolado urbano de la comuna de la Reina, desde la perspectiva de sus habitantes*. Universidad de Chile.
- Trombulak, S. C., y Frissell, C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14(1), 18–30.
- Turner, B., Lambin, E. ., y Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PNAS*, 105(128), 20690–20695.
- Turner, M., Arthaud, G., Engstrom, T., Hejl, S., Liu, J., Loeb, S., y McKelvey, K. (1995). Usefulness of spatially explicit population models in land management.
- Underwood, E. C., Viers, J. H., Klausmeyer, K. R., Cox, R. L., y Shaw, M. R. (2009). Threats and biodiversity in the mediterranean biome. *Diversity and Distributions*, 15(2), 188–197. doi:10.1111/j.1472-4642.2008.00518.x
- Velázquez, A., Mas, J.-F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P., Castro, R., ... Palacio-Prieto, J. L. (2001). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*.
- Vitousek, P., Mooney, H., Lubchenco, J., y Melillo, J. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, 277(5325), 494–499. doi:10.1126/science.277.5325.494
- Walker, J., Dowling, T., y Veitch, S. (2006). An assessment of catchment condition in Australia. *Ecological Indicators*, 6(1), 205–214. doi:10.1016/j.ecolind.2005.08.020

CAPITULO 2.

Modelo tendencial de deforestación en Ensenada, Baja California. Los procesos de deforestación vistos a través del tiempo.

RESUMEN

En las políticas de planeación constantemente aumenta el interés de incorporar modelos de simulación espacialmente explícitos. No obstante en México no son herramientas que se utilicen en la actualidad. Dentro de los modelos de simulación uno de los sobresalientes son los modelos proyectivos de deforestación y cambio de uso del suelo, ya que confrontan la realidad con escenarios hipotéticos y tendenciales. Para este trabajo se implementó un modelo proyectivo de deforestación en el software de uso libre DINAMICA EGO, software que permite modelar las posibles dinámicas ambientales y que utiliza en su desarrollo algoritmos de pesos de evidencia (probabilidades condicionales) y autómatas celulares. La zona para la que se desarrolló donde se aplicó el modelo fue el centro de población de Ensenada, Baja California y el contexto de las subcuencas que la rodean, como ejemplo regional. Se analizaron las extensiones de cada uso del suelo a través de tres periodos de tiempo diferente 1993, 2009 y el modelo proyectivo hacia el año 2025. Los cambios según los periodos analizados indican que de seguir las tendencias como hasta ahora, se podría tener un aumento en porcentaje de más de 340% en la mancha urbana, y una disminución probable del chaparral de un 5%, un 14% de matorral y un 25% de ripario. Se sugiere la inclusión de estos modelos en las políticas de planeación del territorio, para que de una manera aproximada, se puedan conocer los posibles efectos de una

política de manejo utilizada ante una realidad probable según las tendencias y dinámica del cambio de uso del suelo del pasado al presente.

Palabras clave: modelo proyectivo, cambio de uso del suelo, deforestación, pesos de evidencia, autómatas celulares.

INTRODUCCIÓN

En años recientes ha crecido el interés de incorporar modelos de simulación espacialmente explícitos en el desarrollo de las políticas de planeación. Estos modelos son usados entre otras cosas para modelar las dinámicas del paisaje y son herramientas útiles para ayudarnos a entender la complejidad de ciertos procesos, así como ser aplicables a problemas de manejo y conservación (Turner et al., 1995). Entendiendo un modelo como una representación simplificada de la realidad que aproxima nuestra percepción de la complejidad por medio de ecuaciones matemáticas sus variables y constantes (Villa-Vialaneix et al., 2012).

Los modelos de simulación espacialmente explícitos pueden ser usados para probar supuestos sobre la evolución del paisaje bajo diversos escenarios sociales, económicos, políticos y ambientales. El resultado del modelo puede ayudar a seleccionar una estrategia adecuada, confrontando la alternativa de los resultados producidos ante diversos escenarios con la realidad. Estos modelos, conforme avanzan las tecnologías se vuelven más complejos, esto ocasiona que no puedan ser clasificados en una categoría única, excepto para su finalidad y el principio mediante el cual trabajan (Soares-filho y Coutinho, 2002).

Dentro de los modelos de simulación encontramos los de cambio de uso del suelo (CUS), de los cuales se han desarrollado una gran variedad para ayudar en la evaluación y entendimiento del papel presente y futuro del CUS dentro del funcionamiento del sistema de la tierra. Estos proyectan escenarios futuros, tanto tendenciales como alternativos. Se realizan usando el uso del suelo pasado y presente en el cual la distribución espacial de los elementos con los que se construyen se estima mediante modelos matemáticos, el potencial de CUS en función de un sistema de variables explicativas (Veldkamp y Lambin, 2001). Estos conceden diversas ventajas: proyección de la localización de sitios propensos al cambio, mejor entendimiento de la relación entre cambio y causas, proporcionar información relevante en el manejo de recursos a corto, mediano y largo plazo, además de servir como herramienta de apoyo para las políticas ambientales (Aguilera, 2006; Lambin, 1994).

Estos modelos se han vuelto populares gracias a su manejabilidad, su capacidad de generar dinámicas que reproducen bien los procesos comunes de cambio. Además que son capaces de reproducir fenómenos complejos desde un punto de vista de dinámicas no lineales, pudiendo simular algunos procesos de cambio (Aguilera, 2006). Los patrones históricos de CUS reproducidos desde este punto de vista ayudan a proyectar la posible degradación en la diversidad biológica del planeta, ya que el CUS especialmente la deforestación, entendida como la pérdida de vegetación natural, tiene una serie de implicaciones que afectan directa e indirectamente a esta diversidad: entre ellas la pérdida de hábitat, el aislamiento de poblaciones producto de la fragmentación, la reducción del tamaño mínimo de

parche para hábitat continuo, el establecimiento y entrada de especies exóticas entre otras (Arriaga, 2009a; Mas et al., 2012; Trombulak y Frissell, 2000).

México es conocido por su alta diversidad biológica, considerándolo como uno de los países megadiversos junto con Brasil, Colombia e Indonesia (Ceballos et al, 2005; Rodríguez et al, 2003; Rusell y Goettsch, 1992) esta diversidad se encuentra en constante amenaza por la deforestación. Las cifras más recientes indican que México pierde alrededor de 274 mil hectáreas anuales (CONAFOR, 2012; FAO, 2010). Esta deforestación puede ocasionar en el mediano y corto plazo aumento en las tasas de extinción de especies en el mundo, equiparables a las que se presentaron en la última glaciación (Dirzo y Raven, 2003; Wake y Vredenburg, 2008).

A pesar de lo anterior, Baja California se distingue por ser uno de los territorios del país donde la presión antrópica hacia los recursos naturales es en términos generales baja, aunque muy focalizada hacia el norte del estado, en particular hacia Tijuana, Mexicali (Rosete, Pérez, y Bocco, 2008a) y Ensenada, en donde en particular los límites de las ciudades se han incrementado de manera considerable en los últimos años (Farley et al., 2012; Ojeda-Revah et al., 2007; Ojeda-Revah, 2007; Rosete et al., 2008; Rosete et al., 2013; Salinas-Espinosa et al., 2013).

De continuar con las tendencias de crecimiento de ciudades con tendencia a la deforestación, en el cual las normas de planeación existen pero se omiten, en los siguientes años debido esta deforestación puede llegar a devastar grandes zonas de vegetación importantes para la zona geográfica donde se encuentra el matorral

costero, el chaparral y las dunas costeras, las cuales son caracterizadas por ser coberturas naturales donde existen una mayor cantidad de endemismos en el norte de México (Riemann y Ezcurra, 2007) . Además esta diversidad proporciona una serie de funciones y servicios ambientales a la población humana que habita alrededor de ella, como es la retención de suelos, la captura de carbono y el control de la erosión (González-Botello y Bullock, 2012).

Aunque a ciencia cierta no podemos saber el desarrollo futuro de los procesos de deforestación, podemos desarrollar un modelo de acuerdo a las tendencias observadas, analizando el posible futuro respecto a este proceso en la zona. Realizando un modelo que nos muestre cuales serían las tendencias de la deforestación de seguir con el modelo de manejo de recursos actual, y de esta manera en el corto y mediano plazo generar alternativas de manejo que nos permitan mitigar el posible impacto en el sistema ambiental. El objetivo de este trabajo es implementar un modelo proyectivo de cambio de uso del suelo para evaluar la deforestación así como sus probables trayectorias hacia el futuro en una zona de Ensenada, Baja California.

Área de estudio

El área de estudio abarca alrededor de 267 mil hectáreas y se ubica entre las coordenadas geográficas 32°05'N, 116°53'O y 31°31'N, 116°39'O (Anexo 1, Figura 1), de las cuales el 25% de la zona corresponde al centro de población de Ensenada, Baja California. Los límites del área se ajustaron en función de los límites de subcuencas hidrológicas delimitadas por CONABIO (1998) que correspondían a este centro de población. Esta zona cuenta con un intervalo

altitudinal de los 0 hasta los 1880 msnm. El área se compone de llanuras costeras y aluviales. El tipo del clima es mediterráneo, similar al del sur de California (Dallman, 1998), este clima esta caracterizado por veranos secos y calientes, e inviernos húmedos, lluviosos y fríos. La temperatura media es 17.8°C; la precipitación media anual es 262,7 milímetros, y humedad relativa a partir del 43,9% a 69,8%.

La flora es la característica de la provincia florística de California (Oberbauer, 1999) que presenta matorral rosetofilo costero, chaparral, dunas de arena, vegetación riparia, y bosque de pino (Pase y Brown, 1982). El matorral rosetofilo costero y el chaparral son las predominantes en la zona, estas se caracterizan por ser arbustos de 0.50 a 1.50 m que permanecen sin hojas la mayor parte del año, a excepción de los meses donde hay mayores grados de humedad y la mayoría de las plantas de este tipo de vegetación florecen (Espejel et al., 2001). Además de ser una zona con un alto grado de endemismos, ya que de las alrededor de las 3500 plantas reportadas para la península de Baja California, un 20% son endémicas (Riemann y Ezcurra, 2007).

MÉTODO

Se realizaron dos fases: la de interpretación y detección del cambio y la fase del modelo tendencial de CUS, para estas:

Se utilizaron las capas de uso del suelo para analizar los cambios para el año de 1993 y 2009 respectivamente, así como el mapa del año 2012 para la fase de validación. Estos provenientes de las cartas de uso de suelo y vegetación de

INEGI serie II-1993 y serie IV-2009 (INEGI, 2010). Como variables explicativas (Figura) se utilizaron la distancia a arroyos, distancia a carreteras, altitud, pendiente, distancia a la línea de costa y distancia a localidades urbanas (mayores a 2500 habitantes), ya que son consideradas las variables que pueden actuar para favorecer el cambio, aunque no son todas, son las que fue posible obtener y fue posible hacerlas variables de tipo espacial (Geist y Lambin, 2001; Geist y Lambin, 2002). Las clases de cobertura y uso del suelo consideradas fueron ocho: agricultura (1), asentamientos humanos (2), bosque de pino (3), chaparral (4), cuerpo de agua artificial (5), dunas costeras (6), matorral costero (8) y vegetación riparia (9).

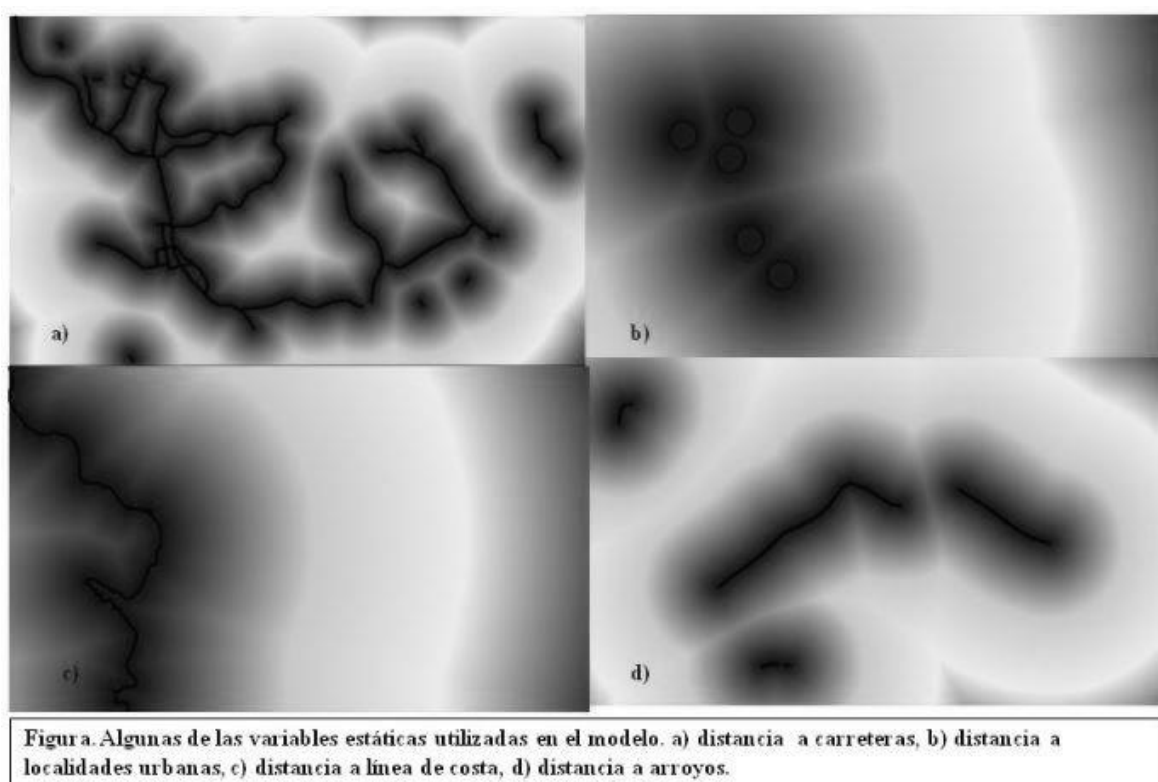


Figura. Variables estáticas utilizadas en el modelo.

El análisis de CUS para los tres tiempos, se realizó de acuerdo a la metodología sugerida por Bocco et al. (2001), en la cual se realiza una sobreposición cartográfica mediante herramientas de cruce en el software, y posteriormente se compararon la extensión y el cambio en el tiempo para cada cobertura considerada.

Para el modelado de las trayectorias de deforestación de CUS, se utilizó el software DINAMICA-EGO (Soares-Filho et al., 2013). Este software en sus algoritmos toma en cuenta los patrones espaciales y temporales vinculados a los procesos de cambio a través del tiempo, tomando en cuenta no solo el uso del suelo, sino también una serie de variables explicativas sobre el entorno de la zona de estudio. En este sentido DINAMICA realiza modelos híbridos por su trabajo con algoritmos que implementan diferentes principios, que conforme aumentan su complejidad se convierten en modelos más completos. Este ha sido utilizado en diferentes trabajos en los cuales realizan modelos de simulación de CUS para deforestación (Maeda et al., 2011; Mas y Flamenca, 2011; Merry et al., 2009; Soares-Filho et al., 2006), para crecimiento urbano (Almeida et al., 2003; Almeida et al., 2008; Almeida, 2004; Maeda et al., 2011) así como para crecimiento agrícola.

Los tres algoritmos principales del modelo implementados en DINAMICA son las matrices de transición, autómatas celulares y los pesos de evidencia, los cuales se explican a continuación:

Matrices de transición

El método de las matrices de transición, se utiliza para observar el cambio y permanencia entre clases, en este método se asume que el mejor predictor para analizar el CUS es el uso pasado y actual del suelo (Irwin y Geoghegan, 2001). Se trata de un procedimiento donde el valor en el tiempo 0 y el valor en el tiempo 1 dan la probabilidad de permanencia en un tiempo $t+1$, el algoritmo compara dos capas de uso del suelo que se suceden cronológicamente, y estima y configura una matriz de probabilidad de transición (Paegelow, Camacho, y Menor, 2003). Por ejemplo si se compara el mapa de uso del suelo del año de 1985(tiempo 0) con el del año 2000(tiempo 1), se obtendrá la probabilidad de cambio y permanencia de clases para un periodo similar de tiempo($t+1$), es decir 15 años, dando como resultado una matriz de paso simple.

Cuadro 5. Ejemplo de matriz de transición de paso simple. La diagonal indica permanencia por clase, las demás celdas indican cambios en el periodo de tiempo.

		2000			
		A	B	C	D
1985	A	0.83	0.1	0.04	0.03
	B	0.11	0.54	0.35	0
	C	0.04	0.1	0.67	0.19
	D	0.02	0.2	0	0.78

DINAMICA a diferencia de otros sistemas, crea no solo una matriz de paso simple, sino también realiza la derivación de esta matriz para convertirla en una matriz anualizada la cual sirve posteriormente para conocer la tasa de cambio anual.

Pesos de evidencia

El método de pesos de evidencia que emplea DINAMICA, se basa en el principio general de las probabilidades condicionales que calcula la probabilidad de ocurrencia de un evento dado que otro evento, independiente del primero ya ocurrió. Los pesos de evidencia representan la influencia de cada una de las variables en la probabilidad espacial de ocurrencia de una transición. Para mayores detalles sobre el cálculo de pesos de evidencia ver (Soares-Filho et al., 2009). En esta fase se obtuvieron los pesos de cada variable para determinar su influencia en el modelo según las transiciones con las que se trabajó y las variables con que se desarrolló el modelo.

Autómatas celulares (AC)

DINAMICA implementa un modelo basado en AC, en el cual se ingresan dos tipos de variables, las estáticas como la pendiente, la distancia a caminos y las carreteras, el tipo de propiedad de la tierra, el tipo de suelo, entre otras, (Lambin, 1994; Mas et al., 2014). Las cuales actúan como variables que explican los cambios. Los AC son sistemas espaciales dinámicos en los que el estado de cada celda depende de los estados previos de las celdas vecinas, de acuerdo con un conjunto de reglas de transición (White et al., 1997). Los AC tienen un amplio rango de aplicaciones, Balzter et al. (1998) realizó una revisión de trabajos que empleaban AC, en la cual muestra diversas aplicaciones como son: cambio de uso del suelo, patrones sucesionales de vegetación, competencia inter e intraespecífica, distribuciones genotípicas, entre otras. Para CUS el autor hace mención de las primeras aplicaciones de AC en la década de los 80. Lo anterior

indica la amplia variedad de aplicaciones de estos en la modelación de procesos, no solo del paisaje sino también de otras temáticas.

Consideraciones y fases del proceso modelado

En la realización de un modelo es indispensable tener ciertas consideraciones, ya que de ellas dependerá su calidad, entre las más importantes son: ventajas que se obtiene de realizar el modelo, partes que lo conforman (variables dinámicas y variables estáticas), fases de implementación que son tres: calibración, simulación y validación (Jorgensen y Bendoricchio, 2001). Entre las ventajas más sobresalientes del modelado en DINAMICA se encuentran el presentar la mayoría de los operadores de un SIG, permitir el desarrollo de modelos sofisticados, y usar tanto modelos basados en tendencias observadas, así como modelos basados en conocimiento experto (Mas et al., 2014). En la figura se muestra de manera general el desarrollo del modelo y se hace mención de las principales fases desarrolladas del modelo proyectivo de CUS.

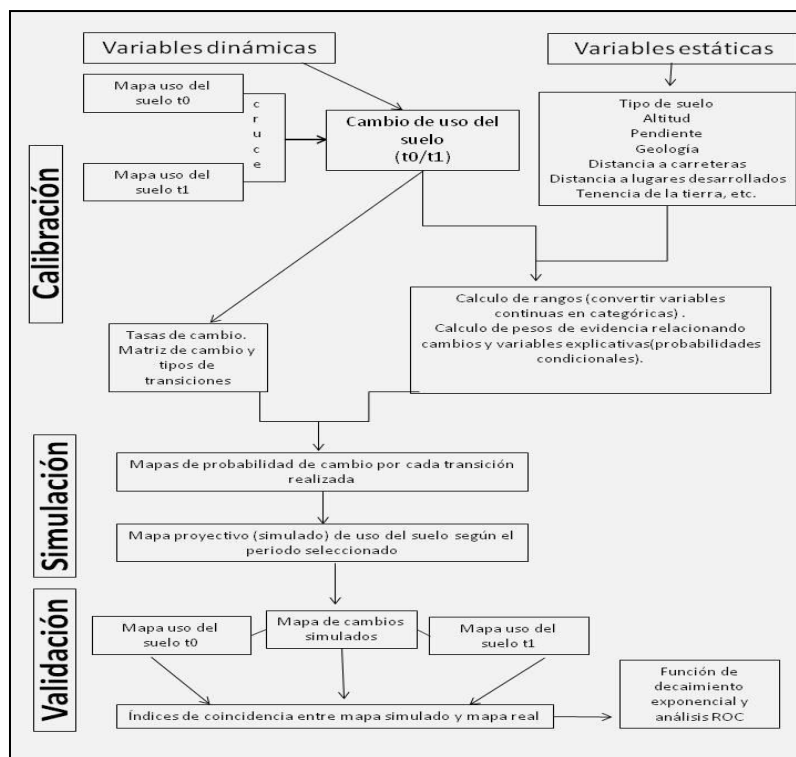


Figura. Proceso del modelo de CUS implementado en DINAMICA.

Calibración

En esta primera fase se calibra el modelo principalmente respondiendo a tres preguntas, ¿cuánto cambia? y ¿cuáles son los probables cambios de acuerdo con las variables explicativas?. El primer paso para la calibración consiste en calcular la probabilidad de cambio, mediante las matrices de transición. Se realizó un cruce de mapas el de 1993 y 2009, generando dos tipos de matrices, la matriz simple, y una matriz anual para 16 años.

Posteriormente se calculan los rangos, esto debido a que existen variables de tipo continuas que no pueden ser tomadas en cuenta en el modelo ya que los pesos de evidencia son calculados mediante variables categóricas. Por lo que los pesos de evidencia se calculan con estos rangos.

Rangos

El siguiente paso para la calibración es el cálculo de los pesos de evidencia. Para mejorar el resultado de los pesos de evidencia, es necesario que las variables utilizadas para calcularlos sean espacialmente independientes entre sí. Para verificar que no existiera dependencia entre las variables y eliminar las que no cumplían con esta norma, se calculó el Índice de Cramer (Almeida, 2004; Bonham-Carter, 1994; Soares-Filho et al., 2009) en la cual variables que tenían este índice con un valor superior a 0.35 fueron eliminadas del modelo. En esta fase, que es la de calibración se obtiene un mapa de probabilidad de cambio.

Simulación

Se utilizaron dos funciones del programa DINAMICA *patcher* y *expander*, estas simulan mediante autómatas celulares los cambios en cada paso de tiempo que en este caso es anual. El resultado es un mapa tendencial de uso del suelo según el periodo estudiado, en este caso al ser comparados dos periodos (1993 vs 2009) en los que existen 16 años, se modela hacia el futuro el mismo periodo en este caso el mapa final serán 16 mapas anuales desde el año 2009 hasta el año 2025. El mapa de propensión obtenido en la calibración, permite en la fase de simulación, la construcción de escenarios hipotéticos de la superficie que podría ser transformada en el futuro. Esto se hace mediante la reclasificación de las áreas susceptibles al cambio en nuevas categorías de cobertura.

El software usa dos funciones de transición complementarias a través de la técnica de autómatas celulares. La primera es una función llamada *patcher* diseñada para formar nuevos parches. La otra es denominada *expander* que simula los cambios por expansión o contracción de parches ya existentes de

distintas clases. En esta fase es necesario definir el porcentaje de transiciones a ejecutar por cada función y especificar los parámetros representados por la media y la varianza de los tamaños e isometría de los parches que se formen o expandan en los períodos analizados. Es posible controlar el tamaño promedio, la varianza y la isometría de los parches así como su distribución respecto al mapa de probabilidad lo cual ayuda a que en este caso puede ser un mapa proyectado de manera más realista (Mas et al. 2010).

Cuadro 6. Criterios utilizados en *patcher* y *expander*

	1993	2009	Tamaño promedio de parche (ha)	Varianza de tamaño de parche (ha)	Isometría de parche
Transición	Agricultura	Asentamientos humanos	20	20	1
	Chaparral	Agricultura	40	40	1
	Dunas costeras	Asentamientos humanos	1	1	1
	Matorral costero	Asentamientos humanos	10	10	1
	Ripario	Agricultura	1	1	1
	Ripario	Asentamientos humanos	1	1	1

Los criterios que se utilizaron en ambas funciones fueron los mismos para *patcher* y *expander*, se ajustaron de acuerdo a la extensión de cada posible transición, para las transiciones con extensión mayor se utilizaron parámetros mayores. Los que se presentan en el cuadro 6 fueron los que dieron mejores resultados de acuerdo a las pruebas de validación realizadas, estos criterios fueron aplicados como lo sugiere Mas et al. (2012).

Validación

Mientras la aplicación de los modelos espaciales aumenta con el paso de los años, la necesidad de comparar el grado de certidumbre también se incrementa.

Un buen método de comparación es necesario para validar el resultado y la calidad de nuestros modelos (Hagen, 2003). Existen diversos tipos de validación en las que cada una conlleva sus ventajas, en este tipo de modelos se conocen principalmente tres validaciones, las validaciones hechas pixel a pixel (como es el caso del estadístico de kappa), la validación ROC, el cálculo del índice de diferencia de potencial de cambio (DPC) y la validación "fuzzy" que implementa DINAMICA (Mas et al., 2013; Merry et al., 2009; Pontius et al 2004). Cada una con diferentes ventajas y desventajas.

Para evaluar la coincidencia espacial entre cambios simulado y un mapa real, utilizamos en la validación del modelo la validación "fuzzy", es una mezcla del método de kappa y la similaridad recíproca. Esta prueba es basada en el concepto de localización difusa, en la cual un pixel es evaluado no solo en función de sí mismo, sino por los pixeles en el vecindario, lo que lo convierte en una validación más compleja, en la cual además de evaluar pixel a pixel evalúa los pixeles vecinos a manera de ventanas de diferentes tamaños (Hagen, 2003). Esta validación es realizada realizando una normalización entre los tres mapas (inicial, final y simulado), se genera una matriz de pixeles que son evaluados en corridas a manera de ventanas. En cada corrida evalúa en ventanas iguales un número de pixeles que va aumentando de dos en dos iniciando en un pixel el cual tiene 100 metros de resolución, por lo cual la primera validación de coincidencia se da a 100 metros, la segunda con tres pixeles a 300 metros y así sucesivamente hasta llegar a los quince pixeles validados (Figura).

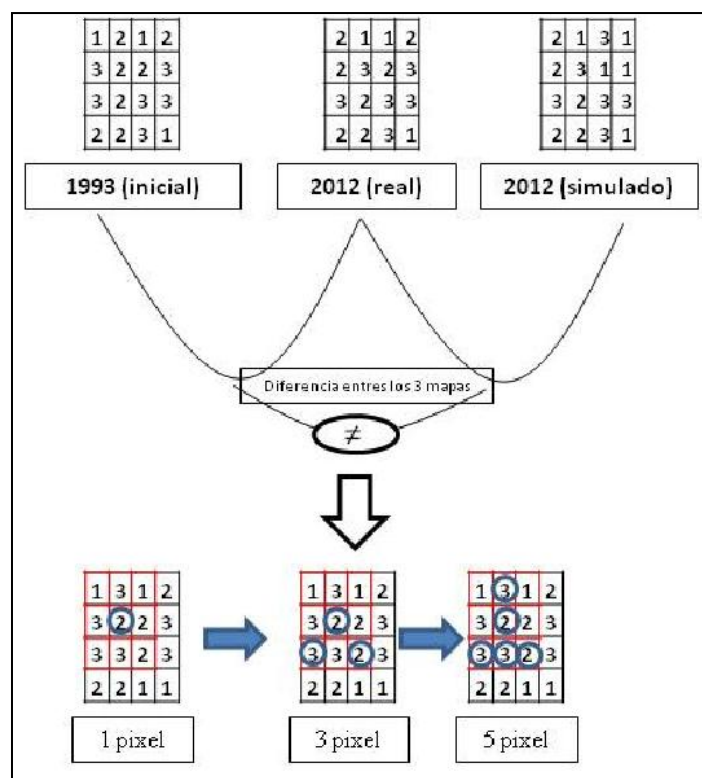


Figura. Esquema sobre la validación realizada en DINAMICA. Fuente:

Modificado de (Soares-Filho et al., 2013)

Para esto se utilizaron tres mapas el de 1993 (inicial), el de 2012 final y el de 2012 (simulado), por lo que se realizó una primera simulación desde el año 2009 hasta el 2012 (Anexo 1, Figura 5 y 6), posteriormente si se obtienen valores de similaridad con buena calidad (superior a 0.80), se realiza la simulación desde el año de simulación validado hasta el año de simulación deseado (2025) contándose 16 simulaciones en total una por cada año, tres en la primera validación y trece en la segunda corrida posterior a la validación.

Cuando se obtuvo un modelo de calidad se calcularon las áreas para los tres periodos de tiempo, y se realizó un análisis del cambio probable para el año 2025.

Cabe mencionar que aunque el modelo presenta la posibilidad de modificar los pesos de evidencia para que el valor de las variables de influencia sea mayor y así agregarle conocimiento experto, en este caso no se realizó tal acción, y solo se realizó apegándose a los criterios estadísticos descritos.

RESULTADOS

Uso del suelo año 1993

Para el año de 1993 (Cuadro 7) más del 80% de las categorías eran de vegetación natural, de las cuales el chaparral ocupa más de 212 mil de las 267,367 hectáreas totales. Seguido solo en extensión por la agricultura que ocupa alrededor del 12% de extensión, y de el matorral costero con 4.75% del total. Los asentamientos humanos cubren en este año 4227 hectáreas que son un 1.58%. Las categorías restantes suman en conjunto 1.85% que no por su extensión limitada son menos importantes.

Cuadro 7. Extensión por categoría en 1993

Categoría	Extensión 1993 Hectáreas	Extensión 1993 Porcentaje
Chaparral	212776	79.58
Agricultura	32722	12.24
Matorral costero	12708	4.75
Asentamientos humanos	4227	1.58
Bosque de pino	2799	1.05
Ripario	1518	0.57
Marisma	309	0.12
Dunas costeras	210	0.08
Cuerpo de agua	98	0.04
Total	267367	100

La figura 6 (Anexo 1) muestra la distribución espacial de las categorías antrópicas en la cual los asentamientos humanos estaban ubicados dentro del polígono en zonas hacia el noroeste y las zonas agrícolas no tienen una constante, pues estas se ubican en varios puntos del polígono, aunque están en su mayoría hacia el sur de la zona de estudio en la comunidad de Maneadero y al noreste de la mayor mancha urbana en ese periodo.

Uso del suelo año 2009

En el año 2009, la categoría de chaparral disminuyo hasta contar con solo un 77%, y la agricultura un 12.40% siendo las dos coberturas más abundantes, siguiéndoles el matorral costero con un 4.40% y los asentamientos humanos con 3.62% es decir alrededor de 9600 hectáreas. Las categorías restantes cubren apenas 1.79% de extensión respecto al total, equivalente a 4775 hectáreas. Las coberturas antrópicas en este periodo ocuparon el 16% del total, el restante es de coberturas naturales.

Cuadro 8. Extensión por categoría en 2009

Categoría	Extensión 2009 Hectáreas	Extensión 2009 Porcentaje
Chaparral	207982	77.79
Agricultura	33155	12.40
Matorral costero	11766	4.40
Asentamientos humanos	9689	3.62
Bosque de pino	2803	1.05
Ripario	1405	0.53
Marisma	283	0.11
Dunas costeras	186	0.07
Cuerpo de agua	98	0.04
Total	267367	100

La figura 8 (Anexo 1) muestra la distribución espacial de las categorías antrópicas, respecto al año de 1993 la mayor concentración se sigue encontrando hacia el noroeste, pero se observa el crecimiento hacia el suroeste del centro de población. A pesar de que la categoría de agricultura mostro un aumento, en la zona que para 1993 era agrícola se vio reducida esta frontera, el crecimiento se presenta en otras zonas del polígono en las que éste fue dado a manera de parches.

La única cobertura que mantiene su extensión en ambos tiempos es la de cuerpo de agua. Y los bosques de pino que solo experimentan cuatro hectáreas de disminución. Si bien el chaparral no experimentó un gran cambio en porcentaje, se pierden 4794 hectáreas de esta cobertura. Así como el matorral costero que perdió 942 hectáreas de su extensión. Cabe mencionar que la mayoría de cambios están dados en la cercanía de la zona costera, sobre todo el crecimiento de la mancha urbana.

Principales cambios 1993 y 2009

Los cambios en extensión se muestran en el cuadro 9, la única categoría que se mantiene es la de cuerpo de agua, el caso del bosque de pino, se consideró que mantiene su extensión, ya que solo disminuyó cuatro hectáreas y este cambio es mínimo y se puede deber a un error de producción en los mapas insumo en el trazo de los polígonos. Las únicas coberturas que experimentaron aumento son las antrópicas, asentamientos humanos y agricultura, todas las restantes disminuyeron su extensión respecto al periodo de 1993.

Cuadro 9. Cambios en extensión por categoría en los periodos de estudio

	Extensión Año 1993	Extensión Año 2009	Extensión Año 1993	Extensión Año 2009	
Categoría	Porcentaje		Hectáreas		Estatus
Chaparral	79.58	77.79	212776	207982	Disminuye
Agricultura	12.24	12.40	32722	33155	Aumenta
Matorral costero	4.75	4.40	12708	11766	Disminuye
Asentamientos humanos	1.58	3.62	4227	9689	Aumenta
Bosque de pino	1.05	1.05	2799	2803	Se mantiene
Ripario	0.57	0.53	1518	1405	Disminuye
Marisma	0.12	0.11	309	283	Disminuye
Dunas costeras	0.08	0.07	210	186	Disminuye
Cuerpo de agua	0.04	0.04	98	98	Se mantiene

El cuadro 10 muestra el porcentaje de cambio, aunque estos pudieran parecer cambios pequeños en porcentaje, no lo son. Los asentamientos humanos aumentaron 2.04% respecto a su extensión inicial un aumento de 5462 hectáreas. La coberturas de chaparral disminuyó 1.79% que son 4794 hectáreas pérdidas de esta cobertura. Otros cambios sobresalientes son el aumento de 0.16% de agricultura (433 hectáreas) y una disminución de 0.35% de matorral costero (942 hectáreas).

**Cuadro 10. Cambios en extensión por categoría en los periodos de estudio
(el signo negativo indica disminución)**

Categoría	Cambio en porcentaje	Cambio en hectáreas
Chaparral	-1.79	-4794
Agricultura	0.16	433
Matorral costero	-0.35	-942
Asentamientos humanos	2.04	5462
Bosque de pino	0.00	4
Ripario	-0.04	-113
Marisma	-0.01	-26
Dunas costeras	-0.01	-24
Cuerpo de agua	0	0

Matrices de transición anual y múltiple

El cruce de mapas de 1993 y 2009, generó dos tipos de matrices, la matriz de un solo paso y la matriz anualizada para 16 años (Ver Anexo 2). Estas arrojaron 23 transiciones de las cuales fueron seleccionadas las seis con valores de cambio mayores, que además correspondían a transiciones que pasaban de ser naturales a humanas. Las transiciones con valores muy bajos fueron eliminadas del modelo, así como por ser cambios entre categorías naturales, ya que el modelo solo se enfocó en los cambios humanos además de que algunas se debían a posibles errores en el etiquetado de los polígonos. Las transiciones empleadas en el modelo se muestran en el cuadro 11.

Cuadro 11. Transiciones empleadas en el modelado.

1993	2009
Ripario	Agricultura
Dunas costeras	Asentamientos humanos
Agricultura	Asentamientos humanos
Matorral roseto filo costero	Asentamientos humanos
Ripario	Asentamientos humanos
Chaparral	Agricultura

Calculo de rangos

El modelo calculo 54 rangos derivados de nueve variables por cada transición empleada, convirtiendo las variables continuas en categóricas, no se modificaron los rangos, se dejaron como los arrojo el modelo. La figura siguiente, muestra la manera en que es posible visualizar los rangos por transición en DINAMICA, que se pueden editar según el conocimiento experto, aunque en este caso no se realizó.

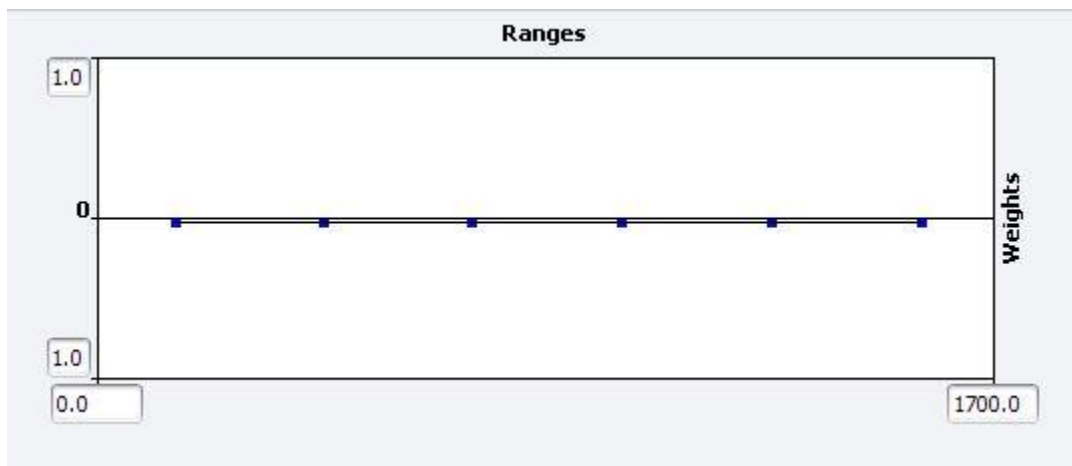


Figura. Ejemplo de los rangos calculados en DINAMICA para la variable altitud en la transición de agricultura a asentamientos humanos

Pesos de evidencia

Los pesos de evidencia para las seis transiciones fueron 54 al igual que los rangos, pero en la prueba de Cramer (Ver anexo 2) se encontraron 11 variables con valores por encima del valor elegido (0.35), por lo cual se eliminaron del modelo y se trabajó el modelo final solo con 43 pesos (Ver anexo 2). En el cálculo de los pesos de evidencia existieron variables que tuvieron más peso en el modelo (Ver anexo 2), el cuadro 12 muestra la variable que tuvo la mayor influencia por cada transición, aunque en la mayoría de las transiciones la variable distancia a carreteras fue la que tuvo una mayor influencia en el modelo, teniendo peso en el modelo en cuatro de las seis transiciones. Las variables pendiente y tipo de suelo aportan valores cercanos a cero en el modelo, solo con dos excepciones en el cual el tipo de suelo aporta a dos transiciones (transición de dunas a asentamientos humanos y transición matorral costero a asentamientos humanos), aunque estos son valores muy bajos. Las tablas del anexo 2 muestran tres tipos de valores, el peso (+), el peso (-) y el peso (0), el primero expresa influencia positiva en el modelo (en zonas con esta variable ayuda a aumentar el cambio), el segundo influencia negativa (en zonas con esta variable inhibe el cambio), y el tercero no influye de ninguna manera en el modelo de cambio.

Cuadro 12. Variables con mayor peso para cada transición

Año 1993	Año 2009	Variable	peso
Ripario	Asentamientos humanos	distancia a localidades	6.29157
Ripario	Agricultura	distancia a localidades	5.60739
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a asentamientos humanos	3.69183
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a línea de costa	3.4619
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a agricultura	2.74084
Chaparral	Agricultura	distancia a agricultura	2.64599

En la figura se observa que en la transición de chaparral a asentamientos humanos, con la variable distancia a agricultura, en los primeros rangos la variable tiene influencia positiva fuerte en la transición. En los rangos secundarios la variable comienza a reducir su efecto hasta hacerse negativo, pasando por valores de cero significa que no tiene efecto en la transición

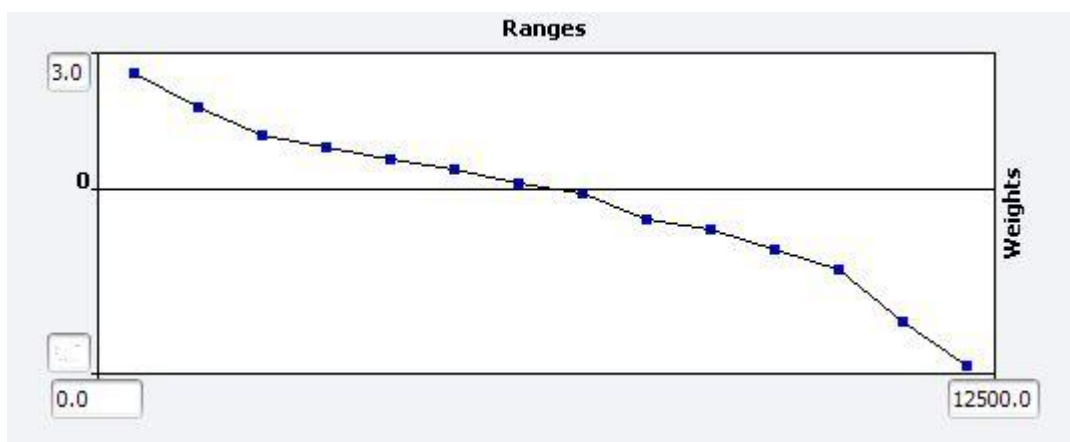


Figura. Ejemplo de los pesos de evidencia calculados en DINAMICA para la variable distancia a agricultura en la transición de chaparral a asentamientos humano

Con el cálculo de pesos de evidencia, se calcula la probabilidad condicional, es decir la probabilidad de ocurrencia de las transiciones con o sin presencia de las variables que expresan los cambios. Lo anterior identifica los sitios con mayor probabilidad de cambio para cada transición (Ver anexo 2), los sitios más

propensos al cambio, se ubican en diferentes zonas según las transiciones, aunque se observan alrededor de la costa o en la zona noreste dentro del polígono del centro de población de Ensenada.

Validación del modelo

La validación realizada (Gráfico 2), muestra los valores de similaridad obtenidos en cada tamaño de ventana, y aumenta la similaridad conforme aumenta la distancia. La similaridad a 100 metros fue de 0.86 y cada aumento en 200 metros, la validación final a 1500 metros fue de 0.98 por lo que se considera un modelo de calidad ya que según los criterios de coincidencia, la calidad es buena por tener valores superiores a 0.80 (Almeida, 2004).

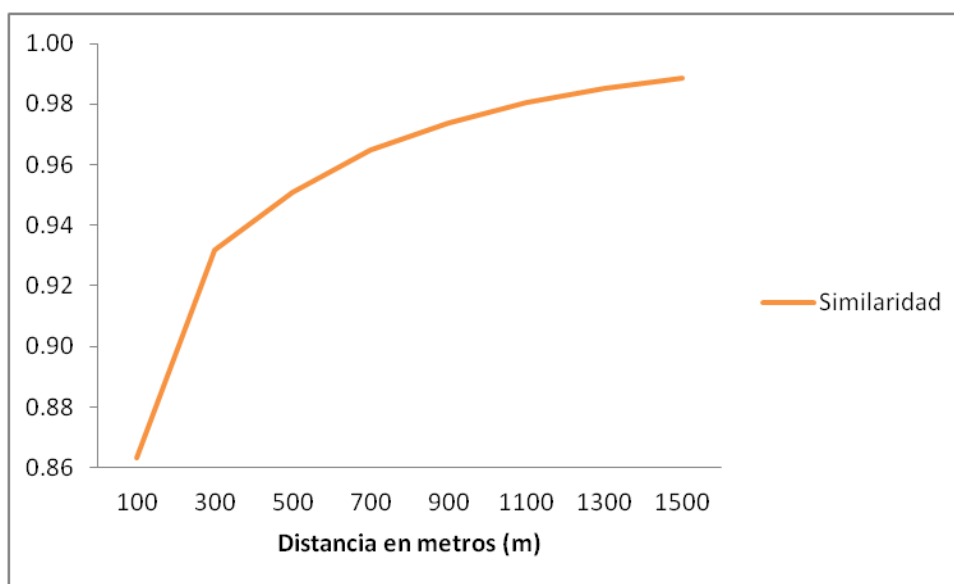


Gráfico 2. Similaridad obtenida entre el mapa simulado y el mapa observado.

Cuando se tuvo la certeza de que el modelo realizado era un modelo de calidad buena, se procedió a realizar la simulación hasta el año 2025.

Escenario tendencial 2025

Se elaboró el modelo proyectivo tendencial hacia el año 2025 (Anexo 1, Figura 8), las transiciones que no se incluyeron en el modelo no presentaron cambios, respecto al año de 2009. No obstante se observa un crecimiento tendencial en las mismas zonas donde hubo crecimiento en el periodo de 1993 a 2009. El modelo mostró las tendencias acorde a las variables y lo observado en el periodo previo.

El cuadro 13 muestra las tendencias en aumento, en las que los principales cambios continuarían en las zonas de agricultura y asentamientos humanos, así como la disminución del chaparral, matorral y el ripario. Las categorías restantes no presentarían cambios comparándose con el año 2009.

Cuadro 13. Extensión por categoría y periodo de estudio

Categoría	Año 1993	Año 2009	Año 2025	Año 1993	Año 2009	Año 2025
	Hectáreas			Porcentaje		
Agricultura	32722	33155	33795	12.24	12.40	12.64
Asentamientos humanos	4227	9689	14515	1.58	3.62	5.43
Bosque de pino	2799	2803	2803	1.05	1.05	1.05
Chaparral	212776	207982	203580	79.58	77.79	76.14
Cuerpo de agua	98	98	98	0.04	0.04	0.04
Dunas costeras	210	186	186	0.08	0.07	0.07
Marisma	309	283	283	0.12	0.11	0.11
Matorral costero	12708	11766	10956	4.75	4.40	4.10
Ripario	1518	1405	1151	0.57	0.53	0.43

El cambio en porcentaje (Grafico 3), comparando los tres periodos, muestra como a pesar de que en el periodo de 1993 y 2009 hubo cambios que podrían continuar en el futuro, no serían comparables en porcentaje con los del periodo 2009 y 2025,

solo la agricultura que de 1993 a 2009 cambio en 0.16% para el periodo de cambio 2009 a 2025 podría cambiar en 0.24%.

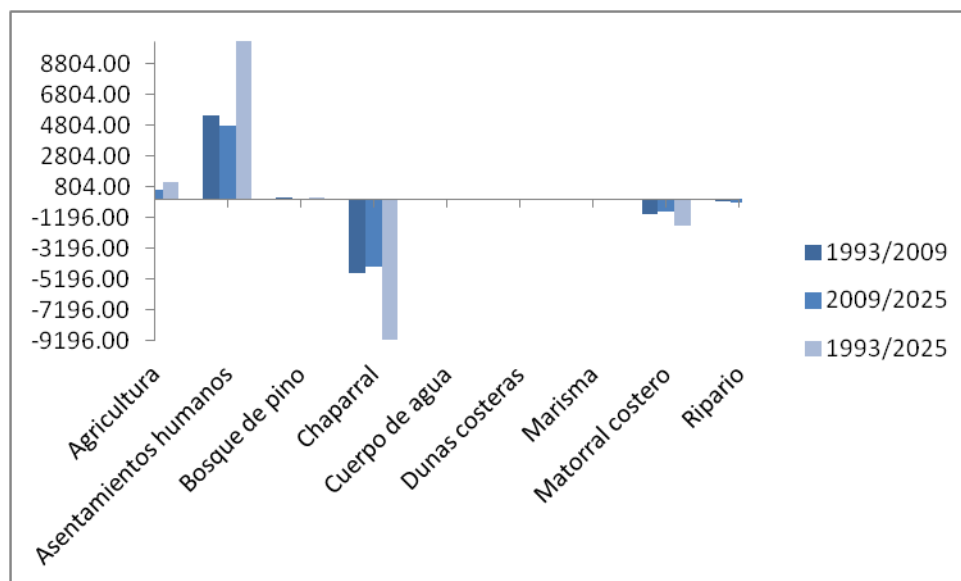


Gráfico 3. Cambio por clase en hectáreas

Los asentamientos humanos aumentaron de 1993 a 2009 un 1.8%, en el modelo podrían aumentar de 2009 a 2025 un 1.6%. El modelo indica que en el año de 2025 tendríamos una extensión de asentamientos humanos de 14500 hectáreas, esto equivale a un aumento de más de 340% de la mancha urbana hacia el año de 2025. La agricultura tendría una extensión aproximada de 33795 hectáreas, que equivale a un aumento de 3% respecto al periodo de 1993.

Para este mismo periodo, las coberturas naturales indican tres cambios: la disminución de alrededor de 4% de chaparral, 14% de matorral y 25% de ripario. Esto es una disminución de 9200, 1752 y 367 hectáreas respectivamente para cada categoría.

DISCUSIÓN

No se encontraron trabajos sobre este tema para la misma zona de estudio, o para la zona de Ensenada, solo trabajos sobre deforestación e incremento de la mancha urbana en el municipio de Tijuana (Farley et al., 2012; Ojeda-Revah et al., 2007; Ojeda-Revah, 2007) en los cuales las tendencias históricas son las mismas que se pueden ver para nuestra zona de estudio, una constante deforestación que favorece a la mancha urbana y las coberturas y usos antrópicas.

Aunque para la zona no hay trabajos previos, podemos compararlo con el trabajo a nivel de la península de Baja California realizado por (Rosete et al., 2008b, 2013) en el cual muestra los cambios muy focalizados hacia los extremos de la península con tendencias a la antropización.

En nuestro caso particular los cambios históricos y probables que se pueden dar a través del tiempo son en la parte media del CPE y la tendencia de crecimiento observada es hacia el sur del CPE y en el sureste del polígono en estudio. Además este trabajo coincide con las investigaciones realizadas en otras zonas del país donde se han realizado trabajos de modelado y simulación de CUS. Ya que se ha encontrado la misma constante, un aumento de agricultura y pastizal, así como asentamientos humanos, y una pérdida de vegetación natural (Aguilera, 2006; Díaz-Gallegos et al., 2008; López, Bocco, Mendoza, y Duhau, 2001; Jean-François Mas y Flamenco, 2011; Rosete et al., 2013; Sahagún-Sánchez, Reyes-Hernández, Flores Flores, y Vargas, 2011).

Este tipo de modelos a nivel de Baja California no han sido incluidos dentro de las políticas de la planeación, no obstante a nivel federal la CONABIO sugiere su inclusión en ellas, ya que de incorporarse proyecciones a futuro, los modelos tienen el potencial de simular la posible respuesta a cuestiones de impactos de políticas públicas en el uso de los recursos. Tomando en cuenta lo anterior, es necesario considerar en el modelado las estimaciones del impacto del manejo actual de los recursos, dado por las actividades antropocéntricas bajo diferentes escenarios en el cual la gran mayoría, para observar las posibles tendencias y crear políticas en el corto, mediano y largo plazo que contribuyan a eficientizar el manejo de recursos y en algunos casos disminuir los impactos de las actividades humanas como lo es el uso del suelo.

Evaluando las trayectorias probables de CUS se puede dar cuenta de la dinámica a escalas diferentes como a nivel de poblaciones, a nivel de cuenca (o subcuenca), a nivel regional e incluso a nivel global. Ya que el CUS y la deforestación en particular, tienen consecuencias diferentes, según la escala de estudio (Bocco et al. 2001; Arriaga 2009). No obstante es imprescindible tomar en cuenta el factor escala, ya que algunas variables del modelo son bastante heterogéneas dependiendo la escala de estudio.

Para estudios posteriores se sugiere la inclusión de variables sociales, aunque como se menciono anteriormente esto necesariamente debe de ser analizado en el contexto local, ya que las variables sociales que pueden ocasionar el CUS varían ampliamente de una región a otra (Bawa y Dayanandan, 1997). Por lo que se pueden incluir en el proceso del modelado variables de tipo social como

indicadores de marginación, pobreza y desarrollo humano, bajo el supuesto de que sean variables que inciden directa o indirectamente en el CUS (Loening y Markussen, 2003; Reid y Swiderska, 2008). A la par de que se incrementa la complejidad del modelo, es conveniente incrementar el grado de certeza en la validación para su inclusión en las políticas de planeación. Ya que anteriormente los modelos eran elaborados mediante un solo principio, como autómatas celulares (Aguilera, 2006; Balzter et al., 1998) y cadenas de Markov o matrices de transición (López, Bocco, Mendoza, et al., 2001; López, Bocco, y Mendoza, 2001; Paegelow et al., 2003), estos aunque son modelos que no se encuentran alejados de la realidad, son modelos menos completos que los desarrollados en este trabajo, ya que incluyen una mayor cantidad de variables y pueden ser proyectados de manera anual y no solo en pasos completos de tiempo. Además se sugiere no realizar únicamente el escenario tendencial, sino más bien realizar escenarios deseados para poder evaluar el resultado al paso de los años, desarrollar el escenario de conservación así como también otros escenarios probables que podrían dar una mayor variedad de opciones al implementar este tipo de modelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, F. (2006). Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares. *GeoFocus*, 6, 81–112.
- Almeida, C. (2004). Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento : simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de bauru e piracicaba (sp), brasil.

- Almeida, C., Batty, M., Miguel, A., Monteiro, V., y Ca, G. (2003). Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics : empirical development and estimation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 27, 481–509.
- Almeida, C. M., Gleriani, J. M., Castejon, E. F., y Soares-Filho, B. S. (2008). Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(9), 943–963. doi:10.1080/13658810701731168
- Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos : un enfoque multiescalar. *Investigación Ambiental*, 1(195), 6–16.
- Balzter, H., Braun, P. W., y Kohler, W. (1998). Cellular automata models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling*, 107, 113–125.
- Bawa, K., y Dayanandan, S. (1997). Socioeconomic factors and tropical deforestation. *Nature*, 386, 562–563.
- Bocco, G., Mendoza, M., y Maser, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán . Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas UNAM*, 44, 18–38.
- Bonham-Carter, G. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists : Modelling with GIS* (1st ed., p. 402).
- Ceballos, G., Arroyo, J., Rodrigo, M., y Yolanda, D. (2005). Lista actualizada de los mamíferos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 9, 21–71.
- CONAFOR. (2012). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe 2004-2009* (p. 228).
- Dallman, P. (1998). *Plant life in the world's mediterranean climates*. (University.).
- Díaz-Gallegos, J. R., Mas, J., y Velázquez, A. (2008). Monitoreo de los patrones de deforestación en el corredor biológico mesoamericano, México. *Interciencia*, 33, 882–890.
- Dirzo, R., y Raven, P. H. (2003). Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 137–167. doi:10.1146/annurev.energy.28.050302.105532
- Espejel, I., Aramburo, G., Leyva, C., Cruz, Y., Bravo, L., y Flores, J. D. (2001). Coastal management in the Mediterranean type of vegetation in Baja California Mexico. Medcoast. In E. Ozhan (Ed.), *Proceedings of the Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*.

- FAO. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 Informe principal* (p. 381).
- Farley, K. a., Ojeda-Revah, L., Atkinson, E. E., y Eaton-González, B. R. (2012). Changes in land use, land tenure, and landscape fragmentation in the Tijuana River Watershed following reform of the ejido sector. *Land Use Policy*, 29(1), 187–197. doi:10.1016/j.landusepol.2011.06.006
- Geist, H. J., y Lambin, E. F. (2001). *What Drives Tropical Deforestation? A meta-analysis based on subnational case study evidence* (LUCC Repor., p. 136).
- Geist, H., y Lambin, E. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, 52(2), 143–150.
- González-Botello, M. a., y Bullock, S. H. (2012). Erosion-reducing cover in semi-arid shrubland. *Journal of Arid Environments*, 84, 19–25. doi:10.1016/j.jaridenv.2012.04.002
- Hagen, A. (2003). Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(3), 235–249. doi:10.1080/13658810210157822
- INEGI. (2010). *Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250,000*.
- Irwin, E. G., y Geoghegan, J. (2001). Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 85(1-3), 7–24. doi:10.1016/S0167-8809(01)00200-6
- Jorgensen, S. E., y Bendoricchio, G. (2001). *Fundamentals of ecological modelling* (p. 543).
- Lambin, E. . (1994). *Modelling deforestation processes: A Review* (p. 132).
- Loening, L., y Markussen, M. (2003). *Pobreza, deforestación y pérdida de la biodiversidad en Guatemala* (p. 46).
- López, E., Bocco, G., y Mendoza, M. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo . El caso de la ciudad de Morelia Prediction about changes in land-use . The case of Morelia. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 45, 56–76.
- López, E., Bocco, G., Mendoza, M., y Duhau, E. (2001). Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe A case in Morelia city , Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 55, 271–285.

- Maeda, E., Almeida, C. M. De, Carvalho, A. de, Formaggio, A., Shimabukuro, Y., y Pellikka, P. (2011). Dynamic modeling of forest conversion: Simulation of past and future scenarios of rural activities expansion in the fringes of the Xingu National Park, Brazilian Amazon. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3), 435–446. doi:10.1016/j.jag.2010.09.008
- Mas, J.-F., Filho, B., Pontius, R., Gutiérrez, M., y Rodrigues, H. (2013). A Suite of Tools for ROC Analysis of Spatial Models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(3), 869–887. doi:10.3390/ijgi2030869
- Mas, J.-F., y Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico*, 5(1), 1–24.
- Mas, J.-F., Kolb, M., Paegelow, M., Camacho Olmedo, M. T., y Houet, T. (2014). Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling y Software*, 51, 94–111. doi:10.1016/j.envsoft.2013.09.010
- Mas, J.-F., Pérez-Vega, A., y Clarke, K. C. (2012). Assessing simulated land use/cover maps using similarity and fragmentation indices. *Ecological Complexity*, 11, 38–45. doi:10.1016/j.ecocom.2012.01.004
- Merry, F., Soares-Filho, B., Nepstad, D., Amacher, G., y Rodrigues, H. (2009). Balancing conservation and economic sustainability: the future of the Amazon timber industry. *Environmental Management*, 44(3), 395–407. doi:10.1007/s00267-009-9337-1
- Mittermier, R., y Goettsch, C. (1992). La importancia de la diversidad biológica de México. In *México ante los retos de la biodiversidad*. (pp. 63–73).
- Oberbauer, T. (1999). La vegetación del noroeste de Baja California. *Freemontia*, 16–27.
- Ojeda-Revah, L. (2007). *Una cuenca dos historias. La cuenca del Rio Tijuana*. UABC.
- Ojeda-Revah, L., Bocco, G., Ezcurra, E., y Espejel, I. (2007). Land-cover / use transitions in the binational Tijuana River watershed during a period of rapid industrialization. *Applied Vegetation Science*, (December 2007), 107–116. doi:10.3170/2007-7-18331
- Paegelow, M., Camacho, M., y Menor, J. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *GeoFocus*, 3, 22–44.

- Pase, C. P., y Brown, D. E. (1982). Californian coastal scrub. In *Biotic communities of the southwest of United States and Mexico. Desert Plants*. (pp. 86–89).
- Pontius, R. G., Huffaker, D., y Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*, 179(4), 445–461. doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010
- Reid, H., y Swiderska, K. (2008). Biodiversidad , cambio climático y pobreza : una exploración de los vínculos Nota Informativa del IIED. *International Institute for Environment and Development*.
- Riemann, H., y Ezcurra, E. (2007). Endemic regions of the vascular flora of the peninsula of Baja California, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 18(3), 327. doi:10.1658/1100-9233(2007)18[327:EROTVF]2.0.CO;2
- Rodríguez, P., Soberón, J., y Arita, H. (2003). El componente beta de la diversidad de mamíferos de México. *Acta Zoologica Mexicana*, 259, 241–259.
- Rosete, F., Pérez, J. L., y Bocco, G. (2008a). Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península Baja California Peninsula , Mexico. *Investigaciones Geográficas*, 67, 39–58.
- Rosete, F., Pérez, J. L., y Bocco, G. (2008b). Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 67, 39–58.
- Rosete, F., Velázquez, A., Bocco, G., y Espejel, I. (2013). Multi-scale land cover dynamics of semiarid scrubland in Baja California, Mexico. *Regional Environmental Change*. doi:10.1007/s10113-013-0574-8
- Sahagún-Sánchez, F. J., Reyes-Hernández, H., Flores Flores, J. L., y Vargas, L. C. (2011). Modelización de escenarios de cambio potencial en la vegetación y el uso de suelo en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí, México. *Journal of Latin American Geography*, 10(2), 65–86. doi:10.1353/lag.2011.0029
- Salinas-Espinosa, C., Leyva, C., y Eaton, R. (2013). Evaluación del crecimiento urbano en ciudades en el noroeste de México caso centro de población de Ensenada, Baja California(Resumen). In *VII Congreso de Ordenamiento Ecologico del Territorio*.
- Soares-Filho, B., Rodrigues, H., y Follador, M. (2013). A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models. *Environmental Modelling y Software*, 43, 80–87. doi:10.1016/j.envsoft.2013.01.010

- Soares-Filho, B., Rodrigues, H. O., y Costa, W. L. (2009). *Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO*.
- Soares-filho, B. S., y Coutinho, G. (2002). DINAMICA — a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154, 217–235.
- Soares-Filho, B. S., Nepstad, D. C., Curran, L. M., Cerqueira, G. C., Garcia, R. A., Ramos, C. A., ... Schlesinger, P. (2006). Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440(7083), 520–3. doi:10.1038/nature04389
- Trombulak, S. C., y Frissell, C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14(1), 18–30.
- Turner, M., Arthaud, G., Engstrom, T., Hejl, S., Liu, J., Loeb, S., y McKelvey, K. (1995). Usefulness of spatially explicit population models in land management.
- Veldkamp, a, y Lambin, E. . (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 85(1-3), 1–6. doi:10.1016/S0167-8809(01)00199-2
- Villa-Vialaneix, N., Follador, M., Ratto, M., y Leip, A. (2012). A comparison of eight metamodeling techniques for the simulation of N₂O fluxes and N leaching from corn crops. *Environmental Modelling y Software*, 34, 51–66. doi:10.1016/j.envsoft.2011.05.003
- Wake, D. B., y Vredenburg, V. T. (2008). Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105 Suppl , 11466–73. doi:10.1073/pnas.0801921105
- White, R., Engelen G, y Uljee, I. (1997). The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environment and Planning B*, 24, 323–344.
- Wikramanayake, E., Dinerstein, E., Loucks, C., Olson, D., Morrison, J., Lamoreux, J., ... Hedao, P. (2002). Ecoregions in Ascendance : Reply to Jepson and Whittaker, 16(1), 238–243.

CAPITULO 3.

Fragmentación de paisaje ante procesos históricos de cambio de uso del suelo RESUMEN

Uno de los principales efectos causados por la deforestación es la fragmentación del paisaje y ambas son consideradas como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en el mundo. Este capítulo analiza la fragmentación, mediante un índice de fragmentación del paisaje, para el centro de población de Ensenada y sus límites de cuenca, para el año de 1993, 2009 así como para un modelo proyectivo para el año de 2025. Este índice varía desde cero a infinito, en el cual los valores mayormente cercanos a cero indican mayor fragmentación. Los resultados arrojados indican que el bosque de pino es el más fragmentado, aunque este no presenta cambios en ninguno de los tres tiempos analizados. El que presenta mayores cambios en fragmentación es el matorral costero, que al paso del tiempo aumenta su grado de fragmentación. Además de este, el chaparral también se modifica, no obstante el chaparral es el que menos fragmentación presenta en la zona, ocupando territorios más extensos que en todas las categorías restantes. Las categorías antrópicas presentan un patrón diferente al de las naturales, ya que en estas disminuye su grado de fragmentación y se vuelven coberturas más continuas. El área de estudio presentó fragmentación menor que el matorral costero, aunque mayor que el chaparral. Se sugiere realizar monitoreos posteriores para evaluar el cambio de fragmentación en el futuro.

Palabras clave: fragmentación, índice de fragmentación, matorral costero y chaparral, grado de fragmentación, cambios en el paisaje.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales efectos causados por la deforestación es la fragmentación del paisaje (Arriaga, 2009; Chapin *et al.*, 2000; Noss, 1990; Velázquez *et al.*, 2001). Que es considerado como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en el mundo. Se conoce a la fragmentación como el proceso mediante el cual grandes extensiones de paisaje se convierten en una serie de parches dentro del área total alejados entre sí (Gurrutxaga, 2003). Con la fragmentación de un paisaje se produce un cambio progresivo en la configuración de la estructura del paisaje que evoluciona continuamente por efecto de la misma naturaleza, aunque las fragmentaciones mayores se dan por efecto del humano y tienen incidencia en la viabilidad de los procesos biológicos en especial a nivel de especie (Gurrutxaga y Lozano, 2006).

La fragmentación se manifiesta, no sólo como proceso, sino como patrón dentro del espacio geográfico. Es por esto que la disposición espacial de los fragmentos de paisaje en el territorio influye sobre la movilidad de las especies silvestres entre los mismos y, por ende, sobre la dinámica de poblaciones. Esto enlaza con el objeto de estudio de una disciplina de síntesis, como es la ecología del paisaje. Ésta, que se basa fundamentalmente en la puesta en común de la visión horizontal de la geografía y la vertical de la ecología, integra el estudio de las relaciones entre las variaciones de los patrones espaciales del paisaje con sus

agentes causales y sus consecuencias sobre los procesos ecológicos. (Gurrutxaga y Lozano, 2006).

La investigación realizada por la ecología del paisaje ha contribuido a entender el impacto de la fragmentación en la biodiversidad, además de proporcionar bases para el entendimiento del impacto de algunas actividades socioeconómicas en la configuración del terreno (Nagendra *et al.*, 2004). Por lo cual la fragmentación puede ser vista como un proceso a diferentes escalas que ocasiona diversas circunstancias que influyen directamente en las características biológicas de las poblaciones silvestres. Esta ocasiona que se conformen pequeños parches, cambios en procesos de paisaje, incremento de aislamiento y disminución en las poblaciones (Saunders *et al.*, 1991).

Además de esto las coberturas humanas, contrario a las naturales, presentan cambios en su conformación, reduciendo su fragmentación, lo cual también ha ocasionado problemas ya que la homogeneización de los paisajes antrópicos, como consecuencia de la intensificación del uso y pérdida de hábitat y vegetación natural, ha provocado la pérdida de numerosas especies tanto animales como vegetales disminuyendo los servicios que estos pueden proveer a la sociedad (Donald, 2004). Ya que en términos de ocupación territorial la deforestación causa la fragmentación de otros usos y coberturas y una desfragmentación de las coberturas humanas, cada vez son más necesarias las aproximaciones analíticas, en niveles y escalas múltiples fácilmente utilizadas por los planificadores (Larrázabal *et al.*, 2014).

El estudio de la fragmentación del paisaje debiera ser abordado mediante estudios que cuantifiquen la evolución de este a través del tiempo. La incorporación de un análisis de fragmentación a trabajos sobre deforestación ha cobrado importancia en los últimos años, ya que de esta manera se ligán patrones y procesos de los diferentes usos y coberturas del suelo (Tellería *et al.*, 2011). El desarrollo de este tipo de trabajos, da como resultado no solo trabajar con cuantificaciones de deforestación, sino que también se cuantifica el grado de fragmentación de un uso de suelo combinando estadísticas, modelos de simulación el cual otorga una mayor gama de posibilidades en la toma de decisiones y en las políticas sobre el manejo de recursos en los cuales los cambios históricos en el paisaje se convierten en tópico central en cuestiones de planeación (Nagendra *et al.*, 2004).

El caso de Ensenada es un caso típico de esto, ya que ha experimentado un desarrollo socioeconómico importante, los efectos negativos relacionados con la fragmentación con la proliferación de otras barreras, ya que el cambio de uso del suelo en los últimos años ha sido en favor de actividades agrícolas y asentamientos humanos (Salinas-Espinosa, *et al en prep*), lo cual ha ocasionado que históricamente se den procesos de fragmentación causados por el cambio de uso del suelo, en estos procesos los más afectados han sido el matorral costero y el chaparral (Espejel *et al.*, 2001; Leyva *et al.*, 2006). Ya que el crecimiento urbano dado en la zona fue de alrededor de 130y en el periodo de estudio, por lo que podemos inferir que el grado de fragmentación a través del tiempo aumentará respecto al año de 1993 (Salinas-Espinosa, *et al en prep*).

Este trabajo pretende generar información base para entender las dinámicas de fragmentación en términos de usos de suelo, reconociendo a este como el componente principal del paisaje. De esta manera el objetivo de este trabajo es analizar la fragmentación por tipo de vegetación en dos periodos de tiempo, así como en un tercer año en un modelo proyectivo (Salinas-Espinosa, *et al en prep*) .

MÉTODO

Con la información vectorial de uso de suelo y vegetación de 1993, 2009 y la obtenida del modelo proyectivo para el año 2025, se analizó el cambio en la fragmentación del paisaje en el Centro de población de Ensenada (CPE) a través del tiempo, mediante el índice de fragmentación propuesto por Gurrutxaga (2003). También se calculó el índice para el área de estudio. De las nueve categorías de uso del suelo y vegetación se seleccionaron las cinco que presentan mayor extensión en la zona que son chaparral, matorral costero, bosque de pino y las coberturas antrópicas (asentamientos humanos y agricultura). Las categorías restantes no fueron tomadas en cuenta, ya que no contaban con más de dos fragmentos o como el caso del ripario no fue incluido dentro del análisis por no ser una cobertura continua y estar distribuido espacialmente de manera discontinua por lo que los resultados no serían consistentes (Pérez *et al.*, 2007). El índice de fragmentación utilizado es el siguiente:

$$F = \frac{ST}{NM * Rc}$$

Donde:

ST= superficie total del hábitat

NM= Numero de manchas

Rc=dispersion de las manchas= $2 \text{ dc } (\lambda/\pi)$

dc= distancia media desde una mancha (su centro o centroide) hasta la mancha más cercana

λ = densidad media de manchas= $(NM/\text{superficie total del área de estudio en hectareas}) \times 100$ =numero de manchas por cada 100 ha.

Este índice es calculado en función del tamaño de los fragmentos y la distancia entre ellos por lo que puede adquirir valores desde cero hasta infinito, mientras este valor se encuentre lo más cercano a cero indica un grado de fragmentación mayor y mientras más se aleje de cero la fragmentación es menor (Gurrutxaga, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han propuesto una diversidad de medidas para cuantificar la fragmentación de las cuales debemos de tener en consideración tanto ventajas como limitaciones al momento de realizar este tipo de análisis, dada la gama de insumos y procedimientos disponibles (McGarigal, Cushman, Neel, y Ene, 2002; Meyer y Turner, 1994; Turner *et al.*, 1995).

Este índice es calculado mediante vectores, no mediante celdas en formato *raster*, lo que lo hace diferente respecto a los calculados en otros trabajos (Jaeger, 2000; Johnsson, 1995; McGarigal *et al.*, 2002; McGarigal, Tagil, y Cushman, 2009). Una de las desventajas, no solo de este sino de la mayoría de los índices, es que no es comparable entre diferentes ambientes, dadas las dispares características propias

de cada uno de ellos en cuanto a patrón de distribución espacial y factores que explican el origen o la presencia de los mismos. Este índice a pesar de tomar valores infinitos si llega a aumentar en valores cercanos a una unidad es considerado un cambio en fragmentación mayor (Gurrutxaga, 2003), por lo que se consideró el adecuado para esta zona de estudio, dadas las características de la zona, así como la información disponible.

Categoría	Fragmentación 1993	Fragmentación 2009	Fragmentación 2025
Agricultura	0.14	0.13	0.16
Asentamientos humanos	0.06	0.12	0.12
Bosque de pino	0.04	0.04	0.04
Chaparral	2.08	2.04	1.66
Matorral costero	0.35	0.30	0.23

En el año de 1993 los valores del índice de fragmentación menores fueron el bosque de pino, los asentamientos humanos, la agricultura y el matorral costero (en orden de importancia respecto de su valor), ninguno de estos alcanzó un valor de 0.5 por lo que se consideran altamente fragmentados por su cercanía con valores a cero. Sin embargo el chaparral obtuvo en este periodo un índice de fragmentación por encima de todas las categorías con 2.08 por lo que esta fue la categoría menos fragmentada en los diferentes ambientes (Grafico 4). El índice de fragmentación global en la zona de estudio fue de 0.98 superior a todas las categorías excepto al matorral.

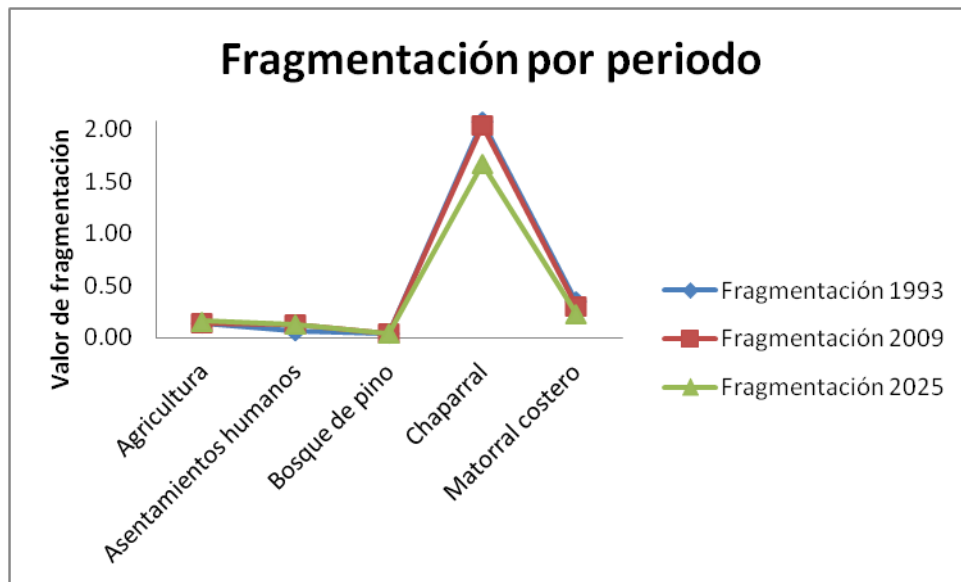


Gráfico 4 .Índice de fragmentación para cada periodo

En el año de 2009 todas las categorías experimentaron cambio respecto al periodo de 1993, excepto el bosque de pino que mantuvo los mismos valores. La fragmentación global aumentó al tener un valor de 0.95. Aunque los valores se mantuvieron en el mismo orden de importancia que en el año de 1993, los valores de agricultura y asentamientos humanos aumentaron con lo que podemos decir que la fragmentación disminuyó. El matorral costero y el chaparral disminuyeron su índice de fragmentación por lo que el grado de fragmentación en estas dos categorías aumentó.

El modelo proyectivo hacia el 2025, al igual que para los dos primeros periodos, permanece sin cambios para el bosque de pino. Los asentamientos humanos permanecen sin cambios en el índice de fragmentación respecto al periodo previo de 2009. Los que experimentan cambios son el matorral costero y el chaparral, en los que para ambos disminuyen el valor de su índice de fragmentación.

Para el periodo de 2025, las categorías naturales son las que experimentaron un aumento en su grado de fragmentación, a excepción del bosque de pino. De seguir las tendencias como se mostraron en el modelo el más perjudicado en este caso podría ser el chaparral. Las categorías antrópicas por lo contrario se convertirían en zonas con menor fragmentación. Esto sucede en los tres tiempos y se puede explicar ya que el crecimiento de la mancha urbana se da alrededor de lo ya existente y aunque pueden existir asentamientos irregulares, estos se dan alrededor de la ciudad, no solo en Baja California, sino también en una gran cantidad de países en desarrollo (Loening y Markussen, 2003).

En el análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo para la zona en estudio, se observa que de seguir las tendencias el que puede presentar mayores cambios es el chaparral, así como el matorral costero. No obstante bajo este modelo la ciudad no crecería a manera de fragmentos, sino que aumentaría alrededor de la mancha urbana y de la mancha agrícola, y no de manera aislada.

La fragmentación en la zona de estudio (Grafico 5) en la zona cambia conforme el tiempo y se ubica en valores cercanos a uno. Esto lo ubica con fragmentación por debajo del chaparral. Y por encima del matorral costero.

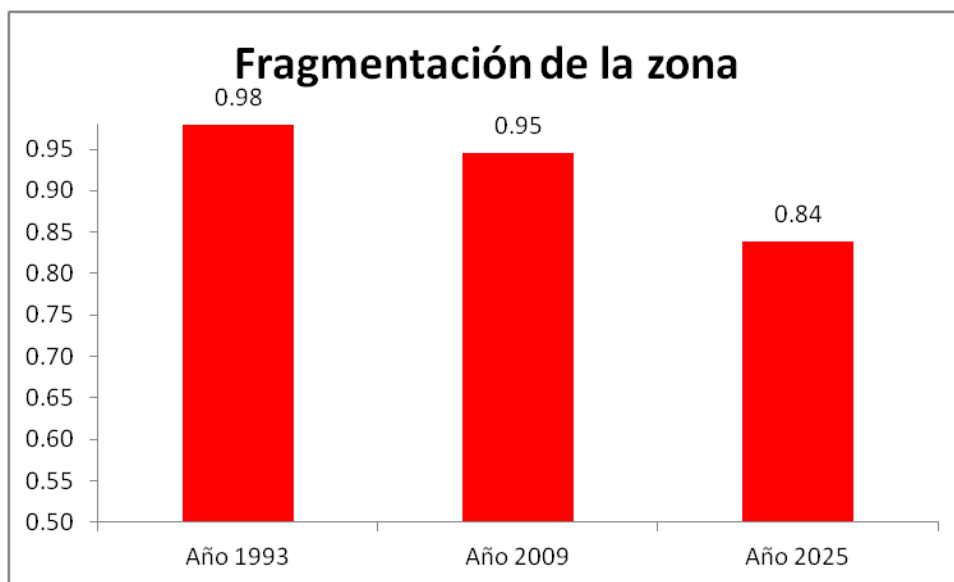


Gráfico 5. Fragmentación global en la zona de estudio por período.

-En este tipo de análisis un factor a considerar es la escala, ya que la resolución de origen de los insumos de uso del suelo y vegetación, es una resolución espacial gruesa (1:250,000), por lo que se aconseja realizar un análisis similar al realizado en este trabajo con insumos a una resolución menor, ya que los resultados pueden tener ciertas variaciones, ya que si a esta escala la fragmentación es observable, a otra resolución más fina la fragmentación puede ser mayor por lo que los números pueden aumentar considerablemente (Pérez *et al.*, 2007; Saura, 2004).

Para las instituciones encargadas de realizar conservación en la región, estos análisis además de contribuir con evaluar el estado de conservación de los usos de la zona, también pueden servir para emprender acciones para conservar la integridad que presenta el chaparral, así como redoblar los esfuerzos para frenar la fragmentación del matorral costero.

Se sugiere realizar monitoreos posteriores al cálculo de este índice, para evaluar su cambio, utilizando en el futuro capas de información con mayor resolución, así como validarlas en el futuro con el modelo proyectivo realizado. Aunque el modelo proyectivo esta hecho específicamente para la creación de parches, esto nos puede dar una idea aproximada de como continuarían las tendencias en la zona ante el escenario de deforestación visto en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos : un enfoque multiescalar. *Investigación Ambiental*, 1(195), 6–16.
- Chapin, F. S., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., ... Díaz, S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405(6783), 234–42. doi:10.1038/35012241
- Donald, P. F. (2004). Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology*, 18, 17–37.
- Espejel, I., Aramburo, G., Leyva, C., Cruz, Y., Bravo, L., y Flores, J. D. (2001). Coastal management in the Mediterranean type of vegetation in Baja California Mexico. Medcoast. In E. Ozhan (Ed.), *Proceedings of the Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*.
- Gurrutxaga, M. (2003). Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la CAPV.
- Gurrutxaga, M., y Lozano, P. (2006). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Polígonos. Revista de Geografía*, 16, 35–54.
- Jaeger, J. A. G. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15, 115–130.
- Johnsson, K. (1995). Fragmentation index as a region based GIS operator. *International Journal Of Geographical Information Systems*, 9(211-220).
- Larrázabal, A., Gopar-Merino, L., y Vieyra, A. (2014). Expansión urbana y fragmentación de la cubierta del suelo en el periurbano de Morelia. In A. Vieyra y A. Larrazábal (Eds.), *Urbanización sociedad y ambiente. Experiencias en ciudades medias* (p. 294).
- Leyva, C., Espejel, I., Escofet, A., y Bullock, S. H. (2006). Conservation Alternatives Coastal Landscape Fragmentation by Tourism Development : Impacts and Conservation Alternatives. *Natural Areas Journal*, 26(2), 117–125.
- Loening, L., y Markussen, M. (2003). *Pobreza, deforestación y pérdida de la biodiversidad en Guatemala* (p. 46).

- McGarigal, K., Cushman, S., Neel, M. C., y Ene, E. (2002). FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program For Categorical Maps. Amherst, MA, USA: University of Massachusetts.
- McGarigal, K., Tagil, S., y Cushman, S. (2009). Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*, 24(3), 433–450.
- Meyer, W., y Turner, B. L. (1994). *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective* (p. 537).
- Nagendra, H., Munroe, D. K., y Southworth, J. (2004). From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 101(2-3), 111–115. doi:10.1016/j.agee.2003.09.003
- Noss, R. F. (1990). Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach. *Conservation Biology*, 4(4), 355–364. doi:10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x
- Pérez, T., Maestre, V., y Capdepón, S. (2007). Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del índice de fragmentación de hábitats empleado por la agencia europea de medio ambiente. *GeoFocus*, 7, 148–170.
- Saunders, D., Hobbs, R., y Margules, C. (1991). Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. *Conservation Biology*, 5(1), 18–32. doi:10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x
- Saura, S. (2004). Effects of remote sensor spatial resolution and data aggregation on selected fragmentation indices. *Landscape Ecology*, 19(2), 197–209. doi:10.1023/B:LAND.0000021724.60785.65
- Tellería, J. L., Díaz, J. A., y Santos, T. (2011). Fragmentación de hábitat y biodiversidad en las mesetas ibéricas : una perspectiva a largo plazo. *Ecosistemas*, 20(2), 79–90.
- Turner, M., Arthaud, G., Engstrom, T., Hejl, S., Liu, J., Loeb, S., y McKelvey, K. (1995). Usefulness of spatially explicit population models in land management.
- Velázquez, A., Mas, J.-F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P., Castro, R., ... Palacio-Prieto, J. L. (2001). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*.

CAPITULO 4.

Identificación de sitios para la conservación con base en los procesos de deforestación en Ensenada, Baja California

RESUMEN

México ocupa el noveno lugar entre los países con mayores tasas de deforestación en el mundo, en Latinoamérica solo es superado por Brasil, uno de los mecanismos utilizados para frenar esta deforestación es la creación de áreas protegidas. A pesar de los criterios que se tienen para la propuesta de estas áreas, los procesos de deforestación dentro y en los alrededores de las áreas no son tomados en cuenta, de esta manera este trabajo identifica los lugares que no han presentado cambios en el tiempo, 1993, 2009 y un modelo proyectivo desarrollado hacia el 2025, proponiéndolos como sitios con potencial para la conservación. Este análisis se realizó en el centro de población de Ensenada. Se identificaron seis polígonos con una extensión mayor a 1 km² que es el área mínima de fragmento sugerida para la sobrevivencia de especies de fauna. Estas zonas representan alrededor del 80% del área de estudio las cuales cuentan con una gran extensión de chaparral que como se observo tiene un estado de conservación bueno ya que ha sido de los menos impactados en la zona. Se sugiere incluir estas zonas como sitios con manejo sustentable de recursos, realizando actividades de bajo impacto y no solo como sitios de conservación. Estas zonas tienen la ventaja de que pueden proveer servicios a la población de la mancha urbana, por su cercanía a ella, como recreación, fijación de suelos y prevención de erosión entre otros.

Palabras clave: áreas protegidas, modelos de deforestación, propuesta de áreas protegidas , deforestación.

INTRODUCCIÓN

México ocupa el noveno lugar entre los países con mayores tasas de deforestación en el mundo, en Latinoamérica solo es superado por Brasil (Bradshaw, Giam, y Sodhi, 2010), esto a pesar de estar incluidos dentro de los países considerados megadiversos (Ceballos, Arroyo, Rodrigo, y Yolanda, 2005; Mittermier y Goettsch, 1992; Rodríguez, Soberón, y Arita, 2003). Esto indica que la situación actual del manejo de recursos no prioriza un manejo sustentable del recurso, sino más bien tiene un gran componente de manejo inadecuado de los recursos, causado por patrones no sostenibles de consumo y desarrollo (Stedman-Edwards, 1997), que a su vez ocasionan problemáticas ambientales como la deforestación. Esto se vuelve preocupante ante los esquemas de manejo futuros, ya que se reconoce a la deforestación como una de las grandes amenazas a la diversidad biológica mundial (Dirzo y Raven, 2003; Dirzo, 1990; Foley et al., 2005; Sala et al., 2000).

Ante estas amenazas, se realizan esfuerzos globales para conservar la diversidad biológica, una de las estrategias utilizadas en la mayoría de los países es la creación de áreas protegidas (AP), estas han jugado un papel importante en la integridad de los ecosistemas, así como en la provisión de una amplia variedad de servicios ecosistémicos para las comunidades que habitan en ellas y en sus

alrededores (Figueroa, Sánchez-Cordero, Illoidi, y Linaje, 2011; Margules y Pressey, 2000).

El rol básico de las AP en la conservación es apartar elementos de la biodiversidad de procesos que amenacen su existencia, entre ellos mitigar los efectos de la deforestación (Margules y Pressey, 2000; Stolton, 2010). Y aunque alrededor del 12% de la superficie terrestre se encuentran registradas oficialmente como AP bajo diferentes designaciones (parques, reservas, refugios), esto no es suficiente y los gobiernos de una gran cantidad de países realizan esfuerzos continuos para aumentar la extensión de estas en cada país *et al.*, 2005; IUCN, 2008).

México no es la excepción y cuenta con una superficie superior a los 25 millones de hectáreas bajo alguna categoría de AP, esto significa el 12.93% del porcentaje de la superficie del territorio nacional (http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/). Lo cual sobrepasa los estándares internacionales, en los cuales se sugiere conservar al menos el 10% de la superficie terrestre, correspondiente a la meta planteada en el año de 1992 por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) para el año 2000 (Brooks *et al.*, 2004; Jenkins y Joppa, 2009). No obstante existen sitios que no están incluidos bajo ninguna de categoría de AP, por lo que los esfuerzos de las instancias gubernamentales en incluir nuevos sitios en la conservación así como fortalecer el sistema de AP de México aumenta día con día (CONABIO-CONANP *et al.*, 2007).

La propuesta e inclusión de nuevas AP sin duda alguna no es una tarea fácil y debe de ser llevada a cabo en el corto y mediano plazo, concibiéndola como una estrategia integral donde además de que el sector conservacionista este de acuerdo, también lo esté la sociedad en general. Debido a la confrontación entre conservación y desarrollo, las AP se han visto como un freno al desarrollo ya que implica la disminución o restricción de los proyectos y actividades a realizar por la gente local, esto ha dado lugar a una serie de discusiones sobre las oportunidades que brindan las AP, en las que existen corrientes que las enmarcan como oportunidades para la gente que las habita y las que contradicen esto diciendo que al frenar el desarrollo pueden aumentar la pobreza de la zona (Adams et al., 2004).

Ante lo anterior las instancias gubernamentales en México buscan los sitios que pueden tener prioridades para conservar (Arriaga, 2009; CONABIO-CONANP et al., 2007; Koleff y Urquiza, 2011) mediante diversas metodologías y por las características particulares de cada sitio. Los criterios principales que se han utilizado para identificar estos sitios son diversos, (número de especies, riqueza de endemismos y número de especies amenazadas, riqueza e importancia hidrológica), actualmente se propone incluir una mayor cantidad de criterios en el desarrollo de una propuesta para el establecimiento de una AP, buscando que su inclusión en alguna categoría de clasificación y uso, sea propuesta de manera más específica e integradora (IUCN, 2008).

En materia de AP la IUCN sugiere seis categorías (Cuadro 14), que no necesariamente están dadas de manera jerárquica y las características de estas

se encuentran en revisión periódicamente. Son denominadas por este organismo pero se sugiere adecuar su equivalencia de acuerdo a la legislación de cada país.

Cuadro 14. Categorías de AP sugeridas por la IUCN y su equivalencia para cada país.

Numero de categoría	Categoría	Equivalencia
I	Protección estricta	Reserva natural estricta Área Natural Silvestre
II	Conservación y protección del ecosistema	Parque nacional
III	Conservación de los rasgos naturales	Monumento natural
IV	Conservación mediante gestión activa	Área de gestión de hábitats/ especies
V	Conservación de paisajes terrestres y marinos	Paisaje terrestre y marino protegido
VI	Uso sostenible de los recursos naturales	Área protegida con gestión de los recursos

Para mayor detalle sobre las características de cada categoría así como sus diferencias, ver (IUCN, 2008). Aunque no existe un número sugerido de AP según categorías, esto dependerá de las condiciones naturales de cada país. México en su sistema de AP también tiene seis categorías (Cuadro 15) que son denominadas de acuerdo a lo estipulado en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). Aunque los nombres sugeridos por la IUCN no son iguales a los de las AP mexicanas, respetan los criterios sugeridos por el organismo internacional. La idea de mantener AP en México y en el mundo no es nueva ya que ha sido una costumbre ancestral el destinar sitios con propósitos específicos para la conservación (De la Maza, 1999; Margules y Pressey, 2000).

Cuadro 15. Categoría y número de AP por categoría en México

Categoría	Número de AP
Reservas de la Biosfera	41
Parques Nacionales	66
Monumentos Naturales	5
Áreas de Protección de Recursos Naturales	8
Áreas de Protección de Flora y Fauna	38
Santuarios	18

Aunque la tendencia histórica general ha sido conservar sitios alejados de la civilización, que no tengan una alta densidad poblacional, para tratar de disminuir las posibles amenazas humanas hacia estas áreas (Adams et al., 2004; Sarkar et al., 2006) , la gran mayoría se encuentran en zonas lejanas con gran sesgo hacia lugares inadecuados para el desarrollo de actividades económicas o productivas (Margules y Pressey, 2000; Mas et al, 2003), que frecuentemente no son accesibles para la población en general, alejándolo incluso no solo de las actividades económicas, sino también de la posibilidad de realizar actividades de bajo impacto que permitirían el uso y disfrute por la población de las zonas urbanas cercanas.

De esta manera resulta conveniente apuntar esfuerzos hacia tener AP en regiones más accesibles a los potenciales usuarios, con mayor posibilidad de aprovechamiento, para poder diversificar las oportunidades de uso y manejo, además de que sean zonas en las cuales la conservación de los ecosistemas naturales se vea amenazada, y no solo lugares prístinos. Sin embargo, la creación de AP en regiones donde existe una fuerte presión sobre los recursos podría generar conflictos sociales y ser poco eficiente no obstante los beneficios que

estas pueden brindar a la sociedad (Pressey *et al.*, 2000). Aunque de llevarse a cabo lo anterior se podría explorar un abanico amplio de posibilidades en zonas que no solo tengan como fin ser AP, sino que sean zonas que integren conservación con el uso humano, promoviendo la conservación de la biodiversidad en íntima correlación con los componentes físicos de los paisajes y con los factores económicos, culturales, demográficos y políticos del desarrollo social de la región (Halffter, 2005; Toledo, 2005).

Las AP federales en Baja California (Cuadro 16), es una muestra de lo anterior, son sitios que se encuentran en lugares con accesibilidad baja, en los cuales la densidad poblacional es baja comparándola con el resto del estado, en los que las AP cercanas o dentro de las ciudades no existen, solo el caso particular de los sitios RAMSAR del estado (Punta Banda y Bahía San Quintín). No obstante de la importancia en términos de biodiversidad con que cuenta el estado al poseer vegetación de tipo matorral costero y chaparral que son las que poseen mayor cantidad de endemismos en el norte del país (Riemann y Ezcurra, 2007), albergando dentro de sí más de 2100 especies de las cuales alrededor del 25% son endémicas de México (Villaseñor y Ortiz, 2012).

Cuadro 16.AP terrestres en Baja California. Fuente:

http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/

Áreas Protegidas	Categoría	Estados donde se ubica	Municipios
Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado	Reserva de la Biosfera	Baja California y Sonora	Baja California: Mexicali. Sonora: Puerto Peñasco y San Luis Río Colorado
Sierra de San Pedro Mártir	Parque Nacional	Baja California	Ensenada
Constitución de 1857	Parque Nacional	Baja California	Ensenada
Valle de los Cirios	Área de	Baja California	Ensenada

Baja California aunque posee una gran diversidad de importancia para el país, aunque también se encuentra en el corredor de desarrollo económico denominado Mexicali-Tijuana-Ensenada, que ha sido seleccionado como un centro de impulso al desarrollo económico por su cercanía a Estados Unidos (Padilla y Castillo, 2011), debido a esto la competencia entre un manejo adecuado de los recursos y la presión del desarrollo económico es y será intensa, de continuar las tendencias se puede perder vegetación importante para el país, derivado de los conflictos entre el uso del suelo y el desarrollo económico. Por lo que surge la necesidad de proponer nuevas AP cerca de lugares que puedan ser aprovechados por la mayoría de los usuarios, y que además sirvan para refugiar la diversidad de Baja California en particular de Ensenada que es el municipio del cual forma parte nuestra zona de estudio.

Los criterios propuestos para seleccionar AP se basan en diferentes parámetros. Pero no incluye dentro de sus criterios los procesos históricos de deforestación y cambio de uso del suelo (CUS). Incluir esto conlleva ciertas ventajas ya que sitios que a través del tiempo experimenten baja presión en su deforestación pueden ser lugares en los que la presión puede ser baja evitando conflictos posteriores entre conservación y desarrollo.

Este trabajo identifica sitios prioritarios para la conservación tomando como base los procesos de deforestación observados entre dos periodos (1993-2009), y los realizados en un modelo proyectivo de deforestación futura (2009-2025) (Salinas-Espinosa, *et al en prep*). Bajo el supuesto de que la deforestación es un proceso que desencadena efectos nocivos a diferentes escalas y puede ser tomado como un indicador de integridad ecológica debido a su relación con otros procesos de deterioro, que además puede ser cuantificado y medible a través del tiempo (Bocco et al., 2001; Figueroa et al., 2011; Lambin, 1997; Mas, 2005; Vitousek et al., 1997).

MÉTODO

Área de estudio

El área de estudio analizada corresponde a las nueve subcuencas delimitadas por CONABIO (1998) que se encuentran dentro y alrededor del centro de población de Ensenada, Baja California (IMIP, 2010). La razón por la que se selecciono el área de estudio para realizar el análisis de CUS, es que las subcuencas de manera general interconectan el espacio geográfico por lo que el uso de recursos en algún

sitio de la cuenca interviene en el funcionamiento del ecosistema, de tal forma afecta los flujos hídricos, los flujos de nutrientes, y los de materia y energía (Garrido, Pérez, y Enríquez, 2010; Walker, Dowling, y Veitch, 2006), además de anexar a esta zona de estudio los criterios previos de la delimitación administrativa del centro de población de Ensenada.

La altitud dentro de la zona va desde 0 msnm hasta los 1880 msnm. El área se compone de llanuras costeras y aluviales. El tipo del clima es mediterráneo, similar al del sur de California (Dallman, 1998), este clima esta caracterizado por veranos secos y calientes, e inviernos húmedos, lluviosos y fríos. La temperatura media es 17.8°C; la precipitación media anual es 262,7 milímetros, y humedad relativa a partir del 43,9% a 69,8%.

La flora es la característica de la provincia florística de California (Oberbauer, 1999) que presenta matorral rosetofilo costero, chaparral, dunas de arena, vegetación riparia, y bosque de pino (Pase y Brown, 1982). El matorral rosetofilo costero y el chaparral son las predominantes en la zona, estas se caracterizan por ser arbustos de 0.50 a 1.50 m que permanecen sin hojas la mayor parte del año, a excepción de los meses donde hay mayores grados de humedad y la mayoría de las plantas de este tipo de vegetación florecen (Espejel et al., 2001). Además de ser una zona con un alto grado de endemismos, ya que de las alrededor de las 3500 plantas reportadas para la península de Baja California, un 20% son endémicas (Riemann y Ezcurra, 2007).

Proceso en software

Los insumos utilizados fueron; las capas de información de uso de suelo y vegetación de INEGI serie II-1993, serie IV-2009 y el proyectado hacia el año 2025, las tres utilizadas en capítulos previos (Salinas-Espinosa, *et al en prep*). Se realizaron herramientas de cruce y sobreposición en el software para evaluar el proceso donde se mantienen zonas sin cambio en los tres tiempos de análisis. Del cruce se obtuvieron dos grandes clases, la de procesos positivos y negativos (Cuadro 17), de las cuales solo se mantuvo la clase de procesos positivos de uso del suelo.

Cuadro 17. Ejemplos de selección de sitios con base en procesos de cambio de uso del suelo.

Procesos	Ejemplo	Tipo de procesos
Permanencia de clases antrópicas	Asentamientos humanos y agricultura sin cambios	Negativo
Cambios entre clases antrópicas	De agrícola a asentamientos humanos	Negativo
Deforestación	Cambio de natural a agrícola	Negativo
Permanencia de clases naturales	Vegetación sin cambio	Positivo
Re-vegetación	Cambio entre categorías naturales	Positivo

Se seleccionaron los sitios con procesos positivos como sitio para la conservación.

Se realizó un depurado de polígonos resultantes, se eliminaron los polígonos con extensión menor a 1 km² (área mínima viable), ya que esta extensión en el matorral costero y en el chaparral no puede mantener especies de vertebrados por tiempos considerables de tiempo (Soulé, Alberts, y Bolger, 1992). Por lo que todos los polígonos propuestos tendrán una extensión superior a esta área.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se cruzaron los tiempos 1993 vs 2009, 2009 vs 2025 y 1993 vs 2025, de este cruce resultaron 149 polígonos, de los cuales se eliminaron 143 debido a que no tenían la extensión mínima deseada y fueron seleccionados seis polígonos de los 149 polígonos iniciales. Aunque alrededor del 94% del área de estudio no presenta cambios, los seis polígonos seleccionados equivalen a 81.5% del área total es decir alrededor de 218 mil hectáreas.

Estos polígonos tienen dentro de su extensión 200 mil hectáreas de chaparral, esta categoría de uso del suelo es la que cuenta con un menor grado de fragmentación (Salinas-Espinosa, *et al en prep*), por lo que los beneficios que esta vegetación puede proveer serían amplios si se conservan estas zonas. Además en estas zonas se encuentra un fragmento de dunas costeras y otro de marisma que son importantes debido a las características particulares de este tipo de ecosistemas y de las especies que contienen. También en la zona costera se puede tener el beneficio del matorral costero, que es una zona apreciada por los pobladores locales y define en gran medida el paisaje local (Cervantes, Espejel, Arellano, y Delhumeau, 2008).

Las comunidades vegetales más afectadas por el crecimiento urbano son el matorral costero, la vegetación de dunas y la riparia (Espejel *et al.*, 2001; Leyva, Espejel, Escofet, y Bullock, 2006; Leyva, 2009), por lo tanto de proteger estas zonas también se protegería esta vegetación que son consideradas como zonas con alta cantidad de endemismos en el norte de México (Riemann y Ezcurra, 2007).

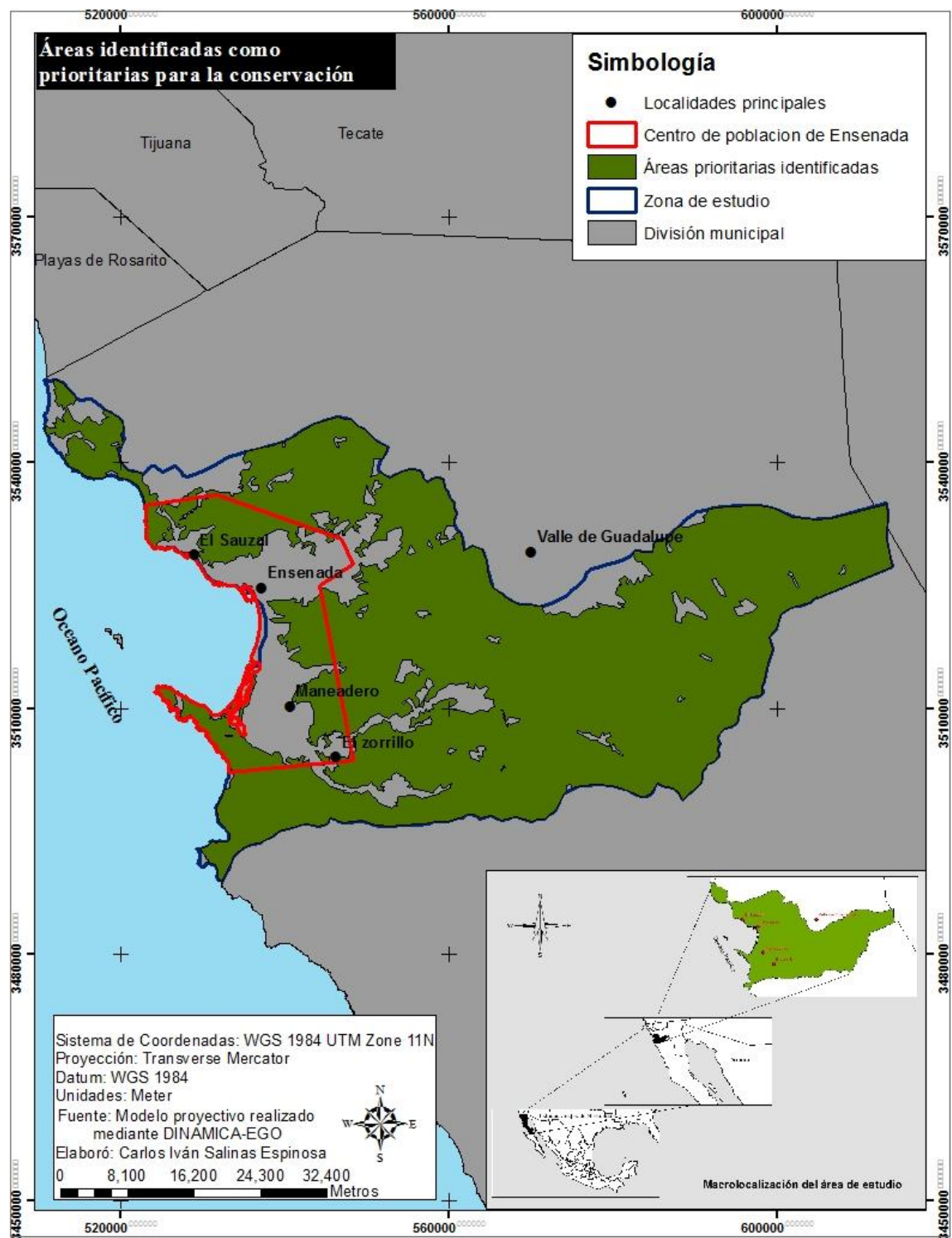


Figura 9. Zonas para la conservación identificadas

Las zonas para la conservación encontradas en este trabajo (Figura 9), se determinaron a una escala de trabajo 1:250,000, la cual se considera adecuada para estudios de tipo regional, como el realizado en este trabajo (Mas, 2005) dentro del CPE, estas áreas se pueden incluir dentro de las ya identificadas como subcentros de servicios ambientales en el plan de desarrollo del CPE, las cuales además se encuentran condicionadas al desarrollo urbano debido a las condiciones del terreno. Estas zonas fueron identificadas previamente por Leyva, (2009), las cuales fueron denominadas como áreas protectoras del CPE, en las cuales se encuentran sitios con áreas verdes los cuales pueden ser utilizados con fines de esparcimiento y soporte de especies, (Leyva, 2009).

Sin embargo estas zonas identificadas podrían ser destinadas no solo a conservación, sino a zonas bajo esquemas de manejo como por ejemplo la categoría VI sugerida por IUCN (Cuadro 14), ya que esta sugiere la necesidad de vincular la conservación en áreas naturales a la vez que se apoya el manejo de los recursos naturales de manera sostenible y servicios ambientales como belleza escénica, cacería de bajo impacto, recreación y turismo.

En los criterios para la identificación de AP los modelos de tipo proyectivo no han sido utilizados y explorados en México por lo que hasta ahora solo se tienen aproximaciones teóricas que confrontan la realidad ante el escenario tendencial (Kolb, 2013) . No obstante en otros países han sido utilizados en las políticas de planeación, desarrollo y conservación. por lo que se sugiere la inclusión de estos modelos dentro de los procesos de planeación, y se ha encontrado que tienen éxito (Veldkamp y Lambin, 2001).

Por lo que en esta propuesta se sugiere incluir dentro de un sistema de AP del orden municipal, e incorporarlos como subcentros de servicios ambientales. Aunque de manera distinta a estas, en las cuales además de condicionarlas al desarrollo se les brinde algún tipo de manejo con actividades de bajo impacto. Es decir como las que sugiere la IUCN pero que tengan la potencialidad de ser administradas por el gobierno municipal. Ya que de ser administradas por el gobierno municipal, tendrían la ventaja de que pueden ser tomadas en cuenta en los planes de desarrollo local.

BIBLIOGRAFIA

- Adams, W. M., Aveling, R., Brockington, D., Dickson, B., Elliott, J., Hutton, J., ... Wolmer, W. (2004). Biodiversity conservation and the eradication of poverty. *Science*, 306(5699), 1146–9. doi:10.1126/science.1097920
- Arriaga, L. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. In *Capital Natural de México* (Vol. II, pp. 433–457).
- Bocco, G., Mendoza, M., y Maser, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán . Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas UNAM*, 44, 18–38.
- Bradshaw, C., Giam, X., y Sodhi, N. (2010). Evaluating the Relative Environmental Impact of Countries. *PloS One*.
- Brooks, T. M., Bakarr, M. I., Boucher, T., Da Fonseca, G. a. B., Hilton-Taylor, C., Hoekstra, J. M., ... Stuart, S. N. (2004). Coverage Provided by the Global Protected-Area System: Is It Enough? *BioScience*, 54(12), 1081. doi:10.1641/0006-3568(2004)054[1081:CPBTGP]2.0.CO;2
- Ceballos, G., Arroyo, J., Rodrigo, M., y Yolanda, D. (2005). Lista actualizada de los mamíferos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 9, 21–71.
- Cervantes, O., Espejel, I., Arellano, E., y Delhumeau, S. (2008). Users' perception as a tool to improve urban beach planning and management. *Environmental Management*, 42(2), 249–64.

- Chape, S., Harrison, J., Spalding, M., y Lysenko, I. (2005). Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 360(1454), 443–55. doi:10.1098/rstb.2004.1592
- CONABIO-CONANP, TNC-PRONATURA-FCF, y UANL. (2007). *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies* (p. 128).
- Dallman, P. (1998). *Plant life in the world's mediterranean climates*. (University.).
- De la Maza, R. (1999). Una historia de las áreas naturales protegidas en México. *Gaceta Ecológica*, 51, 15–68.
- Dirzo, R. (1990). La biodiversidad como crisis ecológica actual ¿qué sabemos? *Ciencias*, 4, 8.
- Dirzo, R., y Raven, P. H. (2003). Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 137–167. doi:10.1146/annurev.energy.28.050302.105532
- Espejel, I., Aramburo, G., Leyva, C., Cruz, Y., Bravo, L., y Flores, J. D. (2001). Coastal management in the Mediterranean type of vegetation in Baja California Mexico. Medcoast. In E. Ozhan (Ed.), *Proceedings of the Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*.
- Figuerola, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi, P., y Linaje, M. (2011). Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación . ¿ Un índice es suficiente ? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 951–963.
- Figuerola, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi, P., y Linaje, M. (2011). Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación . ¿ Un índice es suficiente ? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 951–963.
- Foley, J. a, Defries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–4. doi:10.1126/science.1111772
- Garrido, A., Pérez, J. L., y Enríquez, C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. In *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización* (pp. 14–17).

- Halffter, G. (2005). Towards a culture of biodiversity conservation. *Acta Zoologica Mexicana*, 21, 133–153.
- IMIP. (2010). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada 2030.
- IUCN. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. (N. Dudley, Ed.). Iucn. doi:10.2305/IUCN.CH.2008.PAPS.2.es
- Jenkins, C. N., y Joppa, L. (2009). Expansion of the global terrestrial protected area system. *Biological Conservation*, 142(10), 2166–2174. doi:10.1016/j.biocon.2009.04.016
- Kolb, M. (2013). *Dinámica del uso del suelo y cambio climático en la planeación sistemática para la conservación : un caso de estudio en la cuenca Grijalva-Usumacinta*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Koleff, P., y Urquiza, T. (2011). *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso*. (P. Koleff y T. Urquiza, Eds.) *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México : retos en un país megadiverso*.
- Lambin, E. F. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21(3), 375–393. doi:10.1177/030913339702100303
- Leyva, C. (2009). *Estrategia para la gestión urbana de espacios de vegetación nativa con fines multifuncionales: caso de estudio Centro de Población de Ensenada, B.C.* Universidad Autónoma de Baja California.
- Leyva, C., Espejel, I., Escofet, A., y Bullock, S. H. (2006). Conservation Alternatives Coastal Landscape Fragmentation by Tourism Development : Impacts and Conservation Alternatives. *Natural Areas Journal*, 26(2), 117–125.
- Margules, C. R., y Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405(6783), 243–53. doi:10.1038/35012251
- Mas, J.-F. (2005). Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105(1-3), 69–80. doi:10.1007/s10661-005-3156-5
- Mas, J.-F., y Pérez-Vega, A. (2003). La representatividad del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP). *Gaceta Ecológica*, 74, 5–14.

- Mittermier, R., y Goettsch, C. (1992). La importancia de la diversidad biológica de México. In *México ante los retos de la biodiversidad*. (pp. 63–73).
- Oberbauer, T. (1999). La vegetación del noroeste de Baja California. *Freemontia*, 16–27.
- Padilla, S., y Castillo, F. (2011). Proceso de urbanización en el corredor económico Ensenada Mexicali, 1950-2005. *Revista Geográfica de América Central*, 1–17.
- Pase, C. P., y Brown, D. E. (1982). Californian coastal scrub. In *Biotic communities of the southwest of United States and Mexico. Desert Plants*. (pp. 86–89).
- Pressey, R. L., Wish, G. L., Barret, T. W., y Watts, M. E. (2000). Effectiveness of protected areas in north-eastern New South Wales: recent trends in six measures. *Biological Conservation*, 106, 57–69.
- Riemann, H., y Ezcurra, E. (2007). Endemic regions of the vascular flora of the peninsula of Baja California, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 18(3), 327. doi:10.1658/1100-9233(2007)18[327:EROTVF]2.0.CO;2
- Rodríguez, P., Soberón, J., y Arita, H. (2003). El componente beta de la diversidad de mamíferos de México. *Acta Zoologica Mexicana*, 259, 241–259.
- Sala, O. E., Ili, F. S. C., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., ... Walker, M. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science Compass*, 287(March), 1770–1774.
- Sarkar, S., Pressey, R. L., Faith, D. P., Margules, C. R., Fuller, T., Stoms, D. M., ... Andelman, S. (2006). Biodiversity Conservation Planning Tools: Present Status and Challenges for the Future. *Annual Review of Environment and Resources*, 31(1), 123–159. doi:10.1146/annurev.energy.31.042606.085844
- Soulé, M., Alberts, A., y Bolger, D. (1992). The effects of habitat fragmentation on chaparral plants and vertebrates. *Oikos*, 63, 39–47.
- Stedman-Edwards, P. (1997). Socioeconomic root causes of biodiversity loss: an analytical approach paper for case studies.
- Stolton, S. (2010). Protected Areas: Linking Environment and well-being. In S. Stolton y N. Dudley (Eds.), *Arguments for Protected Areas. Multiple benefits for conservation and use*.
- Toledo, V. (2005). Repensar la conservación : ¿ áreas naturales protegidas o estrategia bioregional ? *Gaceta Ecológica*, 77, 67–83.

- Veldkamp, a, y Lambin, E. . (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 85(1-3), 1–6. doi:10.1016/S0167-8809(01)00199-2
- Villaseñor, J. L., y Ortiz, E. (2012). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 134–142. doi:10.7550/rmb.31987
- Vitousek, P., Mooney, H., Lubchenco, J., y Melillo, J. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, 277(5325), 494–499. doi:10.1126/science.277.5325.494
- Walker, J., Dowling, T., y Veitch, S. (2006). An assessment of catchment condition in Australia. *Ecological Indicators*, 6(1), 205–214. doi:10.1016/j.ecolind.2005.08.020

CONCLUSIONES

En el periodo de 1993 a 2009 los asentamientos humanos en la zona aumentaron alrededor de 129%(5462 hectáreas), la agricultura y pastizales aumentaron 1.3%(433 hectáreas), el matorral costero perdió 7.41%(942 hectáreas), el chaparral 2.25(4794 hectáreas), el ripario 7.44%(133 hectáreas), las dunas costeras 11.43%(24 hectáreas) y la marisma 8.41%(26 hectáreas), el bosque de pino aumento 0.14%(4 hectáreas). Los cuerpos de agua artificiales se mantuvieron sin cambios en la zona.

- Los procesos de cambio indican que el 95.79% de la zona permaneció sin cambios, el proceso de deforestación ocurrió en 1.71% de la zona (4571 hectáreas), el proceso de re-vegetación se dio en 0.19%(507 hectáreas) y el proceso denominado otros cambios se dio en 0.19% (695 hectáreas). Estos procesos pueden ser de utilidad en la planeación del manejo del territorio. Ya que nos pueden dar la pauta a seguir tanto en el crecimiento urbano, como en las políticas de conservación, restauración, aprovechamiento y manejo.

- La tasa de deforestación en el periodo de estudio (1993-2009) en la zona fue de 0.17 que es similar a la tasa de deforestación mundial, sin embargo es mayor a la tasa calculada para la península de Baja California (0.09) y de la región Norte y Centroamérica (0.02), pero menores que la tasa de deforestación nacional que es de 0.41. Esto nos indica la importancia de este parámetro en el manejo de recursos ya que, según las cifras, como nuestra zona de estudio se encuentra por debajo de la tasa de deforestación nacional, nos puede dar la directriz que se

pueda seguir en el corto, mediano y largo plazo, ya que de alcanzar esta cifra, se podrían perder servicios ambientales que provee la vegetación natural a la población.

- El modelo proyectivo fue elaborado en función de las transiciones que implicaban algún proceso de pérdida de vegetación, fueron utilizadas 6 transiciones agricultura-asentamientos humanos, chaparral-agricultura, dunas costeras-asentamientos humanos, matorral costero-asentamientos humanos, ripario-agricultura, ripario-asentamientos humanos. El modelo fue validado estadísticamente, en el cual el desempeño fue óptimo con una exactitud de 0.98.

- Los resultados del modelo indican que de continuar las tendencias como hasta ahora, en el 2025 se podría tener una superficie de asentamientos humanos de 14500 hectáreas, esto equivale a un aumento de más de 340% de la mancha urbana en el año 2025, respecto al año 1993. La agricultura tendría una extensión aproximada de 33795 hectáreas, que equivale a un aumento de 3%. Para este mismo periodo, en las coberturas naturales podrían darse tres cambios: la disminución de alrededor de 4% de chaparral, 14% de matorral y 25% de ripario. Esto es una disminución de 9200, 1752 y 367 hectáreas respectivamente para cada categoría. Según el modelo proyectivo, la deforestación en la zona lejos de detenerse continuaría aumentando.

El cálculo del índice de fragmentación de superficies clasificadas por usos, indica que para el polígono de la zona de estudio en el año de 1993 la fragmentación fue

de 0.98, en 2009 fue de 0.95, y en el 2025 de 0.84, aunque aumentan los valores, por ser una escala inversa, es una disminución en el grado de fragmentación.

El índice de fragmentación por categoría indica que en el año de 1993, la cobertura natural más fragmentada es el bosque de pino (0.04), seguido del matorral costero (0.35), el menos fragmentado es el chaparral, no solo de las coberturas naturales sino de todas las coberturas en general. Las coberturas antrópicas agricultura (0.14) y asentamientos humanos (0.06) son las más fragmentadas junto con el bosque de pino.

El cambio proyectado hacia el futuro (2009 y 2025) indica que los valores de fragmentación en las coberturas se modifican a excepción del bosque de pino que se mantiene con el mismo valor, la fragmentación en el caso de agricultura y asentamientos humanos disminuye, creándose coberturas más continuas. Las naturales como el chaparral y el matorral costero se fragmentan más, ya que su valor disminuye con el paso del tiempo. No obstante el chaparral sigue siendo el menos fragmentado en los tres periodos.

Bajo el modelo propuesto para identificar las zonas de conservación, serían susceptibles de conservación un total de 218 mil hectáreas que estarían alrededor de los usos del suelo antrópicas, estas zonas son las zonas que no presentan cambios a través del tiempo, albergan en su mayoría zonas de chaparral, que como se observó en el análisis, es el menos fragmentado de todos los tipos de cobertura en la zona de estudio, lo cual puede tener ventaja por ser zonas con una mayor integridad ecológica.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar un análisis posterior de causalidad del cambio de uso del suelo, tratando de enfocarse en las causas socioeconómicas que conllevan a realizar este proceso. Ya que de acuerdo a la literatura las causas principales por las que se da este proceso son diferentes y muy variadas, por lo que estas pueden variar según el contexto local y regional (Bawa y Dayanandan, 1997; Geist y Lambin, 2001).
- El uso de las series de uso del suelo y vegetación de INEGI en el análisis de CUS, resultó efectivo a pesar de que se reporta en trabajos previos en otras zonas del país (Sahagún-Sánchez, Reyes-Hernández, Flores Flores, y Vargas, 2011; Velázquez *et al.*, 2001), en los cuales se dice que no existe concordancia entre los tiempos de cada una de estas series, lo cual al menos en nuestra zona de estudio no se manifestó, ya que los polígonos coincidieron entre cada serie de tiempo en su mayoría. Por lo que pueden ser usadas al menos en estudios de este tipo. Por lo cual sugerimos su uso en trabajos de CUS, no obstante, también es necesario re etiquetar con base en el conocimiento previo del área antes de realizar análisis.
- El modelado en DINAMICA presenta varias ventajas entre ellas la incorporación de una mayor cantidad de variables, que en otros software de modelado ambiental no es posible, además de la relativamente fácil adquisición del software es otra ventaja adicional, ya que es de código abierto y no solo puede ser usado en modelos de CUS, sino en una amplia variedad de modelos (Soares-Filho, Rodrigues, y Follador, 2013).

- El modelo de CUS implementado en DINAMICA tiene la bondad de que en su aplicación se pueden utilizar variables físicas, aunque no se exploró el analizar modelos en los cuales se incorporen las políticas de desarrollo y conservación. De incorporarse lo anterior, se podría convertir en un modelo aún más completo, que el realizado en este trabajo, se recomienda incorporar este tipo de variables a futuros trabajos similares a este.
- Se recomienda evaluar la fragmentación a una resolución más fina (1:50,000 al menos) con el mismo índice utilizado en este trabajo y realizar una comparación para ver el comportamiento del índice, así como analizar algunas métricas del paisaje como las sugeridas por (McGarigal *et al.*, 2009) , lo cual puede ayudar a entender mejor las dinámicas de paisaje ante el cambio de uso del suelo realizado y tomar decisiones más locales o hacia recursos o áreas dentro del centro de población.
- Las áreas para la conservación sugeridas, pueden potencialmente ser incluidas dentro de un sistema de áreas protegidas de orden municipal, ya que a pesar de que en Baja California se ha explorado poco esta posibilidad, se ha demostrado que en otras zonas del país esta práctica tiene éxito en el manejo y conservación de recursos (CONANP 2007). Por lo que se debe analizar posteriormente la factibilidad de que estas zonas cuenten con un respaldo legal, ya que hay casos de zonas como las Regiones Terrestres Prioritarias, las cuales no cuentan con un respaldo legal y tienen utilidad mayormente como zonas de planeación (Arriaga, 2009)

- En un análisis posterior se sugiere incluir a la flora y la fauna existente en las zonas para la conservación identificadas en este trabajo, además de realizar trabajo de campo para generar datos que nos permitan conocer con mayor certeza las especies que existen en la zona de estudio. Ya que a pesar de que se tienen listados de flora completos (Riemann y Ezcurra, 2007), en la fauna no ocurre lo mismo, ya que lo que se encuentra disponible, son listados de alguna zona en específico, o para algún grupo biológico en particular (Alvarez, 2008a, 2008b; Martínez, 2011; Mellink, 2002), por lo que la carencia de una mayor cantidad de datos dificulta incluir a estas especies dentro del análisis realizado en este trabajo y sería conveniente tener estos datos a nivel estatal.
- Por su relación con otros procesos de degradación de menor escala, se considero al CUS como una variable de importancia para seleccionar áreas para la conservación. La propuesta de este trabajo es, no solo seleccionar sitios con esta variable, sino más bien anexar esta como una de las variables con mayor importancia al seleccionar estos sitios.
- Las zonas propuestas tienen potencial de uso por su cercanía hacia las ciudades, por lo que rompen con el paradigma conservacionista de crear zonas lejanas en las cuales sea fácil conservar, pero en las cuales los posibles usuarios se encuentran lejos de ellas, por lo que no pueden ser utilizadas por la mayoría de la población.

ANEXO 1 (FIGURAS).

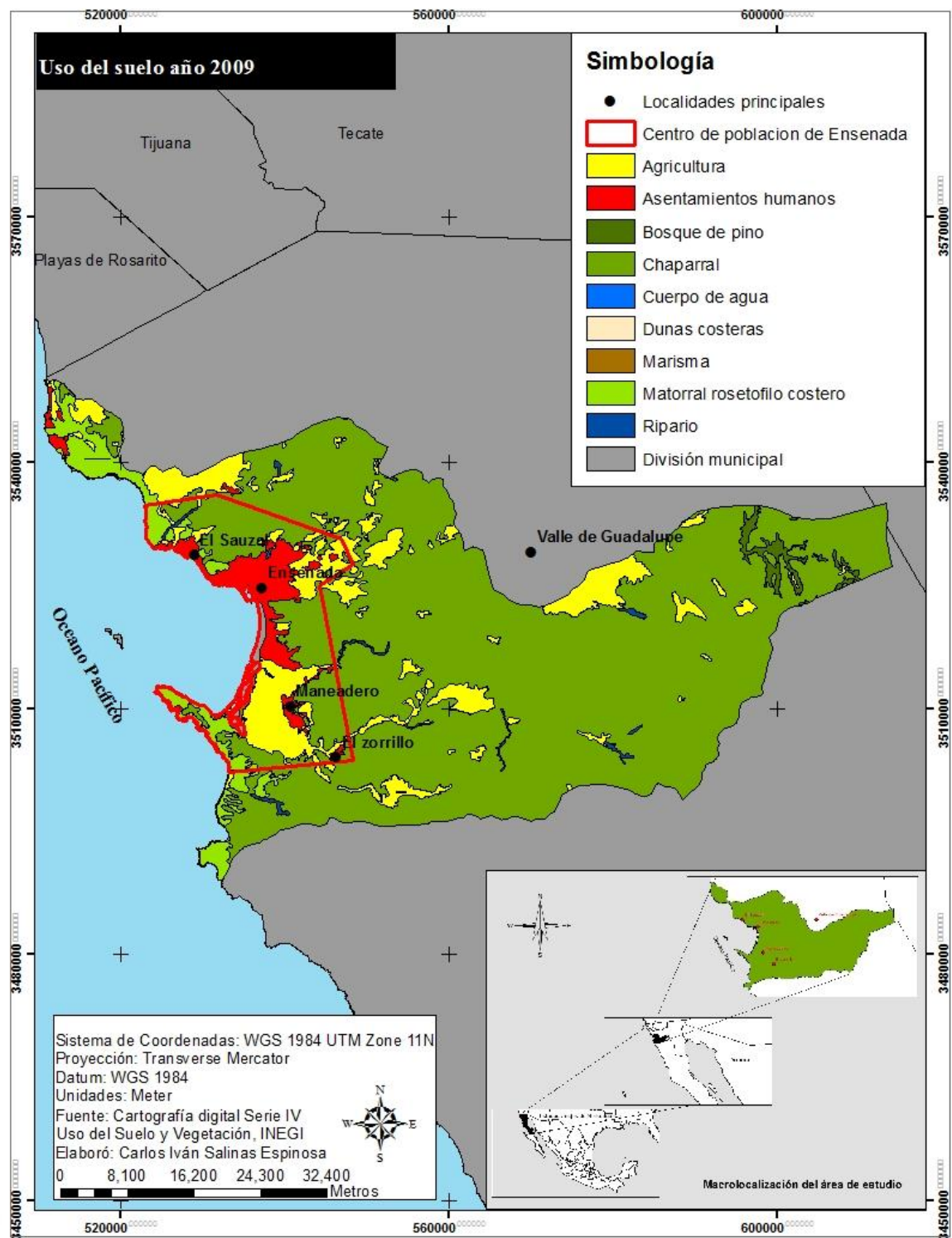


Figura 2. Uso del suelo año 2009. Etiquetas utilizadas.

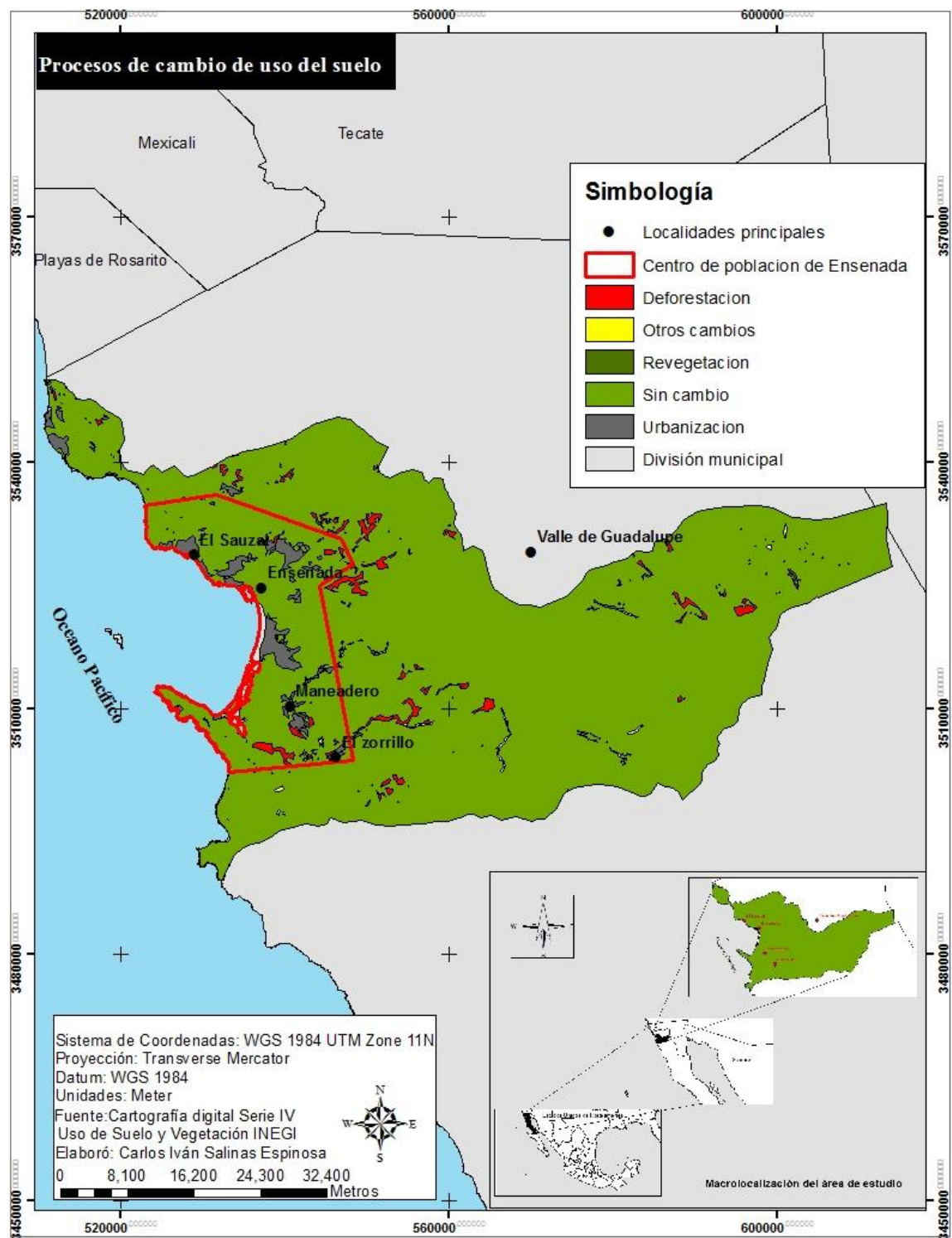


Figura 3. Procesos de cambio de uso del suelo.

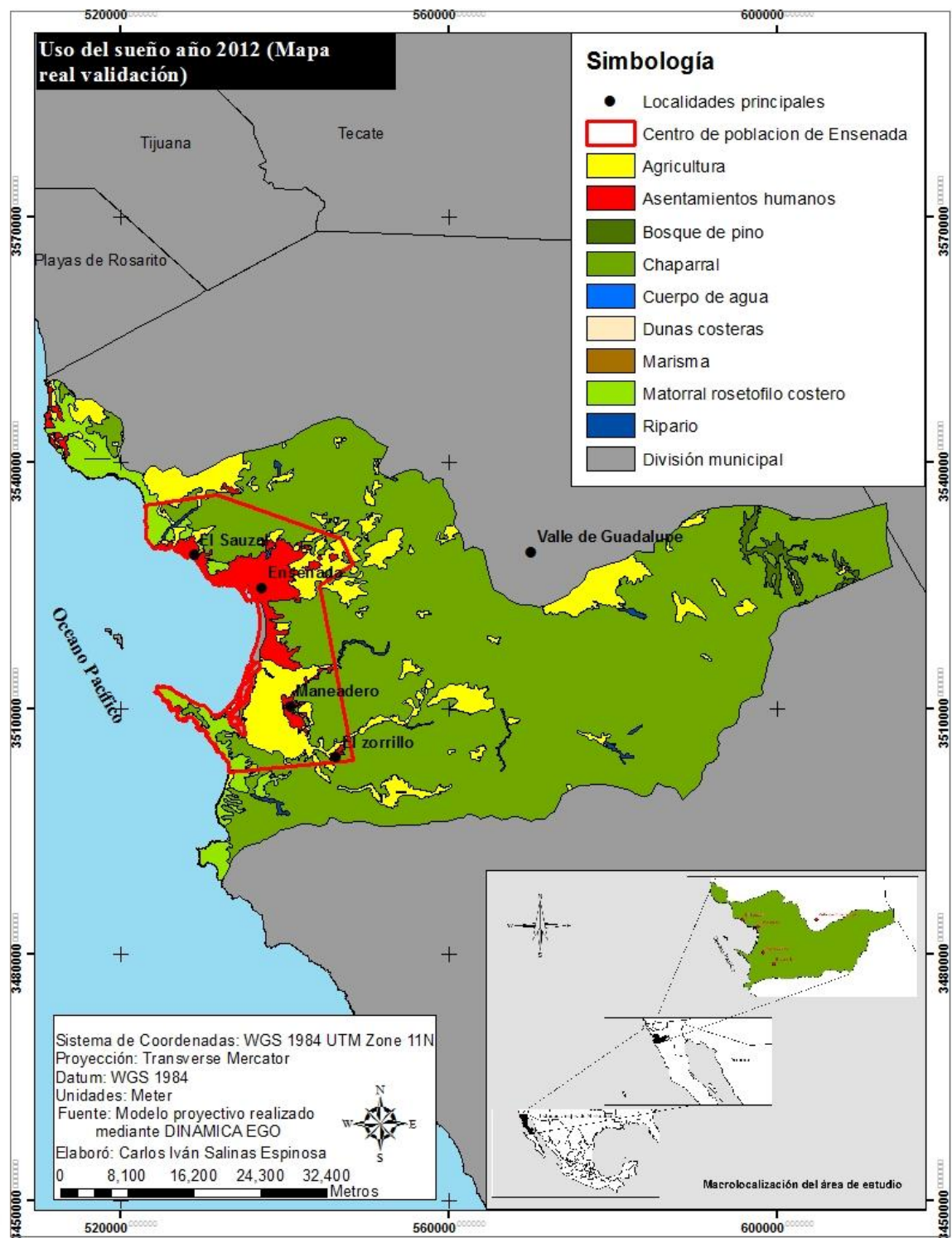


Figura 4. Mapas de validación real 2012.

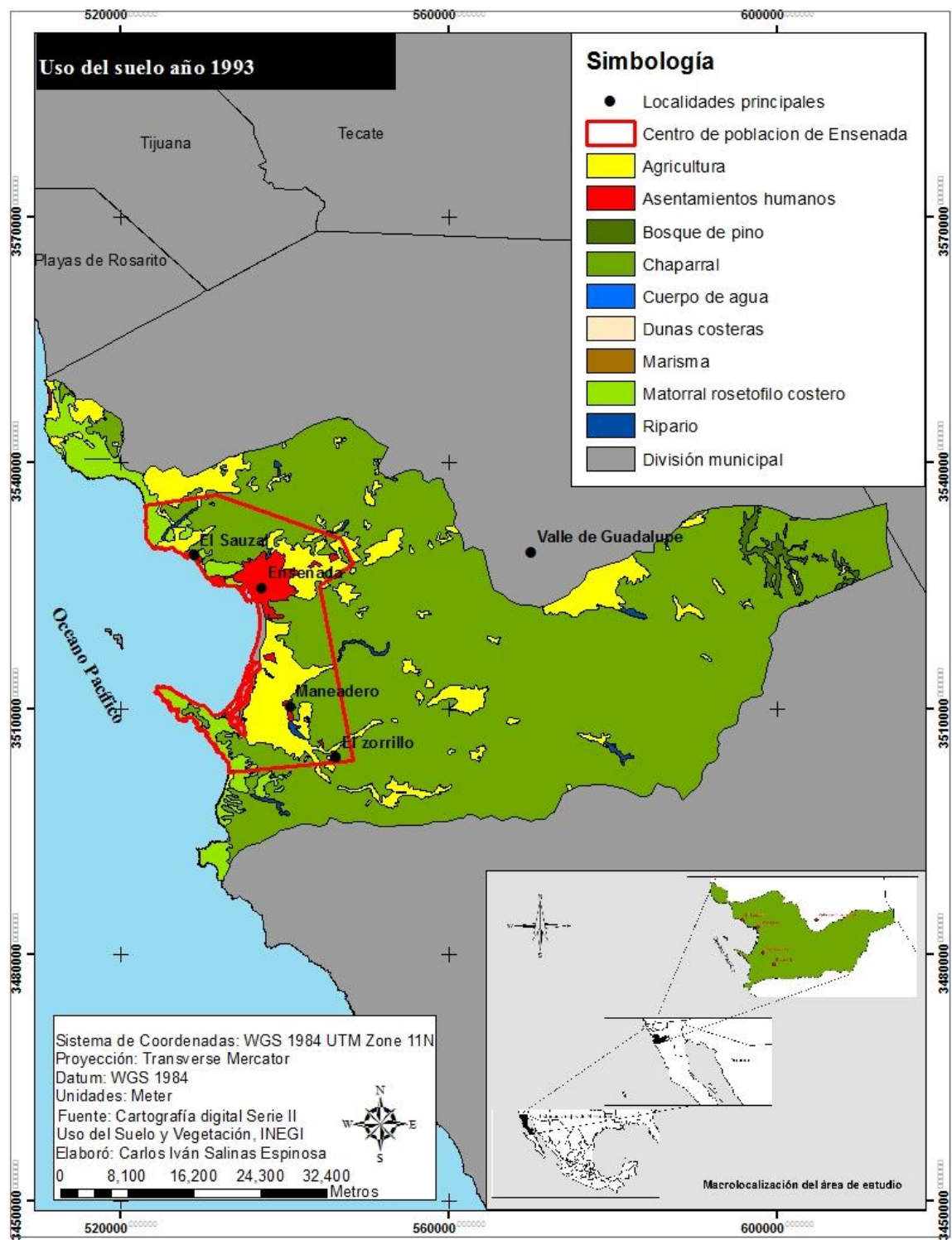


Figura 5. Uso del suelo año 1993

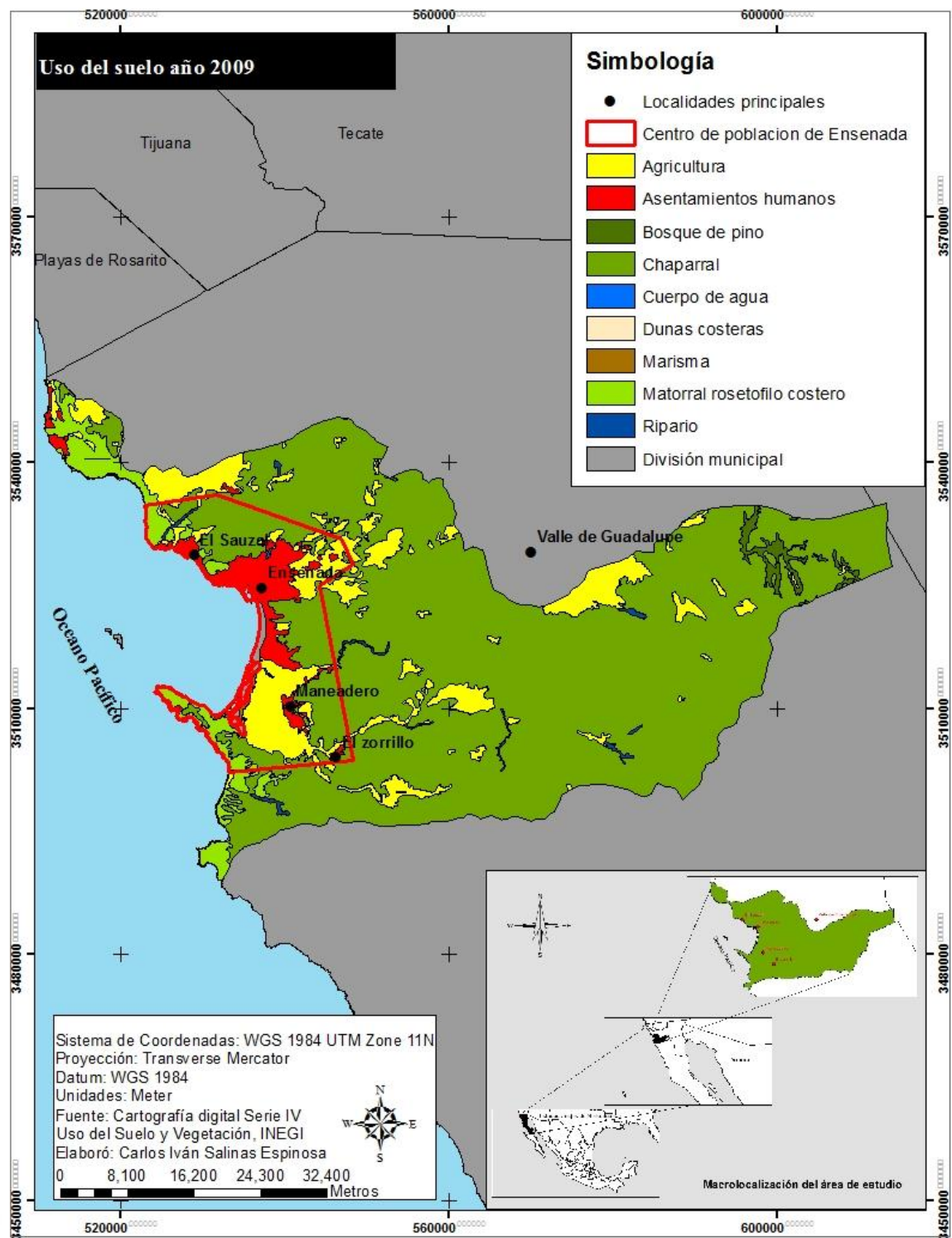


Figura 6. Uso del suelo año 2009.

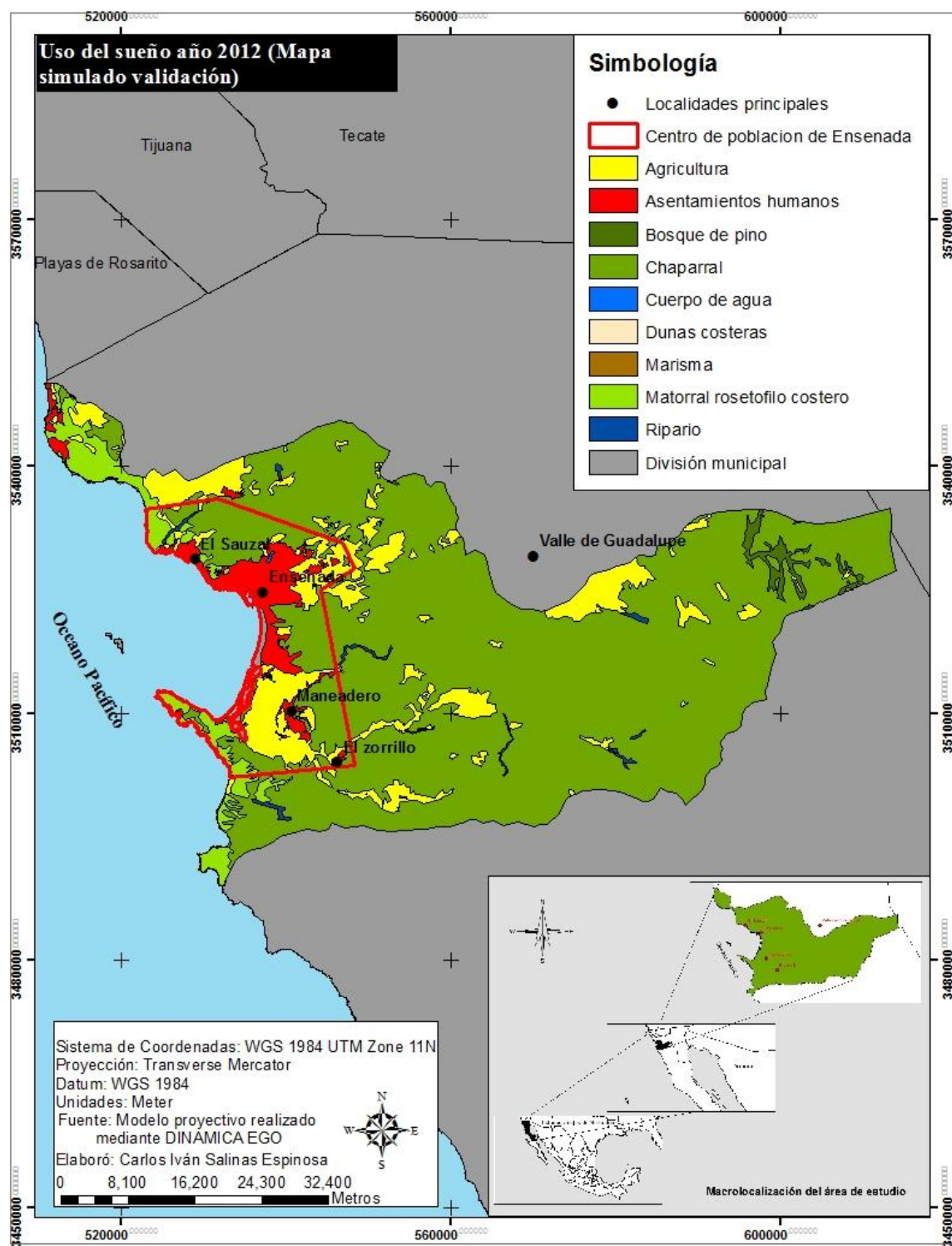


Figura 7. Mapas de validación simulado hasta el 2012.

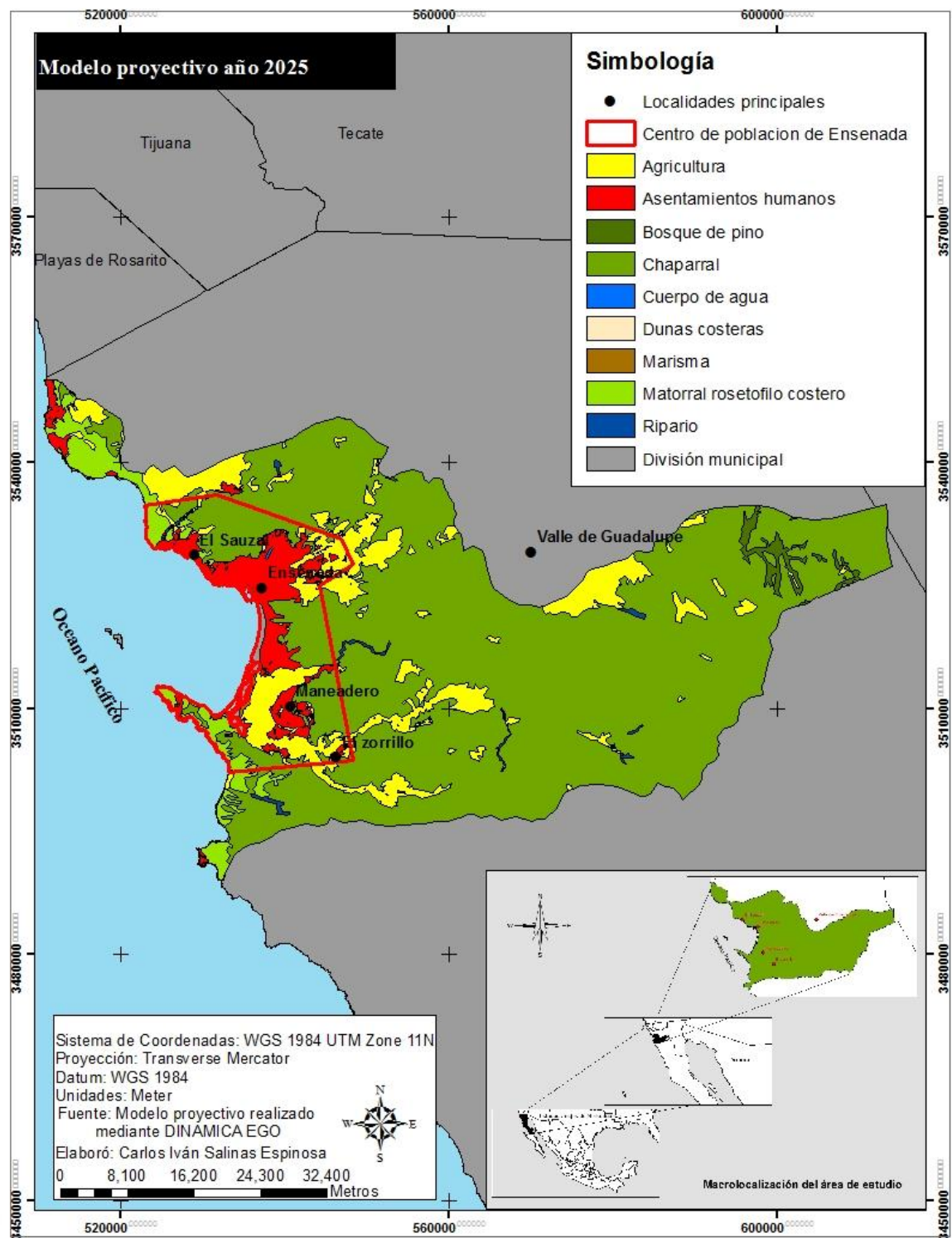


Figura 8. Modelo proyectivo año 2025.

ANEXO 2 (CUADROS).

Matriz de transición de paso simple para 16 años(1993/2009)

	Ag	Ah	BP	Chap	Cagua	Dun	Marm	MatCos	Ripa
Ag	Permanencia	0.111790233	0.001344661	0.013813337	0	0	0	0.000244484	9.17E-05
Ah	0.006387509	Permanencia	0	0	0	0	0	0	0
BP	0.008931761	0	Permanencia	0.018935334	0	0	0	0	0
Chap	0.020016355	0.004051209	0.000178592	Permanencia	0	0	0	0.000108095	0.001513329
Cagua	0	0	0	0	Permanencia	0	0	0	0
Dun	0	0.114285714	0	0	0	Permanencia	0	0	0
Marm	0	0	0	0	0	0	Permanencia	0.084142395	0
MatCos	0.005114888	0.06948379	0	0.004091911	0	0	0	Permanencia	0
Ripa	0.146245059	0.040843215	0	0.100790514	0	0	0	0.000658762	Permanencia

La diagonal indica la permanencia por clase, las celdas en amarillo fueron las transiciones seleccionadas.

Matriz de transición con valores anuales (1993/2009)

	Ag	Ah	BP	Chap	Cagua	Dun	Marm	MatCos	Ripa
Ag	Permanencia	0.007464642	9.07E-05	0.000930276	0	0	0	1.69E-05	6.31E-06
Ah	0.000426661	Permanencia	0	0	0	0	0	0	0
BP	0.000590452	0	Permanencia	0.001210174	0	0	0	0	0
Chap	0.001339995	0.000182274	1.06E-05	Permanencia	0	0	0	6.90E-06	0.000111806
Cagua	0	0	0	0	Permanencia	0	0	0	0
Dun	0	0.007581449	0	0	0	Permanencia	0	0	0
Marm	0	0	0	0	0	0	Permanencia	0.005694722	0
MatCos	0.000336368	0.004506776	0	0.000266774	0	0	0	Permanencia	0
Ripa	0.011321795	0.002328535	0	0.007369902	0	0	0	4.82E-05	Permanencia

La diagonal indica la permanencia por clase, las celdas en amarillo fueron las transiciones seleccionadas.

Codificación en la matriz de transición por categoría

Código	Categoría
Ag	Agricultura
Ah	Asentamientos humanos
BP	Bosque de pino
Chap	Chaparral
Cagua	Cuerpos de agua
Dun	Dunas costeras
Marm	Marisma
MatCos	Matorral Costero
Ripa	Ripario

Variables empleadas en el cálculo de pesos de evidencia

Año 1993	Año 2009	Variable empleada
Chaparral	Agricultura	distancia a agricultura
Chaparral	Agricultura	distancia a asentamientos humanos
Chaparral	Agricultura	distancia a localidades
Chaparral	Agricultura	distancia a carreteras
Chaparral	Agricultura	pendiente
Chaparral	Agricultura	suelos
Chaparral	Agricultura	distancia a línea de costa
Chaparral	Agricultura	distancia a arroyos
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a línea de costa
Agricultura	Asentamientos humanos	pendiente
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a asentamientos humanos
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a localidades
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a carreteras
Agricultura	Asentamientos humanos	suelos
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a arroyos
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a agricultura
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a carreteras
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a línea de costa
Dunas costeras	Asentamientos humanos	suelos
Dunas costeras	Asentamientos humanos	pendiente
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a asentamientos humanos
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a arroyos
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a localidades
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a asentamientos humanos
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a agricultura
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a línea de costa
Matorral costero	Asentamientos humanos	suelos
Matorral costero	Asentamientos humanos	pendiente
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a localidades
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a carreteras
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a arroyos
Ripario	Asentamientos humanos	distancia a localidades
Ripario	Asentamientos humanos	distancia a agricultura
Ripario	Asentamientos humanos	distancia a carreteras
Ripario	Asentamientos humanos	pendiente
Ripario	Asentamientos humanos	suelos
Ripario	Asentamientos humanos	distancia a arroyos
Ripario	Agricultura	distancia a localidades
Ripario	Agricultura	distancia a agricultura
Ripario	Agricultura	distancia a carreteras
Ripario	Agricultura	pendiente
Ripario	Agricultura	suelos
Ripario	Agricultura	distancia a arroyos

Prueba de correlación entre variables empleadas en el modelo

1993	2009	Primer variable	Segunda variable	Crammer	Joint_Uncertainty
1	2	altitud	distancia a agricultura	0.264	0.060
1	2	altitud	distancia a asentamientos humanos	0.408	0.297
1	2	altitud	distancia a carreteras	0.157	0.064
1	2	altitud	distancia a linea de costa	0.419	0.335
1	2	altitud	distancia a localidades	0.381	0.257
1	2	altitud	distancia a arroyos	0.140	0.034
1	2	altitud	pendiente	0.000	0.000
1	2	altitud	suelos	0.278	0.147
1	2	distancia a agricultura	distancia a asentamientos humanos	0.268	0.040
1	2	distancia a agricultura	distancia a carreteras	0.215	0.047
1	2	distancia a agricultura	distancia a linea de costa	0.131	0.014
1	2	distancia a agricultura	distancia a localidades	0.204	0.025
1	2	distancia a agricultura	distancia a arroyos	0.155	0.018
1	2	distancia a agricultura	pendiente	0.000	0.000
1	2	distancia a agricultura	suelos	0.364	0.114
1	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a carreteras	0.190	0.088
1	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a linea de costa	0.248	0.414
1	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a localidades	0.260	0.421
1	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a arroyos	0.096	0.078
1	2	distancia a asentamientos humanos	pendiente	0.000	0.000
1	2	distancia a asentamientos humanos	suelos	0.262	0.094
1	2	distancia a carreteras	distancia a linea de costa	0.168	0.063
1	2	distancia a carreteras	distancia a localidades	0.176	0.071
1	2	distancia a carreteras	distancia a arroyos	0.241	0.114

Prueba de correlación entre variables empleadas en el modelo (Continuación)

1	2	distancia a carreteras	pendiente	0.000	0.000
1	2	distancia a carreteras	suelos	0.220	0.168
1	2	distancia a linea de costa	distancia a localidades	0.212	0.320
1	2	distancia linea de costa	distancia a arroyos	0.101	0.072
1	2	distancia linea de costa	pendiente	0.000	0.000
1	2	distancia linea de costa	suelos	0.145	0.060
1	2	distancia linea de costa	distancia a arroyos	0.100	0.080
1	2	distancia linea de costa	pendiente	0.000	0.000
1	2	distancia linea de costa	suelos	0.214	0.088
1	2	distancia a arroyos	pendiente	0.000	0.000
1	2	distancia a arroyos	suelos	0.178	0.079
1	2	pendiente	suelos	0.000	0.000
4	1	altitud	distancia a agricultura	0.151	0.067
4	1	altitud	distancia a asentamientos humanos	0.424	0.330
4	1	altitud	distancia a carreteras	0.116	0.049
4	1	altitud	distancia a linea de costa	0.440	0.339
4	1	altitud	distancia a localidades	0.439	0.338
4	1	altitud	distancia a arroyos	0.121	0.047
4	1	altitud	pendiente	0.000	0.000
4	1	altitud	suelos	0.239	0.126
4	1	distancia a agricultura	distancia a asentamientos humanos	0.174	0.091
4	1	distancia a agricultura	distancia a carreteras	0.201	0.169
4	1	distancia a agricultura	distancia a linea de costa	0.148	0.070
4	1	distancia a agricultura	distancia a localidades	0.150	0.085
4	1	distancia a agricultura	distancia a arroyos	0.169	0.121

Prueba de correlación entre variables empleadas en el modelo (Continuación)

4	1	distancia a agricultura	pendiente	0.000	0.000
4	1	distancia a agricultura	suelos	0.239	0.199
4	1	distancia a asentamientos humanos	distancia a carreteras	0.130	0.074
4	1	distancia a asentamientos humanos	distancia a linea de costa	0.221	0.420
4	1	distancia a asentamientos humanos	distancia a localidades	0.245	0.450
4	1	distancia a asentamientos humanos	distancia a arroyos	0.108	0.082
4	1	distancia a asentamientos humanos	pendiente	0.000	0.000
4	1	distancia a asentamientos humanos	suelos	0.268	0.079
4	1	distancia a carreteras	distancia a linea de costa	0.134	0.068
4	1	distancia a carreteras	distancia a localidades	0.116	0.066
4	1	distancia a carreteras	distancia a arroyos	0.162	0.131
4	1	distancia a carreteras	pendiente	0.000	0.000
4	1	distancia a carreteras	suelos	0.186	0.138
4	1	distancia a linea de costa	distancia a localidades	0.182	0.350
4	1	distancia a linea de costa	distancia a arroyos	0.106	0.068
4	1	distancia a linea de costa	pendiente	0.000	0.000
4	1	distancia a linea de costa	suelos	0.174	0.062
4	1	distancia a localidades	distancia a arroyos	0.101	0.078
4	1	distancia a localidades	pendiente	0.000	0.000
4	1	distancia a localidades	suelos	0.206	0.074
4	1	distancia a arroyos	pendiente	0.000	0.000
4	1	distancia a arroyos	suelos	0.165	0.079
4	1	pendiente	suelos	0.000	0.000
6	2	altitud	distancia a agricultura	0.213	0.042
6	2	altitud	distancia a asentamientos humanos	0.412	0.193

Prueba de correlación entre variables empleadas en el modelo (Continuación)

6	2	altitud	distancia a carreteras	0.228	0.048
6	2	altitud	distancia a linea de costa	0.276	0.163
6	2	altitud	distancia a localidades	0.312	0.125
6	2	altitud	distancia a arroyos	0.090	0.012
6	2	altitud	pendiente	0.000	0.000
6	2	altitud	suelos	0.379	0.108
6	2	distancia a agricultura	distancia a asentamientos humanos	0.129	0.103
6	2	distancia a agricultura	distancia a carreteras	0.147	0.101
6	2	distancia a agricultura	distancia a linea de costa	0.039	0.007
6	2	distancia a agricultura	distancia a localidades	0.112	0.084
6	2	distancia a agricultura	distancia a arroyos	0.056	0.022
6	2	distancia a agricultura	pendiente	0.000	0.000
6	2	distancia a agricultura	suelos	0.202	0.163
6	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a carreteras	0.112	0.094
6	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a linea de costa	0.080	0.031
6	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a localidades	0.195	0.308
6	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a arroyos	0.024	0.006
6	2	distancia a asentamientos humanos	pendiente	0.000	0.000
6	2	distancia a asentamientos humanos	suelos	0.164	0.079
6	2	distancia a carreteras	distancia a linea de costa	0.075	0.019
6	2	distancia a carreteras	distancia a localidades	0.100	0.069
6	2	distancia a carreteras	distancia a arroyos	0.072	0.037
6	2	distancia a carreteras	pendiente	0.000	0.000
6	2	distancia a carreteras	suelos	0.186	0.131
6	2	distancia a linea de costa	distancia a localidades	0.046	0.012

Prueba de correlación entre variables empleadas en el modelo (Continuación)

6	2	distancia a linea de costa	distancia a arroyos	0.014	0.001
6	2	distancia a linea de costa	pendiente	0.000	0.000
6	2	distancia a linea de costa	suelos	0.035	0.004
6	2	distancia a localidades	distancia a arroyos	0.031	0.010
6	2	distancia a localidades	pendiente	0.000	0.000
6	2	distancia a localidades	suelos	0.157	0.098
6	2	distancia a arroyos	pendiente	0.000	0.000
6	2	distancia a arroyos	suelos	0.105	0.051
6	2	pendiente	suelos	0.000	0.000
8	2	altitud	distancia a agricultura	0.227	0.077
8	2	altitud	distancia a asentamientos humanos	0.419	0.265
8	2	altitud	distancia a carreteras	0.173	0.067
8	2	altitud	distancia a linea de costa	0.323	0.242
8	2	altitud	distancia a localidades	0.401	0.232
8	2	altitud	distancia a arroyos	0.128	0.027
8	2	altitud	pendiente	0.000	0.000
8	2	altitud	suelos	0.301	0.157
8	2	distancia a agricultura	distancia a asentamientos humanos	0.147	0.105
8	2	distancia a agricultura	distancia a carreteras	0.291	0.189
8	2	distancia a agricultura	distancia a linea de costa	0.100	0.031
8	2	distancia a agricultura	distancia a localidades	0.136	0.088
8	2	distancia a agricultura	distancia a arroyos	0.153	0.112
8	2	distancia a agricultura	pendiente	0.000	0.000
8	2	distancia a agricultura	suelos	0.264	0.207
8	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a carreteras	0.188	0.091

Prueba de correlación entre variables empleadas en el modelo (Continuación)

8	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a linea de costa	0.234	0.165
8	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a localidades	0.206	0.413
8	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a arroyos	0.088	0.078
8	2	distancia a asentamientos humanos	pendiente	0.000	0.000
8	2	distancia a asentamientos humanos	suelos	0.265	0.094
8	2	distancia a carreteras	distancia a linea de costa	0.118	0.060
8	2	distancia a carreteras	distancia a localidades	0.168	0.065
8	2	distancia a carreteras	distancia a arroyos	0.215	0.106
8	2	distancia a carreteras	pendiente	0.000	0.000
8	2	distancia a carreteras	suelos	0.226	0.178
8	2	distancia a linea de costa	distancia a localidades	0.196	0.114
8	2	distancia a linea de costa	distancia a arroyos	0.121	0.046
8	2	distancia a linea de costa	pendiente	0.000	0.000
8	2	distancia a linea de costa	suelos	0.113	0.038
8	2	distancia a localidades	distancia a arroyos	0.077	0.055
8	2	distancia a localidades	pendiente	0.000	0.000
8	2	distancia a localidades	suelos	0.215	0.086
8	2	distancia a arroyos	pendiente	0.000	0.000
8	2	distancia a arroyos	suelos	0.170	0.074
8	2	pendiente	suelos	0.000	0.000
9	1	altitud	distancia a agricultura	0.207	0.072
9	1	altitud	distancia a asentamientos humanos	0.417	0.407
9	1	altitud	distancia a carreteras	0.169	0.049
9	1	altitud	distancia a linea de costa	0.445	0.411
9	1	altitud	distancia a localidades	0.415	0.355

Prueba de correlación entre variables empleadas en el modelo (Continuación)

9	1	altitud	distancia a arroyos	0.112	0.035
9	1	altitud	pendiente	0.000	0.000
9	1	altitud	suelos	0.268	0.147
9	1	distancia a agricultura	distancia a asentamientos humanos	0.172	0.083
9	1	distancia a agricultura	distancia a carreteras	0.196	0.143
9	1	distancia a agricultura	distancia a linea de costa	0.103	0.048
9	1	distancia a agricultura	distancia a localidades	0.163	0.084
9	1	distancia a agricultura	distancia a arroyos	0.218	0.107
9	1	distancia a agricultura	pendiente	0.000	0.000
9	1	distancia a agricultura	suelos	0.269	0.209
9	1	distancia a asentamientos humanos	distancia a carreteras	0.145	0.059
9	1	distancia a asentamientos humanos	distancia a linea de costa	0.399	0.531
9	1	distancia a asentamientos humanos	distancia a localidades	0.418	0.608
9	1	distancia a asentamientos humanos	distancia a arroyos	0.149	0.069
9	1	distancia a asentamientos humanos	pendiente	0.000	0.000
9	1	distancia a asentamientos humanos	suelos	0.151	0.082
9	1	distancia a carreteras	distancia a linea de costa	0.083	0.031
9	1	distancia a carreteras	distancia a localidades	0.144	0.060
9	1	distancia a carreteras	distancia a arroyos	0.223	0.098
9	1	distancia a carreteras	pendiente	0.000	0.000
9	1	distancia a carreteras	suelos	0.214	0.134
9	1	distancia a linea de costa	distancia a localidades	0.343	0.448
9	1	distancia a linea de costa	distancia a arroyos	0.168	0.074
9	1	distancia a linea de costa	pendiente	0.000	0.000
9	1	distancia a linea de costa	suelos	0.123	0.056

Prueba de correlación entre variables empleadas en el modelo (Continuación)

9	1	distancia a localidades	distancia a arroyos	0.158	0.071
9	1	distancia a localidades	pendiente	0.000	0.000
9	1	distancia a localidades	suelos	0.187	0.100
9	1	distancia a arroyos	pendiente	0.000	0.000
9	1	distancia a arroyos	suelos	0.188	0.103
9	1	pendiente	suelos	0.000	0.000
9	2	altitud	distancia a agricultura	0.229	0.078
9	2	altitud	distancia a asentamientos humanos	0.494	0.416
9	2	altitud	distancia a carreteras	0.185	0.059
9	2	altitud	distancia a linea de costa	0.473	0.463
9	2	altitud	distancia a localidades	0.429	0.383
9	2	altitud	distancia a arroyos	0.106	0.026
9	2	altitud	pendiente	0.000	0.000
9	2	altitud	suelos	0.288	0.144
9	2	distancia a agricultura	distancia a asentamientos humanos	0.206	0.111
9	2	distancia a agricultura	distancia a carreteras	0.258	0.170
9	2	distancia a agricultura	distancia a linea de costa	0.170	0.055
9	2	distancia a agricultura	distancia a localidades	0.179	0.067
9	2	distancia a agricultura	distancia a arroyos	0.220	0.116
9	2	distancia a agricultura	pendiente	0.000	0.000
9	2	distancia a agricultura	suelos	0.268	0.223
9	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a carreteras	0.173	0.088
9	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a linea de costa	0.457	0.502
9	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a localidades	0.509	0.582
9	2	distancia a asentamientos humanos	distancia a arroyos	0.176	0.087

Prueba de correlación entre variables empleadas en el modelo (Continuación)

9	2	distancia a asentamientos humanos	pendiente	0.000	0.000
9	2	distancia a asentamientos humanos	suelos	0.185	0.095
9	2	distancia a carreteras	distancia a linea de costa	0.140	0.041
9	2	distancia a carreteras	distancia a localidades	0.167	0.055
9	2	distancia a carreteras	distancia a arroyos	0.227	0.126
9	2	distancia a carreteras	pendiente	0.000	0.000
9	2	distancia a carreteras	suelos	0.212	0.159
9	2	distancia a linea de costa	distancia a localidades	0.405	0.507
9	2	distancia a linea de costa	distancia a arroyos	0.172	0.075
9	2	distancia a linea de costa	pendiente	0.000	0.000
9	2	distancia a linea de costa	suelos	0.151	0.060
9	2	distancia a localidades	distancia a arroyos	0.146	0.055
9	2	distancia a localidades	pendiente	0.000	0.000
9	2	distancia a localidades	suelos	0.199	0.080
9	2	distancia a arroyos	pendiente	0.000	0.000
9	2	distancia a arroyos	suelos	0.191	0.102
9	2	pendiente	suelos	0.000	0.000

Peso de evidencia en cada variable por transición

Año 1993	Año 2009	variable	peso
Chaparral	Agricultura	distancia a agricultura	2.64599
Chaparral	Agricultura	distancia a asentamientos humanos	2.10051
Chaparral	Agricultura	distancia a localidades	0.598755
Chaparral	Agricultura	distancia a carreteras	0.20018
Chaparral	Agricultura	pendiente	0
Chaparral	Agricultura	suelos	0
Chaparral	Agricultura	distancia a linea de costa	-2.00388
Chaparral	Agricultura	distancia a arroyos	-2.37759

Año 1993	Año 2009	variable	peso
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a linea de costa	3.4619
Agricultura	Asentamientos humanos	pendiente	2.64969
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a asentamientos humanos	2.22914
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a localidades	1.52113
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a carreteras	0.487922
Agricultura	Asentamientos humanos	suelos	0
Agricultura	Asentamientos humanos	distancia a arroyos	-2.01648

Año 1993	Año 2009	variable	peso
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a agricultura	2.74084
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a carreteras	2.74084
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a linea de costa	1.91416
Dunas costeras	Asentamientos humanos	suelos	1.48808
Dunas costeras	Asentamientos humanos	pendiente	0
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a asentamientos humanos	-
Dunas costeras	Asentamientos humanos	humanos	0.84268
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a arroyos	-
Dunas costeras	Asentamientos humanos	distancia a localidades	1.15776

Peso de evidencia en cada variable por transición (Continuación).

Año 1993	Año 2009	variable	peso
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a asentamientos humanos	3.69183
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a agricultura	0.951208
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a linea de costa	0.734499
Matorral costero	Asentamientos humanos	suelos	0.298924
Matorral costero	Asentamientos humanos	pendiente	0
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a localidades	-0.22728
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a carreteras	-0.22871
Matorral costero	Asentamientos humanos	distancia a arroyos	-2.29049

Año 1993	Año 2009	variable	peso
Ripario	Asentamientos humanos	distancia a localidades	6.29157
Ripario	Asentamientos humanos	distancia a agricultura	2.31859
Ripario	Asentamientos humanos	distancia a carreteras	2.0309
Ripario	Asentamientos humanos	pendiente	0
Ripario	Asentamientos humanos	suelos	0
Ripario	Asentamientos humanos	distancia a arroyos	-2.22795

Año 1993	Año 2009	variable	peso
Ripario	Agricultura	distancia a localidades	5.60739
Ripario	Agricultura	distancia a agricultura	2.24344
Ripario	Agricultura	distancia a carreteras	1.69982
Ripario	Agricultura	pendiente	0
Ripario	Agricultura	suelos	0
Ripario	Agricultura	distancia a arroyos	-2.37687