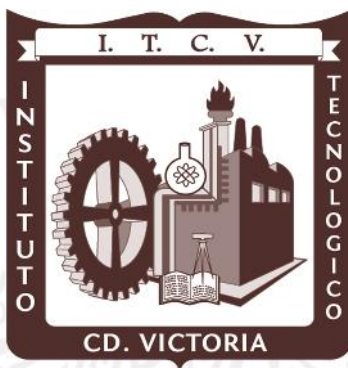


**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD VICTORIA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA**



**CAMBIO EN LA COBERTURA DE TERRENO EN TRES
REGIONES TERRESTRES PRIORITARIAS PARA LA
CONSERVACIÓN EN EL ESTADO DE TAMAULIPAS**

TESIS

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
DOCTOR EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA**

PRESENTA

**M. en C. CHRISTIAN JAVIER VÁZQUEZ REYES
(G-12380002)**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. CRYSTIAN SADIEL VENEGAS BARRERA**

CIUDAD VICTORIA, TAMAULIPAS

MAYO DE 2017

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al Dr. Crystian Sadiel Venegas Barrera, director de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años.

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por mi trabajo y las sugerencias recibidas del Dr. Cesar Sandoval Ruiz, con la que me encuentro en deuda por el ánimo infundido y la confianza en mí depositada.

Quisiera hacer extensiva mi gratitud a mis compañeros del Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación y especialmente a Víctor Vargas (Chilis), Julio Arriaga, Gerardo Montelongo, Sergio Terán, Yobal y Dahlia y todos los demás compañeros, gracias por su ayuda y los buenos momentos que pasamos.

Un agradecimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y (DGEST) por las becas y apoyo financiero para el desarrollo de este proyecto, al proyecto CONACYT Cambios en la abundancia y composición de especies de vertebrados e invertebrados en fragmentos de vegetación con distinto tiempo de perturbación dentro de la Reserva "El Cielo", Tamaulipas, México, con financiamiento del fondo SEP-CONACYT (Convocatoria CB2013-01, No.219583).

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos. A todos ellos, muchas gracias.

RESUMEN

La pérdida de cobertura vegetal es el resultado de la interacción de factores bióticos, abióticos y antropogénicos, los cuales pueden potenciar o disminuir la pérdida. Los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura de terreno y el uso del suelo están en el centro de atención de la investigación ambiental actual, debido a sus implicaciones en la pérdida de hábitat, biodiversidad, servicios ambientales y la viabilidad de los ecosistemas. La mayoría de los estudios de cambio de uso de terreno se enfocan a describir los cambios en la cobertura del terreno a lo largo del tiempo, sin relacionar los cambios de cobertura con otros factores, como la riqueza específica de la zona, temperatura, precipitación y la pendiente. Por lo cual, los objetivos del presente trabajo fueron: 1) asociar los cambios pasados y futuros en la cobertura de terreno dentro y fuera de siete Regiones terrestres prioritarias para la conservación con las zonas de alta riqueza específica de hidrófitas, gastrópodos terrestres y pteridofitas y 2) analizar el efecto de las variaciones en la temperatura y precipitación sobre la cobertura de terreno en tres Regiones Terrestres Prioritarias "El Cielo", la Sierra de Tamaulipas y Sierra de San Carlos. Los resultados del primer objetivo indica que la mayor pérdida ocurrió en la periferia de la Sierra de Tamaulipas. Las pérdidas de cobertura se asociaron con las áreas de mayor riqueza de gastrópodos. El segundo objetivo mostro que la pérdida de cobertura de terreno en "El Cielo" se presentó con mayor frecuencia en elevaciones por encima de los 2,000 msnm; en la Sierra de San Carlos la pérdida se presentó cuando aumento la temperatura y disminuyo la precipitación, mientras que la ganancia de cobertura de terreno ocurrió con mayor frecuencia cuando disminuyo la temperatura y aumento de precipitación. La Sierra de Tamaulipas no mostró una asociación clara entre los cambios de cobertura con las demás variables. El trabajo demostró que la pérdida de cobertura de terreno se presentó con mayor frecuencia en la Sierra de Tamaulipas. La pérdida de cobertura se presentó con mayor frecuencia en las zonas con una pendiente suave en las periferias de las RTP. Las periferias de las RTP presentaron una alta riqueza específica de hidrófitas y gasterópodos terrestres. La mayor riqueza de pteridofitas se predice que ocurre en el interior de las RTP, las cuales se encuentran en menor riesgo por el cambio de cobertura vegetal. Las variaciones en la temperatura y precipitación presentaron una asociación baja con la pérdida de cobertura de terreno en "El Cielo", la Sierra de San Carlos y la Sierra de Tamaulipas.

PALABRAS CLAVE: Pérdida de cobertura de terreno, variación climática, escenas satelitales, conservación.

ABSTRACT

The loss of vegetation cover is the result of biotic, abiotic and anthropogenic interactions, which can increase or decrease the loss. Land cover and land use change processes studies are at the center of current environmental research, due their implications for habitat loss, biodiversity, ecosystem services, and ecosystem viability. Most land use and cover change studies focus on describing changes in terrain cover over time without relating changes with other factors such as specific richness of the area, temperature, precipitation and slope. The aim of the present study were: 1) to analyze past, present and future in land terrain changes within and outside of seven priority regions for conservation with areas of high specific richness of hydrophytes, terrestrial gastropods and pteridophytes, and 2) to analyze the effect of variations in temperature and precipitation in the land terrain changes in three priority regions "El Cielo", Sierra de Tamaulipas and Sierra de San Carlos. The first objective pointed out that the losses occurred most frequently in the periphery of the Sierra de Tamaulipas. Furthermore, loss of land terrain was associated with the areas of higher gastropod richness. On the other hand, the second objective demonstrate that the loss of land cover in "El Cielo" occurred more frequently at elevations above 2,000 meters above sea level; in the Sierra of San Carlos occurred most of land terrain changes occur when the temperature increased and precipitation decreased, and finally the gain of land cover occurred more frequently when the temperature and precipitation increased. The Sierra de Tamaulipas did not show a clear association between changes of coverage with the other variables. The study demonstrate that the loss of land cover occurs more frequently in the Sierra de Tamaulipas. Losses of land terrain were more frequent in areas with a soft slope in the peripheries of RTP. The peripheries of the RTP demonstrated a high specific richness of terrestrial hydrophytes and gastropods. The highest riches of pteridophytes was predicted in the interior of the presented RTP, which are at lower risk due to the change of vegetal cover. Variations in temperature and precipitation show a low associations with the loss of land terrain at "El Cielo", the Sierra de San Carlos and the Sierra de Tamaulipas.

KEYWORDS: Land cover loss, climatic variation, satellite imagery, conservation.

CONTENIDO

Capítulo I Introducción general	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	5
1.2.1 Cambio de cobertura del terreno	5
1.2.2 Causas de la pérdida de cobertura de terreno	6
1.2.3 Efecto de la pérdida de cobertura del terreno	9
1.3 Áreas Naturales Protegidas	11
1.4 Percepción remota	13
1.5 Área de Estudio	17
1.6. Hipótesis	18
1.7. Objetivo general	19
1.7.1 Objetivos particulares	19
1.8 Literatura citada	20
Capítulo II. El cambio de cobertura en áreas de alta riqueza específica en regiones terrestres prioritarias para la conservación	28
2. Introducción	28
2.1 Hipótesis	30
2.2 Objetivo General	31
2.2.1Objetivos particulares.....	31
2.3 Métodos	31
2.4 Resultados	36
2.5 Discusión	49
2.6 Conclusiones	53
2.7 Literatura citada	55
Capítulo III. Efecto de la variación en la temperatura en los cambios de cobertura del terreno	60
3 Introducción	60
3.1 Hipótesis	62
3.2 Objetivo general.....	63
3.2.1 Objetivos particulares	63
3.3 Métodos	63

3.3.1 Elección ciclos cálidos-fríos y fríos-cálidos.....	64
3.3.2 Cobertura de Terreno	66
Variables climáticas	72
3.3.3 Variables topográficas.....	74
3.3.4 Análisis de Correspondencia?	74
3.3.5 Puntos de calor	75
3.4 Resultados	75
3.4.1 Cambio cobertura.....	76
3.4.2 El Cielo.....	78
3.4.2.1 Periodo Cálido-Frío.....	78
3.4.2.2 Periodo Frío-Cálido.....	81
3.4.3 Sierra de San Carlos	83
3.4.3.1 Periodo Cálido-Frío.....	83
3.4.3.2 Ciclo Frío-Cálido.....	86
3.4.4 Sierra de Tamaulipas	88
3.4.4.1 Ciclo Cálido-Frío.....	88
3.4.4.2 Frío-Cálido	91
3.4.5 Puntos de calor	94
3.5 Discusión	95
3.8 Conclusión	101
3.9 Literatura citada	103
4 Capítulo IV	108
4.1 Conclusiones generales.....	108

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las 7 regiones terrestres prioritarias de Tamaulipas.....	32
Figura 2. Áreas por tipo de cambio dentro y en la periferia de las RTP.	39
Figura 3. Tipo de vegetación, ganado y perdido dentro y fuera de las RTP en los dos periodos 1980 – 2005 y 2005 - 2011.	41
Figura 4. Pérdidas de cobertura de terreno de 1980, 2011 y 2042	42
Figura 5. Asociación entre los cambios de cobertura, las RTP y sus periferias (1980 – 2005).....	43
Figura 6. Asociación entre los cambios de cobertura, las RTP y sus periferias (2005 – 2011).....	44
Figura 7. Mapa de riqueza de moluscos terrestres (A), Hidrófitas (B) y Pteridofitas (C) en las RTP y sus periferias.	45
Figura 8. Asociación entre el tipo de cambio de cobertura y la riqueza de gastrópodos, dentro y fuera de las RTP.	46
Figura 9. Asociación entre tipos el tipo de cambio de cobertura y la riqueza de hidrófitas, dentro y fuera de las RTP.	47
Figura 10. Asociación entre tipos el tipo de cambio de cobertura y la riqueza de pteridofitas, dentro y fuera de las RTP.	48
Figura 11. Localización de las tres regiones terrestres. A=Sierra de San Carlos, B=El Cielo y C=Sierra de Tamaulipas.	64
Figura 12. Variación de la temperatura de 1985 al 2010.	66
Figura 13. Ubicación de las escenas LANDSAT y SPOT utilizadas.	69
Figura 14. Localización de las estaciones climatológicas utilizadas.....	73
Figura 15. Tasa de perdida y ganancia por año de cada RTP.....	78
Figura 16. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de “El Cielo” en los ciclos cálidos – fríos.	79
Figura 17. Grafica bidimensional del incremento de temperatura en “El Cielo”.	80
Figura 18. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de “El Cielo” en los ciclos fríos - cálidos.	82
Figura 19. Grafica bidimensional de la reducción de temperatura en “El Cielo”.	83
Figura 20. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de San Carlos en los ciclos cálidos – fríos.	84
Figura 21. Grafica bidimensional de la reducción de temperatura en la Sierra de San Carlos.	85
Figura 22. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de San Carlos en los ciclos fríos - cálidos.	87
Figura 23. Grafica bidimensional del incremento de temperatura en la Sierra de San Carlos.	88
Figura 24. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de la Sierra de Tamaulipas en los ciclos cálidos - fríos.	90
Figura 25. Grafica bidimensional de la reducción de temperatura en la Sierra de Tamaulipas.	91
Figura 26. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de la Sierra de Tamaulipas en los ciclos cálidos - fríos.	92
Figura 27. Grafica bidimensional del incremento de temperatura en la Sierra de Tamaulipas.	93
Figura 28. Puntos de calor en las tres RTP.....	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de vegetación en las capas de INEGI y el grupo al que se homogenizaron.	33
Tabla 2. Categorías de las pendientes (Lugo, 1988).....	35
Tabla 3. Porcentaje de los cambios en las coberturas y tasas de cambio por año dentro y fuera de las RTP.	38
Tabla 4. Pérdida y Permanencia de cobertura de terreno en los años 1980, 2011 y 2042. ..	41
Tabla 5. Escenas satelitales utilizadas en el estudio.	67
Tabla 6. Tipos de cobertura utilizada para las clasificaciones de las escenas. Las gráficas representan el valor de reflectancia de cada una de las clases por banda.....	71
Tabla 7. Clases de cambio de cobertura que se analizaron.	72
Tabla 8. Porcentaje de precisión de las clasificaciones de las escenas satelitales.	75
Tabla 9. Tasa de cambio en hectáreas por año en las tres RTP por ciclo.	77
Tabla 10. Número de puntos de calor en las tres RTP por año y en el estado.	94

Capítulo I Introducción general

1.1 Introducción

El creciente escenario de degradación ambiental, debido a las actividades humanas y otros factores aun no entendidos, ha ocasionado la pérdida del 50% de la cobertura mundial vegetal original (Sanderson *et al.*, 2002; Bertzky *et al.*, 2012). La pérdida de cobertura vegetal se presenta con mayor frecuencia en las planicies y preferentemente en las selvas tropicales (Loarie *et al.*, 2009). En América Latina, la expansión de la frontera agrícola se presentó de forma gradual hasta mediados del siglo XIX, a partir de entonces, el incremento es constante, especialmente notorio durante la segunda mitad del siglo XX (Lambin *et al.*, 2001; Sanderson *et al.*, 2002). La tasa anual de deforestación de los bosques templados, tropicales y matorrales de México, entre el año 1979 al año 2000, fue del 0.43%, con una pérdida anual aproximada de 545,000 ha ($\pm 50\ 000$ ha) (Velázquez *et al.*, 2002; Návar *et al.*, 2010). Adicionalmente, para el año 2000 cerca del 21% de México fue ocupado por pastizales inducidos o cultivados. En este sentido, entre los años de 1993 al 2000 se incrementó en un 4%; mientras que en el mismo periodo se incrementó cerca del 2% las áreas destinadas a cultivos (Velázquez *et al.*, 2002).

Ante este escenario de alteración, a finales del siglo XIX se empezaron a crear áreas de conservación para reducir la creciente pérdida y modificación de la funcionalidad de los sistemas naturales (Halffter, 2011). Sin embargo, estas áreas de conservación no han sido tan exitosas como se esperaba (Bertzky *et al.*, 2012). Aunque estas áreas cuentan con una legislación, que limita las actividades negativas, el cambio de la cobertura original del suelo continúa (Leverington *et al.*, 2010). Por ejemplo, en 13 Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México incrementó la frontera agropecuaria y en la extracción de fauna, tanto en zonas de amortiguamiento como en la zona núcleo (Dirzo y García, 1992; Dirzo y Raven, 2003; Halffter, 2011; Le Saout *et al.*, 2013). En este mismo sentido, se ha evidenciado que en periodos relativamente cortos en tiempo (1993-2002) en 13 ANP se redujo significativamente su vegetación original, la cual fue determinada por la pérdida que ocurrió en la periferia (Figueroa *et al.*, 2011). Por lo que, es necesario evaluar la tendencia de cambio en la matriz circundante, con el objetivo de reducir el aislamiento y la pérdida de especies (Lambin *et al.*, 2003).

Las zonas circundantes a las ANP, y que pueden llegar a presentar una alta riqueza específica, aunque carecen de legislación o programas de manejo que reduzcan la tasa de cambio (Bertzky *et al.*, 2012; Butchart *et al.*, 2012). La CONABIO identificó áreas con alta riqueza específica fuera de las ANP, a los que se denominan vacíos y omisiones de conservación de las áreas protegidas de México (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF y UANL, 2007). Tales áreas están conformadas por 61,799,139.3 ha, divididas en tres categorías de importancia para la conservación (7.3% extrema, 47.4% alta y 45.3% en la categoría de media prioridad de conservación). Sin embargo, al encontrarse en áreas que carecen de una legislación que las proteja, se encuentran en peligro de ser modificadas por las actividades humanas. Por lo que es necesario analizar la asociación entre las zonas con mayor pérdida de cobertura y las zonas con alta riqueza de especies para determinar la asociación entre las zonas con la mayor pérdida de cobertura y las zonas con alta riqueza específica, con el objetivo de poder delimitar las zonas más afectadas por estos cambios.

Los estudios de cambio de cobertura del terreno en la periferia de las ANP son escasos y se enfocan a describir los cambios de cobertura en un determinado tiempo (Figuerola *et al.*, 2011), sin relacionar los cambios en las coberturas de terreno con factores que pueden potenciar o disminuir la pérdida de cobertura vegetal, como es la pendiente, la elevación, la temperatura y precipitación (Lambin *et al.*, 2001). La temperatura tiene un efecto directo sobre la producción primaria y los cambios que suceden en un sitio pueden potenciarse por periodos prolongados de temperaturas elevadas, los cuales cuando se presentan simultáneamente con sequías promueven la generación de incendios y la deforestación (Adams, 2010). La precipitación afecta tanto positivamente como negativamente a la vegetación, ya que puede incrementar o disminuir la producción primaria (Ackerly *et al.*, 2010; Bennie *et al.*, 2013). Un factor topográfico que puede potenciar el cambio en la cobertura de terreno es la pendiente, ya que las actividades humanas se desarrollan en zonas planas o en pendientes que van de suaves a moderadas, debido a que en estas zonas se facilita el desarrollo de las actividades antropogénicas (McDonald *et al.*, 2007). Además, de que estos cambios pueden estar relacionados con complejas interacciones bióticas, abióticas y antropogénicas (Lepers *et al.*, 2005).

El cambio de la cobertura de terreno tiene efectos significativos en la reducción de la biodiversidad. Los cambios en la cobertura del suelo afectan directamente la abundancia y diversidad de plantas y animales, ya que la pérdida de cobertura vegetal en zonas nativas facilita la fragmentación del paisaje, la invasión de especies exóticas, la cacería y vuelve al paisaje incapaz de mantener poblaciones viables (Chomitz y Gray, 1996; Lambin, 1997; Lambin *et al.*, 2001; Agarwal *et al.*, 2002; Carroll *et al.*, 2003; Dirzo y Raven, 2003; Fahrig, 2003; Firbank *et al.*, 2003; Jetz *et al.*, 2007; Hu *et al.*, 2008; Barragán *et al.*, 2010; Cariveau *et al.*, 2012; Chytrý *et al.*, 2012; Coetzer *et al.*, 2013). Las especies más susceptibles a tales cambios son aquellas que presentan un nicho de requerimiento específicos, como las plantas acuáticas, los caracoles y las pteridofitas, los cuales requieren agua para su desarrollo y establecimiento (Correa *et al.*, 2012; Mora-Olivo *et al.*, 2013). Por lo que las especies que dependen de forma diferencial al agua, pueden ser o volverse más sensibles a los cambios de la cobertura de terreno. De tal forma, es necesario analizar los cambios y modificaciones regionales de la cobertura de terreno, debido al efecto del incremento en la temperatura y los posibles efectos en organismos que requieren ciertas características en el ambiente para su desarrollo.

Específicamente, el estado de Tamaulipas contiene 10 de los 11 sistemas ecológicos principales y 25 de los 29 tipos de vegetación que se reportan para el país (Flores y Gerez, 1994). La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), indica que el 23 % de la superficie estatal se encuentra en un estado crítico a muy crítico y para el 2033 plantea un panorama en el cual el 30 % de la superficie estará en un estado crítico de conservación (SEMARNAT, 2008). Además, es considerado como el estado con mayor diversidad de ecosistemas en el norte de México, debido a las variaciones de elevación (de 0.0 a los 3,500 msnm) y porque en el estado se presenta la mezcla de elementos Neárticos y Neotropicales (Treviño y Valiente, 2005). La tasa de pérdida de cobertura de terreno que se ha calculado para el estado va de las 500 a 52,000 ha por año (Cotler, 2010). Aunado a esto, el 35% de su superficie se encuentra en alguna de las categorías de vacíos y omisiones de la diversidad de México, es decir presentan una alta riqueza específica, que se encuentran fuera de las ANPs (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF y UANL, 2007). Sin embargo, en estas zonas, se presenta un incremento en la deforestación, debido al crecimiento de la frontera agrícola y mancha urbana (Cotler, 2010). Por lo tanto, es necesario estimar la

tendencia de cambio de cobertura dentro y fuera tanto en las ANPs como en regiones terrestres prioritarias para la conservación (RTP), con el objetivo de conocer el estado de conservación pasado y presente de estas áreas. El presente estudio relacionó los cambios en la cobertura de terreno con la pendiente, la riqueza de gastrópodos terrestres, hidrófitas, pteridofitas, las variaciones en la temperatura y precipitación, para evaluar la viabilidad de las áreas prioritarias de conservación propuestas por CONABIO. La relevancia del estudio es que permitirá identificar las áreas con mayor cambio, a fin de proponer estrategias que maximicen el uso, manejo y conservación de los recursos naturales. El estudio pone a prueba que 1) en las zonas con mayor riqueza específica de gastrópodos terrestres, hidrófitas y pteridofitas se localizaran en zonas planas fuera de las ANP y en ellas se presentarán las mayores pérdidas de cobertura y 2) que las pérdidas de cobertura ocurrirán en zonas bajas en los ciclos cálido – frío, mientras que en las zonas altas la mayor pérdida se presentará en los ciclos fríos – cálidos.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Cambio de cobertura del terreno

Los ecosistemas terrestres han sido sujetos a un aprovechamiento desmedido de los recursos naturales, que ha propiciado un avance de la pérdida de especies animales y vegetales, (Sanderson *et al.*, 2002; Dirzo y Raven, 2003). Las actividades humanas se desarrollan principalmente en zonas que contengan recursos alimenticios, hídricos y un fácil acceso, siendo la cobertura vegetal uno de los componentes del ecosistema más severamente afectados (De Leo y Levin, 1997; Lambin *et al.*, 2001; Sanderson *et al.*, 2002; IUCN, 2005; Hansen y DeFries, 2007; DeFries, 2008; Joppa y Pfaff, 2010; Leverington *et al.*, 2010; de Lima *et al.*, 2013).

Las alteraciones que realiza el hombre a los ecosistemas disminuyen su capacidad para satisfacer los bienes y los servicios ambientales que utiliza el hombre (Sanderson *et al.*, 2002; Bertzky *et al.*, 2012). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO por sus siglas en inglés, señala como causas del cambio de cobertura de terreno al incremento demográfico, el bajo desarrollo económico y la búsqueda de mayores niveles de bienestar, la falta de políticas e instituciones basadas en la comunidad, la falta de impulso a la ciencia y tecnología, entre otros (FAO, 2014).

El procedimiento más confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es el estudio de la dinámica espacio temporal de la cobertura vegetal (Berry *et al.*, 1996; Lambin *et al.*, 2001), conocido como análisis del cambio de uso y/o cobertura del terreno (Turner II *et al.*, 1994; Lambin *et al.*, 2001). La cobertura del terreno describe el material físico de la Tierra, de esta manera, la definición relaciona estrechamente las clases de cobertura con sus características físicas. Las clases son discernibles con relativa facilidad mediante mediciones de sensores remotos, los cuales registran la respuesta espectral de los diferentes tipos de superficies. Algunos ejemplos de clases de cobertura de terreno son; bosque, cuerpos de agua y suelos desnudos (Chuvieco, 2010). El uso del suelo a diferencia de la cobertura, es definido por la actividad humana en el territorio. Esta clasificación principalmente no considera criterios físicos sino factores humanos y socioeconómicos, por lo que no puede ser derivada directamente de datos obtenidos por sensores remotos. Algunos ejemplos de clases de uso del suelo son; áreas industriales, puertos, o terminales aéreas, entre

otros, las cuales tienen en común que se derivan de las clases de cobertura de terreno correspondientes a asentamientos humanos, también llamada con frecuencia área construida o material consolidado (Lambin *et al.*, 2001).

Los estudios de cambio en la cobertura proporcionan la base para estimar las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin *et al.*, 2001). Las variaciones en la cobertura vegetal se deben a procesos naturales y/o antrópicos. Los procesos antrópicos sucedidos en los últimos 20 años se han convertido en el principal factor de la transformación de los ecosistemas (Vitousek *et al.*, 1997). La pérdida de la cobertura vegetal se agudizó durante los últimos dos siglos, al cuadruplicarse la densidad de la población y desaparecer más superficie forestal que durante toda la historia de la humanidad (Cincotta *et al.*, 2000). La acelerada pérdida de la cubierta forestal es resultado de alteración de ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, la introducción de especies exóticas, el exterminio de las especies nativas y la pérdida de hábitat en general, los cuales ocasionan la desaparición de los ecosistemas originales (Velázquez *et al.*, 2002).

La pérdida de cobertura vegetal ha ocurrido con mayor frecuencia en bosques templados y selvas (Lambin *et al.*, 2001; Lambin *et al.*, 2003). En el periodo 1964–1973, se calculó que la tasa de pérdida de los bosques tropicales tuvo una tasa 21 ha/minuto, la cual equivale aproximadamente a 11,000,00 ha al año (Lambin *et al.*, 2005). En los años 80's se estimó que la pérdida de cobertura forestal tropical a nivel mundial aumento a 15,500,000 ha al año, con una tasa anual de pérdida de 0.8% y de los años de 1990 a 2015 se redujo a un promedio anual de 69,414 ha a una tasa de pérdida de 0.08%. Los países tropicales de África y Latinoamérica fueron las áreas donde ocurrió la mayor pérdida de cobertura vegetal (McDonald *et al.*, 2007; FAO, 2015).

1.2.2 Causas de la pérdida de cobertura de terreno

La pérdida de cobertura es el resultado, principalmente, por las actividades humanas, sin embargo, también existen complejas interacciones bióticas, abióticas, que pueden acelera o reducir estas pérdidas (Lepers *et al.*, 2005). La pendiente es un factor asociado a la perdida de cobertura vegetal (Sader y Joyce, 1988). La inclinación del terreno se asocia a la perdida

de cobertura, ya que las planicies son las más propensas a perder su cobertura vegetal por favorecer las actividades antrópicas (Apan y Peterson, 1998), en cambio las pendientes más elevadas limitan la pérdida de cobertura vegetal, debido a las dificultades que implica la deforestación en estas zonas (Ochoa-Gaona y González-Espinosa, 2000).

Los trabajos que han asociado las pérdidas de cobertura con la pendiente han encontrado que las pérdidas de cobertura vegetal que ocurren en pendientes suaves, tienden a ser permanentes mientras que las pérdidas que ocurren en zonas con una mayor inclinación se recuperan al paso del tiempo (Apan y Peterson, 1998; Soares-Filho *et al.*, 2001). Las planicies están poco representadas en las ANP, ya que la mayoría de ellas son áreas montañosas que dificultan las actividades antrópicas y favorecen la conservación (Halffter, 2011). El conjunto de la temperatura y precipitación en zonas con pendientes bajas favorece la pérdida de cobertura vegetal original y las actividades agropecuarias (Lugo 1988; McDonald *et al.* 2007). Por lo que es necesario asociar el tipo de pendiente con los cambios en la cobertura vegetal, con el objetivo de saber si las planicies son las más afectadas por la pérdida de cobertura vegetal nativa.

La elevación también es un factor asociado a la pérdida de cobertura vegetal nativa, ya que a menores elevaciones se presenta la mayor pérdida de cobertura vegetal que a mayores elevaciones (FAO, 2015). Las zonas bajas presentan una mayor biodiversidad y son más susceptibles a ser modificadas (Grytnes y McCain, 2007).

La variación climática es otro factor asociado a los cambios en la cobertura de terreno, ya que al presentarse periodos prolongados de altas temperaturas y baja precipitación favorece la sequía y la ocurrencia de incendios, (Lambin *et al.*, 2001). La vegetación, al igual que la fauna, son afectados por los cambios en la temperatura (Adams, 2010). Los efectos de la temperatura sobre las plantas pueden ser inmediatos o expresarse en la siguiente temporada de reproducción (Mainali *et al.*, 2015).

La temperatura tiene un efecto directo sobre la vegetación, ya que puede beneficiar, limitar el crecimiento y causar la muerte (Lack y Evans, 2005). Las variaciones en la temperatura afectan la velocidad de crecimiento, germinación, transpiración, respiración, fotosíntesis, absorción de agua y nutrientes (Villalobos, 2009). Los efectos de las variaciones en la temperatura sobre la vegetación dependen de cada especie de planta, por ejemplo, los bosques de los Alpes suizos han mostrado reducción en su distribución por el incremento en

la temperatura y los pastos en las planicies del Tíbet han presentado han modificado los tiempos de reproducción después de los incrementos en la temperatura (Adhikary *et al.*, 1995; Che *et al.*, 2014). Por otro lado, el exceso de agua en el suelo conduce al estrés de tipo secundario y a la hipoxia en las plantas terrestres (Brovquin, 2002). El agua en exceso puede ocasionar un estrés secundario, provocando hipoxia, que es el descenso del oxígeno en los espacios aéreos. La escasez de agua puede causar estrés hídrico, afectando el desarrollo de la planta y por ende su baja producción, interrumpiendo el proceso de la fotosíntesis. En sequías severas causando hasta la muerte de la planta (Zomer, *et al.*, 2008).

La mayoría de los daños a las que son sujetas las plantas son el resultado de los daños ocurridos por las temporadas con variaciones climáticas extremas (Lack y Evans, 2005). Las variaciones climáticas juegan un papel muy importante en los cambios de cobertura vegetal, ya que son los que han marcado los cambio o desplazamientos de la cobertura vegetal en la tierra (Brovquin, 2002; DeWalt *et al.*, 2003; Asner *et al.*, 2004; Flanagan y Johnson, 2005; Zomer *et al.*, 2008; Adams, 2010; Liancourt *et al.*, 2011; Chea *et al.*, 2014). Existe evidencia de como los tipos de cobertura vegetal han respondido a los cambios climáticos a través del tiempo, encontrando que la cobertura vegetal tiende perderse, modificarse o desplazarse cuando ocurren cambios abruptos en el clima (Adams, 2010). Los cambios más importantes se presentan a escala geológica, pero actualmente, con los escenarios de cambio climático se sugiere que estos cambios pueden presentarse en décadas. Por ejemplo, el incremento de la temperatura afecta a los tipos de vegetación alpina, mientras que la reducción en la temperatura a la vegetación tropical (Adhikary *et al.*, 1995; Adams, 2010). En la actualidad, se propone que los tipos de vegetación más afectados por el incremento en la temperatura son los bosques alpinos (Chytrý *et al.*, 2012).

La respuesta de las plantas a los cambios climáticos extremos es muy variable (Lloret *et al.*, 2012). Las poblaciones y comunidades dominantes cuentan con una serie de mecanismos estabilizadores (ecofisiológicos y demográficos) que, en conjunto con la multitud de interacciones entre las especies, pueden compensar la mortalidad de la vegetación dominante (Adams, 2010). No obstante, no debe subestimarse la capacidad de estos eventos para provocar cambios dramáticos, especialmente si se vuelven más frecuentes.

La vegetación puede persistir con ligeras alteraciones después de cambios climáticos extremos. Las comunidades de plantas dominadas por especies longevas a menudo

experimentan una gran inercia a la sustitución de especies y se recuperan relativamente bien después de las perturbaciones (Brovquin, 2002; Adams, 2010). Los cambios en la vegetación podrían ocurrir cuando los procesos estabilizadores sean interrumpidos o no se ajusten bien a las nuevas condiciones. Dado este escenario de variaciones climáticas y la respuesta de la vegetación a estos es necesario asociar el cambio de cobertura del terreno con la temperatura, la humedad, el tipo de pendiente y la elevación altitudinal donde estos ocurren con la finalidad de encontrar si estas variaciones tienen un efecto sobre la cobertura vegetal y cuáles son las más afectadas a estas variaciones.

1.2.3 Efecto de la pérdida de cobertura del terreno

La transformación de los ecosistemas, por los procesos naturales o antrópicos ha llegado al punto de poner en riesgo la capacidad de éstos para auto-regenerarse y de atentar contra la capacidad misma del planeta para sostener en condiciones propicias el desarrollo de las sociedades (Dirzo y Raven, 2003). Algunas de las modificaciones drásticas incluyen disminución de la biodiversidad, extinción de especies de animales y vegetales, pérdida y fragmentación de hábitat, cambios en las concentraciones de gases en la atmósfera, modificación en el uso del suelo y erosión (Bertzky *et al.*, 2012).

La pérdida de biodiversidad ha sido constante a lo largo de la historia del planeta, sin embargo, en los últimos 1000 años la tasa de extinciones se incrementó por las actividades antropogénicas. La pérdida de cobertura favorece la reducción de la biodiversidad genética de las especies, al reducir los ambientes que albergan gran parte de la biodiversidad (De Leo y Levin, 1997; Sanderson *et al.*, 2002). Los impactos de la deforestación se extienden más allá del área deforestada ya que estas pérdidas de cobertura favorecen la fragmentación de bosque, dividiendo la población de animales y dificultando su reproducción (Dirzo y Raven, 2003). Por ejemplo, un estudio de primates en África occidental, encontró una deuda de extinción de más del 30 por ciento de la fauna total de primates, como resultado de la deforestación histórica. Esto sugiere que la protección de los bosques remanentes en estas áreas puede no ser suficiente para prevenir las extinciones causadas por la pérdida pasada de hábitat. Podemos predecir los efectos de la pérdida de algunas especies, aunque sabemos muy poco acerca de la mayoría de las demás, por lo que no podemos hacer proyecciones

razonables. La inesperada pérdida de especies desconocidas tendrá un efecto que aumentará con el tiempo.

La extinción de pequeñas poblaciones que se encuentran en peligro o que están aisladas del pool genético más importante, por la fragmentación o por barreras naturales como el agua o áreas montañosas, es la forma de extinción que se ha modelado y entendido mejor. Desde que MacArthur y Wilson sentaron las bases, en su trabajo de la Teoría de la Biogeografía de las Islas (1967), se han hecho varios modelos acerca del tamaño de la población y el tamaño del área para la supervivencia de las especies.

Las especies tropicales no sólo están amenazadas por la deforestación, sino también por el cambio climático global. Aunque las especies sobrevivan en reservas protegidas, podrían perecer como resultado del aumento en el nivel del océano y el cambio climático. Muchas especies están habituadas a las condiciones constantes de temperatura y humedad durante todo el año. Estas especies no están adaptadas al cambio climático, aunque este cambio sea de 1.8F (1C). Los cambios en la duración de las estaciones, la precipitación, y la intensidad y frecuencia de eventos extremos que podrían ocurrir, tendrían un fuerte impacto en la biodiversidad de los bosques tropicales estacionales y en los bosques de neblina.

Algunos estudios muestran que las condiciones climáticas anormales—como aquellas que ocurren durante El Niño y La Niña—pueden provocar fluctuaciones en las poblaciones de muchos animales del bosque. Si la frecuencia e intensidad de estos eventos extremos alcanzara niveles en donde poblaciones enteras fueran incapaces de recuperarse hasta alcanzar los niveles normales, observaríamos extinciones localizadas y cambios graves en el ecosistema. Los cambios climáticos podrían afectar especialmente a algunos ecosistemas sensibles, como los bosques de neblina, que se verían severamente afectados por cualquier cambio en la cubierta de nubes. Una consecuencia del incremento en la temperatura, que normalmente se pasa por alto, es la diseminación de enfermedades entre los animales silvestres. Por ejemplo, existe una gran posibilidad de que la malaria avícola y la viruela aviar se extiendan en los bosques hawaianos de tierras altas mediante los mosquitos, que actualmente se distribuyen en zonas de menos de 4,800 pies (1,500 m) de altura, debido a la temperatura. La diseminación de estas enfermedades en bosques de tierras altas, podría significar la extinción de varias especies de aves que se encuentran amenazadas

Un ejemplo de esto son los gastrópodos, las hidrófitas y las pteridofitas, ya que son organismos que dependen de la disponibilidad del agua, por lo que son más sensibles a los cambios de la cobertura de terreno.

Los moluscos terrestres son uno de los componentes conspicuos de esa biodiversidad, siendo el segundo phylum con mayor número de especies animales (Correa-Sandoval y Rodríguez-Castro, 2005). Los cuales se encuentran en sitios protegidos con humedad apropiada y alimento (Burch y Pearce, 1990): Los gastrópodos terrestres son especies poco visibles, debido a que la mayoría de ellos son pequeños, menores a 5 mm; sin embargo, son un grupo muy exitoso y diverso (Naranjo-García, 2014). La diversidad de los moluscos terrestres tiene que ver con la estabilidad del clima (Ibáñez *et al.*, 1997). Por lo que los cambios en la cobertura pueden afectar las áreas en las que se distribuyen y reducir sus poblaciones.

Las hidrófitas tienen un papel importante en los ecosistemas acuáticos, ya que proporcionan directa o indirectamente alimento, protección y una gran variedad de hábitats para un elevado número de organismos, facilitando el mantenimiento del agua limpia y oxigenada. La diversidad de las hidrófitas es poco conocida, dificultando la creación de estrategias para su conservación (Sculthorpe, 1985; Mora-Olivo *et al.*, 2013).

Las pteridofitas crecen en diferentes ambientes (terrestre, saxícola, epífita, palustre y acuático). La distribución altitudinal de las pteridofitas va de los 0 a los 5,000 msnm. La mayor diversidad se concentra en los trópicos y su distribución se extiende hasta las regiones templado-frías de ambos hemisferios. Para esto se requiere de agua, así la distribución de las Pteridophyta depende grandemente de la presencia de este elemento. Las pteridofitas, generalmente se encuentran en ambientes muy húmedos y en la proximidad de corrientes. Algunas de sus especies son acuáticas. Sin embargo, también se distribuyen en zonas áridas, pero dependen de la lluvia y las corrientes efímeras para su reproducción (Martínez-Salas y Ramos, 2014).

1.3 Áreas Naturales Protegidas

Los cambios en la cobertura vegetal nativa conducen a la implementación de estrategias para su mitigación, los cuales incluyen, la reforestación, restauración y la creación de Áreas

Naturales Protegidas (ANP) que permitan mantener los procesos ecológicos-evolutivos y la diversidad de los ecosistemas (Santiago-Ávila, 2013). Las ANP son una porción del territorio (terrestre o acuático) cuyo objetivo es conservar la biodiversidad representativa de los distintos ecosistemas y cuentan con una legislación que regula las actividades que se realizan en su interior (IUCN 2005). Sin embargo, estas áreas presentan procesos de deterioro, aislamiento y fragmentación que ponen en riesgo el cumplimiento de sus objetivos primarios (McDonald *et al.*, 2007; McDonald *et al.*, 2008; Nagendra, 2008; Joppa y Pfaff, 2010; Mascia y Pailler, 2011; Leisher *et al.*, 2013). Los estudios de cambio de cobertura de terreno en las ANP permiten localizar las zonas con mayor cambio y así poder tomar las acciones necesarias para su preservación (Lambin *et al.*, 2001; Velázquez *et al.*, 2002; Figueroa *et al.*, 2011; Le Saout *et al.*, 2013).

El éxito de la conservación de estas áreas depende de la capacidad de restringir las actividades antropogénicas que ponen riesgo su funcionamiento, donde el grado de restricción depende del tipo de área de conservación (Halfpter, 2011). Sin embargo, aun cuando existe legislación que limita las actividades antropogénicas, se siguen realizando de forma furtiva. Por ejemplo, existe evidencia que en algunas ANP existió un incremento en la frontera agropecuaria y urbana tanto en zonas de amortiguamiento y zona núcleo (García Gil *et al.*, 2001; Guerra-Martínez y Ochoa-Gaona, 2006; Maass *et al.*, 2006; Vázquez-Cuevas y Roldán Aragón, 2010). Por ejemplo, a nivel mundial se calcula que las ANP de 147 países presentan un pérdida de cobertura en promedio de 15% y en México se midió durante nueve años (1993-2002) en 13 de 42 ANP una reducción significativa en su vegetación original (Figueroa *et al.*, 2011). Por esta razón, debe evaluarse la tendencia de cambio en la matriz circundante, con el objetivo de reducir el aislamiento y la pérdida de especies, debido a que las periferias de las ANP carecen de legislación o programas de manejo que reduzcan la tasa de cambio y que pueden llegar a presentar una alta riqueza específica.

La pérdida de la cobertura es preocupante, debido a que siguen existiendo pérdidas de cobertura vegetal dentro de las ANP (IUCN, 2016). Por lo que algunas instituciones nacionales, como la CONABIO, ha realizado un estudio de vacíos y omisiones de conservación encontrado que existen zonas de alta riqueza de vertebrados y plantas vasculares que se localizan fuera o en la periferia de las ANP (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF-UANL, 2007). Derivado de este análisis, se propusieron 152 regiones

terrestres prioritarias para la conservación (RTP), las cuales destacan por su riqueza ecosistémica y específica (Arriaga *et al.*, 2000). Los vacíos de conservación como las RTP son áreas susceptibles a su desaparición, por no contar con una protección adecuada. Esta característica hace imperante estimar los cambios que ocurren tanto dentro como fuera de estas zonas, con el objetivo de evitar su pérdida o aislamiento con otras áreas (Soares-Filho *et al.*, 2004; Santiago-Ávila, 2013).

Los procesos de deterioro que ocurren en las ANP o RTP, son el resultado de la pérdida de cobertura vegetal nativa que ocurre tanto dentro como en sus periferias (IUCN, 2005; Hansen y DeFries, 2007). Las periferias de las ANP están constituidas por mosaicos de ambientes perturbados y conservados, los cuales pueden afectar positiva o negativamente a las ANP, dependiendo de los planes de manejo que se tenga en el área protegida (McDonald *et al.*, 2007). Los mosaicos encontrados en estas pueden facilitar o limitar el movimiento de las especies (IUCN, 2005).

Por lo tanto, es necesario estimar la tendencia de cambio de cobertura en las ANPs como en regiones terrestres prioritarias para la conservación (RTP) con el objetivo de conocer el estado de conservación pasado, presente y proyectar su futuro. Por lo que, en el presente estudio se relacionan los cambios en la cobertura de terreno con las variaciones en la temperatura y la precipitación, para evaluar la viabilidad de las áreas prioritarias de conservación propuestas por la comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO).

1.4 Percepción remota

La necesidad de mejorar los planes de manejo conforme a la nueva concepción de los procedimientos para el manejo de las áreas protegidas, condicionó la necesidad de realizar estudios complementarios, entre los se destaca la determinación de los cambios en la cobertura vegetal con la utilización de las técnicas de geo-procesamiento (Schowengerdt, 2007). Las técnicas de teledetección constituyen una herramienta eficaz en la identificación de los cambios en la cobertura vegetal y el uso de la tierra, especialmente para estudios regionales o en zonas de difícil acceso (Cain *et al.*, 1997; Schowengerdt, 2007). La utilización de bases de datos digitales, escenas satelitales, fotografías aéreas y la salida cartográfica automatizada permiten un mayor dominio de las diferentes problemáticas e intereses que

confluyen en los territorios estudiados, facilitando el diseño de las acciones necesarias para el manejo, la planificación espacial y la gestión ambiental que garanticen la conservación de la biodiversidad (Kushwaha y Roy, 2002; Turner *et al.*, 2003; Leyequien *et al.*, 2007). Los principales insumos que permiten generar las cartas de uso de suelo y vegetación son las escenas satelitales LANDSAT y SPOT (Velázquez *et al.*, 2002). La información obtenida permite estimar la asociación entre los cambios de cobertura y alguna variable climática en zonas que contengan diversidad (de Lima *et al.*, 2013).

La detección de cambios en la cobertura vegetal, por fenómenos naturales o intervenciones humanas, es un tema de primordial importancia y actualidad (Lambin *et al.*, 2001). La percepción remota, como herramienta, provee de información sobre los cambios espacio-temporales que ha presentado la cobertura de terreno, siendo las escenas satelitales y las fotografías aéreas las principales fuentes de información (Cohen y Goward, 2004; Zubair, 2006; DeFries, 2008). Las ventajas del uso de sensores satelitales es que proveen de mediciones temporales y espacialmente explícitas de los parámetros biofísicos, tales como la cobertura-estructura de la vegetación, biomasa, humedad del suelo, contenido de la materia orgánica y la heterogeneidad del paisaje (Kerr y Ostrovsky, 2003; Turner *et al.*, 2003).

La obtención de la cobertura vegetal se obtiene por una clasificación de la escena satelital, que se puede realizar a través de dos diferentes métodos (supervisado y no supervisado). El método supervisado requiere un conocimiento de la zona de estudio que permite delimitar sobre la escena zonas o áreas representativas de las distintas categorías que se pretenden discriminar. Estas áreas se conocen como áreas de entrenamiento, ya que sirven para que el software identifique las distintas categorías que existen en la escena (Lillesand y Kiefer, 1994; Schowengerdt, 2007; Sanderson, 2010). A partir de estas áreas se calculan diversos estadísticos de los números digitales (ND), como es el promedio y la desviación estándar, que definen cada clase. A partir de estos estadísticos se clasifica el resto de píxeles en una categoría determinada en función de los valores de sus ND. Las áreas de entrenamiento por clase deben reflejar la variabilidad de la clase en la zona de estudio (Chuvienco, 2000).

En el método no supervisado, el software define automáticamente las clases espectrales presentes en la escena. La característica principal de este método, es que no requiere ningún conocimiento previo del área de estudio, por lo que la intervención humana

se centra en la interpretación de los resultados. El método asume que los ND de la imagen se agrupan en una serie de conglomerados (o clúster) que se corresponden con grupos de píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y que, por ello, deberían de finir unas clases informacionales de interés. Sin embargo, estas clases espectrales no pueden ser asimiladas siempre a las categorías temáticas que el usuario pretende deducir por lo que es labor de éste interpretar el significado temático de dichas categorías espectrales (Schowengerdt, 2007; Weng, 2009).

En el método supervisado se definen los grupos con un comportamiento espectral similar de acuerdo a categorías establecidas, esta técnica a diferencia de otras técnicas de clasificación automática de datos, requiere de un conocimiento de la zona de estudio que permite delimitar sobre la imagen unas zonas o áreas representativas de las distintas categorías que se pretenden discriminar (Borengasser *et al.*, 2007). El método busca grupos de píxeles con ND similares para asignarlos a alguna de las categorías. La delimitación de cada grupo espectral se inicia señalando dos criterios, uno que marque la similitud entre píxeles, y otro que marque las condiciones del proceso de agrupamiento (Lillesand y Kiefer, 1994). El método de similitud más utilizado es el de las distancias Euclidianas, aunque se pueden utilizar otros criterios como el de la distancia media o la de Mahalanobis, lo cual depende de la normalidad de los ND. En cuanto al algoritmo de agrupamiento más utilizado es el de máxima verosimilitud, el cual asume que la distribución de una muestra de una clase es normal. El algoritmo evalúa la probabilidad de que un pixel dado pertenezca a una categoría y clasifica el pixel en la categoría con la mayor probabilidad. La clase está caracterizada por el vector del valor medio y la matriz de covarianza. Las características para cada valor de celda, se calcula la probabilidad estadística para cada clase a fin de determinar la pertenencia de las celdas a la clase (Lillesand y Kiefer, 1994; Schowengerdt, 2007; Sanderson, 2010).

Los métodos supervisados y no supervisados pueden ser duros o suaves. Los clasificadores duros toman una decisión categórica de la identidad de cada pixel, es decir, corresponden a una categoría u a otra, pero no a ambas. Además, reporta el grado de exactitud que soporta la inclusión de cada pixel en función de la firma espectral (Chuvieco, 2000). Los métodos de clasificación son usados ampliamente para recolectar información sobre facciones de la superficie terrestre (Chuvieco, 2000). Los datos obtenidos remotamente

tienen muchos usos que van desde la vigilancia militar, determinación de tipos de cobertura, tipos de cultivos, vigor de la vegetación, biomasa, extensión de cultivos, clasificación de uso de suelo, cartografía, planteamiento urbano, geología, hidrogeología, oceanografía y medio ambiente hasta la planificación del uso de la tierra urbana e industrial (Schowengerdt, 2007).

Los sensores satelitales más utilizados para estos usos son LANDSAT y SPOT. El sensor LANDSAT está diseñado para tomar escenas de áreas terrestres ubicadas directamente debajo del sensor (U.S.-Geological-Survey, 2016). LANDSAT (LAND=tierra y SAT=satélite). fue el primer satélite enviado por los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres (U.S.-Geological-Survey, 2016).

La herramienta de la percepción remota es de gran importancia ya que ayuda en la obtención de la información necesaria para comprender los cambios espacio-temporales que ha presentado la cobertura de terreno (Prenzel, 2004). Por lo tanto, es la herramienta adecuada para conocer los cambios en las coberturas y asociarlos a diferentes factores intrínsecos y extrínsecos de la zona.

La percepción remota proporciona un medio eficaz de monitorear y medir el cambio de cobertura terrestre en grandes extensiones territoriales y temporales, así mismo puede proporcionar la información necesaria para poder predecir futuros cambios en la cobertura vegetal (Anderson *et al.*, 1976; Burke, 2000; Cohen y Goward, 2004). Los estudios en ANP que utilizan la percepción remota como herramienta ayudan a caracterizar las coberturas que contienen, evaluar el cambio de cobertura, comprender dinámica espacial y temporal de la cobertura vegetal e identificar las presiones externas que favorecen los cambios de cobertura. Por ejemplo, a nivel mundial se ha evaluado la pérdida de cobertura en ANP, con la finalidad de encontrar los factores que provocan la pérdida de cobertura vegetal (Nagendra, 2008; Joppa y Pfaff, 2010; Hole *et al.*, 2011; UNEP-WCMC, 2012; Santiago-Ávila, 2013), evaluación de la fragmentación de sistemas naturales y ANP con la finalidad de comprender la dinámica de pérdida de cobertura (DeFries *et al.*, 2007; McDonald *et al.*, 2007; McDonald *et al.*, 2008; Pouzols *et al.*, 2014), efecto del calentamiento global en la cobertura vegetal de las ANP (Willis *et al.*, 2009; Hewson *et al.*, 2014), la representación de las regiones biogeográficas, la biodiversidad y el cambio de cobertura vegetal (Jenkins y Joppa, 2009), la representación ecológica de las ANP (De Leo y Levin, 1997; Rodrigues *et al.*, 2004; Coad *et al.*, 2009), crecimiento de sitios urbanos en ANP (McDonald *et al.*, 2008), la conectividad

entre ANP (Hansen y DeFries, 2007), fragmentación por caminos y actividades antrópicas (Freitag *et al.*, 1998), la pérdida de cobertura arbórea en cultivos bajo sombra (Blackman *et al.*, 2005), entre otros. La información obtenida ayuda a desarrollar planes y medidas necesarias con la finalidad de aprovechar y conservar los recursos naturales sosteniblemente.

1.5 Área de Estudio

El presente trabajo se realizó en tres RTPs del estado de Tamaulipas, México (Sierra de San Carlos, Sierra de Tamaulipas y El Cielo, la cual se encuentra dentro de un área protegida), estas zonas se ubican en el centro del Estado. Estas presentan una alta concentración de endemismos y centros de diversificación biológica, en la cual muchas especies tropicales encuentran el límite boreal de su distribución espacial (Correa-Sandoval y Thompson, 2005; Treviño–Carreón y Valiente–Banuet, 2005; Mora-Olivo y Villaseñor, 2007; Mora-Olivo *et al.*, 2008; Correa-Sandoval *et al.*, 2012). La vegetación presente en la zona son matorrales, selvas bajas, bosques de coníferas, encinos y bosques mesófilos de montaña (Treviño–Carreón y Valiente–Banuet, 2005).

La Sierra de San Carlos, es una sierra aislada en la Llanura Costera del Golfo Norte en Tamaulipas. Los tipos de vegetación de esta RTP se encuentran en buen estado de conservación, comprenden principalmente ecosistemas templados (bosques de pino-encino) en la serranía y matorral submontano en el piedemonte, quedando rodeada por matorrales de las llanuras. La característica principal de la región es que se encuentra en el límite boreal del bosque mesófilo en México con la presencia de algunas especies endémicas. Las actividades agropecuarias y el manejo forestal han propiciado la alteración de la zona (Arriaga *et al.*, 2000). La explotación minera, fue un problema en la década de los 1980's, quedando vestigios de la perturbación y problemas de erosión hídrica en forma laminar. Además, existe cacería furtiva e incendios forestales (Arriaga *et al.*, 2000).

La Sierra de Tamaulipas es una “isla” dentro de la Llanura Costera del Golfo, aislada de la Sierra Madre Oriental. Posee un sustrato sedimentario, por el que emerge la naturaleza ígnea de la sierra. Alberga bosques bajos de encino y pino-encino en las partes altas, así como matorrales altos en el piedemonte, mientras que en sus cañadas se desarrollan algunas especies propias del bosque mesófilo y en su porción norte se encuentran las comunidades de selva baja más boreales en la vertiente del Golfo de México. Los problemas principales

que afectan esta región son: el cambio de uso del suelo, la fragmentación del paisaje, las actividades agropecuarias y la extracción de trocería industrial (Arriaga *et al.*, 2000).

La Reserva de la Biósfera “El Cielo” se considera una región prioritaria para la conservación, ya que presenta diferentes tipos de vegetación derivados de su diversidad climática. Muchas especies tropicales tienen esta región como límite norte; se reportan 225 especies de aves residentes y 175 migratorias, 60 especies de reptiles y felinos como jaguar, ocelote, leoncillo y puma. La RTP presenta un gradiente de vegetación que parte del norte del área con matorrales xerófilos; al aumentar la altitud aparecen bosques de coníferas y encinos y finalmente hacia el sureste, bosques mesófilos de montaña. Es un ANP estatal decretada como tal en 1985. Los problemas principales que presenta esta región son: la extracción de trocería forestal furtiva y agropecuaria no planificada, incremento de la densidad poblacional, caza furtiva, turismo ecológico mal desarrollado y sobreexplotación de palma camedor (Arriaga *et al.*, 2000; CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF y UANL, 2007; Gobierno-del-Estado-de-Tamaulipas y Instituto-de-Ecología-Aplicada-UAT, 2013).

La relevancia de este estudio es que permitirá identificar las áreas con mayor riesgo de cambio, a fin de proponer estrategias que maximicen el uso, manejo y conservación de los recursos naturales. El estudio plantea que la modificación en la cobertura vegetal se encuentra asociada a la riqueza específica de gastrópodos, plantas acuáticas, pteridofitas, variaciones en la temperatura, precipitación y pendientes de uso antropogénico.

1.6. Hipótesis

A) Las RTP del estado de Tamaulipas se encuentran principalmente en áreas montañosas, en la región biogeográfica del neotrópico, por lo que la mayor riqueza de especies de gastrópodos terrestres, hidrófitas y pteridofitas se presentaran en las partes más cálidas, con pendientes suaves, que se encuentran fuera de las RTP, donde la pérdida de cobertura es mayor.

B) Si el clima afecta directamente el crecimiento, desarrollo y muerte de las plantas, entonces se espera que, en las zonas con elevaciones mayores a 1400 msnm, con pendientes suaves que presenten un incremento en la temperatura ocurrirán las mayores pérdidas de cobertura

vegetal y en las zonas menores a 1400 msnm con pendientes suaves en las que la temperatura disminuya ocurrirán las pérdidas de cobertura.

1.7. Objetivo general

Analizar la pérdida de cobertura de terreno dentro y en la periferia de la Reserva de Biósfera “El Cielo”, el ANP Sierra de Tamaulipas y la RTP de Sierra de San Carlos con la diversidad de tres grupos de especies, atributos topográficos y la variación en la temperatura y precipitación.

1.7.1 Objetivos particulares

- Asociar los cambios en la cobertura con las áreas de riqueza de moluscos terrestres, hidrófitas y pteridofitas.
- Identificar las áreas con mayor tasa de cambio en la Reserva de Biósfera “El Cielo”, ANP Sierra de Tamaulipas y la RTP de Sierra de San Carlos.
-) Asociar las variaciones temporales en la temperatura con los cambios de cobertura de terreno.

1.8 Literatura citada

- Ackerly, D. D., Loarie, S. L., Cornwell, W. K., Weiss, S. B., Hammilton, H., Branciforte, R. y Kraft, N. J. B. 2010. The geography of climate change implications for conservation biogeography. *Diversity and Distributions* 16:476-487.
- Adams, J. 2010. *Vegetation—Climate Interaction*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin. 266pp.
- Adhikary, S., Andressen, R., Guisan, A., Holten, J. I., Innes, J., Maitima, J., Price, M. F., Tessier, L. y Kristin, E. 1995. Impacts of Climate Change on Mountain Regions. *In: IPCC (Eds.). Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. IPCC WG II. Standford, California.
- Agarwal, C., Green, G. M., Grove, J. M., Evans, T. P. y Schweik, C. M. 2002. A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice. Pennsylvania, USA.
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T. y Witmer, R. E. 1976. *A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data*. United States Government Printing Office, Washington.
- Apan, A. A. y Peterson, J. A. 1998. Probing tropical deforestation: The use of GIS and statistical analysis of georeferenced data. *Applied Geography* 18:137-152.
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. . Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- Asner, G. P., Elmore, A. J., Olander, L. P., Martin, R. E. y Harris, A. T. 2004. Grazing Systems, Ecosystem Responses, and Global Change. *Annual Review of Environment and Resources* 29:261-299.
- Barragán, F., Lorenzo, C., Morón, A., Biones-Salas, M. A. y López, S. 2010. Bat and rodent diversity in a fragmented landscape on the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca, Mexico. *Tropical Conservation Science* 3:1-16.
- Bennie, J., Hogson, J. A., Lawson, C. R., Halloway, C. T. R., Roy, D. B., Brereton, T., Thomas, C. D. y Wilson, R. 2013. Range expansion through fragmented landscapes under a variable climate. *Ecol Lett*.
- Berry, M. W., Flamm, R. O., Hazen, B. C. y MacIntyre, R. L. 1996. The Land-Use Change and Analysis System (LUCAS) for Evaluating Landscape Management Decisions. *IEEE Computational Science & Engineering* 3:11.
- Bertzky, B., Corrigan, C., Kemsey, J., Kenney, S., Ravilious, C., Besançon, C. y Burgess, N. 2012. *Protected Planet Report 2012: Tracking progress towards global targets for protected areas*. Cambridge, UK.
- Blackman, A., Albers, H., Ávalos-Sartorio, B. y Crooks, L. 2005. Deforestation and shade coffe in Oaxaca, Mexico.
- Borengasser, M., Hungate, W. S. y Watkins, R. 2007. *Hyperspectral Remote Sensing: Principles and Applications*. CRC Press, Indiana, USA.
- Brovquin, V. 2002. Climate-vegetation interaction. *Journal de Physique IV* 12:52-57.
- Burch, J. B. y Pearce, T. A. 1990. *Terrestrial Gastropoda. Soil biology guide*, John Wiley & Sons, New York. 1349pp.
- Burke, V. J. 2000. Landscape ecology and species conservation. *Landscape Ecology* 15:1-3.

- Butchart, S. H. M., Scharlemann, J. P. W., Evans, M. I., Quader, S., Aricò, S., Arinaitwe, J., Balman, M., Bennun, L. A., Bertzky, B., Besançon, C., Boucher, T. M., Brooks, T. M., Burfield, I. J., Burgess, N. D., Chan, S., Clay, R. P., Crosby, M. J., Davidson, N. C., De Silva, N., Devenish, C., Dutson, G. C. L., Fernández, D. F. D. z., Fishpool, L. D. C., Fitzgerald, C., Foster, M., Heath, M. F., Hockings, M., Hoffmann, M., Knox, D., Larsen, F. W., Lamoreux, J. F., Loucks, C., May, I., Millett, J., Molloy, D., Morling, P., Parr, M., Ricketts, T. H., Seddon, N., Skolnik, B., Stuart, S. N., Upgren, A. y Woodley, S. 2012. Protecting Important Sites for Biodiversity Contributes to Meeting Global Conservation Targets. *PLOS ONE* 7:e32529.
- Cain, D. H., Riitters, K. y Orvis, K. 1997. A multi-scale analysis of landscape statistics. *Landscape Ecology* 12:199-212.
- Cariveau, D. P., Williams, N. M., Benjamin, F. E. y Winfree, R. 2012. Response diversity to land use occurs but does not consistently stabilise ecosystem services provided by native pollinators. *Ecol Lett*.
- Carroll, C., Phillips, M. K., Schumaker, N. H. y Smith, D. W. 2003. Impact of landscape change on wolf restoration success: planning a reintroduction program *Conservation Biology* 17:536-548.
- Cincotta, R. P., Wisniewski, J. y Engelman, R. 2000. Human population in the biodiversity hotspots. *Nature* 404:990-992.
- Coad, L., Burgess, N. D., Loucks, C. J., Fish, L., Scharlemann, J. P. W., Duarte, L. y Besançon, C. 2009. The ecological representativeness of the global protected areas estate in 2009: progress towards the CBD 2010 target. UNEP-WCMC, WWF-US and ECI, University of Oxford.
- Coetzer, K. L., Erasmus, B. F., Witkowski, E. T. y Reyers, B. 2013. The race for space: tracking land-cover transformation in a socio-ecological landscape, South Africa. *Environ Manage* 52:595-611.
- Cohen, W. B. y Goward. 2004. Landsat's role in ecological applications of remote sensing. *Bioscience* 54:535-545.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF-UANL. 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, A.C., Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 127pp.
- Correa-Sandoval, A., Martínez, V., Horta, J. y Castro, I. 2012. Zoogeografía de los gasterópodos terrestres del sur de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical* 60:317-331.
- Correa-Sandoval, A. y Rodríguez-Castro, R. 2005. Las gasterópodos terrestres. pp. 340-344 *In: G. Sánchez-Ramos, P. Reyes-Castillo y R. Dirzo (Eds.). Historia natural de la reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Universidad Autónoma de Tamaulipas.*
- Correa-Sandoval, A. y Thompson, F. G. 2005. Gasterópodos terrestres de Tamaulipas. p. 97 *In: L. Barrientos-Lozano, A. Correa-Sandoval, J. V. Horta-Vega y J. García-Jimenez (Eds.). Biodiversidad Tamaulipeca. Dirección General de Educación Superior Tecnológica-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, . Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.*

- Correa, A., Martínez, V., Horta, J. y Castro, I. 2012. Zoogeografía de los gasterópodos terrestres del sur de Tamaulipas, México. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*.
- Cotler, A. H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. INE, México.
- Che, M., Chen, B., Innes, J. L., Wang, G., Dou, X., Zhou, T., Zhang, H., Yan, J., Xu, G. y Zhao, H. 2014. Spatial and temporal variations in the end date of the vegetation growing season throughout the Qinghai–Tibetan Plateau from 1982 to 2011. *Agricultural and Forest Meteorology* 189-190:81-90.
- Chea, M., Chena, B., Innesc, J. L., Wangc, G., Doud, X., Zhoue, T., Zhanga, H., Yana, J., Xua, G. y Zhaoa, H. 2014. Spatial and temporal variations in the end date of the vegetation growing season throughout the Qinghai–Tibetan Plateau from 1982 to 2011. *Agricultural and Forest Meteorology* 189-190:81-90.
- Chomitz, K. M. y Gray, D. A. 1996. Roads, land-use, and deforestation: A spatial model applied to Belize. *The World Bank Economic Review* 10:487-512.
- Chuvieco, S. E. 2000. Fundamentos de teledetección espacial. RIALP, Madrid, España. 568pp.
- Chuvieco, S. E. 2010. Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio. Ariel Ciencia, Barcelona, España. 78pp.
- Chytrý, M., Wild, J., Pyšek, P., Jarošík, V., Dendoncker, N., Reginster, I., Pino, J., Maskell, L. C., Vilà, M., Pergl, J., Kühn, I., Spangenberg, J. H. y Settele, J. 2012. Projecting trends in plant invasions in Europe under different scenarios of future land-use change. *Global Ecology and Biogeography* 21:75-87.
- De Leo, G. A. y Levin, S. 1997. The Multifaceted Aspects of Ecosystem Integrity. *Conservation Ecology* (online) 1.
- de Lima, R. F., Dallimer, M., Atkinson, P. W. y Barlow, J. 2013. Biodiversity and land-use change: understanding the complex responses of an endemic-rich bird assemblage. *Diversity and Distributions* 19:411-422.
- DeFries, R., Hansen, A., Turner, B. L., Reid, R. y Liu, J. 2007. Land use change around protected areas: Management to balance human needs and ecological function. *Ecological Applications* 17:1031-1038.
- DeFries, R. S. 2008. Terrestrial vegetation in coupled human-earth system: contributions of remote sensing. *Annual Review in Environmental Resources* 33:369-390.
- DeWalt, S. J., Maliakal, S. K. y Denslow, J. S. 2003. Changes in vegetation structure and composition along a tropical forest chronosequence: implications for wildlife. *Forest Ecology and Management* 182:139-151.
- Dirzo, R. y García, M. C. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas a Neotropical area in southeast Mexico. *Conservation Biology* 6:84-90.
- Dirzo, R. y Raven, P. H. 2003. Global state biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources* 28:137-167.
- Fahrig, L. 2003. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34:487-515.
- FAO. 2014. State of the world's forests. Food and Agriculture Organization (FAO) Rome.
- FAO. 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 compendio de datos. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma. 253pp.

- Figuerola, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, 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.
- Firbank, L. G., Barr, C. J., Bunce, R. G., Furse, M. T., Haines-Young, R., Hornung, M., Howard, D. C., Sheail, J., Sier, A. y Smart, S. M. 2003. Assessing stock and change in land cover and biodiversity in GB: an introduction to Countryside Survey 2000. *J Environ Manage* 67:207-218.
- Flanagan, L. B. y Johnson, B. G. 2005. Interacting effects of temperature, soil moisture and plant biomass production on ecosystem respiration in a northern temperate grassland. *Agricultural and Forest Meteorology* 130:237-253.
- Freitag, S., Hobson, C., Biggs, H. C. y Jaarsveld, A. S. 1998. Testing for potential survey bias: the effect of roads, urban areas and natural reserves on a south African mammal data set. *Animal Conservation* 1:119-127.
- García Gil, G., March Mifsut, I. y Castillo Santiago, M. Á. 2001. Transformación de la vegetación por cambio de uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche. *Investigaciones Geográficas*:45-57.
- Gobierno del Estado de Tamaulipas y Instituto de Ecología Aplicada UAT. 2013. Promgama de manejo de la reserva de la biosfera el Cielo. Gobierno del Estado de Tamaulipas-Instituto de Ecología Aplicada UAT. 240pp.
- Grytnes, J.-A. y McCain, C. M. 2007. Elevational Trends in Biodiversity A2 - Levin, Simon Asher. pp. 1-8 *In: (Eds.). Encyclopedia of Biodiversity*. Elsevier. New York.
- Guerra-Martínez, V. y Ochoa-Gaona, S. 2006. Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*:18.
- Halffter, G. 2011. Reservas de la Biosfera: Problemas y Oportunidades en México. *Acta zoológica mexicana* 27:177-189.
- Hansen, A. J. y DeFries, R. 2007. Ecological mechanisms linking protected areas to surroundings lands. *Ecological Applications* 17:974-988.
- Hewson, J., Ashkenazi, E., Andelman, S. y Steininger, M. 2014. Projected impacts of climate change on protected areas. *Biodiversity* 9:100-1005.
- Hole, D. G., Huntley, B., Arinaitwe, J., Butchart, S. H., Collingham, Y. C., Fishpool, L. D., Pain, D. J. y Willis, S. G. 2011. Toward a management framework for networks of protected areas in the face of climate change. *Conservation biology* 25:305-315.
- Hu, H., Liu, W. y Cao, M. 2008. Impact of land use and land cover changes on ecosystem services in Menglun, Xishuangbanna, Southwest China. *Environmental Monitoring and Assessment* 146:147-156.
- Ibáñez, M., Alonso, M. a. R., Henríquez, F. t. y Valido, M. J. 1997. Distribution of land snails (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata) on the island of Gran Canaria (Canary Islands) in relation to protected natural areas. *Biodiversity & Conservation* 6:627-632.
- IUCN. 2005. Benefits beyond boundaries: Proceedings of the Vth IUCN World Parks Congress. . G. IUCN, Switzerland and Cambridge, UK.
- IUCN, U.-W. 2016. Protected planet report 2016. Cambridge UK and Gland, Switzerland.
- Jenkins, C. N. y Joppa, L. 2009. Expansion of the global terrestrial protected area system. *Biological Conservation* 142:2166-2174.

- Jetz, W., Wilcove, D. S. y Dobson, A. P. 2007. Projected Impacts of Climate and Land-Use Change on the Global Diversity of Birds. *PLoS Biol* 5:e157.
- Joppa, L. N. y Pfaff, A. 2010. Global protected area impacts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*.
- Kerr, J. T. y Ostrovsky, M. 2003. From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology & Evolution* 18:299-305.
- Kushwaha, S. P. S. y Roy, P. S. 2002. Geospatial technology for wildlife habitat evaluation. *Tropical Ecology* 43:137-150.
- Lack, A. J. y Evans, D. E. 2005. *Plant Biology*. Taylor & Francis.
- Lambin, E. F. 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography* 21:375-393.
- Lambin, E. F., Geist, H. J. y Lepers, E. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review in Environmental Resources* 28:205-241.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, C. y Xu, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11:261-269.
- Le Saout, S., Hoffmann, M., Shi, Y., Hughes, A., Bernard, C., Brooks, T. M., Bertzky, B., Butchart, S. H. M., Stuart, S. N., Badman, T. y Rodrigues, A. S. L. 2013. Protected Areas and Effective Biodiversity Conservation. *Science* 342:803-805.
- Leisher, C., Touval, J., Hess, S., Boucher, T. y Reymondin, L. 2013. Land and Forest Degradation inside Protected Areas in Latin America. *Diversity* 5:779-795.
- Lepers, E., Lambin, E. F., Janetos, A. C., DeFries, R. S., Achard, F., Ramankutty, N. y Scholes, R. J. 2005. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. *Bioscience* 55:115-124.
- Leverington, F., Costa, K., Pavese, H., Lisle, A. y Hockings, M. 2010. A Global Analysis of Protected Area Management Effectiveness. *Environmental Management* 46:685-698.
- Leyequien, E., Verreslt, J., Slot, M., Schaepman-Strub, G., Heitkönig, I. M. A. y Skidmore, A. 2007. Capturing the fugitive: applying remote sensing to terrestrial animal distribution and diversity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 9:1-20.
- Liancourt, P., Sharkhuu, A., Ariuntsetseg, L., Boldgiv, B., Helliker, B. R., Plante, A. F., Petraitis, P. S. y Casper, B. B. 2011. Temporal and spatial variation in how vegetation alters the soil moisture response to climate manipulation. *Plant and Soil* 351:249-261.
- Lillesand, T. M. y Kiefer, R. W. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley and Sons Inc. , New York. . 612pp.
- Loarie, S. R., Duffy, P. B., Hamilton, H., Asner, G. P., Field, C. B. y Ackerly, D. D. 2009. The velocity of climate change. *Nature* 462:1052-1055.
- Lloret, F., Escudero, A., Iriondo, J. M., Martínez-Vilalta, J. y Valladares, F. 2012. Extreme climatic events and vegetation: the role of stabilizing processes. *Global Change Biology* 18:797-805.
- Maass, S. F., Regil-García, H. H., González-Esquivales, C. y Nava-Bernal, G. 2006. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca,

- México, en el periodo 1972-2000. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM:19.
- Mainali, J., All, J., Jha, P. K. y Bhuj, D. R. 2015. Responses of Montane Forest to Climate Variability in the Central Himalayas of Nepal. *Mountain Research and Development* 35:66-77.
- Martínez-Salas, E. y Ramos, C. H. 2014. Biodiversidad de Pteridophyta en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad Suplemento* 85:110-114.
- Mascia, M. B. y Pailler, S. 2011. Protected area downgrading, downsizing, and degazettement (PADDD) and its conservation implications. *Conservation Letters* 4:9-20.
- McDonald, R. I., Kareiva, P. y Forman, R. T. T. 2008. The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. *Biological Conservation* 141:1695-1703.
- McDonald, R. I., Yuan-Farrell, C., Fievet, C., Moeller, M., Kareiva, P., Foster, D., Gragson, T. E. D., Kinzig, A. N. N., Kuby, L. y Redman, C. 2007. Estimating the Effect of Protected Lands on the Development and Conservation of Their Surroundings. *Conservation Biology* 21:1526-1536.
- Mora-Olivo, A. y Villaseñor, J. 2007. Diversidad y distribución de la flora vascular acuática de Tamaulipas, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 1:511-527.
- Mora-Olivo, A., Villaseñor, J. L., Luna-Vega, I. y Morrone, J. J. 2008. Patrones de distribución de la flora vascular acuática estricta en el estado de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79:435-448.
- Mora-Olivo, A., Villaseñor, J. L. y Martínez, M. 2013. Las plantas vasculares acuáticas estrictas y su conservación en México. *Acta botánica mexicana*:27-63.
- Nagendra, H. 2008. Do parks work? Impact of protected areas on land cover clearing. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 37:330-337.
- Naranjo-García, E. 2014. Biodiversidad de moluscos terrestres en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85, Supplement 1:431-440.
- Návar, J., Estrada-Salvador, A. y Estrada-Castrillón, E. 2010. The effect of landuse change in the tropicla dry forest of Morelos, México on carbon stocks and fluxes. *Journal of Tropical Forest Science* 22:295-307.
- Ochoa-Gaona, S. y González-Espinosa, M. 2000. Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography* 20:17-42.
- Pouzols, F. M., Toivonen, T., Di Minin, E., Kukkala, A., Kullberg, P., Kuustera, J., Lehtomaki, J., Tenkanen, H., Verburg, P. H. y Moilanen, A. 2014. Global protected area expansion is compromised by projected land-use and parochialism. *Nature advance online publication*.
- Prenzel, B. 2004. Remote sensing-based quantification of land-cover and land-use change for planning. *Progress in Planning* 61:281-299.
- Rodrigues, A. S. L., Akçakaya, H. R., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., Chanson, J. S., Fishpool, L. D. C., Da Fonseca, G. A. B., Gaston, K. J., Hoffmann, M., Marquet, P. A., Pilgrim, J. D., Pressey, R. L., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S. N., Underhill, L. G., Waller, R. W., Watts, M. E. J. y Yan, X. 2004. Global gap analysis: priority regions for expanding the global protected-area network. *Bioscience* 54:1092-1100.

- Sader, S. A. y Joyce, A. T. 1988. Deforestation Rates and Trends in Costa Rica, 1940 to 1983. *Biotropica* 20:11-19.
- Sanderson, E. W., Jaiteh, M., Levy, M. A., Redford, K. H., Wannebo, A. V. y Woolmer, G. 2002. The Human Footprint and the Last of the Wild: The human footprint is a global map of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not. *Bioscience* 52:891-904.
- Sanderson, R. 2010. Introduction to remote sensing. New Mexico State University New Mexico, USA. 38pp.
- Santiago-Ávila, Francisco J. 2013. Protected area impacts on land cover in Mexico. Duke University, Carolina del Norte. 25pp.
- Sculthorpe, C. D. 1985. The biology of vascular plants, London.
- Schowengerdt, R., A. . 2007. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. Elsevier, USA.
- SEMARNAT. 2008. Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio. (POEGT) de <http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamiento-ecologico/programa-de-ordenamiento-ecologico-general-del-territorio-poegt>
- Soares-Filho, B., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G., Vera, D., Maria del Carmen, Rivero, S., Solórzano, L. y Voll, E. 2004. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém–Cuiabá corridor. *Global Change Biology* 10:745–764.
- Soares-Filho, B. S., Assunção, R. M. y Pantuzzo, A. E. 2001. Modeling the Spatial Transition Probabilities of Landscape Dynamics in an Amazonian Colonization Frontier Transition probability maps indicate where changes may occur in the landscape, thus enabling better evaluation of the ecological consequences of landscape evolution. *Bioscience* 51:1059-1067.
- Treviño–Carreón, J. y Valiente–Banuet, A. 2005. La vegetación de Tamaulipas y sus principales asociaciones vegetales. *In*: L. Barrientos Lozano, A. Correa Sandoval, J. V. Horta Vega y J. García Jiménez (Eds.). Biodiversidad Tamaulipeca. Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, DGEST–SEP, Cd. Victoria, Tam., México.
- Turner II, B. L., Meyer, W. B. y Skole, D. L. 1994. Global Land-Use/Land-Cover Change: Towards an Integrated Study. *Integrating Earth System Science* 23:91-95.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E. y Steininger, M. 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 18:306-314.
- U.S.-Geological-Survey. 2016. Landsat—Earth observation satellites (ver. 1.1, August 2016): U.S. Geological Survey Fact Sheet 2015–3081. Fact Sheet U. S. G. Survey. Reston, VA.
- Vázquez-Cuevas, G. M. y Roldán Aragón, I. E. 2010. Evaluación de los cambios de cobertura de suelo en la reserva de la biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México *Papeles de geografía*:9.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Días-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. y Palacio, J. L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso de suelo en México. *Gaceta Ecológica*:21-37.
- Villalobos, M. F. J. 2009. Fitotecnia: Bases y tecnologías de la producción agrícola. Ediciones Mundi-Prensa, (Madrid) España. 496pp.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. y Melillo, J. M. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277:494-499.

- Weng, Q. 2009. Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications: Theory, Methods, and Applications. McGraw-Hill Education.
- Willis, S. G., Hole, D. G., Collingham, Y. C., Hilton, G., Rahbek, C. y Huntley, B. 2009. Assessing the impacts of future climate change on protected area networks: a method to simulate individual species' responses. *Environmental Management* 43:836-845.
- Zomer, R. J., Trabucco, A., Bossio, D. A. y Verchot, L. V. 2008. Climate change mitigation: A spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126:67–80.
- Zubair, A. O. 2006. Change detection in land use and land cover using remote sensing data and GIS (A case study of Horin and its environs in Kwara Stata). University of Ibadan, Ibadan. 44pp.

Capítulo II. El cambio de cobertura en áreas de alta riqueza específica en regiones terrestres prioritarias para la conservación

2. Introducción

La degradación de los sistemas naturales causada por las actividades humanas es uno de los principales factores que incrementan la pérdida de cobertura vegetal o disminuyen la biodiversidad (Bertzky *et al.*, 2012). Las actividades antropogénicas conducen a la pérdida de cerca del 50% de la cobertura vegetal del mundo (DeFries, 2008; FAO, 2014). La mayor pérdida de cobertura vegetal ocurre en países en vías de desarrollo, que se ubican en los trópicos, y en áreas con pendientes bajas, debido a que en conjunto favorecen el desarrollo de actividades agro-pecuarias (Lugo, 1988; McDonald *et al.*, 2007). Los bosques tropicales son el tipo de vegetación con mayor pérdida de cobertura y contienen cerca del 70% de las especies de animales y plantas del mundo (Lambin *et al.*, 2003; Pau *et al.*, 2011). Ante este escenario, los gobiernos del mundo han tomado diferentes estrategias para frenar la pérdida de los ecosistemas, como es la creación de Áreas Naturales Protegidas (ANP). Las ANP son espacios para la protección de la biodiversidad, que buscan mantener la integridad de los ecosistemas y los servicios ambientales, apoyándose con legislaciones que regulan las actividades antropogénicas (IUCN, 2005; UNEP-WCMC, 2012; Ferreira *et al.*, 2013). Aunque las ANP cuentan con una legislación que regula las actividades que se realizan internamente, se ha documentado que en la mayoría de las ANP presentan procesos de deterioro (McDonald *et al.*, 2007; Nagendra, 2008; Sánchez Colón *et al.*, 2009; Joppa y Pfaff, 2010; Mascia y Pailler, 2011; Leisher *et al.*, 2013).

La pérdida de cobertura en las ANP es el resultado tanto de las alteraciones que suceden internamente como las que ocurren en la periferia (DeFries *et al.*, 2007). Las alteraciones que suceden en la periferia de las ANP pueden conducir al aislamiento con otras ANP y reducir el flujo genético de las especies (IUCN, 2005; Mas, 2005). Las periferias de las ANP juegan un papel muy importante en la conservación de los recursos naturales, debido a que se ha evidenciado que en estas existen centros de alta riqueza específica (IUCN, 2005), conocidos como regiones terrestres prioritarias para la conservación (RTP) (Bertzky *et al.*, 2012). En el mundo, se han identificado 11,581 RTP, de las cuales sólo el 30% de ellas se encuentra total o parcialmente dentro de un ANP y no cuentan con una legislación que las

proteja, poniéndolas en mayor riesgo de deterioro (Ricketts *et al.*, 2005; Bertzky *et al.*, 2012). Por lo que, es necesario conocer la tendencia de los cambios y el tipo de cobertura más afectada, con el objetivo de identificar las áreas que pueden ser más susceptibles de cambio y proponer estrategias que permitan su conservación.

Las ANP están diseñadas para la protección de ciertos organismos específicos, volviéndolas poco heterogéneas y si el objetivo de estas es conservar el mayor número de especies, es necesario incluir a grupos de especies que tengan requerimientos ambientales diferentes a los ya protegidos (Halffter, 2011). Tal es el caso de los caracoles, las plantas acuáticas y los helechos, los cuales requieren distintos aportes hídricos para su persistencia (Venegas-Barrera *et al.*, 2015). Los gastrópodos tienen mayor afinidad a ambientes húmedos, así como a la vegetación tropical y templada (Correa-Sandoval *et al.*, 2009). Las pteridofitas también requieren de ambientes húmedos, pero necesitan de agua líquida durante el desarrollo de la espora a planta; una vez que se establecen pueden tolerar distintos ambientes (Martínez-Salas y Ramos, 2014). Finalmente, las plantas acuáticas requieren de cuerpos de agua permanentes o al menos de suelo saturado para poder desarrollarse adecuadamente (Sculthorpe, 1985). Dado que estos organismos dependen de forma diferencial al agua, estos pueden ser más sensibles a los cambios de la cobertura de terreno, lo que hace necesario asociar los cambios de cobertura vegetal con mapas de riqueza de estos organismos. Por lo que, es necesario estimar la asociación entre los cambios, la pendiente, la zona donde ocurren y las áreas con una alta riqueza biológica para poder seleccionar las zonas más factibles para su conservación.

México, es considerado un país megadiverso, debido a que en él se alberga alrededor del 12% de la biodiversidad del planeta (Torres, 2004; FAO, 2014). Aunado a esto, se cuenta con una de las mayores tasas de deforestación en el mundo, perdiendo 775,800 ha/año, siendo las selvas localizadas en las planicies costeras las más afectadas (Flores y Gerez, 1994; CONANP, 2007; Challenger *et al.*, 2009). A partir de la década de los 1970's se han decretado 181 ANP, las cuales cuentan con características ecológicas de especial relevancia para la conservación (CONANP, 2007; Bertzky *et al.*, 2012; Le Saout *et al.*, 2013). Aunque, se ha evidenciado que existe pérdida de cobertura vegetal en al menos 35 de ellas, debido a las actividades antropogénicas dentro y fuera de ellas (Mas, 2005; Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008). Además, se han identificado 152 RTP que destacan por su riqueza de

ecosistemas y su integridad ecológica funcional, las cuales carecen de una legislación que las protejan y se localizan parcialmente o fuera de las ANP. Lo que pone en mayor riesgo, ya que no cuentan con una legislación que las proteja de las actividades antropogénicas que se realizan comúnmente en estas áreas (de Lima *et al.*, 2013).

El estado de Tamaulipas es uno de los estados más diversos del noreste de México (Treviño–Carreón y Valiente–Banuet, 2005), el cual presenta una de las tasas de deforestación más grandes de México, con una pérdida anual de 52,000 ha (Aguilar *et al.*, 2000). Los tipos de vegetación más afectados son las selvas húmedas y los matorrales xerófilos, quienes se localizan en áreas con una pendiente baja y piedemonte (Cotler, 2010). En el estado, se han decretado nueve ANP estatales, una ANP federal y se han delimitado 13 RTP, las cuales están en su mayoría en zonas montañosas (Arriaga *et al.*, 2000; CONANP, 2007). Además, estas ANP se encuentran en la región biogeográfica del Neotrópico, por lo que la biota regional potencialmente se encontrará en las partes más bajas y cálidas, áreas que coinciden con las condiciones en donde se desarrollan las actividades antrópicas. Por lo que el presente estudio analizó los cambios en la cobertura vegetal que sucedieron entre los años de 1980-2005 y entre los años de 2005-2011 en siete RTP del estado de Tamaulipas para identificar las zonas de alta riqueza de especies que pueden ser afectadas por el cambio de cobertura vegetal. Los cambios fueron asociados a la pendiente, y a la riqueza de hidrófitas, gastrópodos y pteridofitas, con el objetivo de identificar las áreas con mayor riqueza de especies que pueden ser afectadas por el cambio de la cobertura de terreno. La identificación de las áreas más afectas por la pérdida de cobertura vegetal permitirá determinar si las pérdidas de cobertura están asociadas a algún factor intrínseco de la zona y si esta área necesita acciones inmediatas para su conservación. El estudio propone que las mayores pérdidas de cobertura fueron en zonas con pendientes suaves y afectando a las selvas bajas que se localizaron en las planicies periféricas que potencialmente contienen a la mayor riqueza de hidrófitas, gastrópodos y pteridofitas.

2.1 Hipótesis

Las RTP del estado de Tamaulipas se encuentran principalmente en áreas montañosas y estas en la región biogeográfica del neotrópico, por lo que la mayor riqueza de especies de

gastropodos terrestres, hidrófitas y pteridofitas se presentara en las partes más cálidas, con pendientes suaves, que se encuentran fuera de las RTP y en donde la pérdida de cobertura es mayor.

2.2 Objetivo General

Analizar la pérdida de cobertura de terreno dentro y en la periferia de siete RTP con la riqueza específica de tres grupos de especies y la pendiente en la que ocurren estos cambios.

2.2.1Objetivos particulares

-) Identificar cual RTP es la más afectada por las pérdidas de cobertura.
-) Identificar qué tipo de comunidad vegetal es la más afectada por las pérdidas de cobertura vegetal.
-) Realizar una predicción al 2042 de la cobertura de terreno para las RTPs y sus periferias.
-) Localizar las zonas con mayor riqueza específica de moluscos terrestres, hidrófitas y pteridofitas.
-) Asociar los cambios en la cobertura en las áreas de riqueza de moluscos terrestres, hidrófitas y pteridofitas.

2.3 Métodos

Los cambios en cobertura de terreno se realizaron en siete RTP de Tamaulipas, México (Sierra de San Carlos, Puerto Purificación, Peña Nevada, Valle de Jaumave, Sierra de Tamaulipas, Cenotes de Aldama y El Cielo, la cual se encuentra dentro de una ANP) ubicadas en la parte centro-sur del Estado (Figura 1). En esta zona se presenta una alta concentración de endemismos y centro de diversificación biológica, en la cual muchas especies tropicales encuentran su límite boreal de su distribución (Correa-Sandoval y Thompson, 2005; Treviño–Carreón y Valiente–Banuet, 2005; Mora-Olivo y Villaseñor, 2007; Mora-Olivo *et al.*, 2008; Correa *et al.*, 2012). Los tipos de vegetación presentes en las partes bajas son

matorrales y selvas bajas y al aumentar la altitud se cuenta con bosques de coníferas, encinos y bosques mesófilos de montaña (Treviño–Carreón y Valiente–Banuet, 2005) (Figura 1).

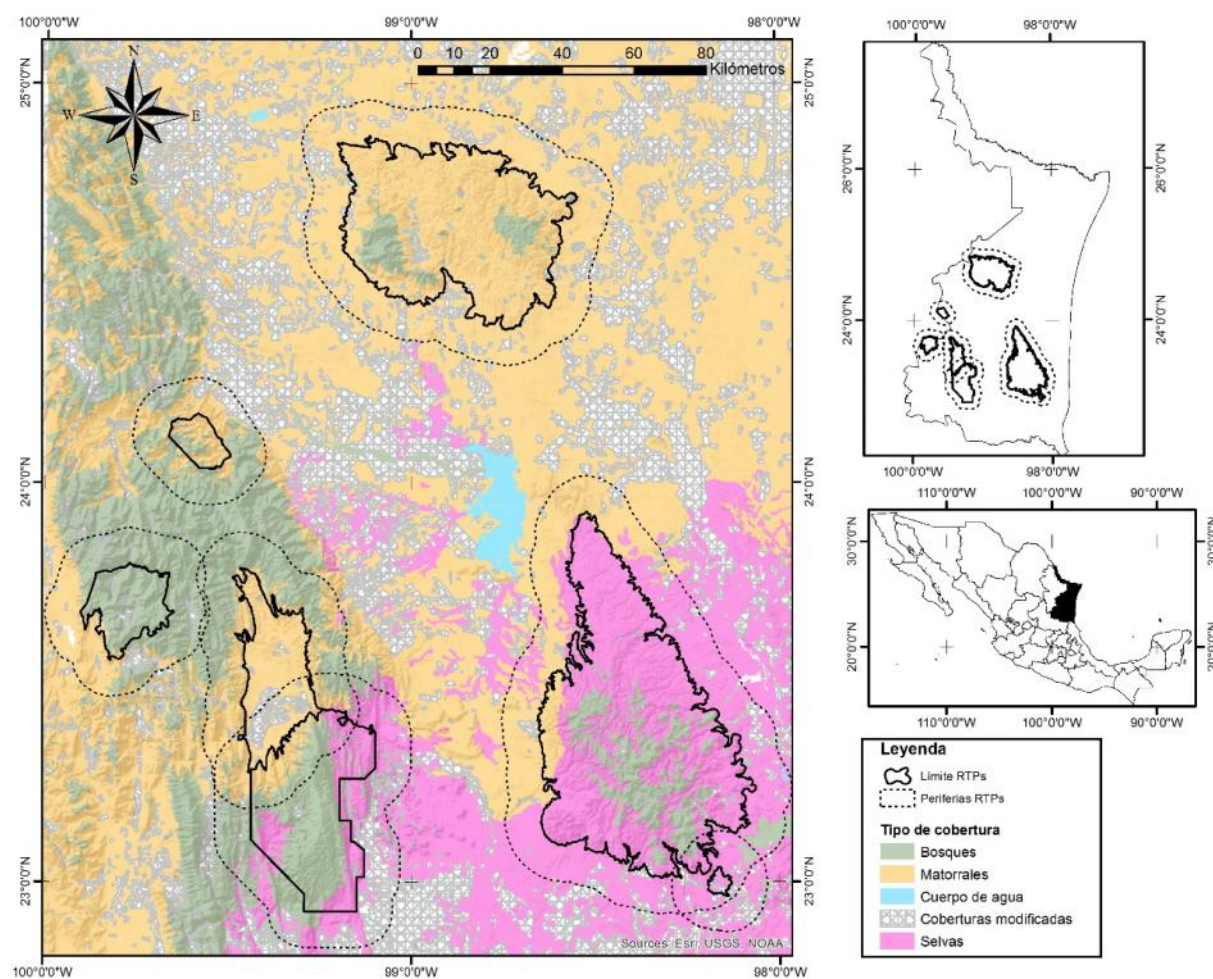


Figura 1. Localización de las 7 regiones terrestres prioritarias de Tamaulipas.

Los límites de las RTP fueron obtenidos de la mapoteca digital de la comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO, <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>), a los cuales se les creó un buffer circundante de 10 km a partir del límite geográfico de cada RTP, basándose en el trabajo de Mas (2005), ya que los cambios que ocurren en esta zona pueden influenciar la vegetación dentro del área protegida o aislarlas de otras áreas (Mas, 2005). La cobertura de vegetación fue obtenida de las capas de Uso de Suelo y Vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) serie I (1980), III (2005) y V (2011), a escala de 1:250,000. Las cartas tienen

diferentes esquemas de clasificación para los tipos de vegetación, por lo que para ser comparables entre ellas se agruparon los tipos de vegetación en siete grupos (Agrícola, Bosque Mesófilo de Montaña, Bosques Templados, Antropogénicos, Matorrales, Pastizales y Selvas tropicales), como lo sugiere March Mifsut y Flamenco Sandoval (1996) (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de vegetación en las capas de INEGI y el grupo al que se homogenizaron.

Tipo de vegetación	Grupo
Agricultura de riego	Agrícola
Agricultura de temporal	
Plantación forestal	
Cultivos permanentes	
Pastizal	Pastizales
Vegetación halófila	
Bosque de encino	Bosques templados
Bosque de pino	
Bosque de pino / encino	
Bosque de oyamel	
Bosque de otras coníferas	
Bosque bajo abierto	Bosque Mesófilo de Montaña
Bosque mesófilo de montaña	
Selva mediana	Selvas tropicales
Selva baja	
Selva perennifolia	
Chaparral	Matorrales
Matorral	
Sabana	
Urbano	Antropogénicos
Indeterminado	

El cambio en los tipos de vegetación se calculó entre dos los periodos 1980 – 2005 y entre 2005 - 2011. La identificación de los cambios en los tipos de vegetación se realizó al cruzar los mapas entre los dos periodos. Los tipos de cambios fueron agrupados en:

-) nativas persistentes, donde la sobreposición de las categorías fue la misma para las dos capas.
-) coberturas modificadas persistentes, caracterizada por que no existieron cambios en las coberturas modificadas antrópicamente en las dos capas.

-) pérdida de cobertura nativa, en la cual ocurrió un cambio de cobertura nativa a una modificada antrópicamente.
-) ganancia nativa, donde cambio de cobertura modificada a cobertura vegetal nativa.

La tasa cambio de cada RTP y su periferia se estimó como el porcentaje de área que ha sido transformada anualmente, en promedio, durante el periodo de estudio (Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008):

$$T = \frac{(S_2 - S_1)/S_t}{T} \times 100$$

dónde: TC= tasa de cambio, S_1 = superficie transformada inicial, S_2 = superficie transformada final, S_t = superficie evaluada total y T= años transcurridos.

La predicción del escenario de las RTP y sus periferias se realizó a través del modelo predictivo de cadenas de Markov-autómatas celulares para proyectar los cambios de cobertura de terreno en un período de 31 años con el software IDRISI Selva (versión 17,0). La predicción se realizó con la información de las coberturas de terreno de 1980 y 2011, con las que se obtuvo una proyección para el año 2042, para este análisis las pacas de cobertura de terreno fueron exportados a formato raster con una resolución espacial de 30 m.

La asociación entre los tipos de cambio de cobertura y el lugar en donde ocurrieron se obtuvo a partir del análisis de correspondencia (James y McCulloch, 1990). El análisis es una modificación de la prueba de Chi cuadrada (X^2), que se utiliza para analizar tablas de contingencia, creando un diagrama cartesiano basado en la asociación entre las variables tipo de cambio y lugar donde ocurren los cambios, con el objetivo de representar el nivel de asociación entre cada una de las variables (Legendre y Legendre, 2003). Las variables categóricas analizadas incluyeron al tipo de cambio (cinco categorías), la RTP donde ocurrieron y la zona donde ocurrieron estos cambios.

El grado de asociación entre los cambios de cobertura, el tipo de pendiente del terreno, la riqueza específica y la zona donde ocurrieron fue puesto a prueba con el análisis de correspondencia múltiple (Legendre y Legendre, 2003). El grado de pendiente del terreno

fue obtenido del modelo de elevación continua (INEGI, 2015), el cual fue clasificado en seis grupos de acuerdo a la clasificación de Demek, 1972 (Tabla 2).

Tabla 2. Categorías de las pendientes (Lugo, 1988).

Categoría	Ancho de clase	Tipo de pendiente	Gradiente en %
0 - 2°	2°	Plano	3.5
		ligeramente	
> 2° - 5°	3°	inclinado	3.6 - 8.7
		Fuertemente	
> 5° - 15°	10°	inclinado	8.7 - 26.8
> 15° - 35°	20°	Muy inclinado	26.8 - 70
> 35° - 55°	20°	Empinado	70 - 143
> 55° - 90°	35°	Vertical	143 - ∞

Los mapas de riqueza específica fueron generados a partir de la predicción individual de la distribución geográfica de las especies mediante el uso de algoritmo de Máxima Entropía ver 3.2 (Phillips *et al.*, 2006). El algoritmo supone que a partir de las condiciones ambientales de los sitios en donde ha sido registrada la especie se puede predecir su ocurrencia en el área donde no ha sido observada (Richards *et al.*, 2007). Los registros de colecta de los tres grupos de especies fueron obtenidos de dos bases de datos disponibles en la red (GBIF y CONABIO), de tesis y de artículos publicados (Correa-Sandoval y Thompson, 2005; Mora-Olivo y Villaseñor, 2007; Mora-Olivo *et al.*, 2008; Correa *et al.*, 2012). Las localidades que fueron utilizadas contaron con al menos el nombre de la localidad de colecta o las coordenadas geográficas; en caso de que solo reportaran el nombre de la localidad, las coordenadas fueron obtenidas de cartas topográficas (escala 1:50,000, INEGI) o del Google Earth. En total, se utilizaron 169 localidades únicas para las especies de gastrópodos, 714 localidades de las plantas acuáticas y 183 localidades de pteridofitas. El 12.2% de las especies de gastrópodos contaron con al menos siete localidades únicas de colecta (32 especies), número mínimo de localidades sugeridas para generar los mapas de distribución geográfica (Phillips *et al.*, 2006); en el caso de las plantas acuáticas pudieron generarse mapas de

distribución potencial en el 42% de las especies (57 especies) y en el 20.2% de las especies de pteridofitas (32 especies).

La predicción de la distribución geográfica se realizó utilizando variables ambientales que caracterizaron el clima, la topografía y la vegetación del área de estudio. La resolución espacial de las capas fue de aproximadamente 1 km² (30''). Las variables climáticas se obtuvieron de WorldClim (www.worldclim.org/), las variables de cobertura vegetal de Global Land Cover Facility (<http://www.landcover.org/index.shtml>), índice de aridez (<http://csi.cgiar.org/aridity/index.asp>) y las variables topográficas de Hydro1k (<http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/hydro/index.html>). Las capas temáticas se generaron con los programas ArcGis (ver 10.2 ESRI, 2012) e Idrisi Selva (Clarck Lab).

El valor de umbral de convergencia, para encontrar la distribución más cercana a la distribución empírica, fue de 0.00001, con un máximo de 1000 iteraciones. En la generación del modelo de distribución potencial, se utilizaron los cuatro tipos de características: el producto bruto (lineal), cuadrado (cuadrático), producto de las variables ambientales y las características binarias derivadas del umbral de variables ambientales (función de umbral). Del modelo se calculó el área bajo la curva (AUC) para estimar la probabilidad de que el modelo generado fue mejor que un modelo generado al azar, una clasificación perfecta tuvo un AUC = 1.0. Los modelos predictivos obtenidos de cada especie se les aplicaron operaciones booleanas para crear mapas de presencia-ausencia, utilizando como valor de corte la probabilidad del 10% de los registros con los valores más bajos. Los mapas individuales fueron sumados para crear mapas de riqueza de especie por cada uno de los grupos. La asociación de las capas de cambio de cobertura, los tipos de pendiente y la riqueza específica permitió generar una tabla de contingencia de la frecuencia en qué sucedió el cambio de cobertura de terreno dependiendo del grado de pendiente y la riqueza específica, fue puesto a prueba con el análisis de correspondencia múltiple (Legendre y Legendre, 2003). El cual determinó si existe una asociación significativa entre las variables categóricas. Las pruebas estadísticas se realizaron en el programa Statistica y se cada grupo de especies fue analizado por separado (ver13, STATSOFT).

2.4 Resultados

El análisis de cambio en las coberturas vegetales de las RTP y sus periferias mostró que la mayor pérdida de cobertura durante el primer periodo de evaluación (1980-2005) ocurrió en la periferia de la Sierra de Tamaulipas (STP), zona en donde se presentó la mayor pérdida de cobertura nativa (2.3%, con una tasa de pérdida de cobertura de terreno anual de 1.18 ha). Mientras que la mayor ganancia de cobertura vegetal ocurrió en los Cenotes de Aldama (15.5%, con una tasa de cambio de 0.19 ha al año). El Puerto Purificación fue la única RTP que mantuvo la persistencia del 100% de su vegetación nativa, mientras que la mayor persistencia de la cobertura modificada se dio en la periferia de los Cenotes de Aldama (Tabla 2 y Figura 2).

En el segundo periodo (2005 – 2011), la mayor pérdida de cobertura se presentó en las periferias de los Cenotes de Aldama y la Sierra de Tamaulipas (2.2 y 2.1% respectivamente). La ganancia de cobertura vegetal se presentó los Cenotes del Aldama (69.7%). La persistencia de cobertura natural se presentó en mayor porcentaje en la periferia de Jaumave (98.5%) y la persistencia de coberturas modificadas se presentó con mayor porcentaje en Puerto Purificación (47.3%) (Tabla 3 y Figura 2).

Tabla 3. Porcentaje de los cambios en las coberturas y tasas de cambio por año dentro y fuera de las RTP.

CA= Cenotes de Aldama, CAP=Cenotes de Aldama Periferia, EC= El Cielo, ECP=El Cielo Periferia, JAU= Jaumave, JAUP= Jaumave Periferia, PN= Peña Nevada, PNP= Peña Nevada Periferia, PP= Puerto Purificación, PPP= Puerto Purificación Periferia, SC= San Carlos, SCP= San Carlos Periferia, ST= Sierra de Tamaulipas, STP= Sierra de Tamaulipas Periferia.

RTP	I vs III						III vs V					
	Ganancia	Pérdida	Persistencia Nativa	Persistencia modificados	Tasa Ganancia	Tasa Pérdida	Ganancia	Pérdida	Persistencia Nativa	Persistencia modificados	Tasa Ganancia	Tasa Pérdida
CAP	4.76	18.55	21.93	54.76	0.19	0.74	0.20	2.17	40.28	57.34	0.03	0.36
CA	15.54	10.99	19.32	54.15	0.62	0.44	0.00	0.00	30.31	69.69	0.00	0.00
ECP	3.73	11.04	20.87	64.36	0.15	0.44	0.32	0.75	31.58	67.34	0.05	0.13
EC	0.44	0.88	0.69	97.99	0.02	0.04	0.00	0.01	38.08	61.90	0.00	0.00
JAUP	0.39	0.63	0.52	98.46	0.02	0.03	0.07	0.11	1.07	98.75	0.01	0.02
JAU	3.17	11.57	11.17	74.09	0.13	0.46	0.07	0.97	22.68	76.28	0.01	0.16
PNP	2.22	2.83	4.23	90.72	0.09	0.11	0.26	1.29	6.88	91.57	0.04	0.22
PN	1.49	1.47	3.02	94.02	0.06	0.06	1.54	0.64	2.95	94.88	0.26	0.11
PPP	1.54	1.19	7.92	89.34	0.06	0.05	0.11	0.26	9.01	90.63	0.02	0.04
PP	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.69	56.31	0.00	0.00
SCP	3.20	10.32	10.51	75.97	0.13	0.41	0.48	2.08	20.35	77.10	0.08	0.35
SC	1.00	0.99	1.19	96.81	0.04	0.04	0.04	0.42	2.15	97.39	0.01	0.07
STP	2.95	29.44	8.33	59.27	0.12	1.18	1.28	2.31	37.38	59.02	0.21	0.39
ST	0.76	14.53	1.27	83.45	0.03	0.58	0.17	0.37	15.63	83.84	0.03	0.06

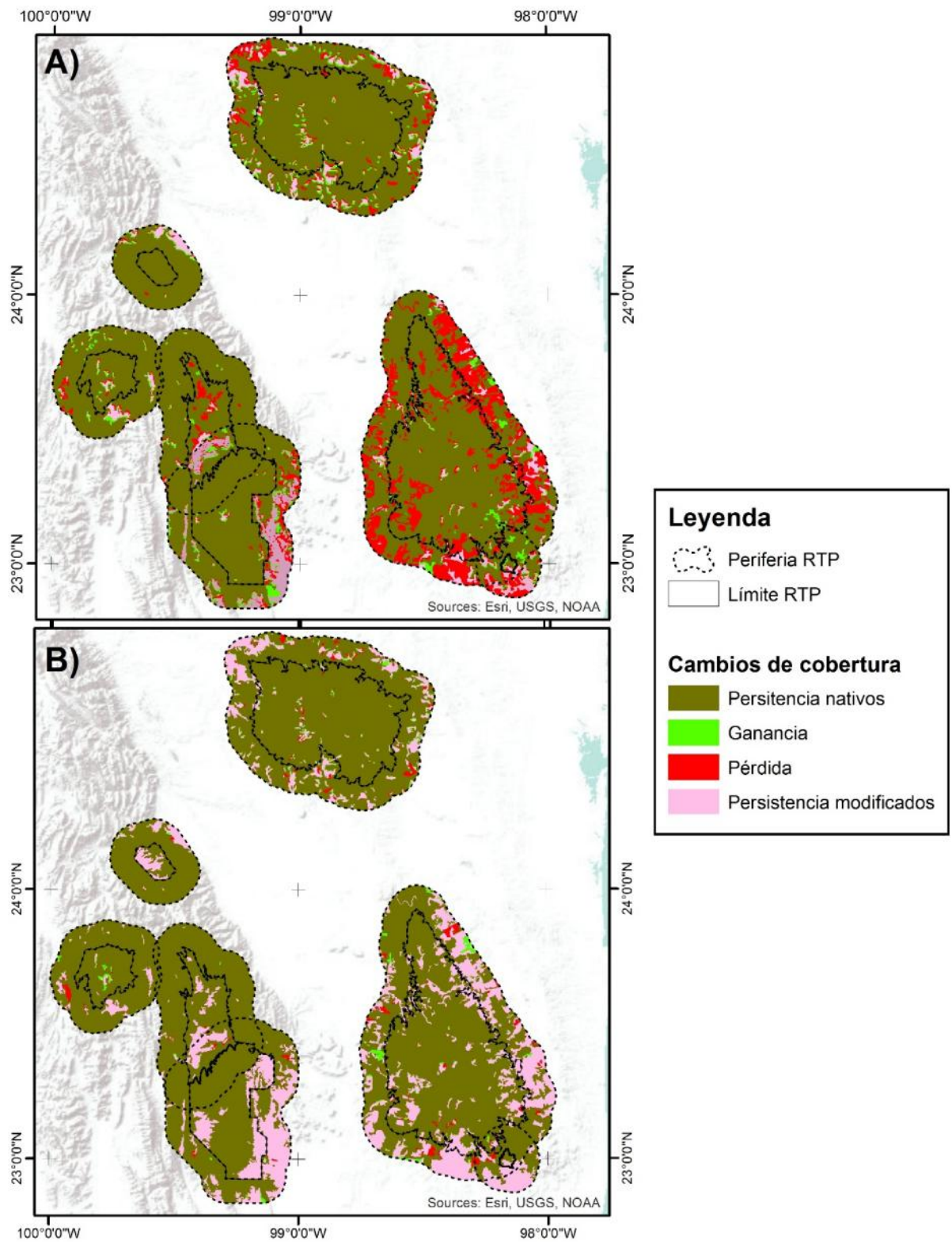
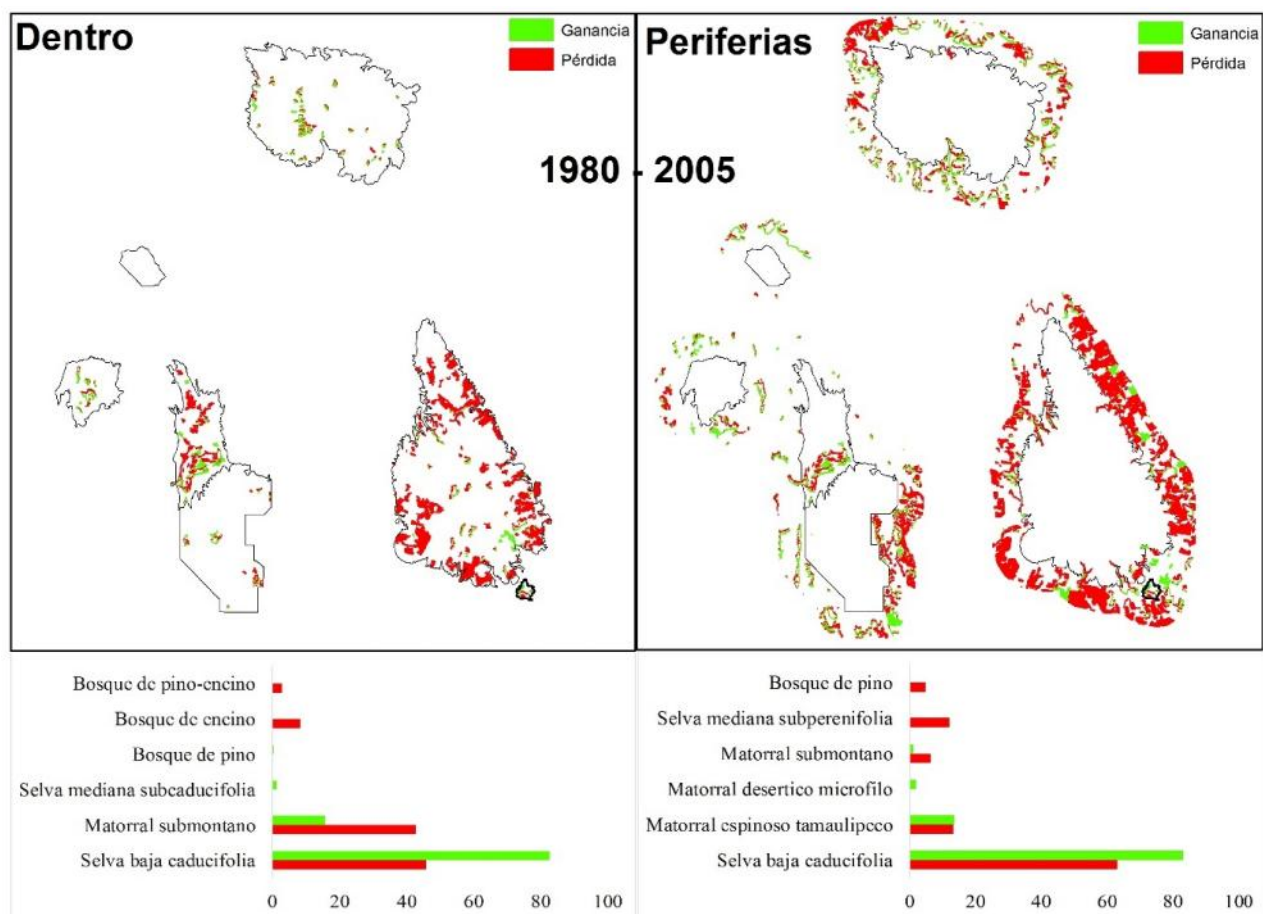


Figura 2. Áreas por tipo de cambio dentro y en la periferia de las RTP.

La pérdida de cobertura dentro y fuera de las RTP, en los años 1980 y 2005, ocurrió principalmente en la selva baja caducifolia (Figura 3). En el segundo periodo (2005 – 2011) la mayor pérdida de cobertura se presentó en el matorral sub-montano tanto dentro como fuera de las RTP, en contraste la mayor ganancia dentro de las RTP fue en la selva baja caducifolia y fuera de ellas en el matorral submontano (Figura 3).



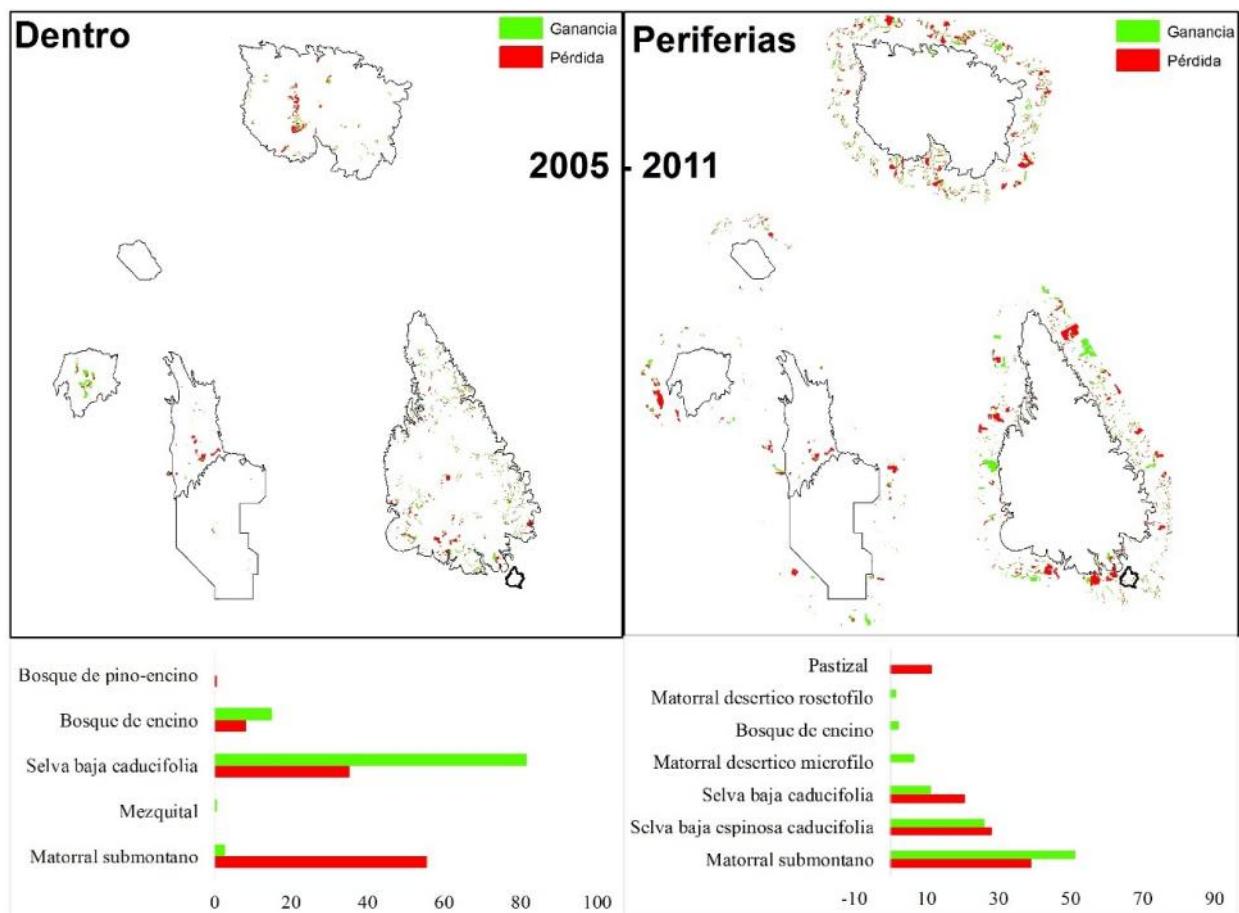


Figura 3. Tipo de vegetación, ganado y perdido dentro y fuera de las RTP en los dos periodos 1980 – 2005 y 2005 - 2011.

La predicción a futuro (2042) mostro que pérdidas de cobertura dentro de las RTP se incrementarán un 16% delo reportado en el 2011 y en las periferias las pérdidas de cobertura se mantendrán muy semejantes en que las reportadas en el 2011 (Tabla 4 y Figura 4)

Tabla 4. Pérdida y Permanencia de cobertura de terreno en los años 1980, 2011 y 2042.

		1980		2011		2042	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%
RTP	Pérdida	26,492.4	3.2	81,141.1	9.8	226,674.8	27.3
	Persistencia	805,051.6	96.8	750,402.9	90.2	604,869.2	72.7
Periferia	Pérdida	145,550.2	12.7	279,016.4	24.3	279,685.2	24.3
	Persistencia	1,003,432.5	87.3	869,966.3	75.7	869,297.5	75.7

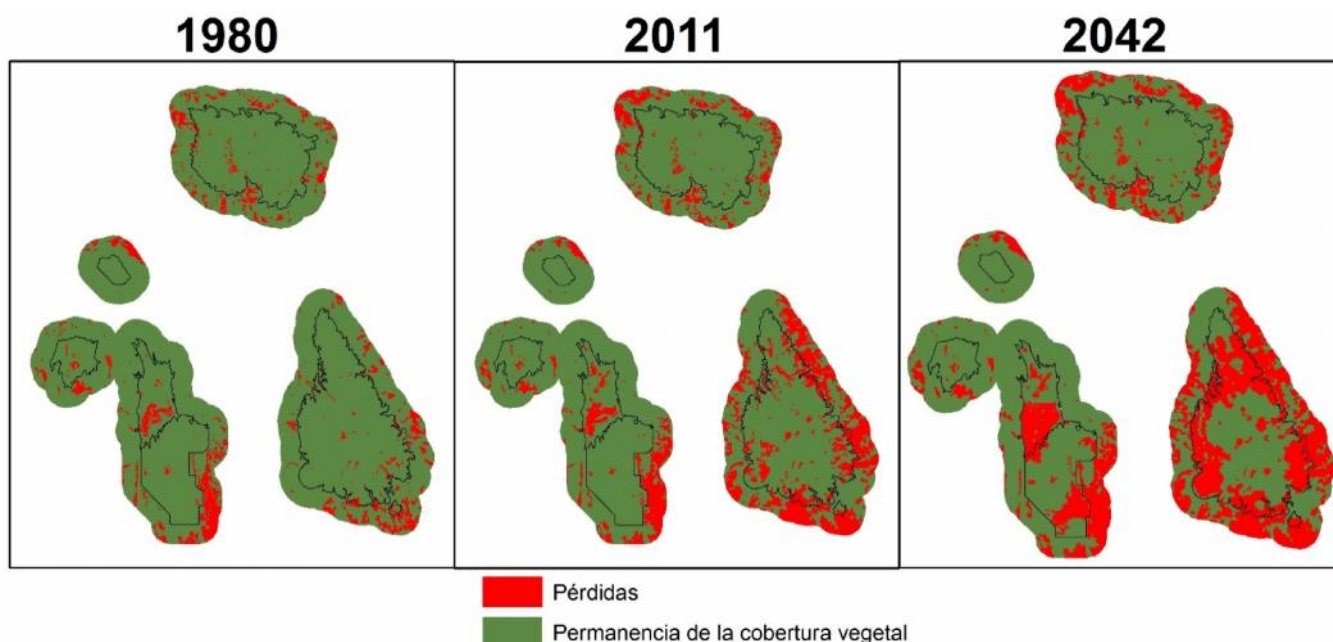


Figura 4. Pérdidas de cobertura de terreno de 1980, 2011 y 2042

La asociación entre el cambio de cobertura, el lugar donde sucedieron (dentro o fuera) y de las RTP fueron estadísticamente significativos en los dos periodos ($X^2=389,427$ $g.l.=39$ $p \leq 0.005$ y $X^2= 576,616$ $g.l.=39$ $p \leq 0.005$). El análisis sugiere que la pérdida de cobertura original ocurrió con mayor frecuencia en la periferia de la Sierra de Tamaulipas. La persistencia de coberturas modificadas y de ganancia de cobertura nativa fue más frecuente en los Cenotes de Aldama, en las periferias del Cielo y los Cenotes de Aldama. Las RTP que presentaron un menor número de cambios en la cobertura vegetal original fueron en las RTP de Jaumave, Sierra de Tamaulipas, Peña nevada, Puerto Purificación, San Carlos y El Cielo, así como las periferias de San Carlos, Puerto Purificación, Peña Nevada y Jaumave (Figura 5).

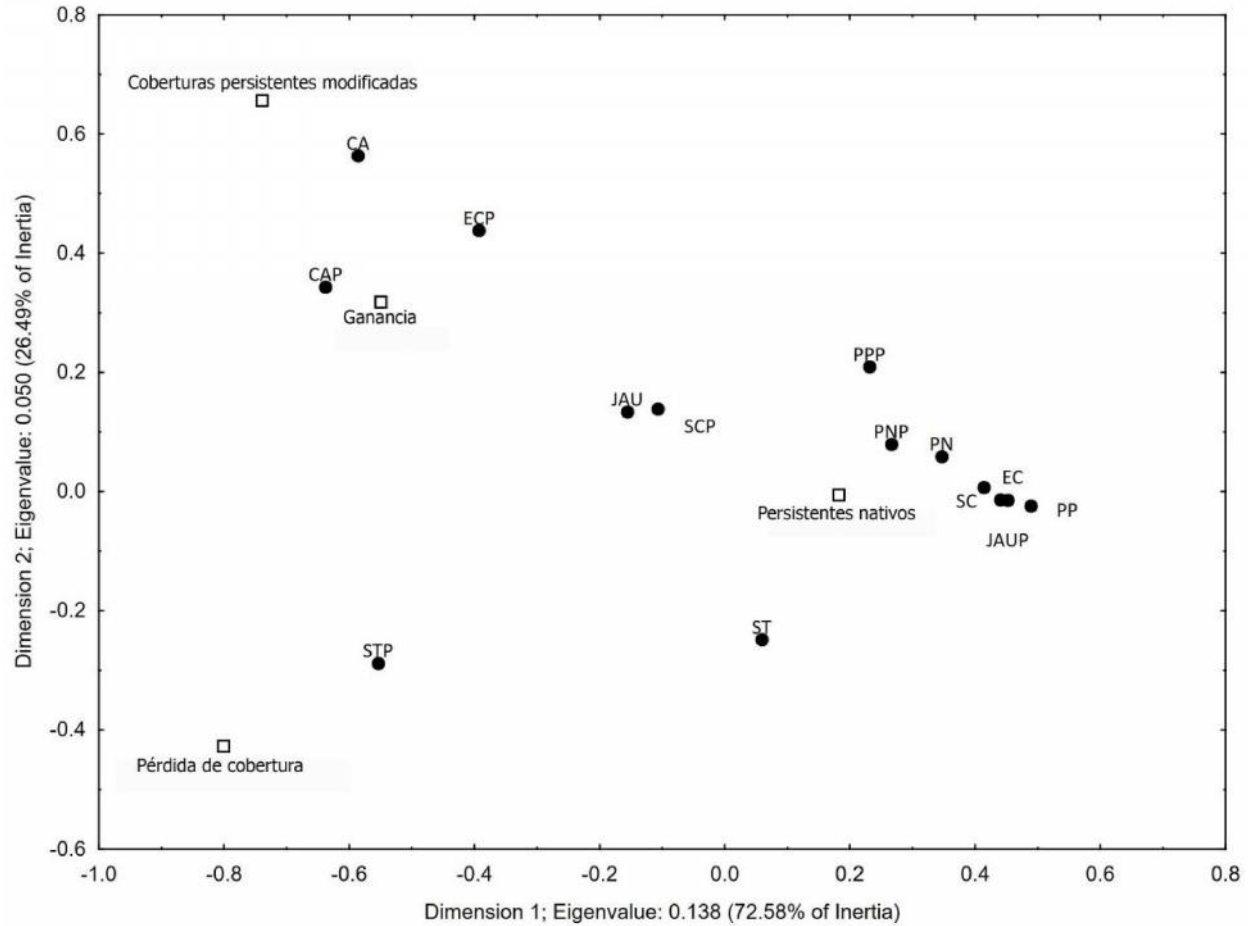


Figura 5. Asociación entre los cambios de cobertura, las RTP y sus periferias (1980 – 2005).

.CA= Cenotes de Aldama, CAP=Cenotes de Aldama Periferia, EC= El Cielo, ECP=El Cielo Periferia, JAU= Jaumave, JAUP= Jaumave Periferia, PN= Peña Nevada, PNP= Peña Nevada Periferia, PP= Puerto Purificación, PPP= Puerto Purificación Periferia, SC= San Carlos, SCP= San Carlos Periferia, ST= Sierra de Tamaulipas, STP= Sierra de Tamaulipas Periferia.

El segundo periodo (2005 – 2011) existió una fuerte asociación entre la ganancia de cobertura y los Cenotes de Aldama. Los otros tipos de cambios y las RTP con sus periferias no presentaron una tendencia clara, por lo que estas clases se concentraron en el origen de las dos dimensiones (0,0) (Figura 6).

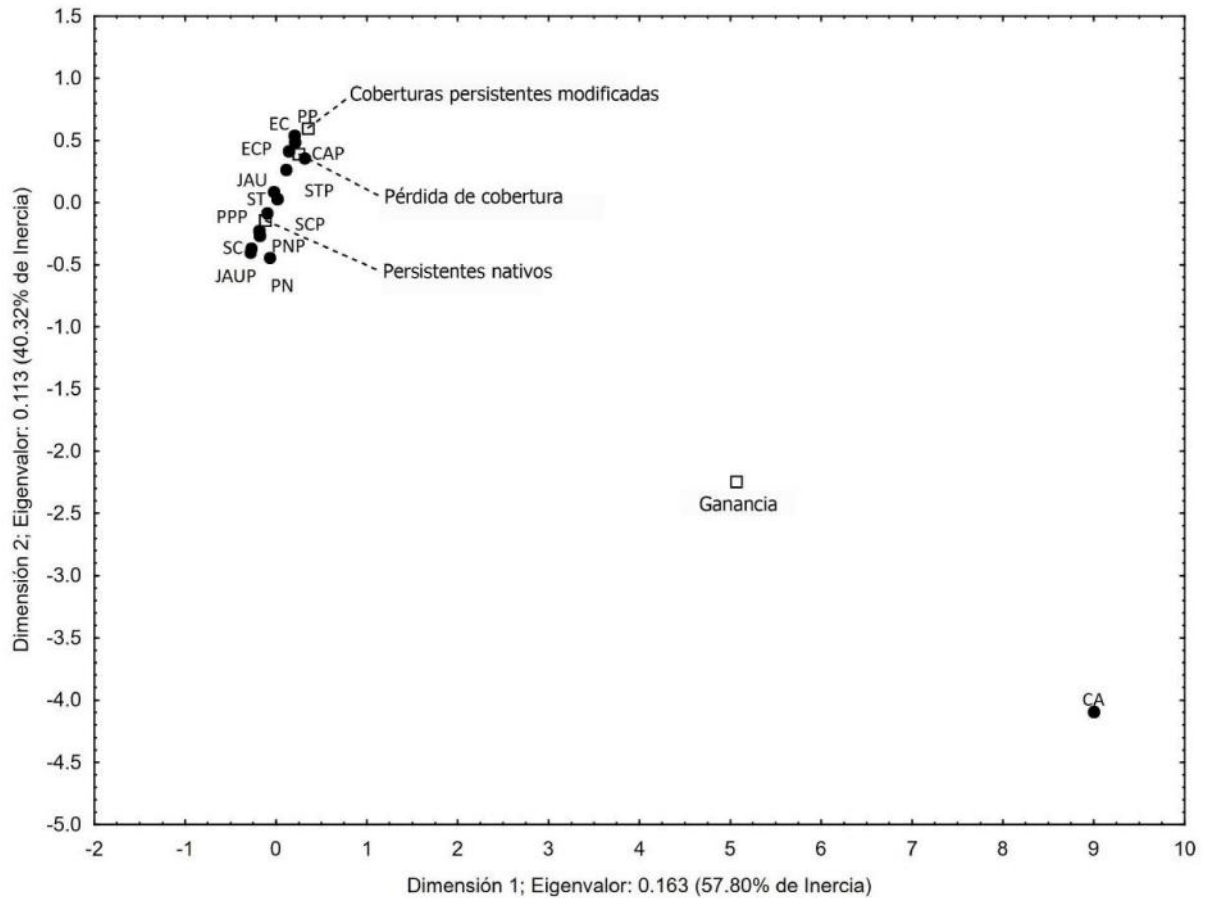


Figura 6. Asociación entre los cambios de cobertura, las RTP y sus periferias (2005 – 2011).

CA= Cenotes de Aldama, CAP=Cenotes de Aldama Periferia, EC= El Cielo, ECP=El Cielo Periferia, JAU= Jaumave, JAUP= Jaumave Periferia, PN= Peña Nevada, PNP= Peña Nevada Periferia, PP= Puerto Purificación, PPP= Puerto Purificación Periferia, SC= San Carlos, SCP= San Carlos Periferia, ST= Sierra de Tamaulipas, STP= Sierra de Tamaulipas Periferia.

La mayor riqueza de las especies gastrópodos potencialmente puede encontrarse tanto dentro, como en la periferia de la Sierra de Tamaulipas y El Cielo (Figura 7A). Las especies hidrófitas presentaron un centro de alta riqueza en la periferia de El Cielo, con 57 especies (Figura 7B), mientras que la mayor riqueza de pteridofitas se localizó dentro de la Sierra de Tamaulipas y la Sierra de San Carlos, con 32 especies (Figura 7C).

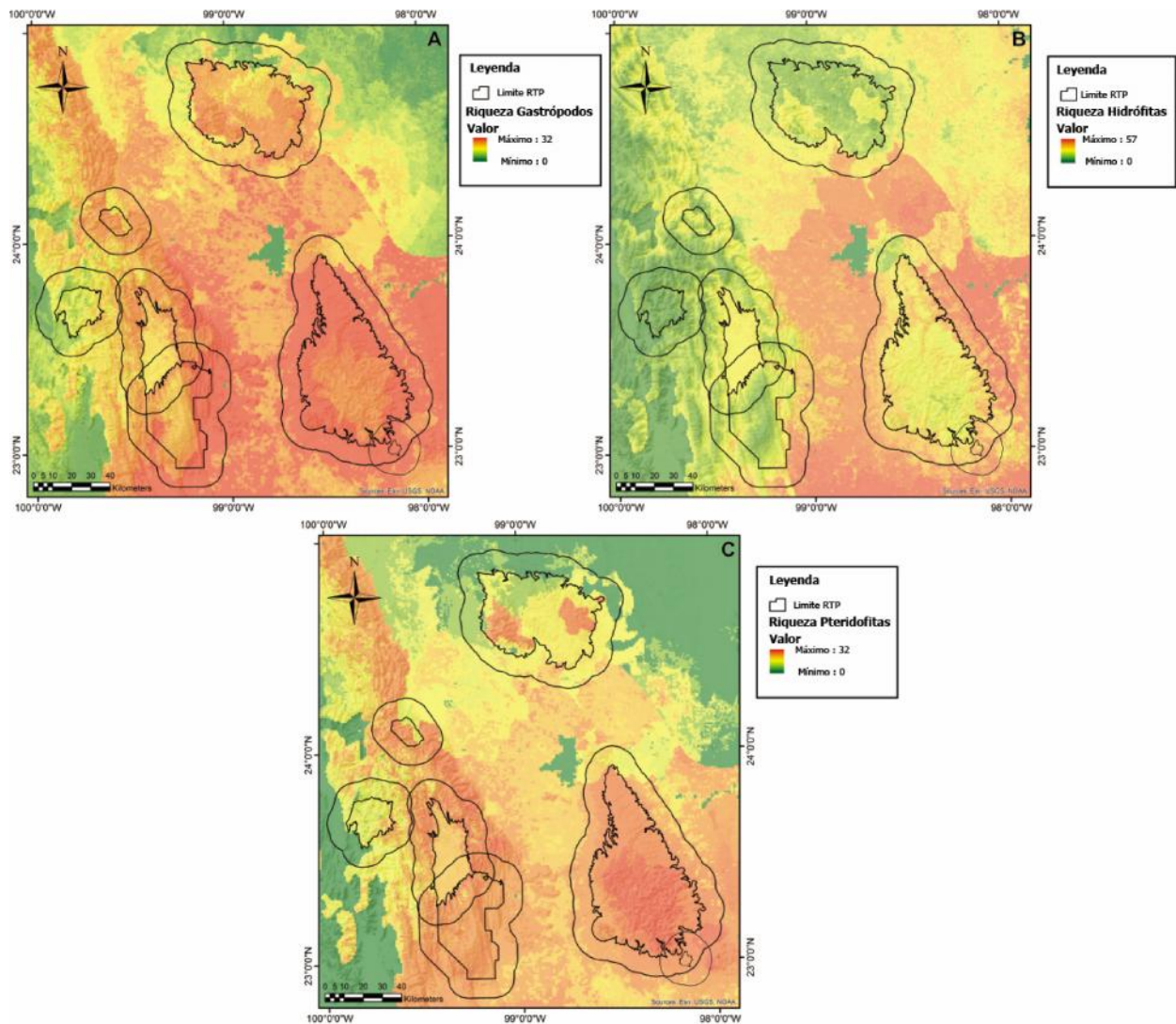


Figura 7. Mapa de riqueza de moluscos terrestres (A), Hidrófitas (B) y Pteridofitas (C) en las RTP y sus periferias.

La asociación entre el cambio de cobertura vegetal, la pendiente y la riqueza de especies de gastrópodos ($X^2= 9,160,300,000E5$ $df=900$ $P \leq 0.005$), hidrófitas ($X^2= 30,742,000,000$ 961 $df=961$ $P \leq 0.005$) y pteridofitas, fue estadísticamente significativa ($X^2= 7,571,300,000$ $df = 961$ $P \leq 0.005$). La zona con mayor riqueza específica de hidrófitas y pteridofitas fue en las zonas que presentaron una persistencia de coberturas modificadas, las cuales se encontraron en las periferias de las RTP con pendientes suaves. En contraste, la zona con alta riqueza específica de gastrópodos se asoció a zonas en las cuales la vegetación nativa es persistente dentro de las RTP y pendientes fuertes (Figura 8, 9 y 10). La mayor riqueza específica de moluscos presentó una fuerte asociación con zonas donde la cobertura

vegetal nativa persiste y en pendientes muy inclinadas, localizadas en la RTP San Carlos, Puerto Purificación y las periferias de Jaumave (Figura 8). Los demás tipos de cambio no presentaron una asociación clara con las zonas de riqueza.

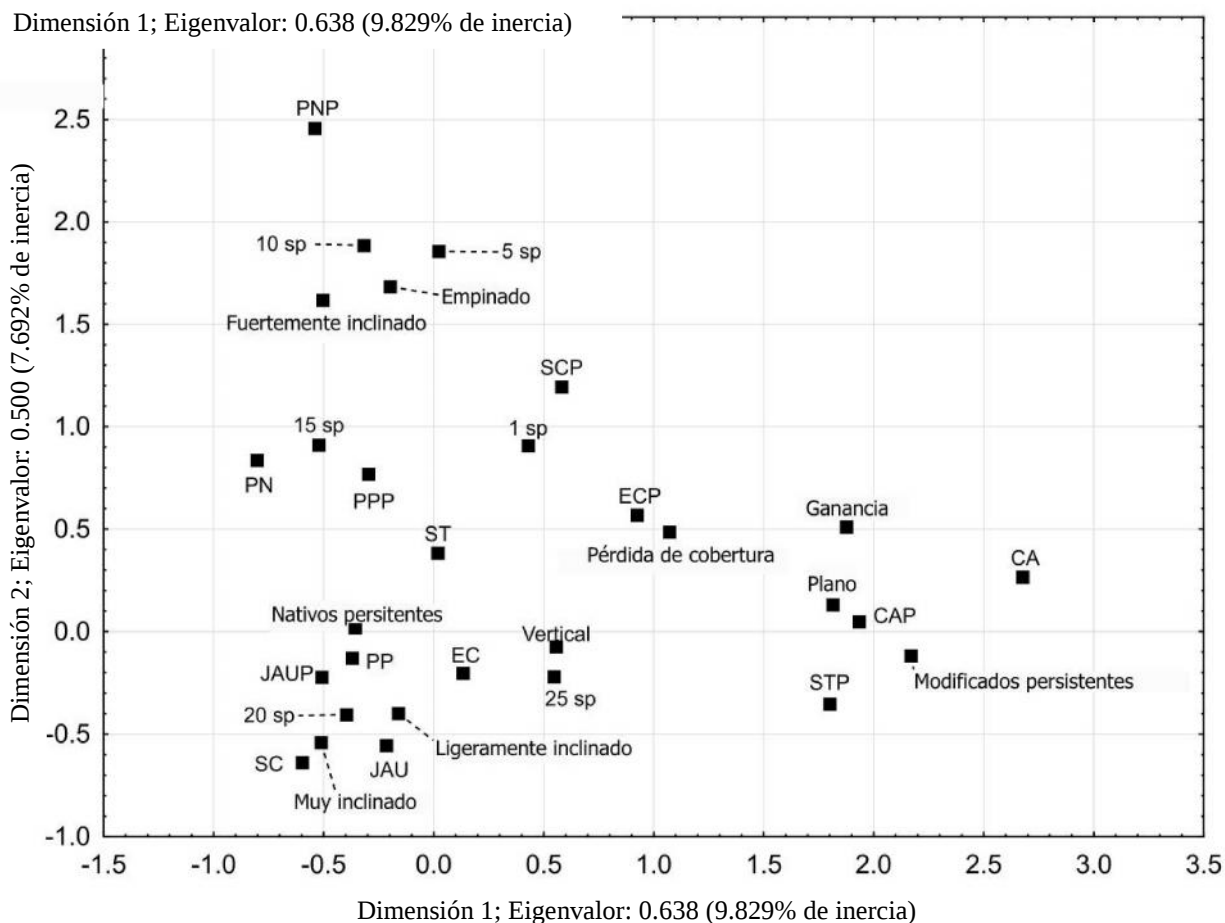


Figura 8. Asociación entre el tipo de cambio de cobertura y la riqueza de gastrópodos, dentro y fuera de las RTP.

Donde los números indican la riqueza de especies y CA= Cenotes de Aldama, CAP=Cenotes de Aldama Periferia, EC= El Cielo, ECP=El Cielo Periferia, JAU= Jaumave, JAUP= Jaumave Periferia, PN= Peña Nevada, PNP= Peña Nevada Periferia, PP= Puerto Purificación, PPP= Puerto Purificación Periferia, SC= San Carlos, SCP= San Carlos Periferia, ST= Sierra de Tamaulipas, STP= Sierra de Tamaulipas Periferia.

La mayor riqueza de especies de hidrófitas fue en la periferia de Sierra de Tamaulipas (STP), donde existió una fuerte asociación a las zonas planas donde la cobertura modificada

persistió y se incrementó la cobertura nativa (ganancia). Además, se presentó una asociación entre la pérdida de cobertura en la periferia de El Cielo (ECP) y los Cenotes de Aldama (CAP) con las áreas con una pendiente vertical y una riqueza específica entre 40 a 49 especies (Figura 9). La menor riqueza de especies se encontró en dentro y fuera del resto de las RTP, donde la pendiente fue de empinada a fuertemente inclinada y se presentó la mayor persistencia de la vegetación nativa.

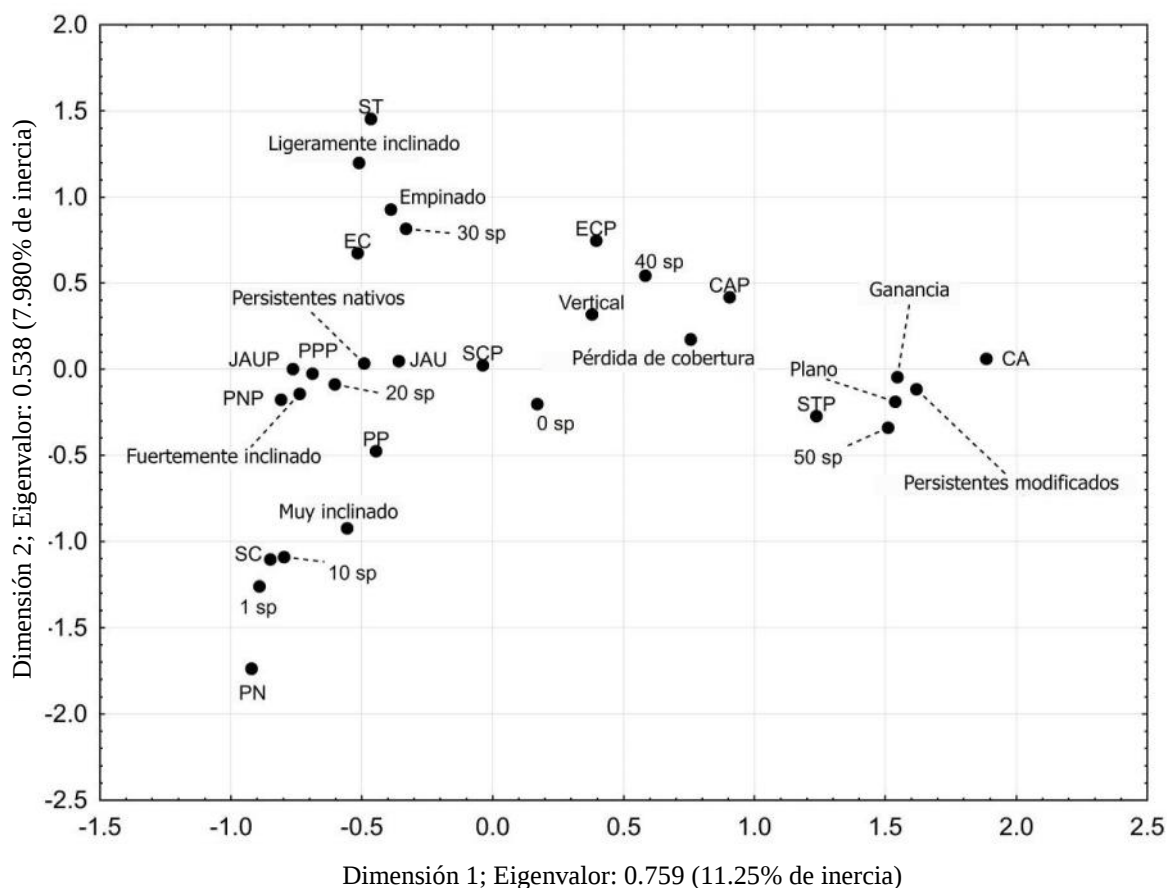


Figura 9. Asociación entre tipos el tipo de cambio de cobertura y la riqueza de hidrófitas, dentro y fuera de las RTP.

Donde los números indican la riqueza de especies y CA= Cenotes de Aldama, CAP=Cenotes de Aldama Periferia, EC= El Cielo, ECP=El Cielo Periferia, JAU= Jaumave, JAUP= Jaumave Periferia, PN= Peña Nevada, PNP= Peña Nevada Periferia, PP= Puerto Purificación, PPP= Puerto Purificación Periferia, SC= San Carlos, SCP= San Carlos Periferia, ST= Sierra de Tamaulipas, STP= Sierra de Tamaulipas Periferia.

La riqueza específica intermedia de pteridofitas (10 y 20 especies) estuvo asociada a zonas planas donde tanto la cobertura modificada persistió como se incrementó y redujo la cobertura nativa en la periferia de Sierra de Tamaulipas (STP) y dentro-fuera de los Cenotes de Aldama (CA y CAP). Las áreas con poca y alta riqueza de helechos estuvo asociada a zonas con pendientes de inclinadas a fuertemente inclinadas dentro y fuera del resto de las RTP, en las cuales existe una alta persistencia de vegetación nativa (Figura 10)

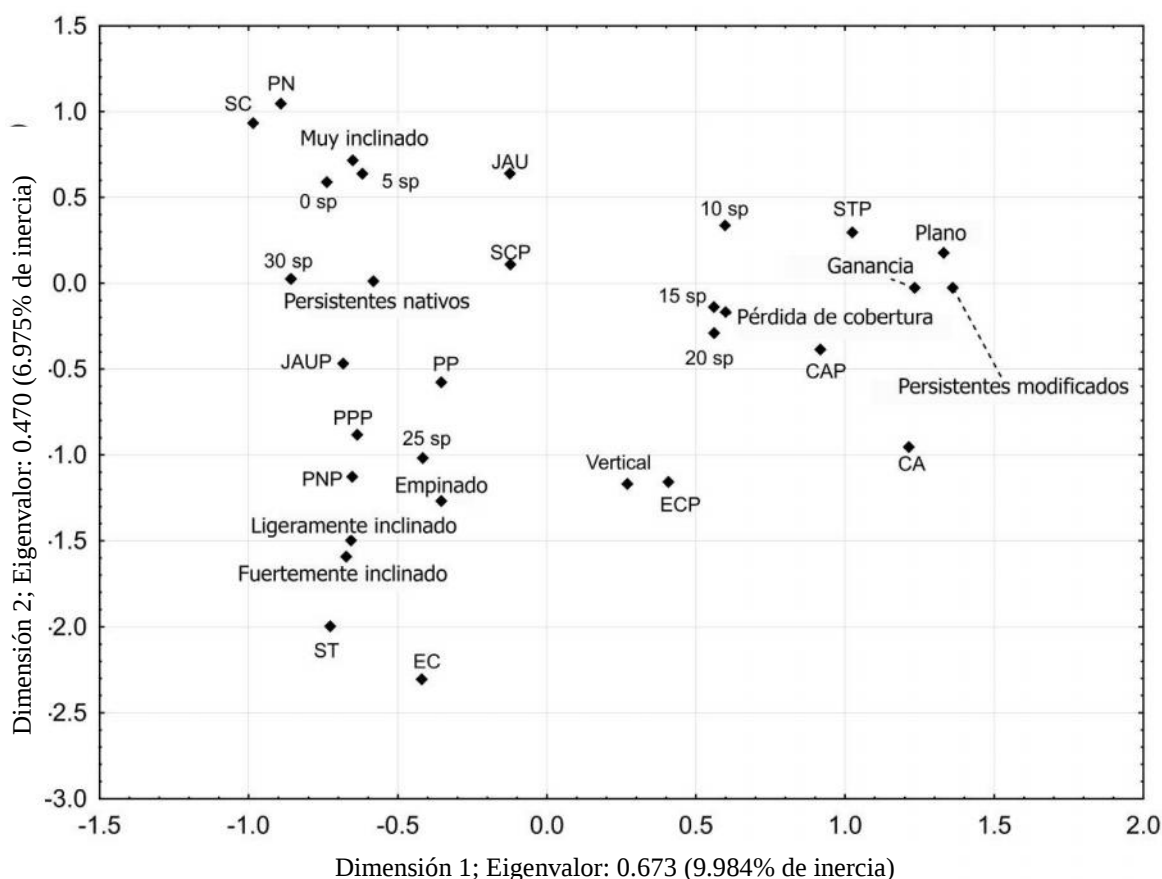


Figura 10. Asociación entre tipos el tipo de cambio de cobertura y la riqueza de pteridofitas, dentro y fuera de las RTP.

Donde los números indican la riqueza de especies Ganancia periferia = ganancia de cobertura en la periferia, Pérdida periferia = pérdida de cobertura en la periferia, Persistencia N periferia = persistencia de cobertura nativa en la periferia, Persistencia M periferia = persistencia de cobertura modificada en la periferia, Ganancia = ganancia de cobertura vegetal en la RTP, Pérdida = pérdida de cobertura vegetal en la RTP, Persistencia N = persistencia de cobertura nativa dentro de la RTP, Persistencia M = persistencia de la cobertura modificada en la RTP.

2.5 Discusión

La mayor frecuencia de pérdida de cobertura vegetal ocurrió en zonas planas localizadas en la periferia de las RTP. Las selvas y los matorrales fueron los tipos de vegetación que presentaron la mayor pérdida de cobertura vegetal. El escenario a futuro indico que las pérdidas de cobertura de terreno ocurrirían con mayor frecuencia dentro de las RTP. La pérdida de la cobertura vegetal también estuvo fuertemente asociadas a zonas de alta riqueza específica de las especies hidrófitas y pteridofitas. Así mismo, la RTP Puerto Purificación no presentó pérdidas de cobertura tanto dentro como en la periferia. La RTP Puerto Purificación, tiene una vegetación de matorral y de pino encino, presentando pendientes fuertes y verticales.

Las zonas de mayor riqueza de hidrófitas y pteridofitas están asociadas a las zonas de pérdida de cobertura vegetal, no así para las especies de gastrópodos. De tal forma, la pérdida de cobertura puede afectar diferencialmente a las especies que habitan en el área (Hirzel y Le Lay, 2008), debido a que cada especie requiere características ambientales específicas para ejercer sus funciones vitales. Por ejemplo, las pteridofitas son más frecuentes en zonas templadas con pendientes ligeras y una mayor cobertura forestal que propician ambientes esciófilos (Mickel y Smith, 2004). Por el contrario, las plantas acuáticas se encuentran en zonas cálidas abiertas y planas que puedan ser inundadas por agua, con poca cobertura forestal. Esto también refleja el carácter heliófilo de una gran mayoría de las hidrófitas que ocupan grandes extensiones en aguas abiertas de lagunas y otros cuerpos de agua (Sculthorpe, 1985). Por lo que, los resultados de este estudio, pueden ayudar a identificar las áreas propensas a el aislamiento y los sitios de alta diversidad que se verían comprometidos por la pérdida de cobertura vegetal.

La aplicación de un método estadístico multivariado combinada con los sistemas de información geográfica, permitió identificar las zonas con mayor riqueza afectadas por los cambios de cobertura y las zonas que son aptas para su conservación. El resultado de este análisis nos muestra cómo se asocian ciertos tipos de cobertura vegetal a la riqueza específica de especies. La información obtenida ayuda a instituciones a tomar decisiones de conservación, mantenimiento a restauración de las zonas que cuenten con una gran riqueza y presenten una mayor riqueza de especies. Actualmente, la red de ANP en México, protege

el 12.93% del territorio nacional, haciendo necesario su incremento, con el objetivo de cubrir vacíos de conservación (CONANP, 2015). La finalidad de estos resultados es crear estrategias adecuadas para contribuir tanto al bienestar de la sociedad y al progreso económico, como a la preservación de los procesos naturales y ecológicos de los que depende la vida del planeta (Leverington *et al.*, 2008; Nagendra, 2008; Joppa y Pfaff, 2010; Leverington *et al.*, 2010; Leverington *et al.*, 2010).

La mayor tasa de pérdida de cobertura vegetal se registró entre los años 1980 y 2005, disminuyendo significativamente en los años 2005 al 2011. La reducción de la pérdida de cobertura vegetal a nivel estatal se puede explicar al efecto de diversos procesos socioeconómicos, como el aumento de programas de reforestación y el cambio de políticas ambientales orientadas a promover el cambio uso y cobertura del suelo (Cotler, 2010). La pérdida de cobertura vegetal es uno de los principales factores que afectan las ANP del mundo, siendo más severa en las ANP que se localizan entre los trópicos (Lambin *et al.*, 2001; Lambin *et al.*, 2005; Le Saout *et al.*, 2013; Leisher *et al.*, 2013). Aunque existen pérdidas de cobertura en el interior de las ANP, las pérdidas de cobertura son más evidentes en la periferia, ya que la legislación en materia de cambio de uso del suelo es diferente (Halfpeter, 2007). En el presente estudio se encontró que la magnitud de la pérdida de cobertura fue diferente entre las RTP, donde fue más severo en las RTP que colindan con áreas planas o que están rodeadas de áreas planas (como la Sierra de Tamaulipas) que, en las RTP con pendientes de inclinadas a fuertemente inclinadas, como es el caso de Puerto Purificación y Peña nevada.

La pérdida de cobertura vegetal en las ANP es potenciada por las actividades antrópicas que ocurren en su periferia, ya que tales actividades pueden inducir a los cambios de cobertura dentro de la ANP (Smith, 2003; Mas, 2005; Kintz *et al.*, 2006; DeFries *et al.*, 2007; Bertzky *et al.*, 2012; Beresford *et al.*, 2013). Algunos ejemplos del efecto de la periferia en las ANP son en Egmont (Nueva Zelanda), Wolong (China), Yellowstone (EEUU) y Calackmul (México), los cuales se han presentado pérdidas de cobertura en sus periferias debido a las actividades antrópicas que se realizan en sus periferias (DeFries *et al.*, 2007; Joppa y Pfaff, 2010; Bertzky *et al.*, 2012). A nivel mundial, la mayoría de las ANP se localizan en zonas montañosas, que dificultan a las actividades antrópicas, sin embargo, algunas de las ANP incluyen zonas planas, siendo estas más propicias a ser afectadas por

actividades antrópicas (McDonald *et al.*, 2007; Halffter, 2011). En México, las ANP que presentan la mayor pérdida de cobertura vegetal son Los Tuxtlas y Montes Azules, ya que en estas ANP existen zonas propicias para las actividades antrópicas, debido a que son sistemas montañosos rodeados por planicies (Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008; Halffter, 2011). En el caso de los Tuxtlas, se localiza es un sistema montañoso rodeado por la planicie del sotavento, la cual es afectada principalmente por la actividad ganadera (Urquiza Haas, 2009; Figueroa *et al.*, 2011; Halffter, 2011). La explicación a este fenómeno se debe a que los asentamientos antropogénicos ocurren en pendientes suaves, que favorecen las actividades agropecuarias debido a que facilitan la obtención de recursos alimenticios e hídricos (De Leo y Levin, 1997; Lambin *et al.*, 2001; IUCN, 2005; DeFries *et al.*, 2007; Hansen y DeFries, 2007; Joppa y Pfaff, 2010; Leverington *et al.*, 2010; de Lima *et al.*, 2013). La implementación de estrategias de conservación que reduzcan la pérdida de cobertura vegetal en zonas planas favorecerán la persistencia vegetal y promoverá la conexión con otras áreas (IUCN, 2005; Mas, 2005; Hansen y DeFries, 2007; McDonald *et al.*, 2007; Nagendra, 2008; Joppa y Pfaff, 2010; Leverington *et al.*, 2010).

En el presente estudio se sugiere que la mayor pérdida de cobertura vegetal ocurre en la periferia de la RTP Sierra de Tamaulipas, en donde, de continuar con el proceso de degradación puede conducir a un mayor aislamiento que comprometa la persistencia de las especies que requieren de una mezcla de ambientes para completar su ciclo de vida. La Sierra de Tamaulipas se caracteriza por ser un macizo montañoso ubicado en la planicie costera de Tamaulipas, rodeado por la provincia biogeográfica de la Planicie Costera de Veracruz. El desarrollo de asentamientos urbanos y actividades agropecuarias, se ve favorecido por las condiciones que presenta la planicie costera tales como suelos profundos, bien drenados, con suficiente agua, por lo que la cobertura vegetal que ocurra en esta zona es la más afectada (Cotler, 2010). La vegetación predominante de esta zona son las selvas y matorrales, los cuales fueron los tipos de vegetación que presentaron las mayores pérdidas, siendo estos los más sensibles a las modificaciones ya que surgieron después de la última glaciación y su tendencia es a desaparecer (Pau *et al.*, 2011).

La pérdida de biodiversidad es una de las consecuencias principales de la pérdida de cobertura vegetal, ya que se favorece el aislamiento de poblaciones, dificultando el desplazamiento de las especies entre diversas áreas, disminuyendo el flujo genético y la

viabilidad poblacional (Mas, 2005; McDonald *et al.*, 2007; Nagendra, 2008). Los estudios de pérdida de cobertura vegetal evidencian las zonas con tasas de pérdida altas, pero aún existe la necesidad de evaluar el impacto de estos cambios en otro grupo de especies (Velázquez *et al.*; Turner II *et al.*, 1994; Lambin *et al.*, 2001; Turner II, 2001; Prenzel, 2004; Thuiller *et al.*, 2004; Lepers *et al.*, 2005; Leverington *et al.*, 2010; Paul *et al.*, 2012). La pérdida de cobertura vegetal y los efectos sobre especies de importancia económica, endémicas o bandera son un tema de suma importancia ya que la pérdida de este tipo de especies afecta a un gran número de especies (Fahring, 2003; Burger y Waterhouse, 2009; Boshoff y Kerley, 2010; Beresford *et al.*, 2011; Bertzky *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2013). A nivel mundial, se ha reportado que los cambios de cobertura de terreno mayores ocurren en lugares con una alta diversidad, ya que ofrecen recursos que propician las actividades antropogénicas (de Lima *et al.*, 2013). Por lo que identificar el impacto que tienen las pérdidas de cobertura vegetal en zonas de alta riqueza específica permite priorizar las áreas de conservación. Sin embargo, se ha evidenciado que una parte muy importante de la biodiversidad se encuentra fuera de los límites de estas áreas (Bajracharya y Dahal, 2008; Bertzky *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2013). En México, se calcula que la representación de los tipos de vegetación en el sistema nacional de ANP, es de menos del 50%, quedando el resto en sus periferias (Urquiza Haas, 2009). La evaluación de la riqueza de otros grupos en estas zonas ayuda a identificar las áreas en las cuales es necesario realizar actividades de conservación. La localización de la alta riqueza de hidrófitas y pteridofitas en pendientes suaves, hace necesario implementar medidas inmediatas de conservación, con el objetivo de preservar estas zonas.

La cartografía utilizada en el presente trabajo fue generada por el INEGI. La característica de estos datos, es que fueron obtenidos por diferentes métodos, generando errores en la clasificación de los tipos de vegetación. Por lo que se recomienda crear mapas de cambio utilizando escenas satelitales y utilizar métodos estandarizados de clasificación de la cobertura vegetal, con objetivo de tener datos comparables y precisos. Así mismo, se recomienda realizar estudios multicriterio / multiobjetivo que permitan identificar, priorizar la vocación y el potencial productivo del suelo, para realizar un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Noss *et al.*, 2002; Maass y Regil García, 2010; Eastman, 2012). Por otro lado, es necesario identificar las zonas que presentan un mayor riesgo a su pérdida, que puede afectar los centros de riqueza de cualquier grupo biológico. El método utilizado

para este trabajo es una forma sencilla y fácil de analizar regiones prioritarias y así poder tomar decisiones para aumentar el número de áreas protegidas, con la finalidad de salvaguardar el mayor número de especies.

La Sierra de Tamaulipas fue decretada como ANP en el año 2016, por lo cual se espera que las pérdidas de cobertura que ocurrieron en esta zona se vean reducidas. Sin embargo, el perímetro de la ANP es 8.5% más pequeña que el polígono de la RTP y sólo abarca las zonas que han permanecido sin cambios en la cobertura, por lo que sería necesario ampliar la ANP con una visión de poder recuperar zonas dañadas e involucrar a la población que se encuentra en sus periferias.

2.6 Conclusiones

El presente estudio demostró que existe una alta variación en la pérdida de cobertura vegetal, demostrando que entre los años 1980 y 2005 existió una gran pérdida de cobertura, mientras que entre 2005 y 2011 se caracterizó por una ganancia de cobertura vegetal nativa. La Sierra de Tamaulipas presentó las mayores pérdidas de cobertura en los dos ciclos.

Los tipos de vegetación que presentaron la mayor pérdida de cobertura vegetal, fueron los de tipo tropical. Los cuales tendrían que ser los que se tendrían que tomar más acciones para su protección y se encuentran en las periferias de las RTP.

Las pérdidas de cobertura se presentaron con mayor frecuencia en las zonas que presentaron una pendiente suave, que se localizan en las periferias de las RTP. Las zonas planas se caracterizan por que en ellas se desarrollan con mayor facilidad las actividades agropecuarias.

Las periferias de las RTP presentaron una alta riqueza específica de hidrófitas y gastrópodos terrestres. El interior de las RTP presentó las mayores riquezas de pteridofitas, las cuales se encuentran en menor riesgo por el cambio de cobertura vegetal.

La pérdida de cobertura se asoció con las zonas de mayor riqueza de moluscos terrestres en las periferias de la sierra de Tamaulipas, la cual es una isla montañosa que se localiza en la planicie costera de Tamaulipas y en ese lugar se desarrollan la mayoría de las actividades agropecuarias. La asociación encontrada nos hace proponer esta zona como la más crítica y necesita que se tomen acciones para su preservación.

2.7 Literatura citada

- Aguilar, C., Martínez, E. y Arriaga, L. 2000. Deforestación y fragmentación de ecosistemas: ¿Qué tan grave es el problema en México? *Biodiversitas* 30:7-11.
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. . Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- Beresford, A. E., Buchanan, G. M., Donald, P. F., Butchart, S. H. M., Fishpool, L. D. C. y Rondinini, C. 2011. Poor overlap between the distribution of protected areas and globally threatened birds in Africa. *Animal Conservation* 14:99-107.
- Beresford, A. E., Eshiamwata, G. W., Donald, P. F., Balmford, A., Bertzky, B., Brink, A. B., Fishpool, L. D., Mayaux, P., Phalan, B., Simonetti, D. y Buchanan, G. M. 2013. Protection reduces loss of natural land-cover at sites of conservation importance across Africa. *PLOS ONE* 8:e65370.
- Bertzky, B., Corrigan, C., Kemsey, J., Kenney, S., Ravilious, C., Besançon, C. y Burgess, N. 2012. Protected Planet Report 2012: Tracking progress towards global targets for protected areas. Cambridge, UK.
- Boshoff, A. F. y Kerley, G. I. H. 2010. Historical mammal distribution data: how reliable are written records? *South African Journal of Science* 106:1-8.
- Burger, A. E. y Waterhouse, F. L. 2009. Relationships between habitat area, habitat quality, and populations of nested marbled murrelets. *BC Journal of Ecosystems and Management* 10:101-112.
- CONANP. 2007. Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2007-2012. México, D.F.
- CONANP. 2015. Estrategia de cambio climático desde las áreas naturales protegidas: Una convocatoria para la resiliencia de México (2015-2020). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Mexico. 60pp.
- Correa-Sandoval, A., Strenth, N. E., Rodríguez-Castro, R. y Horta-Vega, J. V. 2009. Análisis ecológico básico de los gastrópodos terrestres de la región oriental de San Luis Potosí, México. *Acta Zoologica Mexicana* (n. s.) 1:105-122.
- Correa-Sandoval, A. y Thompson, F. G. 2005. Gastrópodos terrestres de Tamaulipas. p. 97 *In: L. Barrientos-Lozano, A. Correa-Sandoval, J. V. Horta-Vega y J. García-Jimenez (Eds.). Biodiversidad Tamaulipeca. Dirección General de Educación Superior Tecnológica-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, . Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.*
- Correa, A., Martínez, V., Horta, J. y Castro, I. 2012. Zoogeografía de los gasterópodos terrestres del sur de Tamaulipas, México. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*.
- Cotler, A. H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. INE, México.
- Challenger, A., Dirzo, R., López Acosta, J. C., Mendoza, E., Lira-Noriega, A. y Cruz, I. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. pp. 37-73 *In: CONABIO (Eds.). Capital natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. México.*

- De Leo, G. A. y Levin, S. 1997. The Multifaceted Aspects of Ecosystem Integrity. *Conservation Ecology* (online) 1.
- de Lima, R. F., Dallimer, M., Atkinson, P. W. y Barlow, J. 2013. Biodiversity and land-use change: understanding the complex responses of an endemic-rich bird assemblage. *Diversity and Distributions* 19:411-422.
- DeFries, R. 2008. Terrestrial Vegetation in the Coupled Human-Earth System: Contributions of Remote Sensing. *Annual Review of Environment and Resources* 33:369-390.
- DeFries, R., Hansen, A., Turner, B. L., Reid, R. y Liu, J. 2007. Land use change around protected areas: Management to balance human needs and ecological function. *Ecological Applications* 17:1031-1038.
- Fahring, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review in Ecology, Evolution and Systematics* 34:487-515.
- FAO. 2014. State of the world's forests. Food and Agriculture Organization (FAO) Rome.
- Ferreira, S., Daemane, M., Deacon, A., Sithole, H. y Bezuidenhout, H. 2013. Efficient Evaluation of Biodiversity Concerns in Protected Areas. *International Journal of Biodiversity* 2013:12.
- Figuerola, F. y Sánchez-Cordero, V. 2008. Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation* 17:3223-3240.
- Figuerola, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, 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.
- Flores, V. O. y Gerez, P. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. . 2ª edición edition. CONABIO-UNAM. , México. . 439pp.
- Halffter, G. 2007. Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica. *Monografías Tercer milenio*, Zaragoza, España. 360pp.
- Halffter, G. 2011. Reservas de la Biosfera: Problemas y Oportunidades en México. *Acta zoológica mexicana* 27:177-189.
- Hansen, A. J. y DeFries, R. 2007. Ecological mechanisms linking protected areas to surrounding lands. *Ecological Applications* 17:974-988.
- Hirzel, A. H. y Le Lay, G. 2008. Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology* 45:1372-1381.
- IUCN. 2005. Benefits beyond boundaries: Proceedings of the Vth IUCN World Parks Congress. . G. IUCN, Switzerland and Cambridge, UK.
- James, F. C. y McCulloch, C. E. 1990. Multivariate analysis in ecology and systematics: panacea or pandora box? *Annual Review in Ecology, Evolution and Systematics* 21:129-166.
- Joppa, L. N. y Pfaff, A. 2010. Global protected area impacts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*.
- Kintz, D. B., Young, K. R. y Crews-Meyer, K. A. 2006. Implications of land use/land cover change in the buffer zone of a national park in the tropical Andes. *Environ Manage* 38:238-252.
- Lambin, E. F., Geist, H. J. y Lepers, E. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review in Environmental Resources* 28:205-241.

- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbersson, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, C. y Xu, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11:261-269.
- Le Saout, S., Hoffmann, M., Shi, Y., Hughes, A., Bernard, C., Brooks, T. M., Bertzky, B., Butchart, S. H. M., Stuart, S. N., Badman, T. y Rodrigues, A. S. L. 2013. Protected Areas and Effective Biodiversity Conservation. *Science* 342:803-805.
- Legendre, P. y Legendre, L. 2003. *Numerical Ecology*. Elsevier, Paris. 853pp.
- Leisher, C., Touval, J., Hess, S., Boucher, T. y Reymondin, L. 2013. Land and Forest Degradation inside Protected Areas in Latin America. *Diversity* 5:779-795.
- Lepers, E., Lambin, E. F., Janetos, A. C., DeFries, R. S., Achard, F., Ramankutty, N. y Scholes, R. J. 2005. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. *Bioscience* 55:115-124.
- Leverington, F., Costa, K., Pavese, H., Lisle, A. y Hockings, M. 2010. A Global Analysis of Protected Area Management Effectiveness. *Environmental Management* 46:685-698.
- Leverington, F., Hockings, M., Pavese, H., Lemos Costa, K. y Courrau, J. 2008. Management effectiveness evaluation in protected areas - A global study. Supplementary report No. 1: overview of approaches and methodologies. Queensland.
- Leverington, F., Lemos Costa, K., Courrau, J., Pavese, H., Nolte, C., Marr, M., Coad, L., Burgess, N. D., Bomhard, B. y Hockings, M. 2010. Management effectiveness evaluating in protected areas - a global study. Second edition. The University of Queensland, Queensland. 101pp.
- Leverington, F., Lemos Costa, K., Pavese, H., Lisle, A. y Hockings, M. 2010. A global analysis of protected area management effectiveness. *Environmental Management*.
- Lugo, H. J. 1988. *Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos)*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 128pp.
- Maass, S. F. y Regil García, H. H. 2010. IDRISI como herramienta para la evaluación de áreas naturales protegidas. El caso del parque nacional de Nevado de Toluca. *Revista Geográfica de América Central No Especial II Semestre* 127-149.
- March Mifsut, I. J. y Flamenco Sandoval, A. 1996. Evaluación rápida de la deforestación en las áreas naturales protegidas de Chiapas (1970-1993). Chiapas.
- Martínez-Salas, E. y Ramos, C. H. 2014. Biodiversidad de Pteridophyta en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad Suplemento* 85:110-114.
- Mas, J.-F. 2005. Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environmental Monitoring and Assessment* 105:69-80.
- Mascia, M. B. y Pailler, S. 2011. Protected area downgrading, downsizing, and degazettement (PADDD) and its conservation implications. *Conservation Letters* 4:9-20.
- McDonald, R. I., Yuan-Farrell, C., Fievet, C., Moeller, M., Kareiva, P., Foster, D., Gragson, T. E. D., Kinzig, A. N. N., Kuby, L. y Redman, C. 2007. Estimating the Effect of Protected Lands on the Development and Conservation of Their Surroundings. *Conservation Biology* 21:1526-1536.

- Mickel, J. T. y Smith, A. R. 2004. The pteridophytes of Mexico. Memoirs of the New York Botanical Garden.
- Mora-Olivo, A. y Villaseñor, J. 2007. Diversidad y distribución de la flora vascular acuática de Tamaulipas, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 1:511-527.
- Mora-Olivo, A., Villaseñor, J. L., Luna-Vega, I. y Morrone, J. J. 2008. Patrones de distribución de la flora vascular acuática estricta en el estado de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79:435-448.
- Nagendra, H. 2008. Do parks work? Impact of protected areas on land cover clearing. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 37:330-337.
- Noss, R. F., Carroll, C., Vance-Borland, K. y Wuerthner, G. 2002. A multicriteria assessment of the irreplaceability and vulnerability of sites in the greater Yellowstone ecosystem. *Conservation Biology* 16:895-908.
- Pau, S., Wolkovich, E. M., Cook, B. I., Davies, T. J., Kraft, N. J. B., Bolmgren, K., Betancour, J. L. y Cleland, E. E. 2011. Predicting phenology by integrating ecology, evolution and climate science. *Global Change Biology* 17:3633-3643.
- Paul, A. G., Hammen, V. C., Hickler, T., Karlson, E. G., Jones, K. C. y Sweetman, A. J. 2012. Potential implications of future climate and land-cover changes for the fate and distribution of persistent organic pollutants in Europe. *Global Ecology & Biogeography* 21:61-74.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. y Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- Prenzel, B. 2004. Remote sensing-based quantification of land-cover and land-use change for planning. *Progress in Planning* 61:281-299.
- Ricketts, T. H., Dinerstein, E., Boucher, T., Brooks, T. M., Butchart, S. H. M., Hoffmann, M., Lamoreux, J. F., Morrison, J., Parr, M., Pilgrim, J. D., Rodrigues, A. S. L., Sechrest, W., Wallace, G. E., Berlin, K., Bielby, J., Burgess, N. D., Church, D. R., Cox, N., Knox, D., Loucks, C., Luck, G. W., Master, L. L., Moore, R., Naidoo, R., Ridgely, R., Schatz, G. E., Shire, G., Strand, H., Wettengel, W. y Wikramanayake, E. 2005. Pinpointing and preventing imminent extinctions. *Proc Natl Acad Sci U S A* 102:18497-18501.
- Richards, C. L., Carstens, B. C. y Lacey Knowles, L. 2007. Distribution modelling and statistical phylogeography: an integrative framework for generating and testing alternative biogeographical hypotheses. *Journal of Biogeography* 34:1833-1845.
- Sánchez Colón, S., Flores Martínez, A., Cruz-Leyva, I. A. y Velázquez, A. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. pp. 75-129 *In: CONABIO (Eds.). Capital natural de México, Estado de conservación y tendencias de cambio.* CONABIO. México.
- Sculthorpe, C. D. 1985. The biology of vascular plants, London.
- Smith, J. H. 2003. Land-cover assessment of conservation and buffer zones in the BOSAWAS natural resource reserve of Nicaragua. *Environ Manage* 31:252-262.
- Thuiller, W., Araújo, M. B. y Lavorel, S. 2004. Do we need land-cover data to model species distributions in Europe?. *Journal of Biogeography* 31:353-361.
- Torres, R. J. M. 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020: Informe nacional México. FAO-SEMARNAT, D. F.
- Treviño-Carreón, J. y Valiente-Banuet, A. 2005. La vegetación de Tamaulipas y sus principales asociaciones vegetales. *In: L. Barrientos Lozano, A. Correa Sandoval, J.*

- V. Horta Vega y J. García Jiménez (*Eds.*). Biodiversidad Tamaulipeca. Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, DGEST–SEP,. Cd. Victoria, Tam., México.
- Turner II, B. L. 2001. Land-Use and Land-Cover Change: Advances in 1.5 Decades of Sustained International Research1). *Emergent: Sustainability Science*:269-272.
- Turner II, B. L., Meyer, W. B. y Skole, D. L. 1994. Global Land-Use/Land-Cover Change: Towards an Integrated Study. *Integrating Earth System Science* 23:91-95.
- Urquiza Haas, E. G. 2009. Análisis de capacidades nacionales para la conservación in situ. pp. 51-94 *In*: C. N. p. e. C. y. U. d. l. B. (CONABIO) y P. d. l. N. U. p. e. D. (PNUD) (*Eds.*). México: Capacidades para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad. CONABIO - PNUD. Mexico, D.F.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Días-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alncántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. y Palacio, J. L. Land-use vegetation patterns and change in México.
- Venegas-Barrera, C. S., Correa-Sandoval, A., Mora-Olivo, A. y Horta-Vega, J. V. 2015. Representatividad geográfica y ambiental de los registros de gastrópodos, pteridofitas y plantas acuáticas en el estado de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86:719-729.

Capítulo III. Efecto de la variación en la temperatura en los cambios de cobertura del terreno

3 Introducción

La mayoría de los estudios de cambio de uso de suelo se enfocan en describir los cambios cobertura a lo largo del tiempo, sin relacionar tales cambios con otros factores causales, como las variables del clima tales como la temperatura, la precipitación y físicas del sitio tales como la pendiente y la elevación (Lambin *et al.*, 2001). Los modelos de Cambio de Uso y Cobertura del Terreno (CUCT) mezclan diferentes perspectivas y métodos para analizar el cambio de uso y la cobertura. Sin embargo, su interpretación se dificulta cuando se incluye el efecto de diversos factores y sus magnitudes en el cambio. El presente estudio se basa en el Modelo Empíricamente Ajustado (Empirically Fitted Model) (Hersperger *et al.*, 2010), el cual utiliza como variable dependiente el cambio de cobertura vegetal de las clases vecinas, teniendo en cuenta que la información espacio temporal no es estacionaria y presenta probabilidades de transición (Turner, 1987; Sklar y Costanza, 1991; Brown *et al.*, 2000). El modelo se aplica cuando se incluyen variables que cambian a lo largo del tiempo, como es el caso de la temperatura, precipitación y los puntos de calor, así como variables que son constantes como es el caso de la elevación y el grado de pendiente.

El clima es dinámico en tiempo y en espacio y juega un papel fundamental en la permanencia y distribución de los seres vivos (Brovquin, 2002). Las variaciones incluyen descensos (de un año cálido a uno frío) e incrementos (de un año cálido a uno frío) de la temperatura con respecto de la media histórica, que pueden afectar al desarrollo y permanencia de la vegetación (Challenger *et al.*, 2009; Letten *et al.*, 2013). Sin embargo, el descenso en la temperatura ocasiona un incremento en la distribución de las especies con afinidad templada y reduce la distribución en la vegetación de afinidad tropical, por el contrario, el incremento de temperatura afecta a la vegetación templada y favorece a la tropical (Jump *et al.*, 2009; Pau *et al.*, 2011). El incremento en la temperatura y la reducción de la precipitación pueden conducir al desplazamiento de hasta 130 m en la distribución vertical de especies de árboles (Theurillat y Guisan, 2001; Viau *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2003; Thuiller y Albert, 2008; Jump *et al.*, 2009; Van der Putten, 2012), arbustos (Thuiller y Albert, 2008; Jump *et al.*, 2009; Adams, 2010) y epifitas (Root *et al.*, 2003; Kelly y Goulden, 2008; Adams, 2010).

Los ecosistemas que están sujetos a oscilaciones bajas en la temperatura y precipitación suelen estar compuestos por especies de plantas que cuentan con diversos mecanismos estabilizadores (eco-fisiológicos y demográficos) que compensan el aumento o disminución de temperatura (Adams, 2010; Lloret *et al.*, 2012). En el caso de los sistemas donde el incremento en la temperatura ocurre con mayor frecuencia los cambios en la cobertura tienden a ser permanentes y tienen el potencial de poner en riesgo a la biodiversidad, ya que estos cambios generalmente favorecen la pérdida de cobertura vegetal (Brovquin, 2002; Hackett, 2009; Pitman *et al.*, 2012). Por ejemplo, algunos trabajos indican que el calentamiento global está incrementando la mortalidad de especies forestales de varios ecosistemas de Estados Unidos y Canadá (van Mantgem *et al.*, 2009; Lloret *et al.*, 2012).

El aumento en la temperatura y la reducción en la precipitación, además, pueden favorecer las condiciones para la generación de incendios (Prieto-Torres *et al.*, 2016). Los incendios forestales contribuyen a los cambios en la cobertura de terreno. La detección temprana de incendios potenciales se realiza a través de escenas satelitales, a lo que se conoce como puntos de calor (Arredondo Bautista y Rodríguez Chavez, 2005; CONABIO, 2016). Sin embargo, un punto de calor no necesariamente significa que ese lugar está por incendiarse o que sucedió un incendio (Aguilar *et al.*, 2000; Challenger *et al.*, 2009). Por lo tanto, es necesario entender cómo se relaciona la frecuencia de los puntos de calor con la pérdida de cobertura vegetal.

El caso de las variables que son continuas en el espacio, las más utilizadas son la elevación y el grado de pendiente. La elevación, como factor indirecto del clima, tiene influencia tanto en la temperatura como en la precipitación, ya que en la troposfera entre mayor elevación disminuye la temperatura y aumenta la precipitación (Rodríguez Jiménez *et al.*, 2012). La elevación *per se* no determina la distribución de las especies, pero es un factor indirecto que se asocia a las condiciones necesarias para el establecimiento de ciertos tipos de cobertura vegetal y si ocurren variaciones climáticas pueden desplazar, modificar u ocasionar la pérdida de cobertura (Root *et al.*, 2003; Ries y Sisk, 2010). Por otro lado, la pendiente juega un papel fundamental en la conservación de la cobertura vegetal, ya que se ha demostrado que las actividades humanas se desarrollan en zonas planas o en pendientes que van de suaves a moderadas, aunque existen casos en los cuales las superficies con altas pendientes también son desmontanadas para dedicarlas a la agricultura temporalera (Lugo,

1988; McDonald, *et al.*, 2007). Por lo tanto, es necesario analizar los cambios y modificaciones de la cobertura del terreno debido al efecto de las variaciones en la temperatura, precipitación, la elevación y en qué tipo de pendiente ocurren estos cambios.

Las variaciones en el incremento de temperatura en periodos menores de 10 años, pueden conducir a la pérdida de cobertura vegetal en ambientes templados (Root *et al.*, 2003). Por ejemplo, en *Pinus edulis*, *Juniperus monosperma*, *Pinus ponderosa* y *Pinus nigra*; especies de montaña en Estados Unidos y Canadá, mostraron que el rápido aumento en la temperatura limitó su distribución (Bréda *et al.*, 2006; Kelly y Goulden, 2008; Jump *et al.*, 2009; Koepke *et al.*, 2010). En contraste, en ambientes tropicales la reducción de temperatura puede ocasionar la mortandad de plantas.

El impacto de las variaciones en los incrementos de la temperatura ha impulsado la creación de escenarios a futuros, los cuales predicen que en los próximos 20 años la vegetación en las zonas montañosas tendrá una distribución más restringida y las planicies serán los sitios con mayor inestabilidad climática (Flanagan y Johnson, 2005; Pau *et al.*, 2011; IPCC, 2013; Hewson *et al.*, 2014). Por lo cual, es necesario analizar los cambios en la cobertura vegetal en función de los tipos de variaciones en la temperatura, la precipitación, la elevación y la pendiente, que ocurrieron en los últimos 30 años, periodo en que se pronostica que se comenzaran a observar si continúa el cambio climático. El presente estudio estimó la asociación entre el cambio de cobertura del terreno con la elevación, pendiente, el incremento-disminución de la temperatura y precipitación en tres regiones terrestres prioritarias para la conservación. El trabajo espera encontrar que la mayor pérdida de cobertura del terreno ocurre en sitios que presentaron un aumento considerable en la temperatura y disminución en la precipitación en sitios con una baja altitud que presentan pendientes suaves.

3.1 Hipótesis

Si el clima afecta directamente el crecimiento y desarrollo de las plantas, entonces se espera que, en las zonas con elevaciones mayores a 1400 msnm, con pendientes suaves que presenten un incremento en la temperatura se presentaran las pérdidas de cobertura vegetal y en las zonas menores a 1400 msnm con pendientes suaves en las que la temperatura disminuya ocurrirán las pérdidas de cobertura.

3.2 Objetivo general

Analizar los cambios en la cobertura del terreno de las RTP “El Cielo”, Sierra de Tamaulipas y la Sierra de San Carlos, con respecto a su altitud y pendiente en los ciclos de incremento y disminución de temperatura y precipitación que ocurrieron entre los años de 1985 al 2008.

3.2.1 Objetivos particulares

-) Estimar la tasa de cambio en las RTP de “El Cielo”, la Sierra de Tamaulipas y la Sierra de San Carlos.
-) Estimar si las pérdidas de cobertura ser deben a los puntos de calor que ocurren en las tres RTP.
-) Asociar la magnitud de cambio de la temperatura y precipitación con los cambios de cobertura del terreno.
-) Analizar si existe los puntos de calor están relacionados con la perdida de cobertura vegetal en las RTPs

3.3 Métodos

El estudio se realizó en tres regiones terrestres prioritarias para la conservación (RTP) del estado de Tamaulipas, México (Sierra de San Carlos, Sierra de Tamaulipas y El Cielo, el cual se encuentra dentro de un área protegida) (Figura 11).

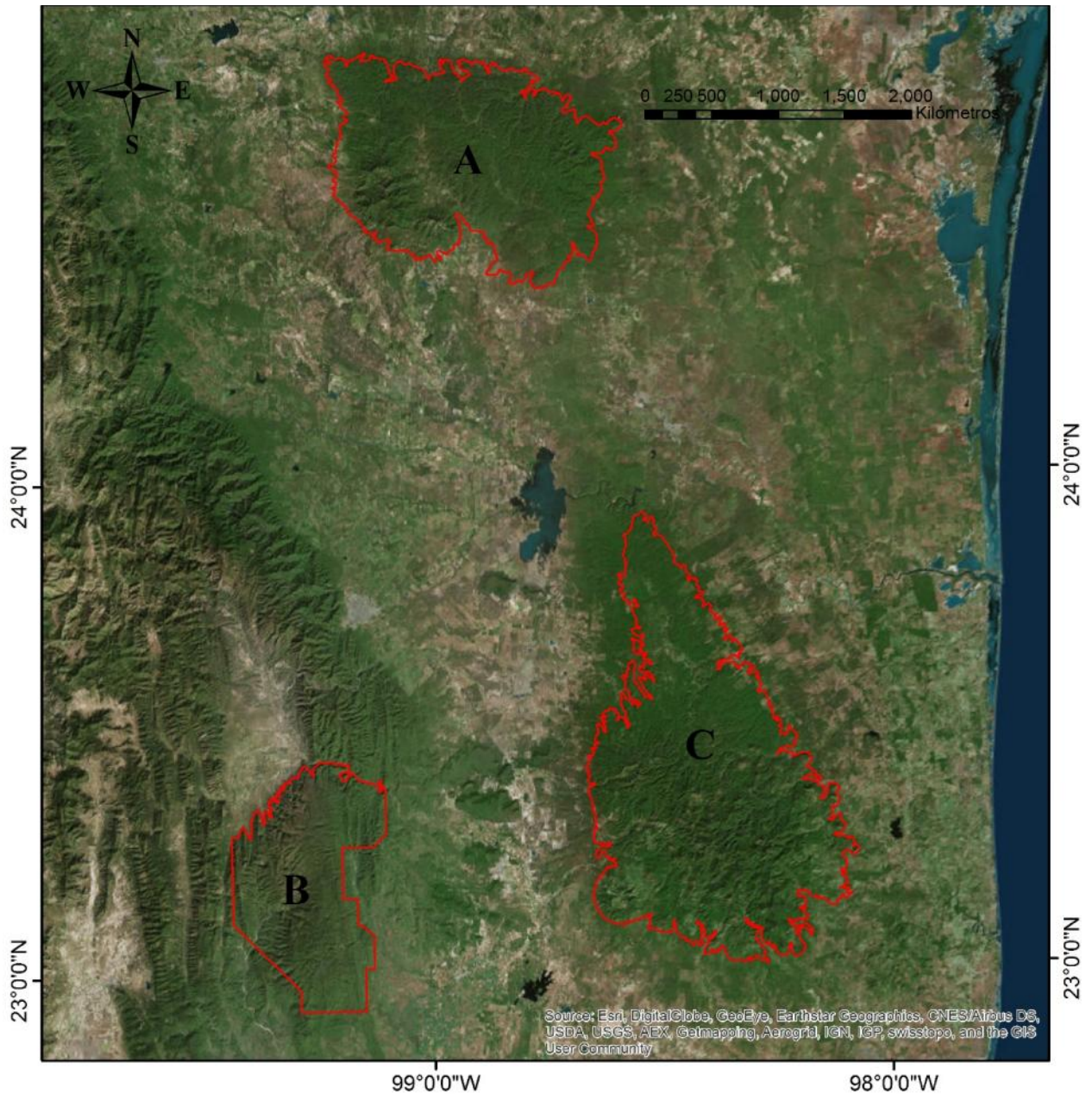


Figura 11. Localización de las tres regiones terrestres. A=Sierra de San Carlos, B=El Cielo y C=Sierra de Tamaulipas.

3.3.1 Elección ciclos cálidos-fríos y fríos-cálidos

Los cambios en la cobertura del terreno de las tres RTP de Tamaulipas, México (Sierra de San Carlos, Sierra de Tamaulipas y El Cielo) se realizó entre años en donde se presentaron periodos cálidos a fríos y de fríos a cálidos de los años 1979 a 2010. Las variaciones en la temperatura se agruparon en descenso e incremento de temperatura en función de los valores

extremos del análisis de variación de la temperatura. Los valores extremos de la temperatura fueron calculados con unidades estándar, los cuales se calculan se obtienen de la resta de la temperatura menos la media entre la desviación estándar. El ciclo de descenso de temperatura incluyó a los años en que presentó un año cálido (por encima de una unidad estándar) y posteriormente un año frío (por debajo de una unidad estándar). El incremento de temperatura paso de un año con temperatura por debajo de una unidad estándar y termino en un año con por encima del umbral reportado. La variación en la temperatura de las tres RTP se obtuvo de los registros de la temperatura del Atlas Climático de la Universidad Nacional Autónoma de México de (UNAM) (Fernandez-Eguiarte *et al.*, 2016), para los cual se generaron 90 puntos al azar dentro de cada RTP. Los datos obtenidos se estandarizaron para identificar los años en que se presentaron temperaturas por encima o por debajo de una unidad estándar. Los años fueron separados en cálidos (1985, 1993, 1998, 2003 y 2008) y fríos (1990, 1995, 1999 y 2005) (Figura 12).

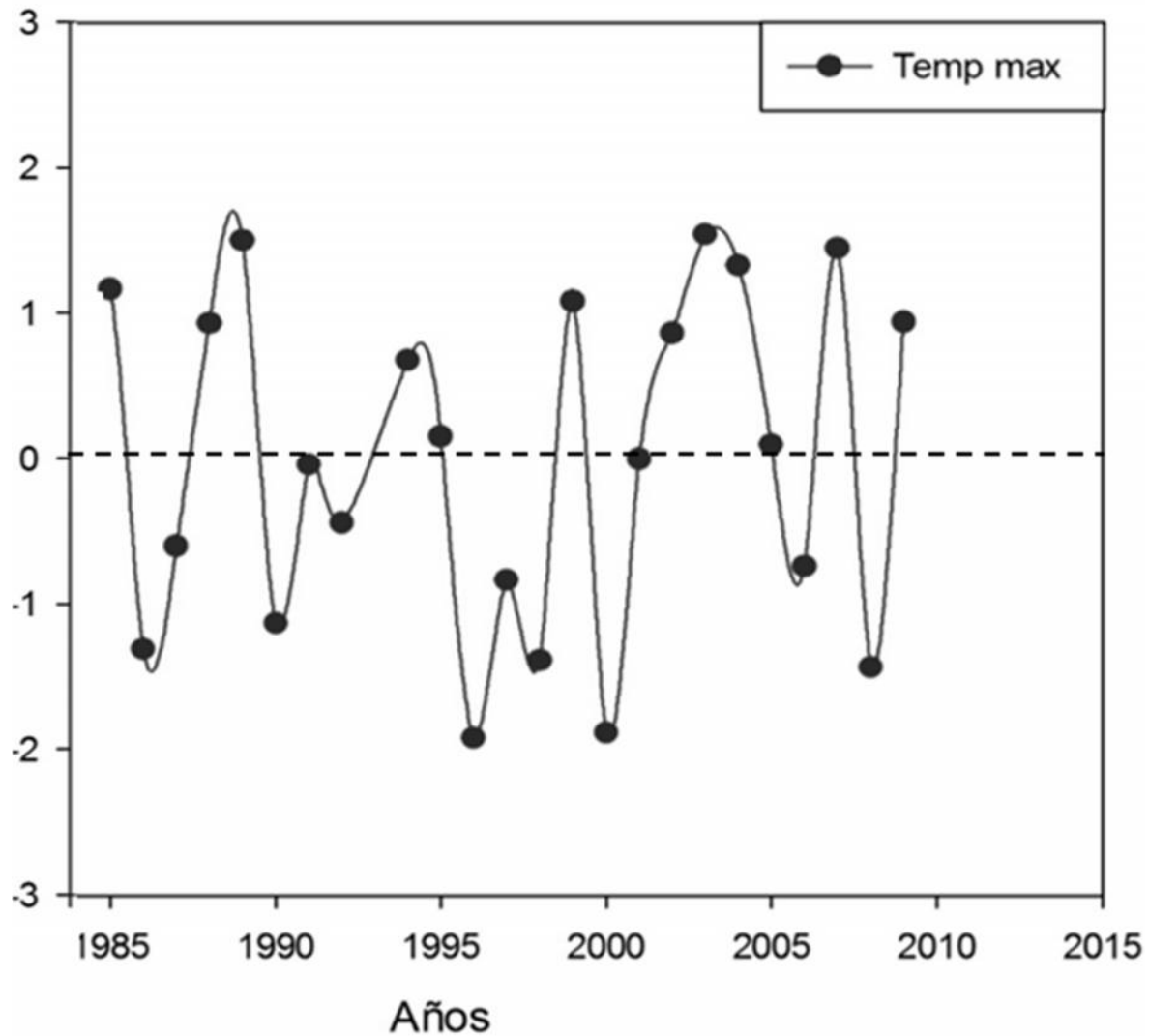


Figura 12. Variación de la temperatura de 1985 al 2010.

3.3.2 Cobertura de Terreno

Los años cálidos y fríos fueron utilizados para seleccionar las escenas satelitales, las cuales fueron obtenidas de Global Visualization (GLOVIS, glovis.usgs.gov/) de los sensores MSS y TM (Path: 26, 27 y 27, Row: 44, 44 y 43) (Tabla 5, Figura 13). Las 27 escenas LANDSAT y 24 SPOT fueron corregidas geográficamente con 50 puntos de control con el método de convolución cúbica (Schowengerdt, 2007; Sanderson, 2010). El contraste de las escenas fue mejorado con el método de extracción de objetos oscuros (Chavez, 1988), en el cual se eliminan los números digitales que se encuentran en el extremo izquierdo del histograma con valor cero. Además, para corregir los errores y anomalías en la detección de los sensores de

barrido, con relación al movimiento del espejo del satélite, se realizó la corrección radiométrica (Kardoulas *et al.*, 1996) con el complemento (plugin) Semi-Automatic Classification utilizando el programa QGIS (ver. 2.14.2). Los rasters obtenidos de las escenas LANDSAT y SPOT se transformaron en polígonos, con los cuales se realizó la extracción de la información.

Tabla 5. Escenas satelitales utilizadas en el estudio.

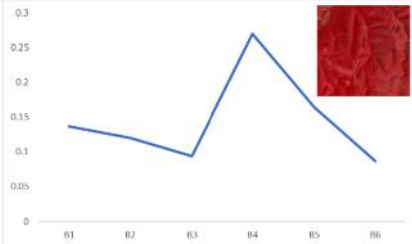
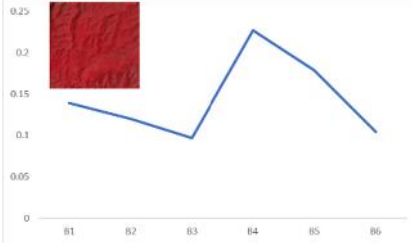
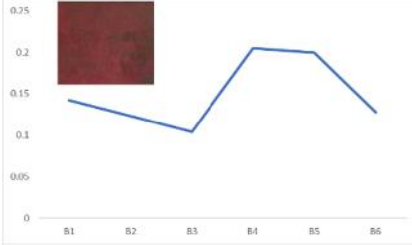
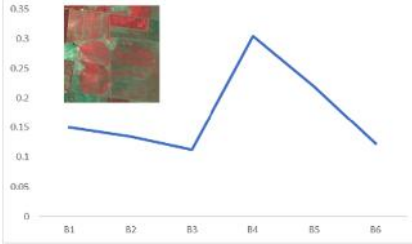
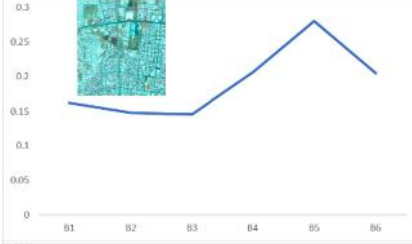
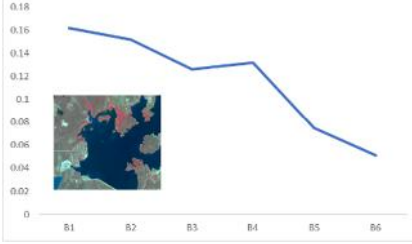
RTP	Path	Row	Clave	Año	Sensor	Fecha de obtención
El Cielo	27	44	LM50270441985134XXX03	1985	MSS	14/05/1985
San Carlos	27	43	LM50270431986025AAA03	1985	MSS	25/01/1986
Sierra de Tamaulipas	26	44	LM50260441985031AAA03	1985	MSS	31/01/1985
El Cielo	27	44	LT40270441990028XXX02	1990	TM	28/01/1990
San Carlos	27	43	LT50270431990084XXX02	1990	TM	25/03/1990
Sierra de Tamaulipas	26	44	LT50260441990045XXX01	1990	TM	14/02/1990
El Cielo	27	44	LT50270441993076AAA05	1993	TM	17/03/1993
San Carlos	27	43	LT50270431993076AAA05	1993	TM	17/03/1993
Sierra de Tamaulipas	26	44	LT50260441993053AAA04	1993	TM	22/02/1993
El Cielo	27	44	LT50270441995066XXX03	1995	TM	07/03/1995
San Carlos	27	43	LT50270431995034XXX01	1995	TM	03/02/1995
Sierra de Tamaulipas	26	44	LT50260441995027XXX03	1995	TM	27/01/1995
El Cielo	27	44	LT50270441998010XXX01	1998	TM	10/01/1998
San Carlos	27	43	LT50270431998042XXX02	1998	TM	11/02/1998
Sierra de Tamaulipas	26	44	LT50260441998035XXX02	1998	TM	04/02/1998
El Cielo	27	44	LT50270441999013AAA02	1999	TM	13/01/1999
San Carlos	27	43	LT50270431999045XXX01	1999	TM	14/02/1999
Sierra de Tamaulipas	26	44	LT50260441999022XXX02	1999	TM	22/01/1999
El Cielo	27	44	LT50270442003040LGS01	2003	TM	09/02/2003
San Carlos	27	43	LE70270432003048EDC00	2003	ETM+	17/02/2003
Sierra de Tamaulipas	26	44	LT50260442003033LGS01	2003	TM	02/02/2003
El Cielo			E55843010501141J1A06002	2005	SPOT 5	14/01/2005
El Cielo			E55843020502151J1A08002	2005	SPOT 5	15/02/2005
El Cielo			E55843030502151J1A03004	2005	SPOT 5	15/02/2005
San Carlos			E55853010503292J1A02002	2005	SPOT 5	29/03/2005
San Carlos			E55853020501151J1A00003	2005	SPOT 5	15/01/2005
San Carlos			E55853030501151J1A06005	2005	SPOT 5	15/01/2005
Sierra de Tamaulipas			E55853040501151J1A02004	2005	SPOT 5	15/01/2005
Sierra de Tamaulipas			E55853050502152J1A05002	2005	SPOT 5	15/02/2005
Sierra de Tamaulipas			E55883010501101J1A06003	2005	SPOT 5	10/01/2005
Sierra de Tamaulipas			E55883020501201J1A03002	2005	SPOT 5	20/01/2005
Sierra de Tamaulipas			E55883030501201J1A09004	2005	SPOT 5	20/01/2005
Sierra de Tamaulipas			E55883040503291J1A02002	2005	SPOT 5	29/03/2005

Continuación de la tabla...

RTP	Path	Row	Clave	Año	Sensor	Fecha de obtención
El Cielo			E55843000703061J1A04001	2008	SPOT 5	06/03/2007
El Cielo			E55843010702181J1A05002	2008	SPOT 5	18/02/2007
El Cielo			E55843020702132J1A04001	2008	SPOT 5	13/02/2007
San Carlos			E55843030706071J1A00001	2008	SPOT 5	08/02/2007
San Carlos			E55843040702082J1A07001	2008	SPOT 5	08/02/2007
San Carlos			E55853020705281J1A00002	2008	SPOT 5	28/05/2007
Sierra de Tamaulipas			E55853040705281J1A00001	2008	SPOT 5	28/05/2007
Sierra de Tamaulipas			E55853050703061J1A07001	2008	SPOT 5	06/03/2007
Sierra de Tamaulipas			E55853060703061J1A00001	2008	SPOT 5	06/03/2007
Sierra de Tamaulipas			E55863000702241J1A05001	2008	SPOT 5	24/02/2007
Sierra de Tamaulipas			E55863010707141J1A01002	2008	SPOT 5	14/07/2007
Sierra de Tamaulipas			E55863020702241J1A06004	2008	SPOT 5	24/02/2007

La clasificación de las escenas satelitales se realizó con una combinación de la clasificación no supervisada (segmentación) y una supervisada (máxima verosimilitud) en el programa IDRISI Selva. La segmentación buscó conjuntos de píxeles continuos similares en su firma espectral, a los que se les asignó una clasificación y fueron utilizados como campos de entrenamiento en la clasificación de máxima verosimilitud (Lillesand y Kiefer, 1994). Los tipos de cobertura utilizados fueron definidos en función de las capas temáticas de uso de suelo y vegetación de la serie I, II, III y IV de INEGI, así como de la inspección visual de la escena. Los tipos de cobertura que se utilizaron para la clasificación de las escenas satelitales fueron: bosques, selvas, matorrales, cultivos, ciudades y agua (tabla 6). Las clasificaciones fueron validadas, con verificaciones en campo, para lo cual se utilizaron 30 puntos al azar. A partir de ello, se realizó la prueba de desacuerdo y asignación para estimar la exactitud de la clasificación (Pontius y Millones, 2011). La prueba de desacuerdo y asignación estima la cantidad de diferencia entre los datos de referencia y la clasificación obtenida analizando la coincidencia de los datos con las categorías, con la finalidad de obtener las proporciones de los datos de referencia y la clasificación obtenida (Pontius y Millones, 2011).

Tabla 6. Tipos de cobertura utilizada para las clasificaciones de las escenas. Las gráficas representan el valor de reflectancia de cada una de las clases por banda.

Cobertura	Descripción	Ejemplo
Bosques	La clase de bosques comprendió tipos de vegetación de tipo templada, que presentaron los siguientes valores espectrales	
Selvas	La clase de selvas estuvo constituida por coberturas de origen tropical, que presentaron los siguientes valores espectrales.	
Matorrales	La clase de matorrales estuvo conformada por los matorrales que presentaron los siguientes valores espectrales.	
Cultivos	La clase de cultivos está constituida por zonas las cuales presentan patrones geométricos con los siguientes valores espectrales.	
Ciudades	La clase de ciudades estuvo conformada por zonas que presentaron un valor espectral de.	
Agua	La clase de agua estuvo conformada por los cuerpos de agua, que presentaron los siguientes valores espectrales.	

La identificación de los cambios en los tipos de vegetación se realizó cruzando los mapas entre los dos periodos. Las tablas obtenidas se utilizaron para generar la matriz de transición, que muestra numéricamente los cambios ocurridos en el periodo (Maass y Regil García, 2010). Los cambios encontrados fueron de cinco tipos como se muestra en la tabla 7. La pérdida y ganancia fueron utilizados para calcular la a tasa de perdida y ganancia por cada uno de los ciclo por RTP, estimándola como el porcentaje de área que ha sido transformada anualmente, en promedio, durante el periodo de estudio (Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008):

$$T = \frac{(S_2 - S_1)/S_t}{T} \times 100$$

Dónde: TC= tasa de cambio, S_1 = superficie transformada inicial, S_2 = superficie transformada final, S_t = superficie evaluada total y T= años transcurridos

Tabla 7. Clases de cambio de cobertura que se analizaron.

Clase de cambio	Descripción de cambio en las coberturas
Persistentes nativas	Áreas con cobertura nativa que fue presente en los dos años
Persistentes modificadas	Áreas con cobertura modificadas que fue presente en los dos años
Pérdida de cobertura	Cambio de una cobertura nativa a una antrópica
Recambio	Cambio entre coberturas nativas
Ganancia	Cambio de cobertura antrópica a nativa

Variables climáticas

Las variaciones en la temperatura promedio y precipitación total anual se obtuvieron de las superficies climáticas que fueron creadas con datos de 263 estaciones meteorológicas del CLICOM (<http://clicom-mex.cicese.mx/>) (Figura 14). Los datos de las estaciones meteorológicas se interpolaron utilizando el método de Kriging y posteriormente se les realizo una corrección con la elevación, utilizando la formula $R_{(x,y)} = R_D + (\Gamma(Z_{(x,y)}^D - Z_d))$, donde $R_{(x,y)}$ es la capa obtenida, R_D la temperatura determinada, Γ el factor de incremento de la temperatura con respecto a la altitud, $Z_{(x,y)}^D$ la capa de altitud y Z_d la elevación estandarizada, como lo indica el método de Fries *et al.* (2012). El método supone

que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. Las capas obtenidas de temperatura y precipitación fueron restadas entre años (1985 – 1990, 1990 – 1993, 1993 – 1995, 1995 – 1998, 1998 – 1999, 1999 – 2003, 2003 – 2005 y 2005 – 2008). El resultado de esta sustracción fue multiplicado por -1 para encontrar los sitios donde existió un aumento tanto en la temperatura como en la precipitación, por último, se reclasificaron las capas, de temperatura por grado de cambio y de precipitación se hicieron grupos cada 200 mm de diferencia.

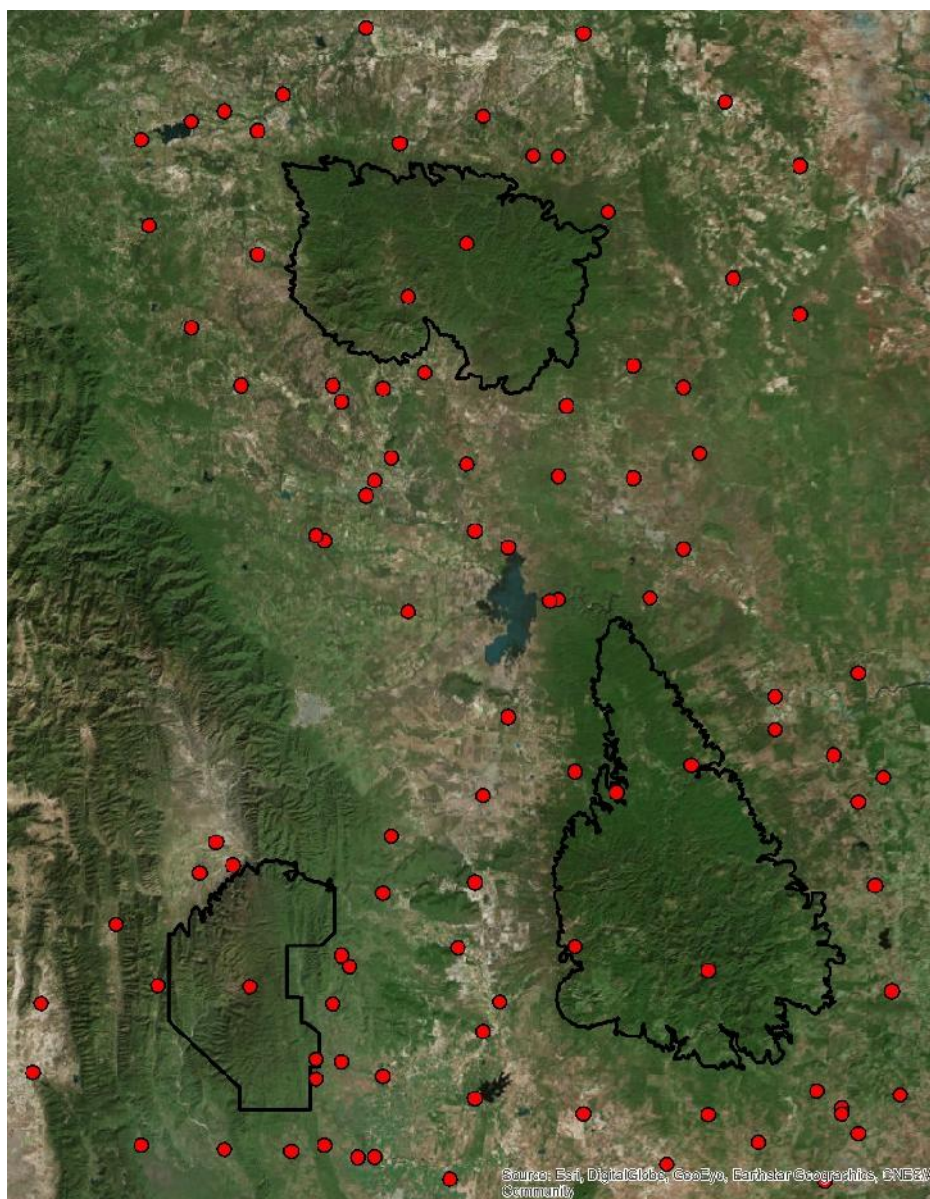


Figura 14. Localización de las estaciones climatológicas utilizadas

3.3.3 Variables topográficas

La capa elevación y pendiente fueron obtenidas de los modelos continuos de elevación de INEGI. La reclasificación de los intervalos de elevación se hizo cada 200 m, ya que se pondrá a prueba si la vegetación de las zonas base será la más afectada en los periodos de reducción de temperatura y la vegetación de las zonas altas en los periodos de incremento de temperatura.

Las pendientes fueron clasificadas en dos categorías de acuerdo a Lugo (1988). La primera categoría comprendió pendientes de 0° a 8°, en las cuales es más frecuente que se desarrollen las actividades antropogénicas y la segunda categoría con pendientes que van de 8° a 89°, que son propicias para la conservación de recursos.

3.3.4 Análisis de Correspondencia?

Las superficies fueron cortadas con los polígonos de las RTP, los cuales fueron obtenidos de la mapoteca digital de la CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>). Las capas resultantes se utilizaron para realizar el cruce de capas de los cambios en la cobertura, la diferencia en la temperatura, precipitación y el tipo de pendiente. Los datos obtenidos se utilizaron para crear una tabla de contingencia, para poner a prueba que el área por la diferencia entre la temperatura, precipitación, elevación, pendiente y tipo de cambio de cobertura se presenta aleatoriamente con el análisis de correspondencia múltiple (Legendre y Legendre, 2003). Las pruebas estadísticas se realizaron en el programa Statistica (ver13, STATSOFT). El análisis de correspondencias es una técnica estadística que se utiliza para analizar la asociación entre categorías de variables cualitativas. El análisis es una técnica de “reducción de dimensiones en el contexto de tablas de contingencia”, con el propósito es representar gráficamente la estructura de relaciones de dos o más variables cualitativas mediante gráficas bidimensionales de posicionamiento. El análisis de correspondencia múltiple, analiza más de dos variables categóricas, en el presente estudio se analizó la distribución de área dependiendo del tipo de cambio (ganancia, pérdida, recambio y persistencia nativa y modificada), elevación (de los 200 a los 2,200 msnm), tipo de pendiente (de uso antropogénico y para la conservación) y diferencia en la temperatura (-5, -4, -3, -2, -

1, 0 +1, +2, +3, +4 y +5°C) y la precipitación (-600, -400...+1360mm). Al igual que en el análisis de correspondencia, las asociaciones entre las categorías de las variables, se analizan a través de gráficos bidimensionales, donde cada categoría es ubicada en un punto y la distancia entre las distintas categorías permite analizar la relación entre ellas (McGarigal *et al.*, 2000; Legendre y Legendre, 2003).

3.3.5 Puntos de calor

Los puntos de calor son los lugares donde potencialmente pueden ocasionar incendios. Los puntos de calor son datos obtenidos de escenas satelitales captadas por sensores térmicos instalados en los satélites. Por lo que se puso a prueba si la presencia de los puntos de calor influye en la pérdida de la cobertura de vegetación nativa. Los puntos de calor fueron obtenidos de la pagina (<http://incendios1.conabio.gob.mx/>) de los años 2003 al 2008. Los puntos de calor fueron sobrepuestos a las capas de cambio para los ciclos 2003 – 2005 y 2005 - 2008 y se extrajeron los datos del tipo de cambio que se encontraban, así mismo se creó una tabla en la cual se colocaron el total de puntos calor que y el área total de pérdida de cobertura, estos datos fueron analizados con una correlación no paramétrica de Spearman (Mendenhall *et al.*, 2010), para estimar si existe una relación entre el número de puntos de calor y la pérdida de cobertura en cada una de las RTP.

3.4 Resultados

La precisión de las clasificaciones obtenidas de las escenas satelitales fue entre el 79 y 93%, la menor precisión fue en el año 1993 y la mayor en las clasificaciones en el 2005 (Tabla 8).

Tabla 8. Porcentaje de precisión de las clasificaciones de las escenas satelitales.

Año	Exactitud	Error
1985	82.5	17.5
1990	80.2	19.8
1993	79.8	20.2
1995	88	12
1998	90.15	9.85
1999	90.6	9.4
2003	89.4	10.6

2005	93.8	6.2
2008	86.1	13.9

3.4.1 Cambio cobertura

La mayor pérdida de cobertura ocurrió en los ciclos fríos – cálidos y la mayor ganancia de cobertura sucedió en los ciclos cálidos – fríos en las tres RTPs. La RTP de “El Cielo”, presentó la mayor pérdida de cobertura en el ciclo 1998 – 1999, con una tasa de 1.14 ha al año. La ganancia de la cobertura vegetal en esta RTP fue mayor en el ciclo 2003 – 2005, con una tasa de ganancia de 0.60 ha al año. La Sierra de San Carlos presentó la mayor pérdida de cobertura en el ciclo 1993 – 1995, con una tasa de pérdida de 2.3 ha al año. La ganancia en esta RTP fue mayor en el ciclo 1998 – 1999 con una tasa de 4.2 ha al año. La Sierra de Tamaulipas presentó la mayor pérdida de cobertura en el ciclo 1985 – 1990 con una tasa anual de 1.1 ha al año y la mayor ganancia de cobertura se presentó en el ciclo 1993 – 1995 con una tasa de 7.1 ha al año. La persistencia de coberturas nativas en las tres RTP fue mayor al 60% (Tabla 9).

Tabla 9. Tasa de cambio en hectáreas por año en las tres RTP por ciclo.

RTP	Tipo de cambio	Ciclos Cálidos - Fríos				Ciclos Fríos - Cálidos			
		1985 - 1990	1993 - 1995	1998 - 1999	2003 - 2005	1990 - 1993	1995 - 1998	1999 - 2003	2005 - 2008
El Cielo	Ganancia	0	0.007	0.363	1.202	0.081	0.017	0.019	0.384
	Pérdida	0.239	0.263	1.136	1.114	0.57	0.852	0.8	0.012
	Recambio	13.98	12.67	24.5	21.84	11.12	18.56	18.94	20.77
	Persistencia modificados	1.201	0.908	1.049	1.288	1.378	0.678	2.179	2.007
	Persistencia nativos	84.58	86.16	72.95	74.56	86.85	79.89	78.06	76.83
	Tasa de ganancia anual (has)	0.00	0.00	0.36	0.60	0.03	0.01	0.00	0.13
	Tasa de pérdida anual (has)	0.05	0.13	1.14	0.56	0.19	0.28	0.20	0.00
San Carlos	Ganancia	6.64	2.11	4.27	1.1	4.53	1.88	3.05	2.57
	Pérdida	3.1	4.78	2.07	2.22	2.67	3.3	1.48	0.94
	Recambio	23.17	18.75	22.22	21.82	20.72	14.3	17.74	19.6
	Persistencia modificados	2.53	2.07	3.45	2.86	1.52	4.43	2.48	2.5
	Persistencia nativos	64.55	72.28	67.99	72	70.56	76.1	75.26	74.39
	Tasa de ganancia anual (has)	1.33	1.06	4.27	0.55	1.51	0.63	0.76	0.86
	Tasa de pérdida anual (has)	0.62	2.39	2.07	1.11	0.89	1.10	0.37	0.31
Sierra de Tamaulipas	Ganancia	12.34	14.25	6.311	0.127	1.298	0.128	1.797	0.122
	Pérdida	5.624	1.743	0.441	0.125	2.318	3.343	0.088	0.613
	Recambio	15.42	7.07	12.58	8.962	7.872	19.39	8.857	8.424
	Persistencia modificados	3.178	4.601	7.632	6.517	8.499	8.004	9.746	6.415
	Persistencia nativos	63.44	72.34	73.03	84.27	80.01	69.13	79.51	84.43
	Tasa de ganancia anual (has)	2.47	7.13	6.31	0.06	0.43	0.04	0.45	0.04
	Tasa de pérdida anual (has)	1.12	0.87	0.44	0.06	0.77	1.11	0.02	0.20

Las tasas de pérdida de cobertura presentaron variaciones entre las RTP, la mayor tasa fue en la Sierra de San Carlos y la menor en “El Cielo”. La tasa de ganancia de cobertura también presentó fluctuaciones, siendo la Sierra de Tamaulipas la que presentó las mayores variaciones entre los años evaluados y “El Cielo” las variaciones menores (Figura 15).

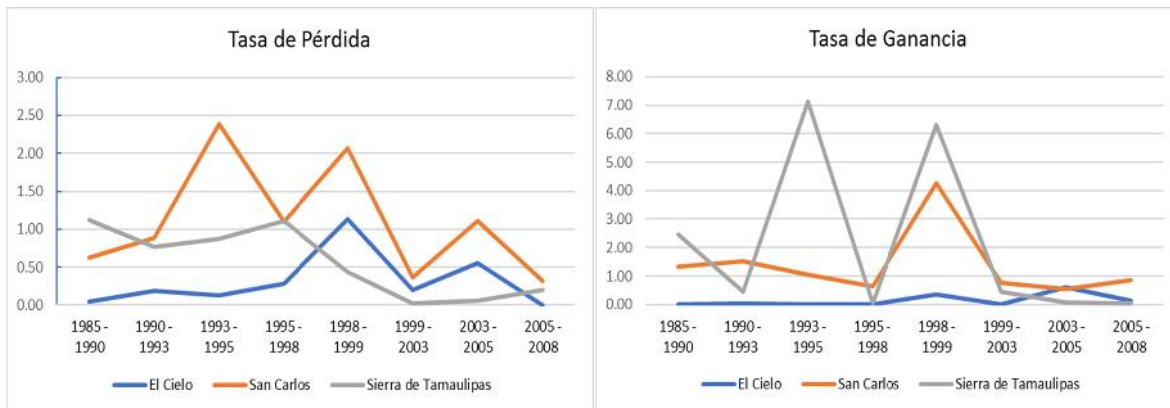


Figura 15. Tasa de pérdida y ganancia por año de cada RTP.

3.4.2 El Cielo

3.4.2.1 Periodo Cálido-Frío

Las mayores pérdidas de cobertura ocurrieron en los ciclos de reducción de temperatura (cálidos a fríos) en los años 1998 – 1999. El mayor incremento en la precipitación ocurrió en los años 1993 – 1995 en los cuales hubo un incremento de 1038 mm de precipitación promedio. El mayor incremento en la temperatura ocurrió en los años 1998 – 1999, registrando un aumento de 5° C (Figura 16).

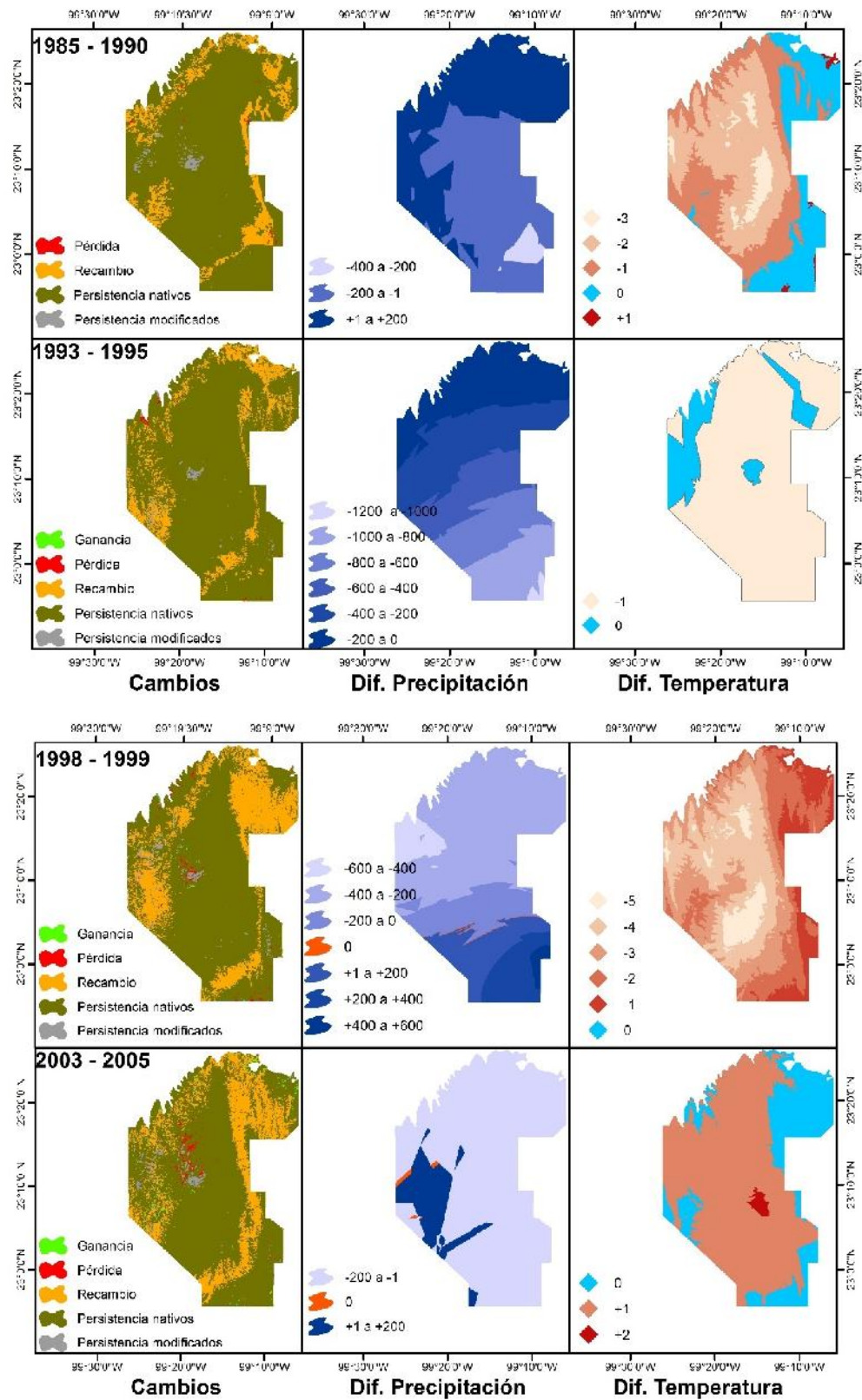


Figura 16. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de “El Cielo” en los ciclos cálidos – fríos.

La asociación entre el tipo cambio de cobertura, la diferencia en la temperatura, la precipitación, el intervalo de elevación, el tipo de pendiente y el año en que sucedió fue significativa ($X^2_{g.l. 1,444} = 4,356,100$ $P \leq 0.005$), con una inercia de 14.06 en dos ejes. Los cambios en la cobertura vegetal fueron menos variables que los cambios en la temperatura, precipitación y elevación. La pérdida de cobertura ocurrió con mayor frecuencia entre los 1,800 y los 2,000 msnm y la ganancia ocurrió principalmente en sitios en donde la temperatura aumento en promedio un grado y la precipitación aumento 200 mm del promedio (Figura 17).

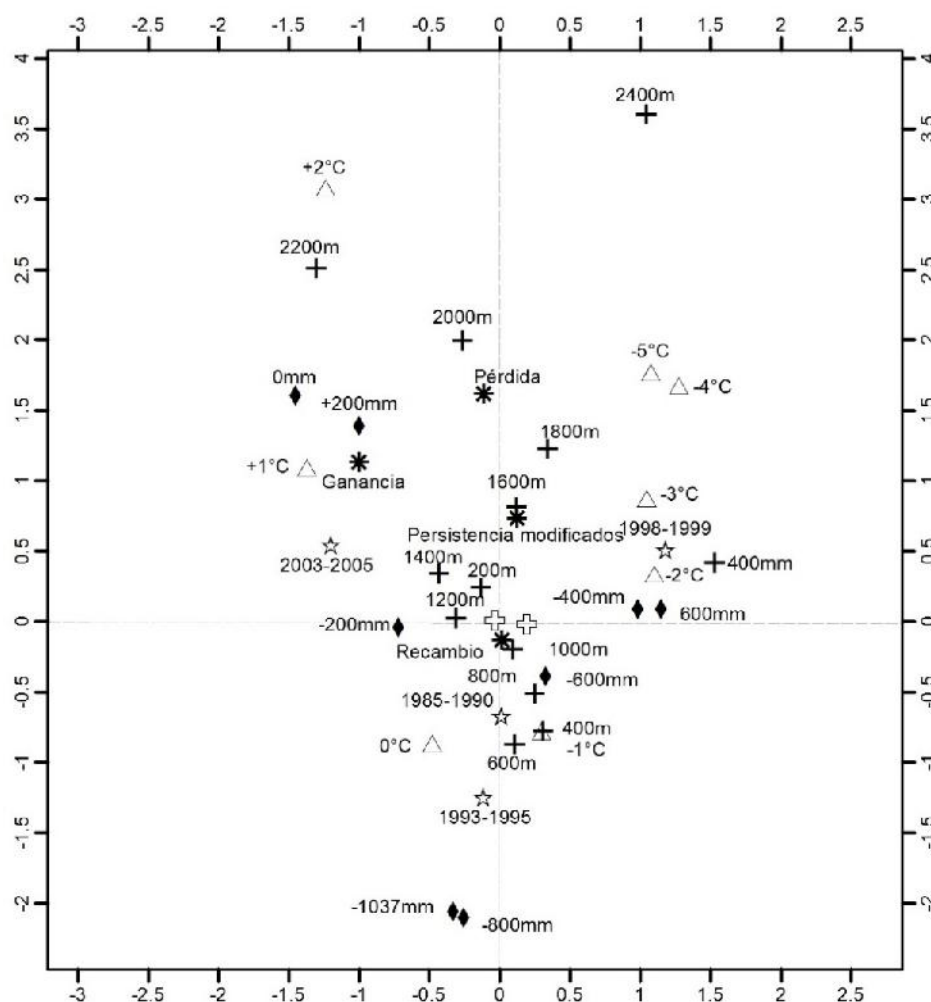
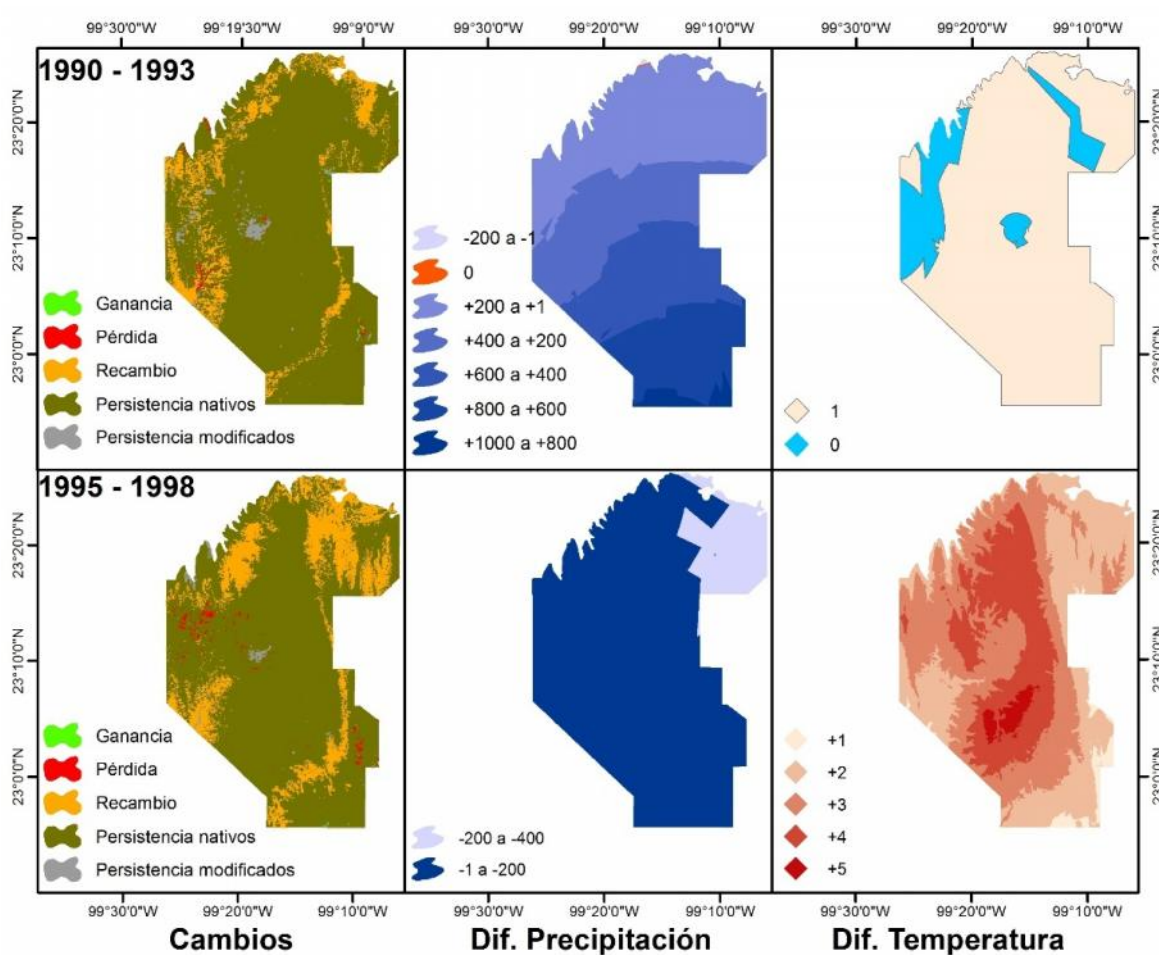


Figura 17. Grafica bidimensional del incremento de temperatura en “El Cielo”.

Dónde: (*) son los cambios de cobertura del terreno, (△) la diferencia en la temperatura, (♦) la diferencia en la precipitación, (+) el rango de elevación, (‡) el rango de pendiente y (☆) el año.

3.4.2.2 Periodo Frío-Cálido

Las mayores pérdidas de cobertura ocurrieron entre los años 1999 – 2003 (Tabla 8). La mayor variación en la precipitación ocurrió entre los años 1995 – 1998, en los cuales hubo un incremento de 475 mm de precipitación promedio. La temperatura aumento 2° C en los años 2005 – 2008 (Figura 18).



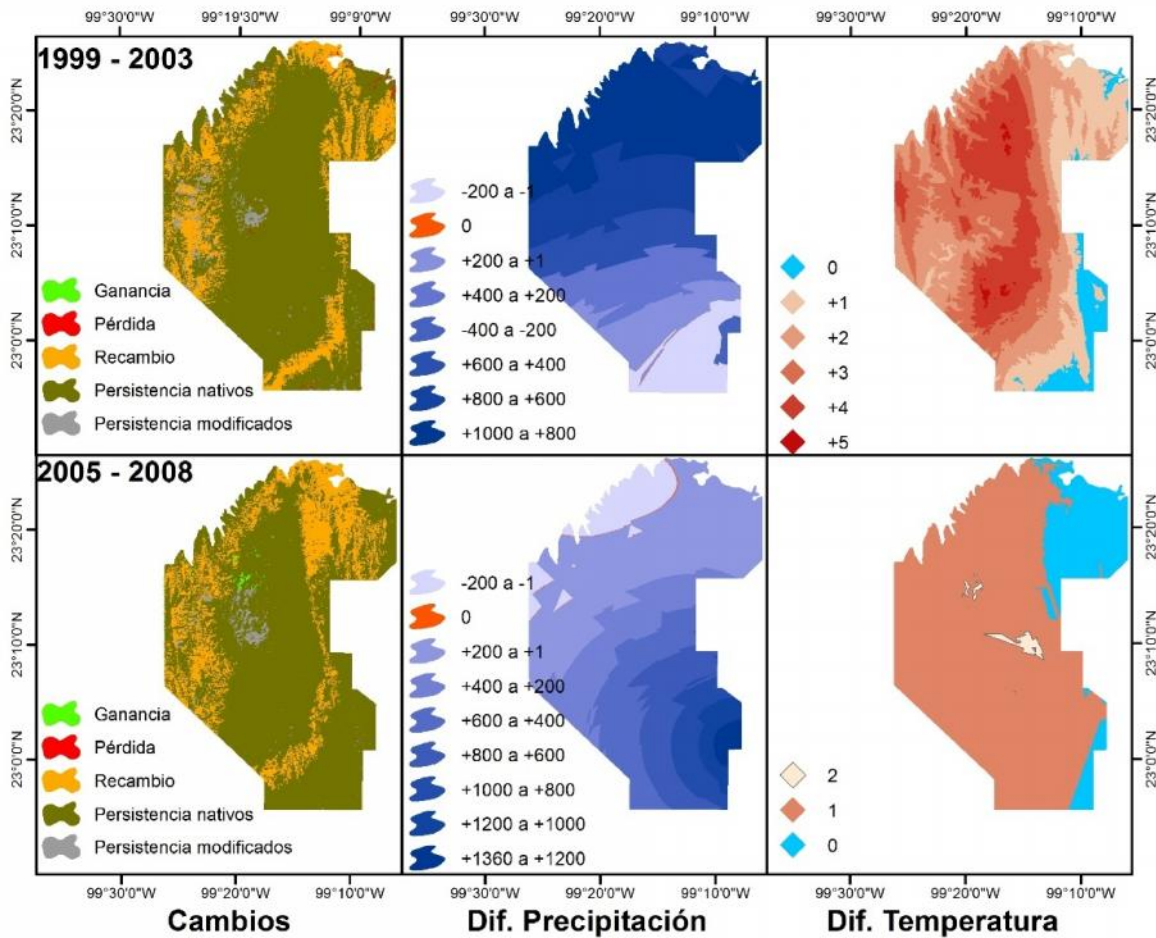


Figura 18. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de “El Cielo” en los ciclos fríos - cálidos.

La asociación de las variables para el ciclo frío-cálido fue significativa ($X^2_{g.l. 1,444} = 4,506,600$ $P \leq 0.005$), con una inercia de 14.46 en dos ejes. Los dos ejes mostraron que la mayor variación está dada por las diferencias en la temperatura y la precipitación. La pérdida se asoció a áreas donde la temperatura se incrementó 4° C, la precipitación aumento de 800 a 1000 mm, a una elevación entre 600 a 2,400 msnm durante el ciclo 1999-200. La ganancia de cobertura ocurrió en zonas con una elevación de 1,800 m, en los cuales se redujo la temperatura dos grados centígrados (Figura 19).

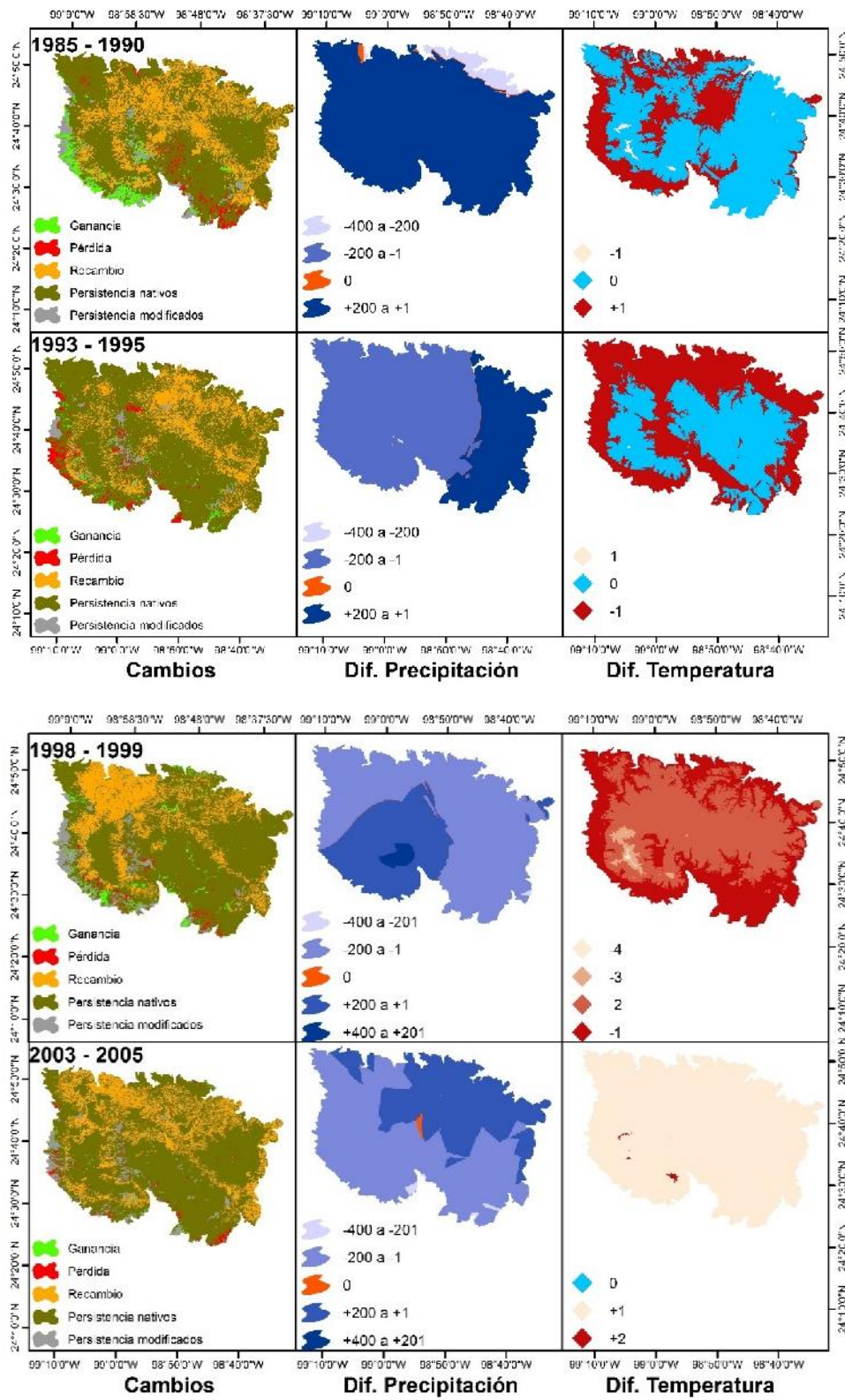


Figura 20. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de San Carlos en los ciclos cálidos – fríos.

La asociación de las variables en la temporada cálido-fría fue significativa ($X^2_{g.l. 841} = 8,689,700 P \leq 0.005$), presentando una inercia de 17.6 en dos ejes, donde las variables que presentaron mayor variación fueron la diferencia de la temperatura y la precipitación. Las zonas donde persistieron las coberturas modificadas se presentaron a elevaciones bajas (200-400 m), en las cuales se incrementó la precipitación (354 mm). La pérdida y ganancia de cobertura vegetal ocurrió con mayor frecuencia en elevaciones bajas (400-600 m), con pendientes suaves ($<8^\circ$) y en donde se redujo la temperatura 1°C . El recambio de coberturas vegetales nativas se presentó en zonas con una elevación de 600 a 1,400 m con pendientes mayores a 8° , en los cuales no hubo variaciones en la precipitación (Figura 21).

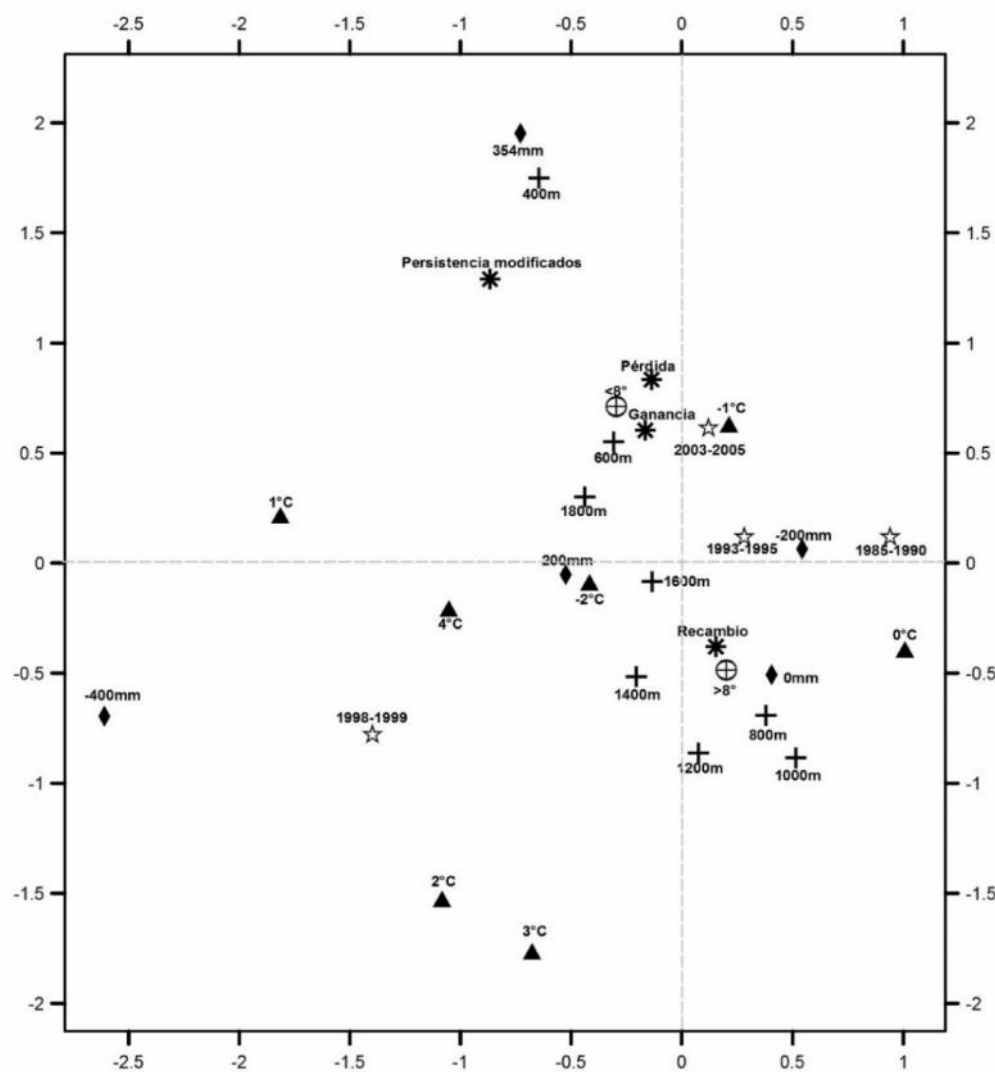


Figura 21. Gráfica bidimensional de la reducción de temperatura en la Sierra de San Carlos.

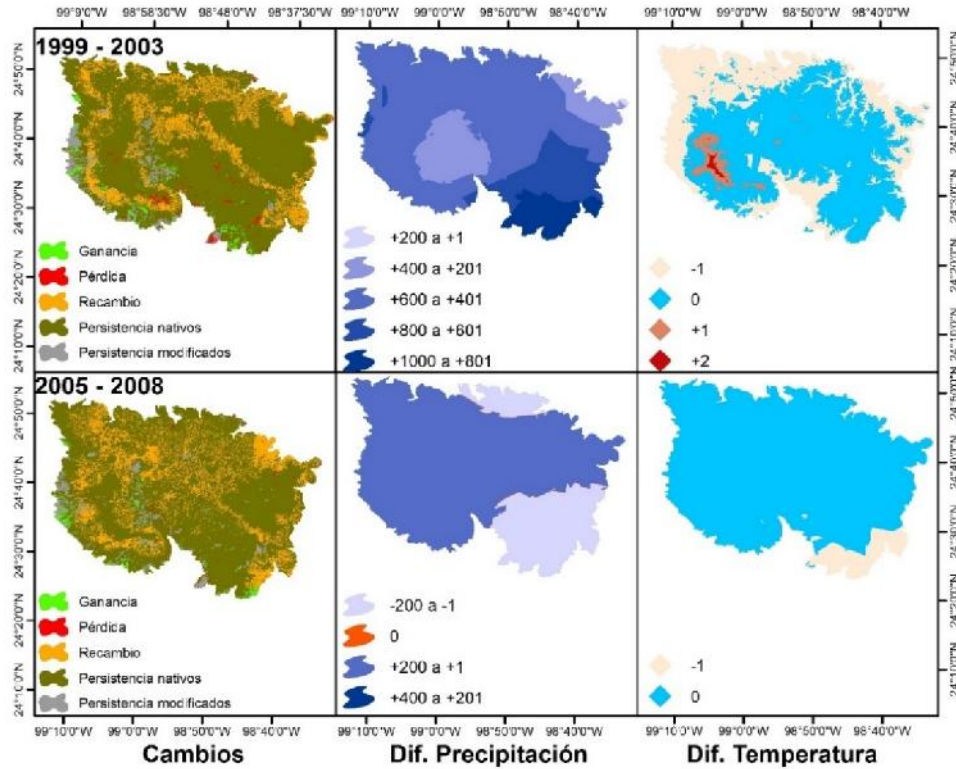


Figura 22. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de San Carlos en los ciclos fríos - cálidos.

El análisis de correspondencia múltiple para los ciclos fríos – cálido fue significativo ($X^2_{g.l. 784} = 11,004,000$, $P < 0.005$), mostrando que la mayor variación se debió a los cambios en la elevación, el año en que ocurrió y la temperatura. La pérdida de cobertura fue mayor en el ciclo 1990 – 1993, en el cual se dio un aumento de temperatura de 1 a 2° C, pero no existió una variación en la precipitación total anual. La ganancia de cobertura nativa fue mayor en el ciclo 1995 -1998, en sitios donde disminuyó la temperatura de 1 a 2° C e incrementó la precipitación total anual de 200 a 354 mm. El recambio de cobertura nativa ocurrió con mayor frecuencia en el ciclo 1999 – 2003 en zonas con elevaciones mayores a los 1400 msnm, en donde disminuyó la precipitación (Figura 23).

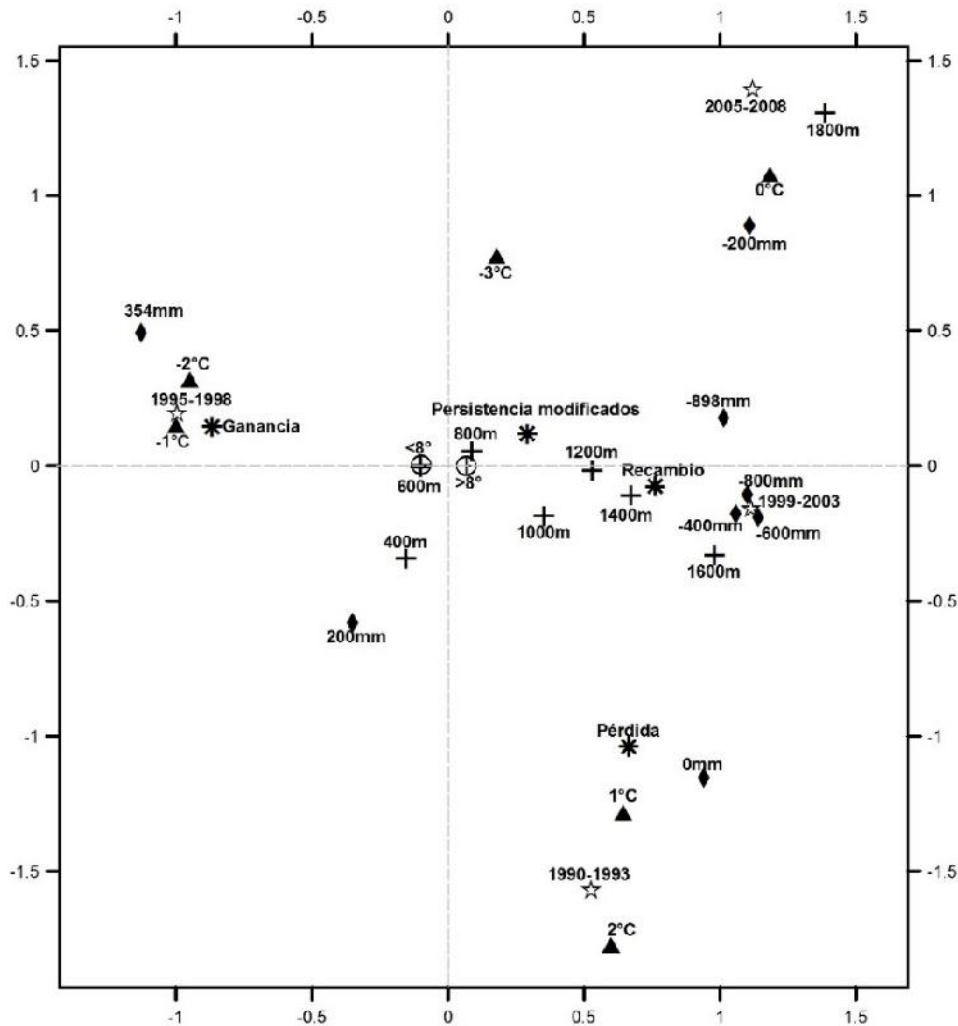


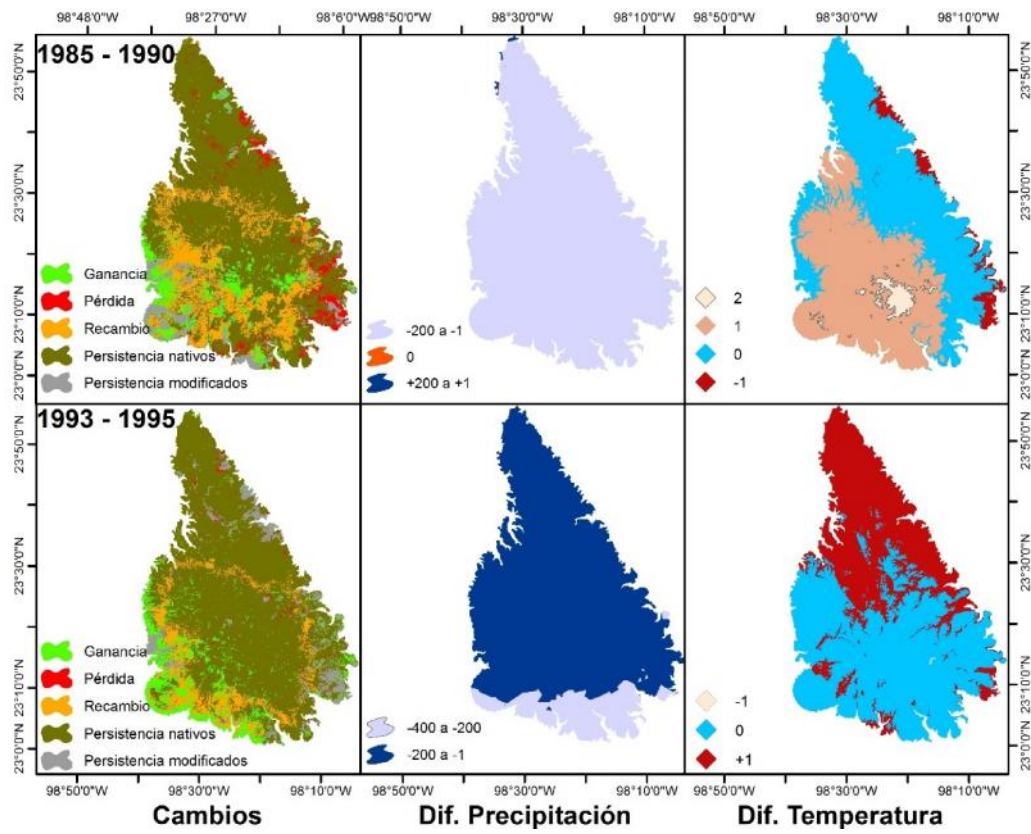
Figura 23. Grafica bidimensional del incremento de temperatura en la Sierra de San Carlos.

Dónde: (*) son los cambios de cobertura del terreno, (Δ) la diferencia en la temperatura, ($\diamond$) la diferencia en la precipitación, (+) el rango de elevación, ($\oplus$) el rango de pendiente y ($\star$) el año.

3.4.4 Sierra de Tamaulipas

3.4.4.1 Ciclo Cálido-Frío

Las mayores pérdidas de cobertura ocurrieron entre los años 1998 – 1999. La mayor variación en la precipitación ocurrió en los años 1993 – 1995, en los cuales hubo un incremento de 310 mm de precipitación promedio. La temperatura aumento 4° C en los años 1998 – 1999 (Figura 24).



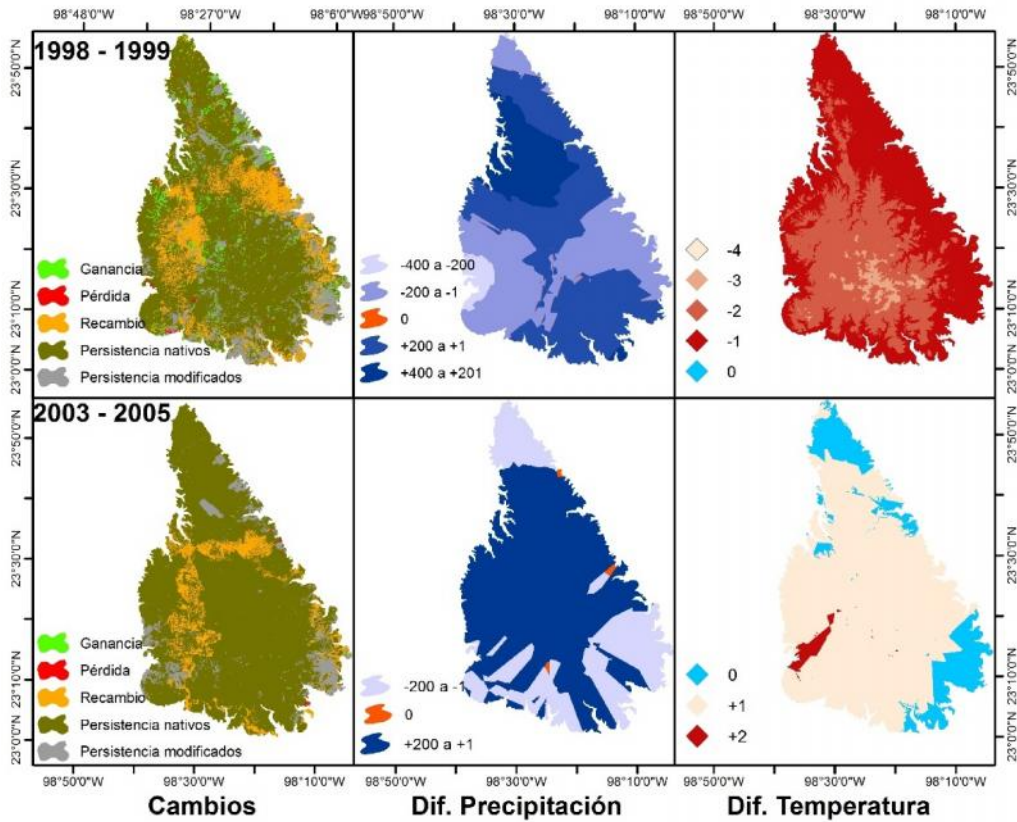


Figura 24. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de la Sierra de Tamaulipas en los ciclos cálidos - fríos.

En los ciclos cálidos-fríos la asociación entre las variables tipo cambio de cobertura, diferencia en la temperatura, la precipitación, el rango de elevación, el tipo de pendiente y el año en que sucedió fue significativa ($X^2_{g.1.784} = 11,348,000$ $P < 0.005$). Las variables que aportaron la mayor variación fueron la elevación y precipitación. El análisis indicó que los sitios con elevaciones de 1400 a 1600 m presentaron un aumento de temperatura de 2 °C, así como que en año 1993 – 1995 se redujo la precipitación. Los cambios en la cobertura no presentaron una alta variación, indicándonos que cualquiera de los cambios ocurre con la misma frecuencia en las demás variables (Figura 25).

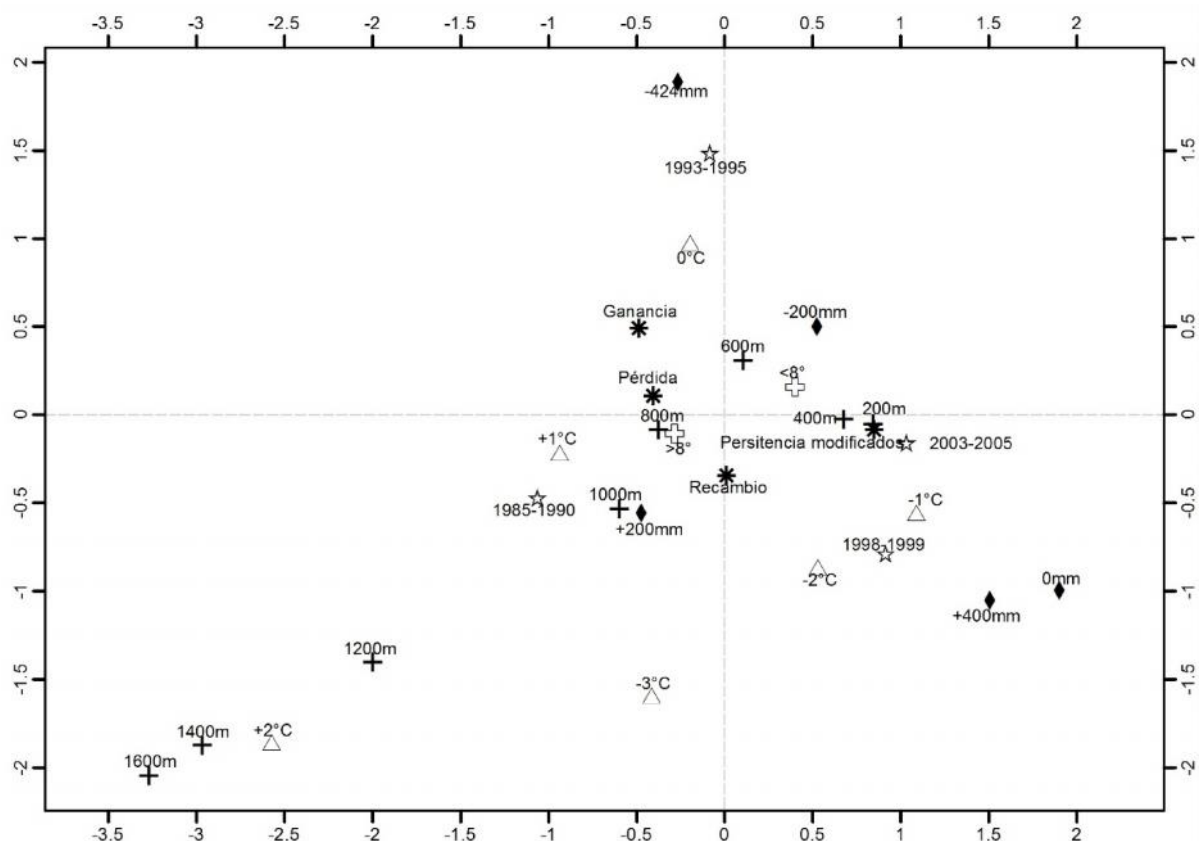


Figura 25. Grafica bidimensional de la reducción de temperatura en la Sierra de Tamaulipas.

Dónde: (*) son los cambios de cobertura del terreno, (Δ) la diferencia en la temperatura, ($\diamond$) la diferencia en la precipitación, (+) el rango de elevación, ($\oplus$) el rango de pendiente y ($\star$) el año.

3.4.4.2 Frío-Cálido

Los ciclos fríos - cálidos nos mostraron que las mayores pérdidas de cobertura ocurrieron entre los años 1990 – 1993. La mayor variación en la precipitación ocurrió en los años 1995 – 1998 en los cuales hubo un incremento de 424 mm de precipitación promedio. La temperatura aumento 2° C en los años 2005 – 2008 (Figura 26).

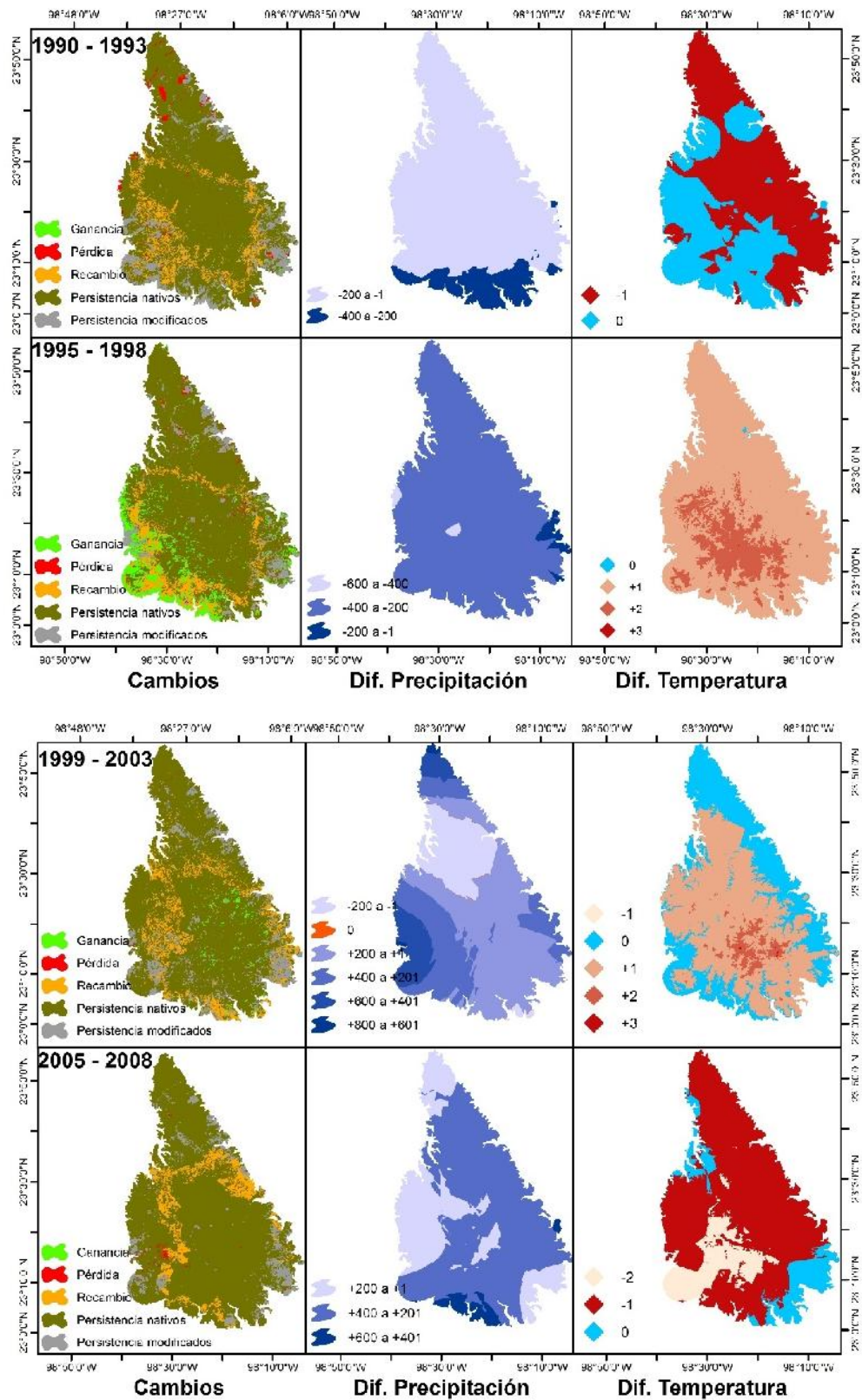


Figura 26. Cambios de cobertura, precipitación y temperatura de la Sierra de Tamaulipas en los ciclos cálidos - fríos.



3.4.5 Puntos de calor

En el estado de Tamaulipas se registraron un total de 4,988 puntos de calor y dentro de las RTPs 485 entre los años 2003 – 2008, siendo la Sierra de Tamaulipas la que presento el mayor número de puntos de calor (Tabla 9 y Figura 28).

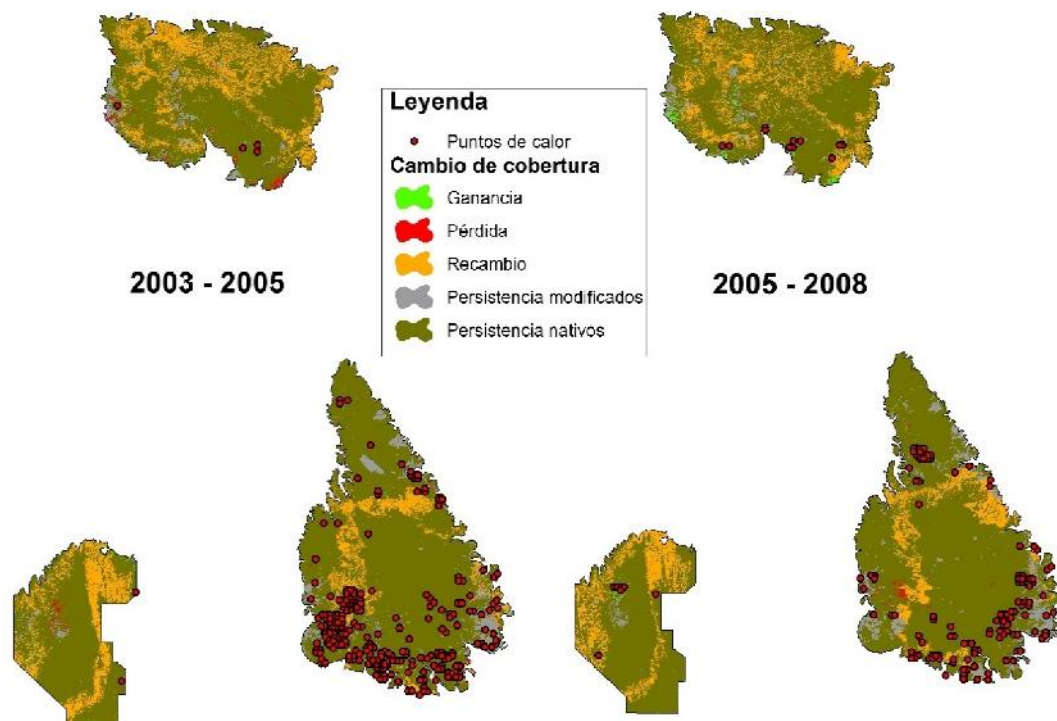


Figura 28. Puntos de calor en las tres RTP.

Tabla 10. Número de puntos de calor en las tres RTP por año y en el estado.

Año	El Cielo	San Carlos	Sierra de Tamaulipas	Total, Estatal
2003	2	0	150	971
2004	0	4	19	533
2005	0	0	153	892
2006	8	0	85	1232
2007	0	1	3	340
2008	0	10	50	1020
TOTAL	10	15	460	4988

La correlación entre los puntos de calor y la pérdida de cobertura, no fue significativa para las tres RTP, indicándonos que los puntos de calor encontrado en estas áreas no son la causa principal de la pérdida de cobertura (Tabla 10).

Tabla 10. Tasa de cambio en hectáreas por año en las tres RTP por ciclo.

	<i>n</i>	<i>Spearman</i>	<i>t</i>	<i>P</i>	Ciclo
El Cielo	10	0.948	4.242	0.051	2003-2008
San Carlos	15	0.800	1.885	0.200	2003-2008
Sierra de Tamaulipas	460	-0.200	-0.288	0.800	2003-2008

3.5 Discusión

El presente trabajo probó que las coberturas vegetales tienden a ser afectadas por la variación climática, en específico se esperaba que las coberturas vegetales de las zonas altas (por encima de los 1400 msnm) fueran más afectadas por los ciclos de incremento de temperatura (frío – cálido) y las de zonas bajas (por debajo de los 1400 msnm) por los ciclos de reducción de temperatura (cálido – frío). La variación en la temperatura no se asoció a los cambios en la cobertura de terreno, excepto para la Sierra de San Carlos en los años (1990 -1993). Los cambios en “El Cielo” y la Sierra de San Carlos fueron más frecuentes entre los 1,800 y 2,000 para “El Cielo” y entre los 400 y 600 msnm para la Sierra de San Carlos. La Sierra de Tamaulipas mostró que, en el ciclo de incremento de temperatura, las pérdidas de cobertura ocurrieron con mayor frecuencia entre los años 1990 – 1993, en sitios con elevaciones entre los 200 y 400 msnm donde se presentó reducción de la precipitación de 200mm y la temperatura se mantuvo alrededor del promedio.

El modelo utilizado tiene ventajas ante los otros tres modelos (de las fuerzas de cambio, de actores de cambio y el de las fuerzas y/o actores que causan el cambio) que toman en cuenta las interacciones entre las fuerzas impulsoras de cambio y los actores que intervienen en los cambios. Los anteriores modelos son exploratorios y asumen que existe una fuerza o un actor que provoca el cambio en la cobertura vegetal (Groot, 1992; Lambin *et al.*, 2001). Sin embargo, el modelo utilizado en el presente estudio permitió relacionar las variables climáticas y topográficas con los cambios en la cobertura vegetal, ya que facilitó determinar las variables que se asociaron y contribuyeron con el cambio de cobertura vegetal.

La ganancia de cobertura en las tres RTP fue mayor en los ciclos de reducción de temperatura (cálidos – fríos), mientras que las mayores pérdidas de cobertura ocurrieron en los de aumento de temperatura (fríos – cálidos) en coberturas de tipo tropical (400 – 600 msnm). La temperatura tiene un efecto directo sobre la cobertura vegetal, ya que interviene en los procesos fisiológicos de las plantas (velocidad de crecimiento, germinación, transpiración, respiración, fotosíntesis, absorción de agua y nutrientes). Sin embargo, si las variaciones son extremas pueden tener un efecto negativo sobre sus funciones (Brovquin, 2002; Villalobos, 2009). El ciclo de reducción de temperatura (cálido - frío), benefició a la cobertura vegetal, ya que estas ocurriendo en los sitios en los cuales aumentó en la precipitación y se redujo la temperatura en todos los intervalos de elevación, ya que al disminuir el estrés ocasionado por las altas temperaturas la vegetación puede recuperarse de los daños obtenidos en este ciclo (Brovquin, 2002; Adams, 2010). El aumento de temperatura (ciclos fríos - cálidos) en las coberturas vegetales tuvo un efecto negativo en todas las elevaciones, ya que el aumento en la temperatura pudo haber afectado sus procesos fisiológicos o beneficiar a plagas que propiciaron la pérdida de cobertura (Araújo *et al.*, 2004; Anderson *et al.*, 2009; Adams, 2010).

El fenómeno observado en el ciclo (frío – cálido) indica que las coberturas vegetales presentan una sensibilidad al cambio en la temperatura cuando estas aumentan y disminuyen (Adams, 2010). Algunos estudios, han demostrado que cuando existen incrementos de uno o dos grados en la temperatura y reducción de la precipitación en 200 mm la cobertura vegetal tiende a desaparecer de los sitios más afectados y al volver al estabilizarse la temperatura, vuelven a ocupar estos sitios en 20 años (Theurillat y Guisan, 2001; Viau *et al.*, 2002; Root *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2003; Thuiller y Albert, 2008; Thuiller *et al.*, 2008; Adams, 2010; Galiano *et al.*, 2010; Van der Putten, 2012; Wang *et al.*, 2013).

La variación climática tiene un efecto directo sobre la vida del planeta (IPCC, 2013). La intensidad y duración de estas variaciones en la temperatura y precipitación, así como del grado de vulnerabilidad de los ecosistemas, provocan cambios que pueden ser temporales o permanentes (De Leo y Levin, 1997; Araújo *et al.*, 2004; Anderson *et al.*, 2009; Hackett, 2009). Los cambios en la precipitación y temperatura son ocasionados por fuerzas internas como las inestabilidades en la atmósfera y/o el océano; o por fuerzas externas, como puede ser intensidad de la radiación solar recibida o incluso cambios en las características del

planeta que son resultado de las actividades antrópicas (Loarie *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2011; IPCC, 2013; Hewson *et al.*, 2014).

Durante el curso de este siglo, se prevé que el cambio climático se convierta en una presión cada vez más importante en muchas especies (IUCN, 2005; Loarie *et al.*, 2009). Efectos del cambio climático en la distribución y fenología de muchas especies han sido documentados (Theurillat y Guisan, 2001; Root *et al.*, 2003; Ceballos *et al.*, 2005; Adams, 2010; Lloret *et al.*, 2012; Pitman *et al.*, 2012; IPCC, 2013; Letten *et al.*, 2013; Hewson *et al.*, 2014), indicando que el cambio climático incrementa el riesgo de extinción y altera las funciones de los ecosistemas. Esto es aún más grave si consideramos que durante la última década se han incrementado las olas de calor más extremas y las sequías (Ciais *et al.*, 2005). En México, se han desarrollado modelos para identificar los sitios con mayor vulnerabilidad, a partir de las declaratorias de emergencias y contingencia por fenómenos meteorológicos, las tendencias de deterioro de los recursos naturales, los riesgos ocasionados por peligros naturales y la conservación del patrimonio natural. Los diferentes escenarios, en los cuales se identifican las zonas que posiblemente se encuentren en un riesgo para su conservación también toman en cuenta de posibles cambios en temperatura entre +2.5°C a 4.5°C y disminución en la precipitación entre -5 y 10%, con respecto a los promedios de temperatura y precipitación del periodo 1961-1990 (SEMARNAT, 2008).

El estudio realizado, analizó los efectos de la variación climática en los cambios en la cobertura vegetal de tres RTP, en donde no se encontró una clara asociación de estas variables. El resultado obtenido indica que los escenarios futuros de zonas críticas cambio climático planteados por la SEMARNAT (2008), no son tan críticos, ya que las variaciones en la temperatura no son la principal causa de la pérdida de cobertura de terreno en estas tres RTP. La respuesta de la cobertura vegetal a las variaciones en la temperatura se debe a que la vegetación cuenta con mecanismos de adaptación para estos cambios climáticos (Lloret *et al.*, 2004; Lloret *et al.*, 2012).

El incremento en la temperatura y la pérdida de cobertura que se asociaron en “El Cielo” y San Carlos mostraron la ocurrencia de dos efectos: 1) las coberturas vegetales son sensibles al aumento de temperatura (Adams, 2010) y 2) el aumento de la temperatura beneficia a plagas que causan la pérdida de la cobertura vegetal (Araújo *et al.*, 2004; Anderson *et al.*, 2009). La pérdida de cobertura que ocurre en estas zonas son en los ciclos

de reducción de temperatura (cálido – frío), en El Cielo ocurrieron por encima de los 2000 msnm (en bosques templados) y en San Carlos por debajo de los 600 msnm (bosques tropicales). La pérdida que ocurrió en ambos plantea un escenario que se debe poner atención, debido a que en las zonas altas se encuentran los bosques templados, que son refugios para especies de origen Neártico y en las zonas bajas dónde se localiza una mayor biodiversidad de organismos y son más sensibles a los cambios de cobertura (Challenger *et al.*, 2009; Pau *et al.*, 2011). La asociación de las pérdidas de cobertura de terreno con las variaciones en la temperatura y la precipitación ocurrieron en ciclos muy específicos (1990 – 1993) y en ciertos pisos altitudinales (400 – 600 y 1,800 a 2,000 msnm), por lo que las variaciones en el clima no son las causantes de las pérdidas de coberturas. La ganancia de cobertura en los ciclos de incremento y reducción de temperatura se asoció a áreas donde la precipitación total anual se incrementó entre 200 y 400 mm, sugiriendo que la vegetación tiene una respuesta positiva al aumento en la precipitación, la cual beneficia a la fotosíntesis, transpiración y transporte nutrientes, que repercuten en la recuperación de la cobertura vegetal (Brovquin, 2002; Lloret *et al.*, 2012)

La pérdida de cobertura fue mayor en la Sierra de San Carlos, por lo que es necesario identificar los factores que pueden estar relacionados con la pérdida de cobertura con el objetivo de disminuir la tasa de pérdida de cobertura. La Sierra de San Carlos es una sierra aislada en la Llanura Costera del Golfo que contiene ecosistemas templados (bosques de pino y encino) en la parte serrana y matorral submontano en el piedemonte, quedando rodeada por matorrales submontano y espinoso tamaulipeco. La característica principal de esta RTP es que representa el límite boreal del bosque mesófilo en México y la presencia de algunas especies endémicas de plantas y animales (Arriaga *et al.*, 2000). Sin embargo, las actividades agropecuarias y la explotación forestal han propiciado la alteración de la zona, que ponen en riesgo la integridad de los ecosistemas y su conservación (CONANP, 2005; Hernandez-Mendoza, 2010).

La ganancia y pérdida de cobertura de terreno se deben principalmente a los tipos de cobertura dominante en cada RTPs, ya que cada una de las coberturas tiene diferente grado de sensibilidad a las variaciones en la temperatura y precipitación. Las coberturas vegetales como las selvas bajas, bosques de encino y pastizales, presentan un mayor estrés durante los años de déficit de lluvia que las coberturas perennifolias (Pau *et al.*, 2011), debido a que la

cantidad de humedad del suelo permanece más tiempo en las zonas altas (Chmielewski y Rötzer, 2001; Mainali *et al.*, 2015). La ganancia en la cobertura vegetal en años húmedos no implica un incremento en la vegetación, por el contrario, una mayor cantidad de lluvia puede llegar a inhibir la fotosíntesis y ocasionar daños a la vegetación (Adams, 2010). Por lo que, el incremento en la precipitación no siempre significará un aumento en la cobertura vegetal (Chmielewski y Rötzer, 2001; Mainali *et al.*, 2015), ya que la respuesta de la cobertura a estas variaciones va a depender directamente del conjunto de especies y densidades poblacionales que conforman la cobera vegetal (Brovquin, 2002).

La pendiente es un factor importante en el cambio de cobertura, ya que de acuerdo al tipo de pendiente presente determinan la capacidad agrológica de los suelos, usos antropogénicos y la erosión e inestabilidad de laderas (Lugo, 1988). Sin embargo, los resultados mostraron que la pendiente no es un factor que este asociado con los cambios en la cobertura, así como las variaciones en la temperatura y precipitación. Las RTP analizadas presentan pocas áreas en donde se pueden desarrollar las áreas de cultivo, ya que presentan pendientes superiores a 8°. Las áreas montañosas tienen a ser más estables en las variaciones climáticas que las áreas planas (Pau *et al.*, 2011). El resultado encontrado indica que los cambios en las coberturas ocurrieron con la misma frecuencia en las pendientes de uso antropogénico como en las recomendadas para la conservación.

Los cambios en la cobertura bajo el efecto de las condiciones climáticas ha sido documentado por varios trabajos que describen los cambios distribución en la elevación (Kelly y Goulden, 2008), en latitud (Jump *et al.*, 2009) o en ecotonos (Allen y Breshears, 1998). Sin embargo, explicar los cambios en la cobertura cuando ocurren fluctuaciones climáticas repentinas es difícil, ya que la mayoría de los esfuerzos que se han hecho para explicar este fenómeno se han centrado en la calidad del sitio y no al efecto del clima (Lloret *et al.*, 2004), variaciones en las especies y respuestas individuales (Bréda *et al.*, 2006; Koepke *et al.*, 2010), diversidad funcional (Kreyling *et al.*, 2008) e interacciones bióticas (Dobbertin *et al.*, 2007). Estos estudios han revelado que las asociaciones entre el cambio climático y el cambio en la cobertura vegetal son poco realistas, ya que el número de estudios de desplazamientos de vegetación es bajo para crear un marco sólido (Lloret *et al.*, 2012). De hecho, las comunidades vegetales a menudo experimentan un reemplazo y se recuperan relativamente fácilmente después de disturbios (Lloret *et al.*, 2012).

La pérdida de cobertura vegetal en las ANP es un problema que se ha tratado de reducir en los últimos 30 años. Sin embargo, a nivel global, se ha estimado que en los últimos 20 años han ocurrido pérdida de cobertura, las cuales van del 1 al 9% de su área total, siendo las más afectadas las ANP que se localizan en Malasia, Indonesia, Botsuana, México y Guatemala (Leverington *et al.*, 2008; Nagendra, 2008; Bertzky *et al.*, 2012; IUCN, 2016). En México, se ha estimado que existen ANP que han perdido casi el 72% de su cobertura vegetal original en nueve años (1993 – 2002), siendo las más afectadas Los Tuxtlas, Palenque, El cofre de Perote, las cuencas de los ríos Valle de Bravo – Malacatepec, la sierra de Huautla, el volcán de Tacaná, la Encrucijada y Tehuacan – Cuicatlan (Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008; Figueroa *et al.*, 2011). Los resultados de los cambios en la cobertura de las tres RTPs fueron menores al 10% del área total de cada RTP, indicándonos que las estas tres áreas se encuentran dentro de un buen estado de conservación en comparación con las 44 áreas naturales protegidas analizadas por Figueroa *et al.* (2011).

Los incendios no fueron la principal causa de la pérdida de cobertura, debido a que la mayoría de los puntos de calor se presentaron en las zonas bajas. La explicación a este fenómeno se debe a que los incendios ocurridos en estas zonas son de baja intensidad y permiten favorecen a la renovación de la cobertura vegetal (Arellano y Castillo-Guevara, 2014).

Las capas de cambio cobertura vegetal utilizadas en el presente trabajo, fueron obtenidas del cruzar mapas de tipos de cobertura vegetal y se perdió la identidad del tipo de cobertura. Por lo que se recomienda conservar la identidad de los tipos de cobertura, ya que con ellos se puede tener información más detallada de los tipos de cobertura que están siendo afectados por las variaciones climáticas. Así mismo, se recomienda utilizar otras variables como la distancia a las comunidades y a caminos con análisis correlación y clasificación que permitan identificar si los cambios son por una causa antrópica o una causa natural. Por otra parte, es necesario identificar si las variaciones climáticas tienen algún efecto sobre ciertos grupos faunísticos que ocupan estas zonas. El análisis estadístico utilizado en este estudio ayudó a encontrar como las pérdidas de cobertura se asocian a diferentes variables como la temperatura, precipitación, la altitud y el ciclo y con estos resultados se pudo concluir que las variaciones en la temperatura y precipitación no son las causantes de las pérdidas de

cobertura vegetal en estas zonas son el resultado de otras variables como las actividades antropogénicas. Actualmente, se le ha dado mucho peso al efecto del cambio del clima en la reducción de la diversidad de las especies, sin embargo, su efecto fue débil y es necesario en analizar efectos que suceden a escala local y en donde los gobiernos pueden tener mayor éxito en la preservación de los recursos naturales.

3.8 Conclusión

La pérdida de cobertura en las tres áreas de estudio fue menor al 10%, por lo que existe una baja transformación en las coberturas vegetales originales. El área que presentó las mayores pérdidas en la cobertura del terreno nativo fue en la Sierra de San Carlos. La ganancia de la cobertura nativa en las tres áreas fue mayor que las pérdidas de cobertura, sugiriendo que existe una recuperación en las tres regiones.

Los puntos de calor no son los causantes de cambios de cobertura en las tres RTPs. Los resultados mostraron que en los dos ciclos (reducción y aumento de temperatura), la pérdida y la ganancia de cobertura de terreno ocurren en condiciones muy específicas de temperatura, precipitación y altitud para El Cielo y San Carlos. En y en la Sierra de Tamaulipas el efecto de los ciclos no fue muy claro.

Las asociaciones de los cambios de cobertura con las variaciones en la temperatura, precipitación, elevación y grado de pendiente, fueron diferentes para cada una de las RTPs. El Cielo nos mostró que la pérdida de cobertura se asocia a sitios con elevación entre los 1800 y 2000msnm. El estudio mostró que la Sierra de San Carlos indicó que las zonas bajas (200 a 400 msnm) han permanecido ya modificadas, entre los 400 – 600 msnm es una zona muy dinámica ya que en ella ocurren por igual la pérdida y ganancia de cobertura y la Sierra de Tamaulipas, donde los cambios en la cobertura no presentaron una asociación clara a las variables climáticas.

Los cambios de cobertura del terreno presentaron una baja asociación con la pendiente.

La Reserva de la Biósfera de El Cielo la pérdida de cobertura nativa se asoció a las mayores elevaciones en los ciclos cálido-fríos, mientras que para el ciclo frío-cálido la ganancia ocurrió en sitios en los cuales se redujo la temperatura.

La región de San Carlos demostró que en los ciclos cálidos – fríos las coberturas persistentes modificadas, la ganancia y pérdida de cobertura ocurrieron con mayor frecuencia en zonas con baja elevación y en el ciclo frío - cálido la pérdida se asoció a el aumento de temperatura y la ganancia a la disminución de la temperatura.

La Sierra de Tamaulipas presentó cambios en la cobertura, pero la tasa de cambio de la cobertura nativas no presentó una asociación con las variables climáticas.

Los resultados obtenidos en el presente estudio nos ayudan a concluir que las variaciones en la temperatura y la precipitación solamente se asociaron a los cambios en la cobertura en El Cielo y la Sierra de San Carlos, los cuales pueden estar dados por las respuestas adaptativas de las comunidades vegetales que conforman las coberturas vegetales.

3.9 Literatura citada

- Adams, J. 2010. Vegetation—Climate Interaction. Springer Berlin Heidelberg, Berlin. 266pp.
- Aguilar, C., Martínez, E. y Arriaga, L. 2000. Deforestación y fragmentación de ecosistemas: ¿Qué tan grave es el problema en México? *Biodiversitas* 30:7-11.
- Allen, C. D. y Breshears, D. D. 1998. Drought-induced shift of a forest–woodland ecotone: Rapid landscape response to climate variation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95:14839-14842.
- Anderson, B. J., Akcakaya, H. R., Araújo, M. B., Fordham, D. A., Martínez-Meyer, E., Thuiller, W. y Brook, B. W. 2009. Dynamics of range margins for metapopulations under climate change. *Proceedings of the Royal Society B* 276:1415-1420.
- Araújo, M. B., Cabezas, M., Thuiller, W. y Hannah, L. 2004. Would climate change drive species out of reserves? an assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biology* 10:1618-1626.
- Arellano, L. y Castillo-Guevara, C. 2014. Efecto de los incendios forestales no controlados en el ensamble de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un bosque templado del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:854-865.
- Arredondo Bautista, H. y Rodríguez Chavez, O. E. 2005. Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicado en estudios de ingeniería civil. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. . Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- Bertzky, B., Corrigan, C., Kemsey, J., Kenney, S., Ravilious, C., Besançon, C. y Burgess, N. 2012. Protected Planet Report 2012: Tracking progress towards global targets for protected areas. Cambridge, UK.
- Bréda, N., Huc, R., Granier, A. y Dreyer, E. 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann. For. Sci.* 63:625-644.
- Brovquin, V. 2002. Climate-vegetation interaction. *Journal de Physique IV* 12:52-57.
- Brown, D. G., Pijanowski, B. C. y Duh, J.-D. 2000. Modeling the relationships between land-use and land-cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management* 59:247-263.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Soberón, J., Salazar, I. y Fay, J. P. 2005. Global Mammal Conservation: What Must We Manage? *Science* 309:603-607.
- CONABIO. 2016. Puntos de calor detectados con imágenes de satélite de 2002 al 2008. de <http://incendios1.conabio.gob.mx/>
- CONANP. 2005. Estudio previo justificativo para el establecimiento de la Reserva de la Biosfera Sierra de Tamaulipas, México, D.F. 89pp.
- Challenger, A., Dirzo, R., López Acosta, J. C., Mendoza, E., Lira-Noriega, A. y Cruz, I. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. pp. 37-73 *In: CONABIO (Eds.). Capital natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio.* CONABIO. México.

- Chavez, P. S., JR. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24:459-479.
- Chen, I.-C., Hill, J. K., Ohlemuller, R., Roy, D. B. y Thomas, C. D. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333.
- Chmielewski, F. M. y Rötzer, T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 108:101-112.
- De Leo, G. A. y Levin, S. 1997. The Multifaceted Aspects of Ecosystem Integrity. *Conservation Ecology* (online) 1.
- Dobbertin, M., Wermelinger, B., Bigler, C., Burgi, M., Carron, M., Forster, B., Gimmi, U. y Rigling, A. 2007. Linking increasing drought stress to Scots pine mortality and bark beetle infestations. *ScientificWorldJournal* 7 Suppl 1:231-239.
- Fernandez-Eguiarte, A., Zavala-Hidalgo, J. y Romero-Centeno, R. 2016. "Atlas Climático Digital de México". de <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx>
- Figueroa, F. y Sánchez-Cordero, V. 2008. Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation* 17:3223-3240.
- Figueroa, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, 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.
- Flanagan, L. B. y Johnson, B. G. 2005. Interacting effects of temperature, soil moisture and plant biomass production on ecosystem respiration in a northern temperate grassland. *Agricultural and Forest Meteorology* 130:237-253.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Nauß, T., Peters, T. y Bendix, J. 2012. Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology* 152:17-30.
- Galiano, L., Martínez-Vilalta, J. y Lloret, F. 2010. Drought-induced multifactor decline of Scots pine in the pyrenees and potential vegetation change by the expansion of co-occurring oak species. *Ecosystems* 13:978-991.
- Groot, W. T. 1992. *Environmental science theory: concepts and methods in a one-world, problem-oriented paradigm*, Amsterdam. 583pp.
- Hackett, W. R. 2009. Changing land use, climate and hydrology in the Winooski river basin, Vermont. Tesis de maestría. The University of Vermont, Vermont. 98pp.
- Hernandez-Mendoza, A. M. 2010. Composición taxonómica y fisiogeográfica de la Sierra de Tamaulipas, México. Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria. 1-191pp.
- Hersperger, A. M., Gennaio, M.-P., Verburg, P. H. y Bürgi, M. 2010. Linking Land Change with Driving Forces and Actors: Four Conceptual Models. *Ecology and Society* 15.
- Hewson, J., Ashkenazi, E., Andelman, S. y Steininger, M. 2014. Projected impacts of climate change on protected areas. *Biodiversity* 9:100-1005.
- IPCC. 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change C. U. Press. New York, USA.
- IUCN. 2005. Benefits beyond boundaries: Proceedings of the Vth IUCN World Parks Congress. . G. IUCN, Switzerland and Cambridge, UK.
- IUCN, U.-W. 2016. Protected planet report 2016. Cambridge UK and Gland, Switzerland.

- Jump, A. S., Mátyás, C. y Peñuelas, J. 2009. The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology & Evolution* 24:694-701.
- Kardoulas, N. G., Bird, A. C. y Lawan, A. I. 1996. Geometric correction of SPOT and LANDSAT imagery: A comparison of map - and GPS- derived control points. *Photogrammetry and Remote Sensing*:1171-1177.
- Kelly, A. E. y Goulden, M. L. 2008. Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:11823-11826.
- Koepke, D. F., Kolb, T. E. y Adams, H. D. 2010. Variation in woody plant mortality and dieback from severe drought among soils, plant groups, and species within a northern Arizona ecotone. *Oecologia* 163:1079-1090.
- Kreyling, J., Wenigmann, M., Beierkuhnlein, C. y Jentsch, A. 2008. Effects of extreme weather events on plant productivity and tissue die-back are modified by community composition. *Ecosystems* 11:752-763.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, C. y Xu, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11:261-269.
- Legendre, P. y Legendre, L. 2003. *Numerical Ecology*. Elsevier, Paris. 853pp.
- Letten, A. D., Ashcroft, M. B., Keith, D. A., Gollan, J. R. y Ramp, D. 2013. The importance of temporal climate variability for spatial patterns in plant diversity. *Ecography* 36:1341-1349.
- Leverington, F., Hockings, M., Pavese, H., Lemos Costa, K. y Courrau, J. 2008. Management effectiveness evaluation in protected areas - A global study. Supplementary report No. 1: overview of approaches and methodologies. Queensland.
- Lillesand, T. M. y Kiefer, R. W. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley and Sons Inc. , New York. . 612pp.
- Loarie, S. R., Duffy, P. B., Hamilton, H., Asner, G. P., Field, C. B. y Ackerly, D. D. 2009. The velocity of climate change. *Nature* 462:1052-1055.
- Lugo, H. J. 1988. *Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos)*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 128pp.
- Lloret, F., Escudero, A., Iriondo, J. M., Martínez-Vilalta, J. y Valladares, F. 2012. Extreme climatic events and vegetation: the role of stabilizing processes. *Global Change Biology* 18:797-805.
- Lloret, F., Siscart, D. y Dalmases, C. 2004. Canopy recovery after drought dieback in holm-oak Mediterranean forests of Catalonia (NE Spain). *Global Change Biology* 10:2092-2099.
- Maass, S. F. y Regil García, H. H. 2010. IDRISI como herramienta para la evaluación de áreas naturales protegidas. El caso del parque nacional de Nevado de Toluca. *Revista Geografica de America Central No Especial II Semestre* 127-149.
- Mainali, J., All, J., Jha, P. K. y Bhuj, D. R. 2015. Responses of Montane Forest to Climate Variability in the Central Himalayas of Nepal. *Mountain Research and Development* 35:66-77.
- McGarigal, K., Cashman, S. y Stottard, S. 2000. *Multivariate statistics for wildlife and ecology research*. Springer, Nueva York.

- Mendenhall, W., Beaver, R. J. y Beaver, B. M. 2010. Introducción a la probabilidad y estadística. 13 edition. CENGAGE, México, D.F. 746pp.
- Nagendra, H. 2008. Do parks work? Impact of protected areas on land cover clearing. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 37:330-337.
- Pau, S., Wolkovich, E. M., Cook, B. I., Davies, T. J., Kraft, N. J. B., Bolmgren, K., Betancour, J. L. y Cleland, E. E. 2011. Predicting phenology by integrating ecology, evolution and climate science. *Global Change Biology* 17:3633-3643.
- Pitman, A. J., de Noblet-Ducoudré, N., Avila, F. B., Alexander, L. V., Boisier, J. P., Brovkin, V., Delire, C., Cruz, F., Donat, M. G., Gayler, V., van den Hurk, B., Reick, C. y Voldoire, A. 2012. Effects of land cover change on temperature and rainfall extremes in multi-model ensemble simulations. *Earth Syst. Dynam.* 3:213-231.
- Pontius, R., Gilmore, Jr y Millones, M. 2011. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing* 32:4407-4429.
- Prieto-Torres, D. A., Navarro-Sigüenza, A. G., Santiago-Alarcon, D. y Rojas-Soto, O. R. 2016. Response of the endangered tropical dry forests to climate change and the role of Mexican Protected Areas for their conservation. *Global Change Biology* 22:364-379.
- Ries, L. y Sisk, T. D. 2010. What is an edge species? The implications of sensitivity to habitat edges. *OIKOS* 119:1636-1642.
- Rodríguez Jiménez, R. M., Benito Capa, Á., Portela Lozano, A., León, F. M., Quirantes, J. A. y Benadero, F. R. 2012. Meteorología y climatología. FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología), España.
- Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C. y Pounds, J. A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57-60.
- Sanderson, R. 2010. Introduction to remote sensing. New Mexico State University New Mexico, USA. 38pp.
- Schowengerdt, R., A. . 2007. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. Elsevier, USA.
- SEMARNAT. 2008. Programa de ordenamiento ecológico general del territorio (POEGT). 12/11/2015 de <http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamiento-ecologico/programa-de-ordenamiento-ecologico-general-del-territorio-poegt>
- Sklar, F. H. y Costanza, R. 1991. The development of dynamic spatial models for landscape ecology: a review and prognosis. pp. 239-288 *In: E. Studies (Eds.). Quantitative Methods in Landscape Ecology.* Springer Verlag. New York.
- Theurillat, J.-P. y Guisan, A. 2001. Potential impact of climate change on vegetation in the european Alps: A review. *Climatic Change* 50:77-109.
- Thuiller, W. y Albert, C. 2008. Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9:137 – 152.
- Thuiller, W., Albert, C., Araújo, M. B., Berry, P. M., Cabeza, M., Guisan, A., Hickler, T., Midgley, G., Paterson, J., Schurr, F. M., Sykes, M. T. y Zimmermann, N. E. 2008. Predicting global change impacts on plant species' distributions: future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9:137-152.
- Turner, M. G. 1987. Spatial simulation of landscape changes in Georgia: A comparison of 3 transition models. *Landscape Ecology* 1:29-36.

- Van der Putten, W. H. 2012. Climate change, aboveground-belowground interactions, and species' range shifts. *Annual Review in Ecology and Systematics* 43:365-383.
- van Mantgem, P. J., Stephenson, N. L., Byrne, J. C., Daniels, L. D., Franklin, J. F., Fulé, P. Z., Harmon, M. E., Larson, A. J., Smith, J. M., Taylor, A. H. y Veblen, T. T. 2009. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. *Science* 323:521-524.
- Viau, A. E., Gajewski, K., Fines, P., Atkinson, D. E. y Sawada, M. C. 2002. Widespread evidence of 1500 yr climate variability in North America during the past 14000 yr. *Geology* 30:455-458.
- Villalobos, M. F. J. 2009. *Fitotecnia: Bases y tecnologías de la producción agrícola*. Ediciones Mundi-Prensa, (Madrid) España. 496pp.
- Wang, J., Rich, P. M. y Price, K. P. 2003. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing* 24:2345-2364.
- Wang, Q., Riemann, D., Vogt, S. y Glaser, R. 2013. Impacts of land cover changes on climate trends in Jiangxi province China. *Int J Biometeorol*.

4 Capítulo IV

4.1 Conclusiones generales

La pérdida de cobertura de terreno en las siete RTP analizadas, indicaron que entre los años 1980 y 2005 ocurrieron las mayores pérdidas de cobertura, mientras que entre 2005 y 2011 se caracterizó por una ganancia de cobertura vegetal nativa.

La pérdida de cobertura de terreno fue mayor en la Sierra de Tamaulipas en los dos ciclos analizados (1980 – 2005 y 2005 – 2011).

Los tipos de vegetación que presentaron la mayor pérdida de cobertura vegetal, fueron los de tipo tropical. Los cuales tendrían que ser los que se tendrían que tomar más acciones para su protección y se encuentran en las periferias de las RTP.

Las pérdidas de cobertura se presentaron con mayor frecuencia en las zonas que presentaron una pendiente suave, que se localizan en las periferias de las RTP.

Las periferias de las RTP presentaron una alta riqueza específica de hidrófitas y gasterópodos terrestres. El interior de las RTP presento las mayores riquezas de pteridofitas, las cuales se encuentran en menor riesgo por el cambio de cobertura vegetal.

La pérdida de cobertura se asoció con las zonas de mayor riqueza de moluscos terrestres en las periferias de la sierra de Tamaulipas, la cual es una isla montañosa que se localiza en la planicie costera de Tamaulipas y en ese lugar se desarrollan la mayoría de las actividades agropecuarias. La asociación encontrada nos hace proponer esta zona como la más crítica y necesita que se tomen acciones para su preservación.

La pérdida de cobertura en las tres áreas de estudio fue menor al 10%, por lo que existe una baja transformación en las coberturas vegetales originales. El área que presentó las mayores pérdidas en la cobertura del terreno nativo fue en la Sierra de San Carlos. La

ganancia de la cobertura nativa en las tres áreas fue mayor que las pérdidas de cobertura, sugiriendo que existe una recuperación en las tres regiones.

Los puntos de calor no son los causantes de cambios de cobertura en las tres RTPs.

Los resultados mostraron que en los dos ciclos (reducción y aumento de temperatura), la pérdida y la ganancia de cobertura de terreno ocurren en condiciones muy específicas de temperatura, precipitación y altitud para El Cielo y San Carlos y en la Sierra de Tamaulipas no fueron muy claros.

Las asociaciones de los cambios de cobertura con las variaciones en la temperatura, precipitación, elevación y grado de pendiente, fueron diferentes para cada una de las RTPs. El Cielo nos mostró que la pérdida de cobertura se asocia a sitios con elevación entre los 1800 y 2000msnm. La sierra de San Carlos indico que las zonas bajas (200 a 400 msnm) han permanecido ya modificadas, entre los 400 – 600 msnm es una zona muy dinámica ya que en ella ocurren por igual la pérdida y ganancia de cobertura y la Sierra de Tamaulipas, donde los cambios en la cobertura no presentaron una asociación clara a las variables climáticas.

La pendiente no es una variable que se asocie con la pérdida de cobertura de terreno cuando se vio el efecto de las variaciones en la temperatura y precipitación.

La Reserva de la Biósfera de El Cielo la pérdida de cobertura nativa se asoció a las mayores elevaciones en los ciclos cálido-fríos, mientras que para el ciclo frío-cálido la ganancia ocurrió en sitios en los cuales se redujo la temperatura.

La región de San Carlos demostró que en los ciclos cálido-fríos las coberturas persistentes modificadas, la ganancia y pérdida de cobertura ocurrieron con mayor frecuencia en zonas con baja elevación y en el ciclo frío - cálido la pérdida se asoció a el aumento de temperatura y la ganancia a la disminución de la temperatura.

La Sierra de Tamaulipas los cambios de cobertura nativa no presentaron una asociación a las variables climáticas

Las variaciones en la temperatura y precipitación no son las causantes de la pérdida de cobertura de terreno en “El Cielo”, la Sierra de San Carlos y la Sierra de Tamaulipas.