



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USOS, COBERTURAS VEGETALES Y
GRADOS DE ANTROPIZACIÓN EN EL PAISAJE AGRÍCOLA DE LOS
VALLES ADYACENTES A SAN RAFAEL, GALEANA, NUEVO LEÓN.

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRIA EN GEOGRAFÍA

ORIENTACIÓN EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

MANEJO INTEGRADO DEL PAISAJE

PRESENTA

ADRIANA NÚÑEZ GONZALÍ

DIRECTORES DE TESIS:

DR. MANUEL BOLLO MANENT

DR. JOSÉ ALEJANDRO VELÁZQUEZ MONTES



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A mis padres y mi hermana:

Adriana Gonzalí Cantú

Javier Núñez de la Sierra

Lorena Núñez Gonzalí

Por su amor, cariño y apoyo incondicional
en cada etapa de mi vida

A

Mario Alberto Guerrero Madriles

Por el amor, confianza, amistad y por ser
esa persona especial que me da fuerzas
para superarme personalmente

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme estas oportunidades en mi vida, a mi familia por creer en mí y darme las herramientas para desarrollarme personalmente y profesionalmente.

A CONACYT por el apoyo económico para mis estudios de posgrado, sin este apoyo no hubiera sido capaz de realizar los estudios además de brindarme la oportunidad de estudiar cursos en el extranjero y el apoyo para fomento para la educación por parte de la UNAM para concluir el posgrado.

Al comité de tesis al Dr. Manuel Bollo Manent por su paciencia, al Dr. Alejandro Velázquez por su sinceridad, al Dr. Ángel Priego por sus sugerencias, al Dr. José Ignacio González Rojas por confiar de nuevo en mí ahora para la maestría, sus enseñanzas aplicadas en la vida real y al M.C. José Antonio Navarrete Pacheco por su asesoría técnica.

A los profesores del Centro de Investigación en Geografía Ambiental que me enseñaron cuestiones valiosas de diferentes enfoques y visiones. Al Dr. Bocco y el Dr. Michael Weir por la gestión que nos dio la oportunidad de estudiar en el International Geo-information Science and Earth Observation (ITC) en Holanda.

A mis compañeros y amigos de la maestría que pasamos muy buenos momentos dentro y fuera del Centro de investigación a Violeta Rangel su apoyo como persona ejemplar, Kinne Gueye su disciplina y buen humor, Ana Mena su amistad, Reyna su alegría, Rita Adame su buen humor, Ruben Jorajura su comentarios que nos alegraban el día, Iván López amigo de algunas reuniones atrás, Daniel Benet, Wendy, Rigel, Lenin, Alberto Ortiz, Andrés Boni, Andrés Basante, Pedro Urquijo y Alejandra Larrazábal.

A mis amigos de la UANL que sigo contando con su amistad y aprendiendo de ellos: Mario Guerrero, Blanca González, Mariam Latofski, Alina Olalla, Gabriel Ruiz, Adrian Varela, Jesús María Leza, Jorge Contreras, Cesar Gutiérrez, Diana Romero, Hidalgo Rodríguez, Irene Ruvalcaba, Ricardo Canales, Jorge Allen, Gustavo Fernández, Ángel Medina, Cecilio Pérez y Aaron Medina.

A mi familia que tantos años me han acompañado Lola, Loly, Cecilia, Nany, Lolis, Aura, Celeste, mi futura familia y el gran recuerdo de una mujer ejemplar Teresa.

GRACIAS

Resumen

Los estudios en el cambio de la cobertura vegetal son importantes para conocer el estado de conservación de un sitio y las posibles amenazas de carácter antrópico, el presente trabajo surge ante la necesidad de contar con cartografía actual y conocer el grado del impacto humano en el paisaje de pastizal, al igual pretende proporcionar información de la dinámica de uso de suelo en dichos paisajes a lo largo del tiempo, en los valles con agricultura intensiva en el sur del estado de Nuevo León. El objetivo de esta investigación es cuantificar el grado de alteración antropogénica en áreas adyacentes a San Rafael, Galeana, Nuevo León, para ello se identificaron las unidades de paisaje a escala regional y local, se cuantificó el cambio de coberturas vegetales para el periodo 1976 – 2009 y se identificó y cuantificó el grado de antropización de la cobertura vegetal con una prospección a los próximos 33 años, por lo cual se abordó el enfoque paisajístico, visto desde la geografía del paisaje y la Geoecología.

Esto se logró llevando a cabo una regionalización a escala 1: 250 000 para distinguir rasgos característicos del paisaje, donde se encontraron veintidós localidades y seleccionar la zona de estudio y ubicar la escala local (1:50 000) principalmente las planicies para la tipología local, una vez realizada la tipología local se hizo un análisis general de cambio de coberturas y usos de vegetación, donde se observaron coberturas de matorrales templados perenes microfilos y herbazales euriclimático caduco angustilati-crasifolio tuvieron una pérdida considerable en su cobertura y los usos agrícolas de riego aumentaron para el 2009. Las coberturas y usos se reclasificaron en clases, para integrarlas a las unidades de paisaje elaboradas en la tipología local, generando matrices las cuales mediante a un análisis clúster se separaron las unidades con mayor cambio, para dichas unidades se obtuvieron los grados de antropización de la cobertura vegetal mediante el índice de Shishenko 1988, donde las superficies con mayor extensión de planicie este índice aumento de un grado bajo (1976) a medio (2009) para la unidad 1, y de Muy bajo (1976) a bajo (2009) para la unidad 2 debido a la expansión de la agricultura de riego a esta unidad, en cuanto a la prospección a los próximos 33 años se observa una tendencia a la baja para la unidad 1, siendo la unidad 2 la que experimente algún cambio en su índice de antropización de la cobertura vegetal.

Abstract

Studies on the land change cover are important to know the conservation status of a site, this study arises from the need for current maps to determine the degree of human impact on the landscape, as in intended to provide information on the dynamics of land use in these landscapes over time, in the valleys with intensive agriculture in south of Nuevo Leon state. The aim of this study is to quantify the degree of anthropogenic disturbance in areas adjacent to San Rafael, Galeana, Nuevo León, for it will be identified the landscape units at regional and local levels to quantified the land cover change for the period 1976 – 2009 and the degree of human impact on the canopy using a survey to the next 33 years, which addressed the landscape approach and Geocology. This was achieved by conducting a regionalization at 1:250 000 scale to distinguish characteristic features of the landscape, finding twenty two local areas and select the local area for the local study (1:50 000) with twenty three landscape units mainly in prairie and mountain areas, the first land cover change analysis show that the short grassland has lost an important cover change into irrigation agriculture in the 2009. The vegetation were reclassified into a compact groups like urban areas, agriculture, conserved and disturbed vegetation, to integrate them into the landscape units developed at the local study, the twenty three landscape units were analyzed by a cluster method to identify the units with more changes though this years, those units obtaining the human impact by the Shishenko 1988 index, were the prairies (unit 1) area has in 1976 an low index by 2009 increase to medium degree and the unit 2 from very low in 1976 past to low in 2009 due to the expansion of irrigate agriculture, in therms of prospecting for the next 33 years have seen a downward trend for unit 1, unit 2 could experience different changes.

Contenido

Contenido	6
Introducción.....	10
Antecedentes.....	12
Objetivo general	16
Objetivos específicos.....	16
Área de estudio	16
Características físico - geográficas.....	17
Aspectos socioeconómicos.....	19
Aspectos de conservación.....	21
Aspectos Teórico Conceptuales.....	23
Metodología.....	27
1. <i>Tipología regional de los paisajes</i>	28
2. <i>Selección de área en base a la tipología regional</i>	31
3. <i>Tipología local, escala 1:50 000</i>	31
4. <i>Elaboración de capas temáticas, escala 1:50 000</i>	32
5. <i>Análisis de cambio de uso de suelo, tomando como base a las unidades del paisaje, análisis clúster.</i>	34
6. <i>Grados de antropización</i>	35
Resultados y Discusión.....	38
Conclusiones:	72
Referencias	75
Anexos.....	78

Lista de Cuadros, Figuras y ecuaciones

Cuadro 1. Producción anual en 2008 de cultivos de riego y temporal en el municipio de Galeana N.L. (fuente SIAP)	20
Cuadro 2. Unidades más comunes del enfoque físico-geográfico complejo (Bocco <i>et al.</i> , 2009).....	26
Cuadro 3. Índices diagnósticos para las unidades locales de los paisajes físico-geográficos del área de estudio (Vidina 1970 en Mateo (1984))	27
Cuadro 4. Procedimiento metodológico para la obtención del mapa de paisajes físico-geográficos de la RTP Tokio a escala 1:250 000 (Priego et al., 2008)	29
Cuadro 5. Rangos de disección vertical utilizados para el presente trabajo.....	30
Cuadro 6. Rangos de disección vertical escala 1:50 000.....	31
Cuadro 7. Ejemplo de matriz analítica por unidad de paisaje.	35
Cuadro 8. Ponderación de los tipos de vegetación (<i>ri</i>).....	36
Cuadro 9. Categorías de antropización de la cobertura vegetal según Shishenko	37
Cuadro 10. Superficie ocupada por cada grupo de paisaje físico geográfico en porcentaje.	43
Cuadro 11. Superficie de las comarcas obtenidas en hectáreas y porcentajes	51
Cuadro 12. Estadísticas de confiabilidad de la clasificación de las imágenes SPOT año 2009.	52
Cuadro 13. Valores de confiabilidad y error de la clasificación para el año 2009.....	53
Cuadro 14. Estadísticas globales de clasificación 2009.	53
Cuadro 15. Comparativo de diferentes sensores y su uso para la detección de suelos yesosos (Chuvioco, 2002).....	54
Cuadro 16. Unificación de criterios en base al esquema jerárquico estandarizado para la clasificación de la vegetación de México (Velázquez <i>et al.</i> , en prensa).	55
Cuadro 17. Cambio de cobertura y usos entre 1976 y 2009, para la región de San Rafael Galeana, Nuevo León.	56
Cuadro 18. Cambio de cobertura entre 1976 y 2009, en las unidades pequeñas de paisaje.	64
Cuadro 19. Grado de antropización encontrados en el área de estudio para los años 1976 y 2009.	64
Cuadro 20. Grado de antropización e índice de antropización por unidad de paisaje en los años 1976 y 2009.	67

Cuadro 21. Superficies ocupada por categoría del índice de antropización de la cobertura vegetal en 1976 y 2009 (en % y ha).	70
Cuadro 22. Índice de antropización de la cobertura vegetal para el año 2042.	72
Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio; contexto nacional y regional.....	22
Figura 2. Esquema metodológico de la investigación	27
Figura 3. Tipología de los paisajes de la RTP Tokio en el municipio de Galeana N.L. México escala 1:250 000	45
Figura 4. Ubicación del área de estudio a escala local (1:50 000).	46
Figura 5. Mapa tipológico de paisajes físico – geográficos escala local 1:50 000.....	50
Figura 6. Comparación de coberturas y usos por años, 1976 – 2009, en porcentajes. ...	57
Figura 7. Mapa de coberturas y usos 2009	58
Figura 8. Mapa de coberturas y usos año 1976, bajo el esquema jerárquico estandarizado para la clasificación de la vegetación de México.	59
Figura 9. Mapa de coberturas y usos año 2009, bajo el esquema jerárquico estandarizado para la clasificación de la vegetación de México.	60
Figura 10. Dendrograma resultado del clúster, donde se discriminan los grupos con menor tendencia al cambio de cobertura y usos.	61
Figura 11. Dendrograma donde se muestran los grupos con mayor afinidad a los cambios de cobertura y usos.	62
Figura 12. Mapa de grados de antropización de la cobertura vegetal del año 1976.....	68
Figura 13. Mapa de grados de antropización de la cobertura vegetal del año 2009.....	69
Figura 14. Gráficos comparativos para las tres fechas por categoría, a) unidad 1, b) unidad 2 y c) unidad 14.	71
Ecuación 1. Números de puntos para la validación.....	33
Ecuación 2 Tasa de cambio FAO 1996	34
Ecuación 3. Índice de antropización de la cobertura vegetal	35
Anexo 1. Unidad 1 (mapa 1:50 000); superficies planas (0 – 1°), muy ligeramente diseccionadas (5 – 10 m/km ²) sobre depósitos aluviales, con suelo Regosol éutrico y calcárico, Xerosol háplico, cálcico y gypsic: en la fotografía se observa cultivos de riego tecnificados de maíz, al fondo se observa la unidad 2; superficies planas a muy	

ligeramente inclinadas (0 – 3°), ligeramente diseccionadas (15 – 30 m/km ²), sobre depósitos aluviales y conglomerados, con suelo Xerosol calcárico y háplico, Feozem calcárico y Regosol éutrico y la unidad 11 que corresponde a Piedemontes (conos de deyección) ligeramente a poco inclinados (3-10°), medianamente diseccionados (DV 60 – 100m/km ²), sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerados de lutita-arenisca, con suelo Xerosol háplico, Feozem calcárico y Regosol calcárico.....	78
Anexo 2. Unidad 1, campo de cultivo con vegetación secundaria.....	78
Anexo 3. Área natural protegida Llano de la Soledad.....	79
Anexo 4. Cañadas temporales (intermitentes), en forma de V, erosivas, torrenciales, encajadas, sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerado, lutita – arenisca, depósitos deluvio - coluviales, con afloramientos de roca, ausencia de suelos.....	79
Anexo 5. Valles intermontanos 1800 - 2400m (DV<100 m/km ²) (Unidades 7, 8, 9); ejido Ciénaga del Toro	80
Anexo 6. Matriz analítica de usos de suelo y vegetación en 1976 en hectáreas	80
Anexo 7. Matriz analítica de uso de suelo y vegetación 2009 en hectáreas.....	81
Anexo 8. Matriz de cambio de coberturas y usos, 1976 -2009.	82
Anexo 9. Valores de superficie en hectáreas de las diferentes unidades de paisaje del año 2042	82

Introducción

La agricultura intensiva ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de las comunidades actuales ya que abastece de alimento a la población mundial en constante crecimiento. Esta actividad se define por los niveles más altos de insumos y aumento de la producción (en cantidad o valor) de productos cultivados por unidad de área y el tiempo, esto permite a la producción mundial de alimento duplicarse. La intensificación de la agricultura es detonada por la escasez de tierras en economías no integradas en el mercado debido al crecimiento de la población y al aumento de su densidad (Lambin *et al.*, 2001). La intensificación de los procesos agrícolas ha llevado a una simplificación en la estructura de los paisajes (Persson *et al.*, 2010), además de alterar la hidrología, los nutrientes del suelo, la dinámica de las especies y el funcionamiento de los paisajes (Stapp P., 2008).

Los paisajes desérticos están ocupados en parte por esta agricultura intensiva, donde se enfrentan mayores retos para su producción, tales como el llevar agua a los cultivos, lo cual se hace mediante sistemas de riego. La práctica de agricultura de riego se define como aquella que se aplica agua de manera artificial por sistemas de irrigación como son pistolas de agua, la canalización del agua y aspersores rotatorios (----, 2006). Bajo esta categoría de dispositivos móviles, existen varios tipos, los más ampliamente distribuidos son los aspersores de pivote central que se caracterizan por irrigar grandes superficies de forma circular. La manera de selección de las áreas cultivables bajo estos sistemas son: grandes áreas abiertas con suelos arcillosos, con acceso a caminos y en el caso de algunos cultivos, como los tubérculos, que no tengan antecedentes de ser cultivados con anterioridad, para minimizar el riesgo de contaminación del cultivo por patógenos (Allen, 2007).

La agricultura de riego conlleva ciertos problemas ambientales, sobre todo en zonas donde la precipitación es menor a 250 mm; pues provoca en el mayor de los casos una salinización de suelos (García-Ruiz, 2010) y como consecuencia, una pérdida de la productividad del suelo, llegando al abandono de tierras de cultivo (FAO, 1997). En México, el uso desmedido de estos sistemas de riego ha provocado la pérdida de

importantes superficies de vegetación natural de los desiertos, paisajes en los cuales además de la agricultura, se identifican otras actividades económicas con ciertos impactos ambientales como la ganadería, la extracción de minerales y la urbanización.

En la parte norte de México donde los paisajes desérticos predominan, se localizan zonas agrícolas de gran importancia, situadas principalmente en el llamado Desierto Chihuahuense. Este desierto ocupa el 23% del territorio nacional y parte de Estados Unidos de Norteamérica, es considerado como uno de los más ricos y con mayor cantidad de endemismos en el mundo (Aguirre *et al.*, 2007), en su estructura vegetal se identifican las comunidades xéricas, compuestas de matorrales y pastizales naturales, con relación a estos últimos, se ha observado una baja en su superficie, en la actualidad solo se identifican 179,584 km² como tales. Anteriormente estaban representados con un 10% de cobertura a nivel nacional, con 567,624 km² de superficie, lo que significa una pérdida de cobertura del 32% debido principalmente a la agricultura y la ganadería intensiva (Gauthier D. A, 2006).

La pérdida de los pastizales naturales por ser sustituidos por cultivos no es un problema exclusivo de México, involucra a los tres países Norteamericanos: Canadá, Estados Unidos y México, ya que los pastizales naturales se representan como un continuo en todo Norteamérica, siendo de vital importancia para conservar el balance ambiental, en los hábitat de especies de flora y fauna (sobre todo especies migratorias). Esta sustitución de coberturas ha ocasionado que los paisajes desérticos con pastizales naturales sean los paisajes más amenazados y menos protegidos del continente americano (Sampson F., 1994).

El presente trabajo surge ante la necesidad de contar con cartografía actual y conocer el grado del impacto humano en el paisaje de pastizal, al igual pretende proporcionar información de la dinámica de uso de suelo en dichos paisajes a lo largo del tiempo, en los valles con agricultura intensiva en el sur del estado de Nuevo León.

Antecedentes

La intensificación de la agricultura de los años 1970 a 2005 ha sido estudiada a nivel mundial en base a los cultivos más importantes, siendo el maíz, el que presenta mayor crecimiento en la producción, abarcando el 57% en el periodo. Otros cultivos de alta tasa de crecimiento fueron, el trigo, arroz, frijol, papas, bananas, cocoa, café, azúcar y algodón. Durante este periodo de 35 años, se observó un crecimiento poblacional mundial del 74.3%, la producción de alimentos se incrementó un 123%, mientras que, el área cultivada creció solo el 25.7%, por lo que se habla de una agricultura intensificada (Rudel *et al.*, 2009).

El establecimiento de cultivos intensivos está en función del mercado, en general los cultivos pueden cambiar a otros cultivos de mayores precios, en el caso de un colapso en los mercados, puede provocar el cambio de los sistemas de producción, al igual por apoyos gubernamentales (Lambin *et al.*, 2001)

Kerr y Cihlar, 2003 generan e identifican mapas de coberturas y usos basados en imágenes satelitales y censos agrícolas; generaron modelos de intensidad agrícola en Canadá y encontraron que las zonas intensidad agrícola se encuentran en la periferia de las grandes planicies, las praderas, donde aún se encuentran algunos remanentes de pastizal natural, con pequeñas áreas naturales protegidas distribuidas desproporcionadamente.

La agricultura de sistemas de riego juega un papel fundamental en la alimentación y expansión de las comunidades, siendo una manera de incrementar la producción de alimentos y los rendimientos. Se estima que el 17% de la superficie mundial es tierra de cultivo con sistemas de riego, ubicados en zonas donde la precipitación es baja, tales como las zonas áridas (Hillel y Vlek, 2005). Alrededor del mundo se muestra un gran interés por las afectaciones ambientales que pudiera ocasionar dichos sistemas de riego, en América Latina existen estudios de dichas afectaciones (Fernández-Cirelli *et al.*, 2009).

En particular, diferentes cultivos tecnificados presentan una serie de problemáticas ambientales derivadas de los sistemas de riego, tales como la excesiva acumulación de sales en los suelos resultado de la extracción de agua y la evapotranspiración en tierras irrigadas en regiones áridas y semiáridas (Carter, 1975). Se originan cambios visuales en el paisaje, pérdida de flora y fauna nativa y un desequilibrio hídrico y de microclima en la zona (Tijerina-Chávez, 1992), además, el fuerte laboreo que implica el establecimiento del cultivo, el cual necesita el uso de agroquímicos y fertilizantes nitrogenados que contaminan el agua subterránea (Davenport *et al.*, 2005), ha ocasionado un mal uso del recurso hídrico (Charcas, 2000). El empleo de pesticidas (Pimentel *et al.*, 1993), con categorías altamente tóxicas y el desconocimiento de recomendaciones de uso y dosis, son aspectos que afectan la calidad de las aguas, la fauna, flora y la salud del trabajador (Crissman *et al.*, 1994).

Debido a dichas implicaciones, al aplicar la agricultura de riego, es necesario realizar un estudio que provea un análisis integrado, al adoptar el paisaje como la unidad básica de estudio se percibe al territorio constituido por elementos multidimensionales que se pueden estudiar y evaluar desde una perspectiva transdisciplinaria, dando énfasis en los patrones espaciales en aspectos biológicos y físico heterogéneos, además de considerar al ser humano como un elemento propio del paisaje (Botequilha-Leitao A. *et al.*, 2006).

Turner *et al.* (1993), mencionan diferentes conceptos de un paisaje en equilibrio, el más sencillo de ellos es el paisaje que no observa cambios a través del tiempo o si en las cercanías existen sitios sin disturbios o en recuperación, genera un modelo para identificar dichos paisajes, tomando en cuenta las siguientes categorías: la frecuencia del disturbio, la tasa de recuperación o el tiempo de recuperación, la extensión espacial del disturbio y la extensión del paisaje, concluyen si un disturbio es muy amplio en extensión o en frecuencia, el paisaje puede no recuperarse y tomar otra trayectoria.

En su contraparte Aronson y Le Floch (1996), introducen una serie de atributos cuantitativos denominados atributos vitales del paisaje, dentro de ellos menciona el nivel de antropización del paisaje, el cual también indica la relativa homogenización del paisaje por acumulación de actividades humanas, las poblaciones de plantas y animales responden rápidamente a este tipo de presión.

Los cambios de uso de suelo y el grado de antropización de la cobertura vegetal, reflejan con mayor claridad el estado de conservación, perturbación o alteración del paisaje, el estudio de los grados de antropización actual nos revelan las unidades más modificadas y su ubicación (Mathews J., 2008). Como contraparte al grado de antropización se reconoce el grado de naturalidad, esto implica el reconocimiento de las condiciones naturales e implica la ausencia o independencia de influencia humana (Margules y Usher, 1981).

El grado de modificación ambiental, puede apoyar la definición de políticas ambientales, así como la priorización de áreas a restaurar, por ofrecer información valiosa sobre el estado de conservación de paisaje y componentes naturales (Priego-Santander *et al.*, 2004), por esto mismo Soto *et al.*, 2001 genera grados de modificación antropogénicas para el noroeste del país a escala 1:1 000 000 por medio de sobreposición de mapas dando como resultados datos indicativos de lo que está ocurriendo en materia de deterioro de los paisajes de zonas áridas.

Jobin *et al.* (2003) estudian los cambios de uso de suelo en los paisajes y las actividades antropogénicas, en particular las agrícolas, en Canadá y para ello aplica un análisis clúster obteniendo los grupos de paisaje con mayor similitud en la extensión de coberturas, lo que además asocian a las actividades socio-económicas, para la planeación de recursos naturales para cada área en especial.

Por otra parte, existen ejemplos exitosos de conservación para pastizales, como es el caso de las montañas de Jura en Suiza, donde han establecido políticas para detener la destrucción de los hábitats de especies en este ecosistema. Aun así, se observa que muchas especies siguen en alto peligro de extinción. En la restauración de algunos sitios después de una agricultura intensiva, toma muchos años o décadas el lograr que se restablezca el pastizal natural (Fischer y Stöcklin, 1997).

Como antecedentes en la zona de estudio se han realizado investigaciones referente a las coberturas vegetales aunque enfocados a especies prioritarias para la conservación, como es el trabajo de Carrera-Máynez 2008, realiza un estudio de cambio de uso de

suelo de 1992 a 2003 enfocado a las colonias del perrito de la pradera (*Cynomys mexicanus*) en el área del Tokio, abarcando los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas. Sus resultados expresan que en el estado de Nuevo León, durante el periodo analizado, se observó que un total del 90% de la superficie de las colonias tuvieron pérdidas por fragmentación, reducción o extinción, producidos generalmente por la agricultura tecnificada y el sobre pastoreo.

Actualmente, el estado de Nuevo León, representa la tercera parte del total de la superficie ocupada por el perrito llanero mexicano, esto debido a la existencia de las áreas naturales protegidas estatales de la Hediondilla, Trinidad y el Llano de la Soledad; aunque las dos primeras áreas son vulnerables a la fragmentación y aislamiento debido a la agricultura que las rodea. Por ello, resulta claro que el estado de Nuevo León es el que presenta más amenazas para la conservación de dicha especie, vital para el mantenimiento del ecosistema de pastizal (Carrera-Máynez, 2008).

El trabajo de (Rivera-Rivera, 2006) se basa en la estructura vegetal para especies de de pastizal, enfocándose en las gramíneas, componente principal de los pastizales, en este caso las especies *Muhlenbergia villiflora*, *Scleropogon brevifolius* y la compuesta *Zinnia acerosa* son las especies dominantes, con mayor densidad relativa y valor de importancia en las localidades más conservadas el Erial y La Soledad. Para San Rafael, el área más impactada del territorio estudiado, las especies dominantes con mayor densidad relativa y valor de importancia fueron las especies *Muhlenbergia villiflora* y *Salsola sp.*, siendo esta última una especie de sucesión secundaria en la zona.

Objetivo general

Cuantificar el grado de alteración antropogénica en áreas adyacentes a San Rafael, Galeana, Nuevo León.

Objetivos específicos

- Identificar las unidades de paisaje a escala regional y local.
- Cuantificar el cambio de las coberturas vegetales para el periodo 1976-2009.
- Identificar y cuantificar el grado de antropización de la cobertura vegetal, con una prospección a los próximos 33 años.

La importancia práctica de esta investigación, radica en aportar información cartográfica valiosa para centrar estudios de conservación de la biodiversidad y restauración ecológica en ciertas áreas, lo cual es un insumo básico para la toma de decisiones.

Área de estudio

El área de estudio está localizada en el municipio de Galeana al sur de Nuevo León, México, entre las coordenadas: 25° 12'N – 100° 48'W y 24° 56'N – 100° 25'W, limita hacia el norte con el municipio de Arteaga, oeste con el municipio de Saltillo del estado de Coahuila, al suroeste con el municipio del Salvador del Estado de Zacatecas, al sur con el municipio de Vanegas San Luis Potosí, Doctor Arroyo y Aramberri Nuevo León, al este con los municipios de Iturbide y Rayones Nuevo León (Figura 1).

El municipio de Galeana cuenta con una superficie de 6,739.95 km², la cual representa el 10% de la superficie de Nuevo León. El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) describe para este municipio la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental y la subprovincia de Sierras Transversales, la cual comprende una llanura desértica utilizada para agricultura mecanizada. En el presente estudio nos enfocamos a esta región de dicho municipio, que se encuentra en la parte oeste límite con el municipio de Saltillo, Coahuila (INEGI, 1986).

Características físico - geográficas

El relieve del área de estudio presenta un rango de altitud de 1600 a 3700 msnm, con una disección vertical de 5 a 500 m/km². Se identifican dos grandes mesoformas en la Sierra Madre propiamente dicha, que son, los sistemas de montaña y las planicies que les separan. Los elementos que componen dichas meso formas son; en el sistema montañoso: montañas altas, pie de montes y valles inter-montanos; mientras que en la planicie se observan lomeríos y planicies (con una altitud de 1800 msnm), este último es el elemento que predomina en el área de estudio, y es parte de la eco-región del Desierto Chihuahuense.

El territorio presenta una litología predominante de rocas sedimentarias, entre las más importantes encontramos rocas Calizas, Lutitas y depósitos proluvio – coluvio – deluviales.

El clima se caracteriza por dos tipos según la clasificación de Köppen modificado por García (García y CONABIO, 1998). En los paisajes de la Sierra, se presenta un clima semiárido templado BS1k (x'), con un rango de precipitación de 400 a 500 mm; mientras que en los paisajes de la planicie, se presenta un clima árido templado BSok(x') con un rango de precipitación de 300 – 400 mm ambos con lluvias en verano.

Los suelos en los paisajes de montañosa, son poco profundos, pedregosos, predominan los tipos Litosoles y Rendzina, en los valles inter montanos encontramos suelos del tipo Castañozems y Feozems, en la planicie son de color casi blanco, textura arcillosa, un pH cercano a 8 con poca materia orgánica y una importante acumulación de sales, yeso y carbonato de calcio; los tipos de suelo que predominan son los Xerosoles y Regosoles. Los suelos con alto contenido de yeso tienen una productividad baja a moderada por su bajo contenido de fósforo, magnesio, nitrógeno, hierro, baja capacidad de intercambio catiónico, desbalance nutrimental y poca retención de agua aprovechable (Herrero y Boixadera, 2006).

La vegetación natural en los paisajes de montañas y lomeríos se identifica como bosques de pino de baja altura, de la especie de pino piñonero (*Pinus cembroides*), además, se identifican elementos de chaparral y matorral como son los encinos

(*Quercus sp.*). Sotol (*Dasyilirion sp.*) y especies del genero Agave. En los paisajes de la planicie predomina el matorral desértico de hoja pequeña (micrófilo), especie dominante como la Gobernadora (*Larrea tridentata*) y de hojas en forma de roseta (rosetófilo), especie dominante la Yucca (*Yucca sp.*); también se encuentran elementos de vegetación halófila/gypsófila (vegetación muy baja que no pasa los 30 cm de altura) cuyas especies dominantes son: pastos y hierbas endémicas *Muhlenbergia villiflora*, *Atriplex canescens*, *Scleropogon brevifolius*, *Sporobolus sp.* alguna de estas endémicas *Frankenia gypophila*, *Bouteloua chasei*, *Dicranocarpus sp.* y *Nerisyrenia sp.*

Como parte de la fauna en los paisajes de montañas encontramos mamíferos como: oso americano (*Ursus americanus*), puma (*Puma concolor*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), reptiles: serpiente de cascabel (*Crotalus lepidus*), lagartija (*Sceloporus grammicus disparilis*), y anfibios: la rana de árbol (*Ecnomiohyala miotympanum*); de aves de varias especies de la familia Accipritidae y Falconidae, entre las que podemos encontrar el halcón peregrino (*Falco perigrinus*), así como otras especies de aves asociadas a bosque de pino y chaparral. En los paisajes de la planicie, es característica la fauna de zonas áridas, de mamíferos, se encuentran colonias de perritos de la pradera (*Cynomys mexicanus* endémico), zorra del desierto (*Vulpes velox* endémico), Tlalcoyote (*Taxidea taxus*); de reptiles, víbora de cascabel (*Crotalus scutulatus*); de aves residentes podemos encontrar lechucita llanera (*Athene cunicularia*), águila real (*Aquila chrysaetos*), verdugo (*Lanius ludovicianus*), gorrión de worthen (*Spizella wortheni*, endémica); además de ser refugio para aves migratorias de pastizal, prioritarias para la conservación a nivel internacional como son gavián, zarapito americano y chorlito llanero (*Buteo regalis*, *Numenius americanus* y *Charadrius montanus*) entre otros.

Con relación al uso de suelo, en específico, en la parte montañosa del área de estudio, no se observa algún tipo de actividad económica, los paisajes donde se observa algún tipo de uso son los valles inter montanos con agricultura de temporal, pastizal inducido y en los últimos años se ha instalado la agricultura de riego tecnificada. En los paisajes de la planicie se observa una agricultura de riego tecnificado por medio de pivote central, además de agricultura de temporal y pastoreo.

Aspectos socioeconómicos

La información social disponible es la información municipal del conteo de población en el 2005 (CONAPO, 2010). Se contabilizaron 38,930 habitantes, los cuales presentan las siguientes características socio - demográficas: un porcentaje de población analfabeta del 10.4%, población sin primaria completa el 37%, ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario 6.76%, ocupantes en viviendas sin energía eléctrica 3.17%, ocupantes en viviendas sin agua entubada 26.8%, viviendas con algún nivel de hacinamiento 50%, ocupantes en viviendas con piso de tierra 15.8%, población en localidades con menos de 5,000 habitantes 83%, población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios 57%, con un grado de marginación medio, con un PIB per cápita ajustados de 4027 en dólares, un índice de desarrollo humano del 0.725 y un grado de desarrollo humano medio - alto.

Dentro de las actividades económicas en el municipio se observa la ganadería, uso forestal, industria y la agricultura que es la actividad más sobresaliente en el área de estudio. La producción agrícola en la planicie del área de estudio, es parte del distrito de riego 04 en el municipio de Galeana. El Cuadro 1, se presentan los datos de producción anual para el 2008 de la agricultura de riego y temporal; estos datos fueron obtenidos por el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2008). Los cultivos con mayor superficie y producción son los cultivos de riego: maíz forrajero, maíz de grano, trigo de grano y papa, los cultivos temporales representan menor superficie y la producción depende en gran medida de las temporadas de lluvia; estos tipos de cultivos se ubican principalmente en los valles inter montañosos y en algunos casos en la planicie.

Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Sup. Siniestrada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)
Ajo	14.00	14.00	0.00	88.00	6.29	13,909.09	1,224.00
Avena forrajera	700.00	700.00	0.00	14,875.00	21.25	346.13	5,148.75
Calabacita	40.00	40.00	0.00	340.00	8.50	2,000.00	680.00
Cebada Forrajera en verde	300.00	300.00	0.00	8,250.00	27.50	356.00	2,937.00
Cebada Grano	50.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Col (Repollo)	100.00	100.00	0.00	8,150.00	81.50	2,260.74	18,425.00
Frijol	100.00	70.00	30.00	37.00	0.53	10,500.00	388.50
Maíz Forrajero	13,945.00	12,885.00	1,060.00	155,175.00	12.04	247.80	38,452.50
Maíz Grano	6,280.00	6,080.00	200.00	18,840.00	3.10	2,783.44	52,440.00
Papa	3,209.00	3,089.00	120.00	107,803.60	34.90	5,788.21	623,989.50
Tomate rojo (jitomate)	13.00	13.00	0.00	1,890.00	145.38	6,000.00	11,340.00
Trigo Grano	4,022.00	2,022.00	2,000.00	9,230.00	4.56	3,876.81	35,783.00
Zanahoria	250.00	250.00	0.00	3,750.00	15.00	5,000.00	18,750.00
Totales	29,023.00	25,563.00	3,460.00				809,558.25

Cuadro 1. Producción anual en 2008 de cultivos de riego y temporal en el municipio de Galeana N.L. (fuente SIAP)

Aspectos de conservación

El área de estudio se ubica dentro del desierto Chihuahuense, el cual, como se mencionó anteriormente, es uno de los desiertos con mayor riqueza en el mundo debido a la cantidad de endemismos presentes; por ello, se han delimitado regiones terrestres prioritarias (RTP) para la Conservación establecidas por la CONABIO (Arriaga *et al.*, 2000). En la parte norte del sistema, montañoso, se ubica la RTP, Potosí – Parque Cumbres de Monterrey; en la parte sur, en la planicie, se encuentra la RTP del Tokio, también considerada como área prioritaria para la conservación de las aves (AICA) (Cotera-Correa y Scott-Morales, 2000) por la misma institución (Figura 1). A nivel internacional esta región terrestre es considerada un área prioritaria para la conservación de pastizales (Grassland priority conservation áreas, GPCA) por la Comisión para la Cooperación Ambiental (TNC, 2005). Dentro de dicha RTP, se encuentran tres áreas naturales protegidas estatales (Bezaury-Creel *et al.*, 2007): la Hediondilla, la Soledad y la Trinidad (----, 2002) las cuales son de los pocos remanentes de colonias continuas, mayores de 100 hectáreas, de perrito de la pradera, mamífero endémico y en peligro de extinción. Además de esta especie, existen aves y mamíferos en esta zona con algún estatus de conservación, como el gorrión de worthen (*Spizella wortheni*) considerado dentro de sus especies prioritarias por la Alianza Cero Extinción (AZE por sus siglas en inglés), iniciativa global que incluye 52 organizaciones conservacionistas que busca impedir la desaparición de 794 especies catalogadas en peligro de extinción en todo el mundo (Ricketts, 2005).

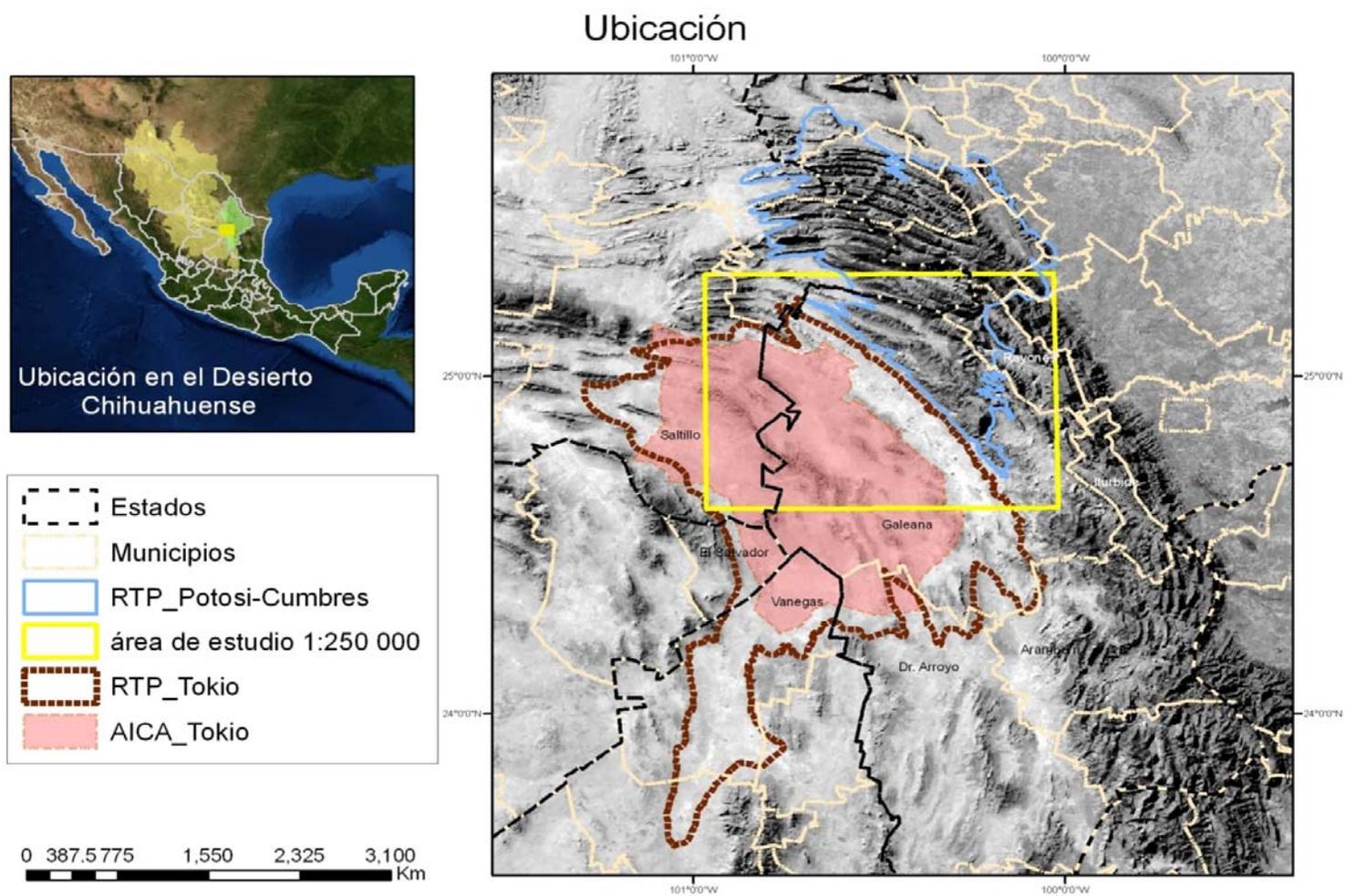


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio; contexto nacional y regional

Aspectos Teórico Conceptuales

Para el análisis espacial en este trabajo, se abordó el enfoque paisajístico, visto desde la Geografía del Paisaje y la Geoecología. El enfoque de paisaje utiliza conceptos y métodos de investigación muy diversos, el cual tiene diferentes aproximaciones a lo largo del tiempo y con diferentes aproximaciones.

Según Frolova (2006), el concepto de paisaje, designado con el término alemán *Landschaft*, fue desarrollado por Humboldt y posteriormente se comienza a estudiar y a acuñar la palabra paisaje en Rusia a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, por los estudiosos Dokucháiev, Passarge y Berg. Esta visión tenía una acepción fuertemente natural. El contenido de esa noción expresaba la idea de interacción entre los componentes naturales en un espacio físico concreto. Unas décadas después, expresó una nueva visión de la Geografía Física, Geografía Física Compleja o Geografía del Paisaje, en contradicción con la visión tradicional del análisis aislado de los componentes naturales.

Carl Troll (1899-1975), geógrafo y ecólogo, introdujo el concepto de Ecología del Paisaje en 1938; a finales de los años treinta introduce en los estudios espaciales horizontales del paisaje, tradicionales en Geografía, la dimensión funcional vertical de los botánicos y propone el concepto de *Landschaftsoecologie*, o Geoecología, a la cual llamaría posteriormente Ecología del Paisaje. El autor describe el concepto, los antecedentes, el contexto y particularmente, los alcances, tanto de la idea de paisaje como de la Ecología del Paisaje; ésta última como una disciplina que resulta de la intersección de la Geografía física y la Ecología. También plantea la idea de que la Ecología del Paisaje, más que una nueva disciplina, es una perspectiva espacial, geográfica, para entender fenómenos naturales complejos. Aún más, al señalar las posibilidades de aplicación práctica de este enfoque en la planificación, pone énfasis en los aspectos sociales de los ecosistemas (Bocco, 2003, Troll, 1950 [2003]).

Desde las Ciencias Biológicas se desarrolló la Geoecología desde la visión de la Ecología del Paisaje (Huggett R. J, 1995), definiéndola como la expresión espacial de

ecosistema llamado geoeosistema, considerada como una estructura biótica, mientras la Geoecología, desde la visión de la Geografía de los Paisajes, entiende a la estructura de los paisajes como una poliestructura, que incluye las geoestructura morfolitogénica, la hidroclimatogénica y biopedogénica (Bollo M., en prensa), siendo este el enfoque a utilizar en este trabajo.

El paisaje se considera como un grupo de formas de los objetos y elementos que definen a un espacio geográfico. El paisaje natural, constituye el soporte físico del espacio geográfico, estos son los elementos que constituyen el esqueleto que imprime la forma básica al espacio. La Geoecología trabaja con los conceptos de paisaje natural – antroponatural y cultural, como un trinomio evolucionista y organicista de acuerdo en lo fundamental a los planteamientos de (Sauer, 1925). De tal manera, el paisaje no es considerado un concepto único, sino como un sistema de conceptos. El paisaje es natural, por cuanto está formado por la interrelación de todos los componentes naturales, es antroponatural, por cuanto implica la modificación de los objetos naturales por objetos artificiales, técnicos o humanizados; pero también es social y cultural (Bollo, en prensa).

El paisaje antroponatural – natural, consiste en concebir al paisaje como un sistema espacial, compuesto por elementos naturales y antroponaturales – tecnogénicos, condicionados socialmente, los cuales modifican o transforman las propiedades de los paisajes naturales originales. En este sentido, estas denominaciones, tienen que ver con el grado de naturalidad o de modificación y transformación antropogénica de los paisajes naturales. De tal manera según esta acepción, el paisaje puede estar formado por paisajes naturales (en estado natural o casi natural), paisajes antroponaturales – naturales y paisajes antrópicos o antropogénicos (Mateo-Rodríguez y Vicente-daSilva, 2004).

Sochava (1978), definió el concepto de geosistema que refuerza el carácter integrador de la Geografía, introduciendo además nuevos conceptos de las teorías de la información y de sistemas en la Geografía de los Paisajes, esto permitió a los estudios del paisaje enfocarse al desarrollo de la clasificación y cartografía de los geosistemas, es decir al estudio de la estructura paisajística del espacio, a las dinámicas espaciales y temporales del paisaje y al estudio del funcionamiento del paisaje basado en los

intercambios de energía, con esto establece los principios en las relaciones entre la Regionalización y la Tipología físico-geográfica.

La Geografía de los Paisajes, utiliza tipos particulares de clasificación para estudiar las propiedades de los paisajes del nivel regional, dicha categorías son la Regionalización y la Tipología físico – geográfica. La Tipología físico-geográfica o de paisajes, consiste en el esclarecimiento, clasificación y cartografía de los complejos físico-geográficos o paisajes de carácter tipológico, tanto lo naturales como los modificados por la actividad humana, es decir los antroponaturales, a escala tanto regional como local. A ellos nos referimos en el presente trabajo.

Los complejos físico-geográficos de carácter tipológico, se caracterizan por:

- Poseer rasgos comunes principalmente que son inherentes no sólo a las unidades que se encuentran cerca, sino a aquellas separadas por largas distancias.
- Son repetibles en el espacio y tiempo, distinguiéndose de acuerdo a los principios de analogía, homogeneidad, repetitividad y pertenencia a un mismo tipo.
- Espacialmente los contornos de un mismo tipo no forman un área común, pudiendo estar esparcidos en diferentes espacios.

Los paisajes o unidades locales se repiten en una gran cantidad de contornos, también conocida como diferenciación morfológica o topológica de los paisajes, es lo que se conoce como tipología de los paisajes de nivel local (Isachenko, 1973).

Tanto los paisajes de nivel local como los de nivel regional, forman parte de unidades mayores y contienen unidades menores (sistemas y subsistemas), situadas jerárquicamente en escalones, es por ello, que durante la clasificación se establecen sistemas de unidades, que permiten diagnosticar cada escalón, como la representación cartográfica de las distintas unidades establecidas.

En el Cuadro 2, se presentan las unidades más comunes del enfoque físico-geográfico complejo.

Nivel (Escala)	Nivel Regional y planetario ($\leq 1:250\ 000$ hasta $\leq 1:1\ 000\ 000$)		Topológico o local ($> 1:250\ 000$)
Nomenclatura de las unidades	Individuales (Regionalización Físico Geográfica)	Tipológicas (Tipología Regional)	Tipológicas Tipología Local
	Continente	Clase	Localidad
	Subcontinente	Subclase	Comarca / Paraje
	País	Tipo	Subcomarca
	Dominio	Subtipo	Eslabón
	Provincia	Grupo	Facie
	Subprovincia	Subgrupo	
	Distrito	Especie	
	Subdistrito	Subespecie	
	Región		
	Subregión		

Cuadro 2. Unidades más comunes del enfoque físico-geográfico complejo (Bocco *et al.*, 2009)

Para la clasificación de los paisajes del nivel local se utilizaron el sistema de unidades y los índices diagnósticos que se presentan en el Cuadro 3. En la cartografía a escala local del presente trabajo, solo se representaron localidades y comarcas/parajes.

INDICE DIAGNOSTICO PRINCIPAL:	NIVEL DEL GEOSISTEMA	INDICE DIAGNOSTICO COMPLEMENTARIO:
Paisaje elemental	Facie	Caracterizado por la situación en los límites de un mismo elemento del microrelieve (raramente en una microforma del relieve), la misma composición litológica de la roca superficial, un mismo régimen de humedad del suelo y del manto, idéntica variedad del suelo y la biocenosis.
Paisaje de estructura de un escalón formado por facies individuales	Sub – Subcomarca / Paraje	Caracterizado por la situación en un elemento de la mesoforma del relieve. Es semejante en cuanto al ingreso de calor y luz solar. Tiene la misma correlación de los depósitos y de la capa de formación de suelos, el mismo tipo de régimen de la humedad del manto y de los suelos. Una similar asociación de variedades de suelos y de biocenosis.
Paisaje de estructura de un escalón formado por facies individuales	Comarca / Paraje Simple	Coincide frecuentemente con una mesoforma del relieve (o con partes de la mesoforma compuesta por muchos elementos). Se caracteriza por la asociación de regímenes de humedad, de rocas formadoras de suelos y biocenosis del mismo tipo.

Paisajes de estructura de dos escalones: formado por subcomarcas y facies individuales	Comarca / Paraje Complejo	Coincide frecuentemente con una mesoforma del relieve (o con partes de la mesoforma con muchos elementos), caracterizada por la asociación de regímenes de humedad, de rocas formadoras de suelos y biocenosis, todo del mismo tipo.
Paisaje de estructura de muchos escalones: formado por comarcas, subcomarcas y facies, que forman una asociación espacial característica	Localidad	Coincide con un determinado complejo de mesoformas del relieve (positivas y negativas) en los límites de una misma región.

Cuadro 3. Índices diagnósticos para las unidades locales de los paisajes físico-geográficos del área de estudio (Vidina 1970 en Mateo (1984))

En el presente trabajo, por su alcance, el paisaje es considerado como un sistema antroponatural, mientras que la cartografía, tanto regional (1:250 000), como local (1:50 000) se realiza desde la clasificación tipológica de los paisajes como se mencionó anteriormente.

Metodología

La metodología se sintetizó en el siguiente esquema:

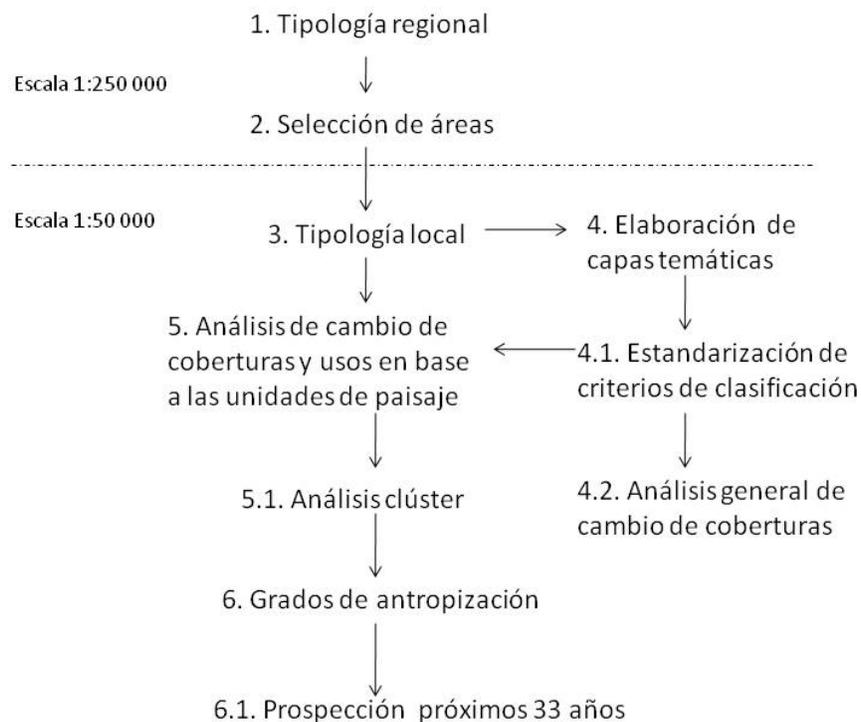


Figura 2. Esquema metodológico de la investigación

1. Tipología regional de los paisajes

Para elaborar la tipología regional fue necesaria la recopilación de la información geográfica en formato digital, escala 1:250 000. Se obtuvieron las siguientes capas temáticas INEGI: topografía, geología, edafología, hidrología superficial y subterránea, climas (1:1 000 000) y uso de suelo y vegetación serie III, se organizó a manera de un sistema de información geográfica bajo la plataforma Arc GIS 9.2.

La tipología regional de los paisajes, es una forma de sistematización de los paisajes, identifica unidades territoriales homogéneas, con carácter jerárquico (en un sistema de unidades taxonómicas), repetibles en el espacio y tiempo. Las unidades de paisaje de la tipología regional, deben ser aptas para modelar varios niveles territoriales (nacional, estatal, municipal) y por lo tanto diversas escalas, se debe utilizar un enfoque jerárquico y multiescalar, que permita moverse de lo general a particular y viceversa (Bocco *et al.*, 1999). Por ello, se elaboró un mapa tipológico de paisajes a escala 1:250 000, teniendo en cuenta el sistema de unidades taxonómicas y sus índices diagnóstico anteriormente propuestos y cuyo objetivo fue realizar una selección del áreas de estudio a nivel local. Para la obtención del mapa en gabinete, se siguió la metodología propuesta por Priego *et al.* (2008), la cual consiste en la sobre posición cartográfica de diferentes componentes del paisaje (Cuadro 4).

Paso	Descripción	Resultado
I	Superposición cartográfica de los mapas correspondientes a la clasificación morfométrica del relieve (disección vertical) y carta geológica	Capa SIG con los dos productos integrados.
II	Generalización cartográfica según axioma del área mínima cartografiable (6 ha en terreno)	Se eliminaron los polígonos que no cumplen con el área mínima cartografiable en base a su representación en el terreno.
III	Clasificación de los tipos de relieve y litología en una nueva leyenda	Se conceptualizó en una nueva leyenda los elementos de la nueva capa Ejemplo: Montañas constituidas por calizas,

		depósitos aluviales y lutita.
IV	Superposición cartográfica del producto del paso III con el mapa de climas	Capa SIG con dos productos integrados.
V	Generalización cartográfica según el área mínima cartografiable (6 ha en terreno)	Eliminación de polígonos que no cumplen con el área mínima cartografiable y generalización supervisada según índice de vecindad.
VI	Definición climática de los tipos morfogenéticos del relieve	Conceptualización, ejemplo: Montañas constituidas por caliza y brecha sedimentaria, en clima semifrío o subhúmedo.
VII	Delimitación de unidades inferiores de acuerdo a rasgos topográficos.	Cimas, complejos cumbrales, pie de monte y valles fluviales
VIII	Superposición cartográfica del producto del paso VI y VII	Capa SIG con los dos productos integrados
IX	Superposición cartográfica del producto VIII con el mapa de vegetación y uso de suelo, definición de los tipos de vegetación y usos de suelo existentes en cada unidad de paisaje.	Conceptualización en la leyenda los tipos de uso de suelo y vegetación existentes en cada unidad de paisaje, dejando afuera los que no cumplieran el área mínima cartografiable.
X	Superposición cartográfica del producto VIII con el mapa de edafología, definición de los tipos de suelo existentes en cada unidad de paisaje.	Conceptualización en la leyenda los tipos de suelo existentes en cada unidad de paisaje, dejando afuera los que no cumplieran el área mínima cartografiable.

Cuadro 4. Procedimiento metodológico para la obtención del mapa de paisajes físico-geográficos de la RTP Tokio a escala 1:250 000 (Priego et al., 2008)

Las capas utilizadas fueron las siguientes:

- Relieve; representado por la disección vertical (expresada por metros/kilómetros cuadrados), esta capa se generó siguiendo la propuesta automatizada del mismo autor para la escala 1:250 000 y se identificó manualmente. Los rangos de disección a utilizar fueron:

Clasificación morfométrica simple	Rangos m/km ²
Planicies subhorizontales	$Dv \leq 2.5$
Planicies onduladas	$2.6 < Dv < 15$
Planicies acolinadas	$16 < Dv < 40$
Lomeríos	$41 < Dv < 100$
Montañas	$Dv \geq 101$

Cuadro 5. Rangos de disección vertical utilizados para el presente trabajo.

- Litología: se utilizó la capa temática del INEGI de dicha escala
- Clima: se utilizó la capa temática del INEGI de escala 1: 1 000 000 por la falta de disponibilidad de una escala mayor.

La leyenda del mapa de los paisajes físico-geográficos a escala regional, nos permite obtener tres niveles de sistematización de los paisajes físico – geográficos del territorio. En este caso, el primer nivel se estableció por los pasos I y II de la metodología, donde se definieron las montañas, lomeríos y planicies. El segundo nivel (el primer nivel y la litología) resultado de los pasos III al VI de la metodología, incluye 4 unidades designadas con letras A, B, C, D, que se corresponden con las subclases de paisajes físico-geográficos. El tercer nivel, resultado de los pasos VII al X de la metodología, identificaron los grupos de paisaje físico-geográficos, es el resultado de la superposición del segundo nivel y los tipos y subtipos de clima, lo que definió un total de 22 unidades representadas en números romanos (I al XXII).

Con el fin de mejorar la sistematización del mapa de paisaje, a partir de los grupos de paisajes físico geográficos, se distinguieron, desde el mapa topográfico, las unidades morfológicas que conforman cada una de los XXII grupos de paisaje (cimas, pendientes, corrientes intermitentes, permanentes, ocasionales, etc.) y a estas unidades morfológicas se sobrepusieron las pendientes, los suelos y la vegetación y usos, de manera que se obtuvieron 82 nuevas unidades. Para efectos prácticos, la leyenda se

generalizó, en una nueva leyenda resumida para los XXII grupos de paisajes físico geográfico.

2. Selección de área en base a la tipología regional

La selección del área de estudio para el estudio local, se realizó con base al mapa tipológico de los paisajes escala 1:250 000 de la RTP el Tokio. Para ello, se asumieron algunos criterios básicos: que abarcara paisajes con diferente grado de modificación antropogénica, en especial con potencial para la agricultura de riego, y que tuvieran paisajes en estado natural, de tal manera se incluyeron dos áreas naturales protegidas.

A partir de este momento, fue necesario realizar la recopilación de información que nos permitiera crear las bases cartográficas para la investigación a nivel local. La cual consistió en el reconocimiento del material disponible (rasgos topográficos), escala 1:50 000 y en el caso de las capas temáticas y coberturas y usos, su elaboración (descrita en el punto 4).

3. Tipología local, escala 1:50 000

Las unidades de paisaje se obtuvieron en principio, utilizando la metodología propuesta por Priego *et al.* (2008), anteriormente descrita en el punto 1, modificada a una manera semiautomatizada para cumplir con las características del territorio y escala.

Los insumos utilizados fueron la cartografía topográfica digital INEGI escala 1:50,000 de las cartas, G14C54 La Hediondilla (CETENAL, 1975), G14C44 Huachichil (CETENAL, 1976), G14C45 San Rafael (CETENAL, 1976), G14C46 Rayones (CETENAL, 1977), G14C55 La Paz (CETENAL, 1977).

Relieve; representado por la disección vertical (expresada por metros/kilómetros cuadrados) los rangos a utilizar para la escala 1:50 000 fueron:

Clasificación morfométrica	Rangos
Planicies y valles intermontanos muy ligeramente diseccionados	5<DV<15
Planicies ligeramente diseccionadas	15<DV<30
Planicies y valles intermontanos poco diseccionados	30<DV<60
Lomeríos y pie de monte medianamente diseccionados	60<DV<100
Lomeríos y pie de monte diseccionados	100<DV<250
Lomeríos pre-montañosos	200<DV<350
Montañas	>350

Cuadro 6. Rangos de disección vertical escala 1:50 000

Además se utilizaron las capas temáticas de: climas (1:1 000 000), de litología y edafología 1:50 000, digitalizadas a partir de la cartografía impresa (paso 4).

Una vez elaborado el mapa de manera automatizada, se verificó en campo con visitas en el mes de Octubre del 2009, donde se identificaron las unidades de paisaje y se corrigió la leyenda para representar los rasgos morfológicos que no se pudieron identificar de manera automática, entre ellos los valles intermontanos y pie de monte, por lo que se decidió modificar la leyenda y los límites de las comarcas en unidades identificables en campo.

4. Elaboración de capas temáticas, escala 1:50 000

El material temático a dicha escala no se encontró en formato digital, por lo que fue necesaria la elaboración de dichas capas en base a los mapas impresos de la Comisión de Estudio del Territorio Nacional CETENAL (hoy INEGI), las temáticas de uso de suelo y vegetación y edafología de las siguientes cartas: G14C54 La Hediondilla (CETENAL, 1975), G14C44 Huachichil (CETENAL, 1976), G14C45 San Rafael (CETENAL, 1976), G14C46 Rayones (CETENAL, 1976), G14C55 La Paz (CETENAL, 1976). Dichas cartas fueron escaneadas para tratarlas en formato digital. Una vez escaneadas las cartas se procedió a su georeferenciación y digitalización en un sistema de información geográfica bajo la plataforma Arc GIS 9.3 (ESRI, 2007). Dichas cartas corresponden a los años 1970's, la edición fue publicada en el 1976 por lo que se toma esta última fecha como año de los mapas.

La cartografía de coberturas y usos actual fue elaborada en base a dos clasificaciones supervisadas de una imagen SPOT 2 y otra SPOT 4, ambas corregidas geoméricamente. Se seleccionaron dos fechas (2 de junio y 23 de agosto del 2009 respectivamente) para abarcar la mayor cantidad de cultivos activos. Para la clasificación se utilizó el programa ERDAS imagine (-----, 2004) por medio de los siguientes pasos:

- Se realizaron varias clasificaciones no supervisadas (5 – 15 clases) para discriminar la variabilidad espectral de la imagen.
- En base al número de clases mejor discriminadas por la imagen, se elaboraron zonas de entrenamiento por medio de información de campo y fotointerpretación, siguiendo las recomendaciones descritas por Chuvieco (2002), las zonas identificadas fueron: bosque de pino, chaparral, matorral

desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, agricultura de riego activa, agricultura de temporal, pastizal, suelo y vegetación halófila.

- Una vez delimitados los campos de entrenamiento, se procedió a una evaluación de las firmas espectrales para ver su separabilidad espectral y procurar que fuera una distribución normal o unimodal, de no ser así, se volvían a delimitar.
- Se corrió el algoritmo de máxima similitud con 6 iteraciones produciendo una capa de coberturas en formato imagen.
- Se reclasificaron las imágenes en grupos que tuvieran dos zonas de entrenamiento para la misma categoría, se revisó la clasificación de ambas fechas y se seleccionó la imagen que tuviera menor porcentaje de nubes (23 agosto 2009). La clasificación de junio sirvió para corroborar las clases y corregir manualmente por fotointerpretación las clases, que por temporalidad, no fueran detectadas en la imagen de agosto.
- Posteriormente, se ubicaron puntos al azar para conducir una validación en campo, también se identificaron zonas con vegetación secundaria.
- Se realizó una validación usando el método aleatorio simple para variables categóricas con 95% de probabilidad, con 85% de aciertos. Para esto se utilizó la fórmula :

Ecuación 1. Números de puntos para la validación

$$\frac{z^2 pq}{L^2}$$

Donde z es la abscisa de la curva normal; p indica el porcentaje estimado de aciertos; q , el de errores ($q=1-p$), y L , el nivel permitido del error.

- Algunos puntos fueron detectados por fotointerpretación mediante imágenes con mejor resolución y otros en campo.
- Se hizo una matriz de error y se obtuvo la precisión de la clasificación.
- Una vez validada la clasificación, se convirtió a un formato shapefile con geometría de polígono.

4.1. Estandarización de criterios de clasificación de las coberturas vegetales

La abundante terminología en los estudios de vegetación, además de los diferentes tipos de clasificación utilizados por el CETENAL (hoy INEGI) en sus diferentes ediciones, no son comparables entre sí, por lo que fue necesario una unificación de los criterios clasificatorios por parte de un sistema generalizado, comparable, jerárquico y

estandarizado para que los mapas de los dos años, 1976 y 2009, fueran comparables (Velázquez et al., en prensa)

4.2. Análisis general de las coberturas vegetales

Se hizo un análisis general para observar los tipos de coberturas más vulnerables al cambio y obtener las superficies totales, se obtuvo una tasa de cambio en base a la Ecuación 2 de la (FAO, 1996), también utilizada por otros autores (Velázquez *et al.*, 2003).

Ecuación 2 Tasa de cambio FAO 1996

$$t = (1 - S_1 - S_2)/S_1)^{1/n} - 1$$

t = tasa de cambio

S₁= superficie de la primera fecha

S₂= superficie de la segunda fecha

n= número de años entre fechas.

5. Análisis de cambio de uso de suelo, tomando como base a las unidades del paisaje, análisis clúster.

Los cambios de cobertura se cuantificaron en base a dos fechas disponibles, 1976 y 2009. Con relación a la información de 1976, se obtiene la primera representación de uso de suelo a partir de la cartografía de uso de suelo y vegetación 1:50 000 (INEGI) y una imagen LANDSAT MSS2 como complemento. La clasificación actual de uso de suelo año 2009, se realizó con la imagen SPOT 2 y SPOT 4, ya descrita anteriormente.

Una vez que obtuvieron los mapas de uso de suelo y vegetación, se realizó la sobreposición cartográfica para cada fecha, con el mapa tipológico de paisaje a escala local, para elaborar matrices que contengan la unidad de paisaje en relación al uso de suelo, vegetación e infraestructura (Cuadro 7). Se elaboró una matriz expresada en número de hectáreas por cada año, se obtuvo la tasa de cambio por cobertura dividiendo el tipo de cobertura sobre el total por cada unidad.

Año	Social	Uso (Agricultura)			Vegetación		T
Unidad	Zonas urbanas	A. riego activa	A. riego suspendida	A. temporal	Conservada	perturbada y/o sucesión	
1							
N							

Cuadro 7. Ejemplo de matriz analítica por unidad de paisaje.

5.1. Análisis clúster

Una vez que se obtuvo la matriz de cambio por unidad de paisaje se realizó un análisis clúster; este es un método que permite descubrir, asociaciones o grupos que no son evidentes a priori (McGarigal *et al.*, 2000) y así discernir las unidades de paisaje que tuvieran similitud en la tasa de cambio, lo que permitió eliminar del análisis las unidades que no tuvieran cambios significativos en sus coberturas y así identificar las que tuvieran mayor relación entre ellas.

Para ello se usó el programa PC ORD, se calculó una matriz de similaridad con el método de distancia euclidiana relativa al cuadrado con el método del vecino más próximo, el cual permite detectar valores fuera del rango y como medida de similitud (Kent Martin y Coker, 1992). Posteriormente, con el método de agrupamiento del vecino cercano, se elaboraron dendrogramas, con una separabilidad del 75%, esto nos permitió reducir el número de unidades de paisaje con las cuales trabajar.

6. Grados de antropización

Los grados de antropización, se van a obtener a partir del índice de antropización de la cobertura vegetal (IACV) designado por la siguiente fórmula (Shishenko, 1988):

Ecuación 3. Índice de antropización de la cobertura vegetal

$$IACV = \sum ri * Aij / Atj$$

Donde:

IACV = índice de antropización de la cobertura vegetal

ri es una ponderación del grado de transformación del tipo de vegetación i (Cuadro 8)

Aij es el área en km^2 ocupado por i en el mapa de paisaje.

A_{tj} es el área total en km^2 ocupado por la unidad de paisaje.

	Cobertura	r_i
Coberturas Naturales	Bosque templado seco perenne aciculifolio de <i>Pinus cembroides</i> , <i>Pinus sp.</i>	0.01
	Matorral templado seco perenne latifolio de <i>Quercus sp.</i>	0.01
	Matorral templado seco perenne crasicauale-rosetofilo y/o espinoso de <i>Yucca sp.</i> – <i>Agave sp.</i>	0.01
	Matorral templado seco perenne micrófilo de <i>Larrea tridentata</i> y <i>Flouencia sp.</i>	0.01
	Herbazal frío, templado y tropical (euriclimatico) caducifolio angusti-lati-crasifolio de <i>Muhlenbergia villiflora</i> , <i>Bouteloua chasei</i> , <i>Scleropogon brevifolius</i> y <i>Frankenia sp.</i>	0.01
Creados por el hombre	Herbazal frío, templado y tropical (euriclimatico) caducifolio angustifolio de especies de la familia Gramineae	0.3
	Agricultura de temporal y sin vegetación	0.6
	Agricultura de riego activa	0.7
	Agricultura de riego suspendida	0.7
	Agricultura de riego suspendida con vegetación secundaria (abandonada)	0.8
	Poblados	0.99

Cuadro 8. Ponderación de los tipos de vegetación (r_i)

Por cada polígono obtenido en el mapa tipológico de las unidades de paisaje se obtuvo un valor del Índice de antropización de acuerdo con la cobertura vegetal, según (Shishenko, 1988) establece 5 categorías para describir los niveles de antropización, como se muestra en el Cuadro 9:

Grado	Descripción	Índice
Muy Bajo	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o seminatural en más de 90% del complejo territorial natural. Menos del 10% se aprovecha en actividades agropecuarias y no se encuentran elementos urbanos y / o industriales.	$IACV \leq 0.2$
Bajo	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o seminatural en 55 – 60% del complejo territorial natural. Menos del 10% se aprovecha en actividades agrícolas y las pecuarias hasta en un 25%; no se encuentran elementos urbanos y/o industriales	$0.21 < IACV < 0.38$
Medio	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o seminatural en 15-20% del complejo territorial natural. Las actividades agropecuarias se desarrollan hasta en 80% del territorio y no se encuentran elementos urbanos y/o industriales	$0.39 < IACV < 0.60$
Alto	Geocomplejos que mantiene su cobertura vegetal en estado natural y/o seminatural en más de 2-3% del complejo territorial natural. Más del 87% se aprovecha en actividades agropecuarias y se encuentran elementos urbanos y/o industriales hasta en 7% del geosistema.	$0.61 < IACV < 0.80$
Muy Alto	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o seminatural en menos de 5% del complejo territorial natural. Más del 60% se aprovecha en actividades agropecuarias y se encuentran elementos urbanos y/o industriales en 38-40% del geosistema	$IACV \geq 0.81$

Cuadro 9. Categorías de antropización de la cobertura vegetal según Shishenko

De tal manera, se obtuvieron los porcentajes de este índice de antropización de la cobertura vegetal, por polígono, dentro de las unidades del paisaje para establecer el valor en porcentajes de las categorías del índice por cada unidad e identificar las zonas

con mayor modificación antropogénicas. Finalmente, se elaboraron mapas para la ubicación de las mismas.

6.1. Prospección en los próximos 33 años

Se realizó una prospección de la modificación antropogénica, a partir del cálculo del índice de modificación antropogénica, para los próximos 33 años, es decir, para el año 2042. Esto se llevo a cabo por medio de un análisis matricial por unidad de paisaje, consistió en rasterizar ambas coberturas con sus unidades de paisaje y se hizo un análisis cruzado, posteriormente por unidad de paisaje se multiplicaron las hectáreas por la tasa de cambio obtenida anteriormente, con esto se obtuvieron las posibles superficies para los próximos 33 años, si la tendencia al cambio se mantiene como en el periodo 1976 – 2009.

Resultados y Discusión

1. Tipología Regional

La tipología regional de los paisajes se llevó a cabo en un área de 7,258 km² bajo la metodología antes expuesta, ocupó una parte de la RTP “El Tokio” y una parte de la RTP “Potosí – Parque Cumbres Monterrey”. A continuación se presenta el mapa tipológico a escala 1:250 000 de los paisajes y una leyenda resumida de los XXII grupos de paisaje físico-geográfico distinguidas (Figura 3). En el cuadro 8 podemos observar la superficie en porcentajes ocupado por los grupos de paisaje con relación a todo el territorio.

Leyenda de los paisajes físico geográficos de la RTP “El Tokio”, Galeana, Nuevo León México, Escala 1:250 000

Montañas

- A. Montañas (DV>100), constituidas por caliza, depósitos aluviales, lutita, conglomerado, brecha sedimentaria, yeso.

- I.  Montañas estructurales en clima semifrío, subhúmedo, constituidas por caliza y brecha sedimentaria, con complejo cumbral ligeramente inclinado (3 – 5°), laderas fuerte a muy fuertemente inclinadas

- (>30°), con suelos litosoles, rendzinas y regosoles, con vegetación de bosque de pino, ayarín, pradera de alta montaña y pastizal inducido.
- II.  Montañas estructurales en clima templado, subhúmedo, constituidas por caliza, depósitos aluviales, brecha sedimentaria y lutita, con complejo cumbral fuertemente inclinado (10 – 30°), con laderas mediana a muy fuertemente inclinadas (5 a 30°), con suelos litosoles, feozems, rendzinas y regosoles con bosques de ayarín, pino y oyamel, matorral submontano, pastizal inducido y agricultura de temporal en los complejos de vegas y cauces.
- III.  Montañas estructurales en clima semicálido, subhúmedo, constituidas por caliza, brecha sedimentaria, conglomerado y lutita, con cimas fuertemente inclinadas (10 – 30°), con laderas mediana a muy fuertemente inclinadas (5 a 30°), con suelos litosoles, rendzinas, acrisoles y regosoles, con vegetación de bosques de encino, pino-encino, pino y matorral submontano.
- IV.  Montañas estructurales en clima semiárido, semifrío, constituidas por Caliza, con parteaguas denudo-gravitacionales y laderas fuertemente inclinadas (10 – 30°), con suelos litosoles, rendzinas y regosoles con bosque de pino.
- V.  Montañas estructurales en clima semiárido templado, constituidas por depósitos aluviales, caliza, conglomerado y depósitos aluviales, con cimas y complejos cumbrales ligeramente a muy fuertemente inclinados (10 - 30°), con laderas ligeramente a muy fuertemente inclinadas (10 – 30°), cornisas fuertemente inclinadas (>30°), complejo de vegas y cauces muy ligeramente inclinados (0 – 3°), con suelos litosoles, rendzinas, acrisoles, regosoles y xerosol, con bosque de pino, matorral desértico rosetófilo, pastizal inducido y agricultura de temporal.
- VI.  Montañas estructurales en clima semiárido, semicálido, constituidas por caliza, lutita, conglomerado y depósitos aluviales, con

cornisas medianamente inclinada (5 – 10°), con laderas ligeramente a muy fuertemente inclinadas (10 – 30°), con suelos litosoles, rendzinas, feozems y regosoles, con vegetación de bosque de pino, matorral rosetófilo, matorral submontano y pastizal inducido.

VII.  Montañas estructurales en clima árido, templado, constituidas por caliza, yeso, depósitos aluviales y conglomerado, con laderas ligeramente a muy fuertemente inclinadas (10 – 30°), con suelos litosoles, rendzinas, castañozems y feozems, con vegetación de bosque de pino, matorral desértico rosetófilo, pastizal cultivado, inducido y agricultura de temporal.

VIII.  Montañas estructurales en clima árido semicálido, constituidas por caliza, depósitos aluviales, lutita, yeso, conglomerado y arenisca, con laderas ligeramente a muy fuertemente inclinadas (10 – 30°), con suelos litosoles, rendzinas, regosoles, feozems, castañozems y xerosol con vegetación de bosque de pino, matorral submontano, agricultura de temporal y pastizal inducido.

Lomeríos y piedemontes

B. Lomeríos (DV= 41 – 100), constituidos por lutita, caliza, conglomerado, depósitos aluviales y yeso.

IX.  Lomeríos estructurales y piedemontes, en clima semicálido subhúmedo, constituidos por lutita, conglomerado, depósitos aluviales, con superficies de muy ligera a medianamente inclinadas (3 a 10°), con suelos regosoles, litosoles y vertisoles con vegetación de matorral submontano y agricultura de temporal.

X.  Lomeríos estructurales y piedemontes, en clima semiárido, templado, constituidos por depósitos aluviales, caliza, conglomerado y lutitas formados por superficies de muy ligera a fuertemente inclinadas (3 – 30°) y complejos de colinas residuales muy ligeramente inclinadas (0 – 3°), con suelos litosoles, rendzinas, castañozems y xerosoles, con vegetación de

matorral desértico rosetófilo, matorral micrófilo, bosque de pino, pastizal inducido, pastizal gypsófilo, agricultura de temporal y agricultura de riego.

- XI.  Lomeríos estructurales y piedemontes, en clima semiárido, semicálido, constituidos por yeso, caliza, lutita y depósitos aluviales, formados por superficies de muy ligera a fuertemente inclinadas (3 – 30°), con suelos litosoles y regosoles, feozems y castañozems con vegetación de bosque de pino, matorral desértico rosetófilo, agricultura de temporal y pastizal inducido.
- XII.  Lomeríos estructurales y piedemontes, en clima árido templado, constituidos por depósitos aluviales, caliza, conglomerado, yeso, lutita y depósitos aluviales, formados por superficies de muy ligera a fuertemente inclinadas (3 – 30°) y complejo de colinas residuales medianamente inclinadas (5 – 10°), con suelos litosoles, rendzinas, feozems, castañozems y xerosoles con vegetación de matorral desértico rosetófilo, micrófilo, pastizal gypsófilo, agricultura de riego y pastizal cultivado.
- XIII.  Lomeríos estructurales y piedemontes, en clima árido semicálido, constituidos por caliza, yeso, depósitos aluviales y conglomerado, formados por superficies de muy ligera a fuertemente inclinadas (3 -30°), con suelos chernozems, castañozems, regosoles, litosoles y rendzinas, con vegetación de bosque de pino, matorral desértico rosetófilo, pastizal inducido y agricultura de temporal.

Planicies

- C. Planicies acolinadas (DV= 16 – 40), constituidos por depósitos aluviales, lacustres conglomerado, yeso y caliza.
- XIV.  Planicies acolinadas estructurales, en clima semiárido templado, constituidas por depósitos aluviales, calizas y conglomerado, formados por superficies de muy ligera a fuertemente inclinadas (3 – 30°), con suelos castañozems, xerosoles, litosoles, rendzinas y regosoles, con vegetación de matorral desértico rosetófilo y micrófilo, pastizal gypsófilo, agricultura de temporal y riego.

XV.  Planicies acolinadas estructurales, en clima semiárido, semicálido, constituidas por depósitos aluviales, formadas por superficies muy ligeramente inclinadas (0 – 3°), con suelos feozems y castañozems con vegetación de pastizal inducido y agricultura de temporal.

XVI.  Planicies acolinadas estructurales, en clima árido templado, constituidas por depósitos aluviales, lacustres, conglomerado, yeso y caliza formadas por superficies muy ligeramente inclinadas (0 – 3°), con suelos castañozems, rendzinas, xerosoles y solonchaks, con matorral desértico micrófilo, agricultura de riego y pastizal gipsófilo.

XVII.  Planicies acolinadas estructurales, en clima árido semicálido, constituidos por depósitos aluviales, formadas por superficies muy ligeramente inclinadas (0 – 3°), con suelos feozems y castañozems con agricultura de temporal, pastizal inducido y bosque de encino.

D. Planicies onduladas (DV= 2.6 – 15), constituidas por depósitos aluviales, lacustres, calizas y conglomerados.

XVIII.  Planicies onduladas, en clima semiárido templado, constituidas por depósitos aluviales, formadas por superficies muy ligeramente inclinadas (0 – 3°), con suelos regosoles, rendzinas, solonchaks y castañozems con pastizal gipsófilo y matorral desértico micrófilo.

XIX.  Planicies onduladas, en clima árido templado, constituidas por depósitos aluviales, lacustres, caliza y conglomerado, formadas por superficies muy ligeramente inclinadas (0 – 3°), con suelos castañozems, regosoles, xerosoles, solonchaks y rendzinas, con agricultura de riego, pastizal gipsófilo, vegetación halófila, matorral desértico micrófilo y pastizal natural.

Valles Fluviales

XX.  Valles fluviales, en clima semicálido subhúmedo, conformado por depósitos aluviales, caliza y lutita formado por terrazas erosivas, desde

ligeramente inclinadas a muy fuertemente inclinadas (3 – 30°), con suelos litosoles, rendzinas, regosoles y cambrisoles, con bosque de pino, encino y pino-encino, matorral submontano y agricultura de temporal.

XXI. Valles fluviales, en clima semiárido, semicálido, conformado por depósitos aluviales, conglomerado, caliza y lutita, formado por terrazas erosivas, desde ligera a fuertemente inclinadas (3 – 30°), con suelos feozems, litosoles y regosoles con vegetación de chaparral, matorral submontano y rosetófilo, agricultura de riego y pastizal inducido.

XXII. Valles fluviales en clima árido, semicálido, conformado por depósitos aluviales y lutita formado por terrazas erosivas, desde ligera a medianamente inclinadas (3 – 10°), con suelos feozems y litosoles con matorral submontano, pastizal inducido y agricultura de riego.

Unidad	Porcentaje	Unidad	Porcentaje
I	0.68	XII	9.3
II	4.8	XIII	0.71
III	3.8	XIV	2.6
IV	0.04	XV	0.01
V	32	XVI	16.8
VI	5.8	XVII	0.03
VII	3.3	XVIII	0.2
VIII	3.7	XIX	3.8
IX	0.27	XX	0.29
X	11	XXI	0.31
XI	0.12	XXII	0.14

Cuadro 10. Superficie ocupada por cada grupo de paisaje físico geográfico en porcentaje.

2. Selección del área de estudio a escala local

A partir del mapa de paisajes físico-geográficos, se seleccionó el área de estudio a nivel local y en ella se genera, como primera tarea, la tipología de los paisajes a escala 1:50,000.

Se tomaron en cuenta, para la selección del área de estudio, los grupos de paisaje XIV y XVI, los cuales representan zonas de planicies y el 19% del total de territorio. Los

lomeríos están representados por el grupo de paisaje X, que ocupó el 11% del territorio. Se excluyeron del área de estudio aquellos grupos representados por superficies inferiores al 5%, así como los grupos de paisaje de montaña con clima semifrío subhúmedo (I) y los templados subhúmedos (II), ya que no representaban lugares donde pudiera existir algún tipo de agricultura. En la selección de las áreas de planicie se tomaron como límites las dos áreas naturales protegidas estatales (La Trinidad y El Llano de la Soledad) con mayor cobertura de vegetación nativa, para poder representarse a escala 1:50 000.

En el área de la tipología de los paisajes a la escala 1:250 000 se encuentran cuatro áreas naturales protegidas estatales: Cerro El Potosí (dentro de la Sierra Madre Oriental), La Hediondilla, La Trinidad y El llano de la Soledad (Planicie); estas últimas representan el 2.1% de toda el área de estudio a dicha escala. Para ubicar el área de estudio a nivel local se analizaron los grupos de paisaje de la planicie (localidades XIV, XV, XVI, XVII, XVIII y XIX). Se observó en las imágenes SPOT, que el área natural protegida La Hediondilla (4379 ha), cuenta con toda su extensión ocupada por agricultura de riego, La Trinidad (3388 ha), tiene una parte ocupada por agricultura de riego y otra con vegetación natural con poca cobertura (posible recuperación ya que en años pasados presentó actividad agrícola) y El llano de la Soledad (7608 ha) que ha sido la zona mejor conservada y en su totalidad presenta vegetación natural. Finalmente se decidió no considerar La Hediondilla como parte del área de estudio por no contar con las imágenes satelitales correspondientes a este territorio al iniciar el estudio.

Paisajes físico-geográfico Tokio Galeana N.L.

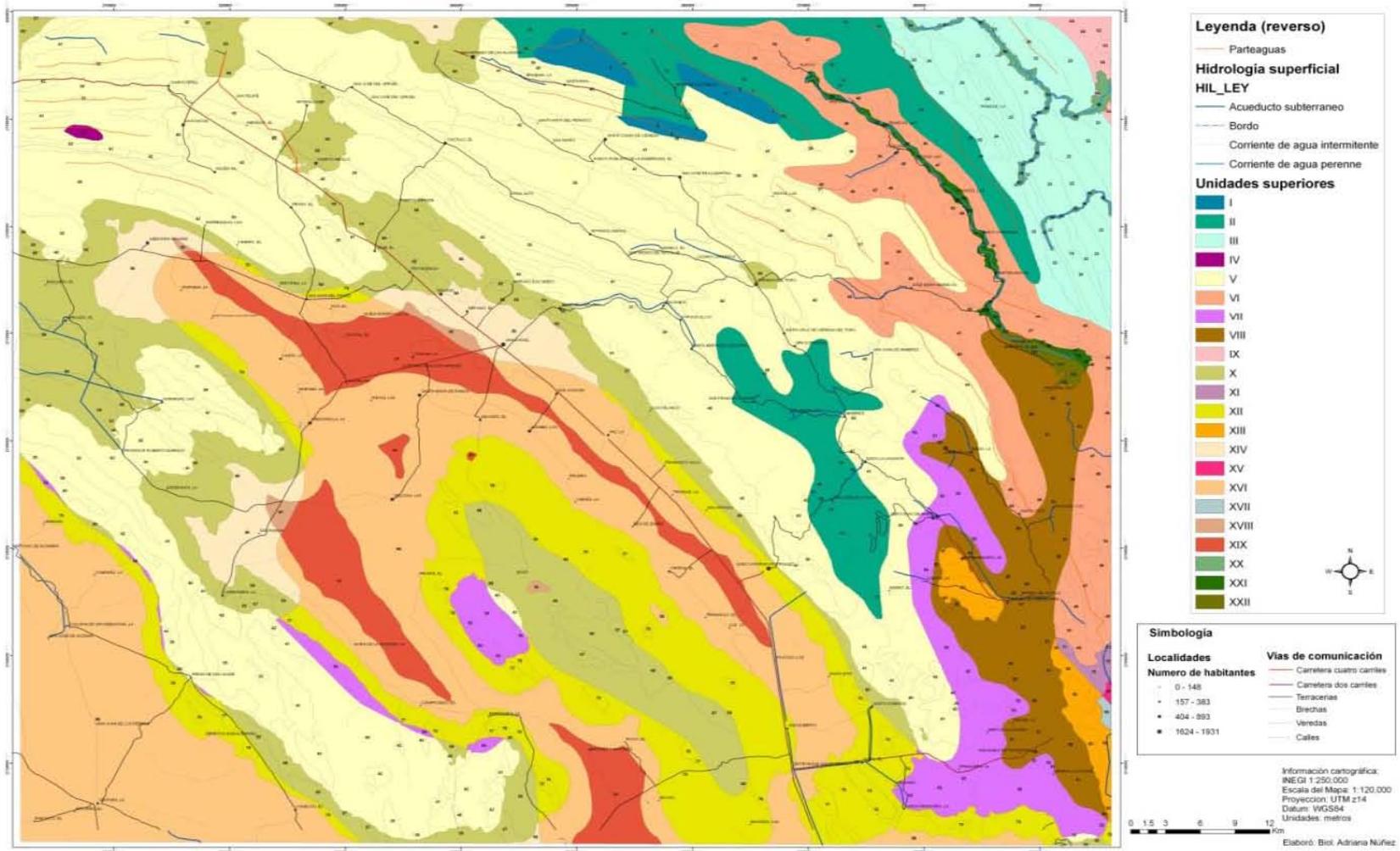


Figura 3. Tipología de los paisajes de la RTP Tokio en el municipio de Galeana N.L. México escala 1:250 000

Área de estudio 1:50 000

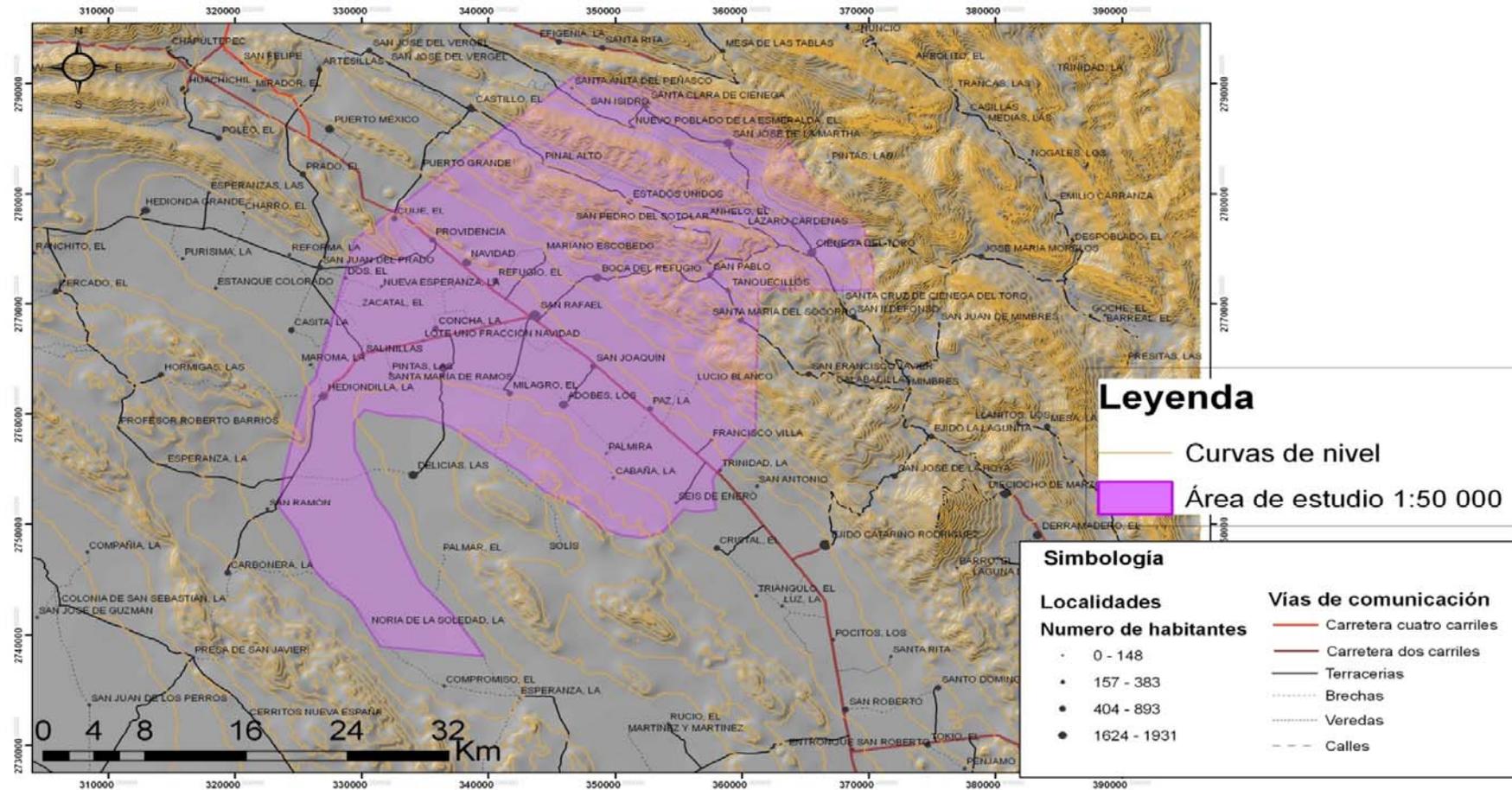


Figura 4. Ubicación del área de estudio a escala local (1:50 000).

3. Tipología de los paisajes físico geográfico del área de estudio 1:50 000

Los paisajes físico geográficos de nivel local quedaron representados por ocho localidades y veintitrés unidades de paisaje (Figura 5), descritas a continuación:

Leyenda

CLIMA ARIDO TEMPLADO

A) Planicies 1800 – 2200 m de altura relativa y disección vertical $< 100 \text{ m/km}^2$

I)  Planicies 1800 – 2200 m (DV $< 100 \text{ m/km}^2$)

1. Superficies planas ($0 - 1^\circ$), muy ligeramente diseccionadas ($5 - 10 \text{ m/km}^2$) sobre depósitos aluviales, con suelo Regosol éutrico y calcárico, Xerosol háplico, cálcico y gypico (Anexo 1, 2 y 3).
2. Superficies planas a muy ligeramente inclinadas ($0 - 3^\circ$), ligeramente diseccionadas ($15 - 30 \text{ m/km}^2$), sobre depósitos aluviales y conglomerados, con suelo xerosol calcárico y háplico, Feozem calcárico y Regosol éutrico.
3. Superficies planas a ligeramente inclinadas ($0 - 5^\circ$), poco diseccionadas ($30 - 60 \text{ m/km}^2$) sobre conglomerados calcáreos, calizas y depósitos aluviales, con suelos Litosoles, Regosol calcárico y Xerosol calcárico.
4. Superficie plana a poco inclinada ($0 - 10^\circ$) medianamente diseccionada ($60 - 100 \text{ m/km}^2$) sobre rocas sedimentarias terrígenas, caliza y conglomerados, con suelo Xerosol háplico y calcárico y Feozem calcárico.

II)  Lomeríos 1800 – 2200 m (DV $60 - 250 \text{ m/km}^2$)

5. Lomeríos residuales, ligeramente a poco inclinados ($5 \text{ a } 10^\circ$), medianamente diseccionados ($60 - 100 \text{ m/km}^2$), sobre rocas terrígenas sedimentarias, conglomerado, lutita, arenisca, caliza, sobre suelo Regosol calcárico, Litosol y Xerosol háplico y cálcico.
6. Lomeríos ligeramente a fuertemente inclinados ($0 \text{ a } 30^\circ$) diseccionados ($100 - 250 \text{ m/km}^2$), sobre rocas terrígenas sedimentarias, conglomerado, lutita, arenisca, caliza, sobre suelo Regosol calcárico y éutrico y Litosol.

CLIMA SEMIARIDO TEMPLADO

B) Valles intermontanos entre 1800 – 2400 m de altura relativa y disección vertical $< 100 \text{ m/km}^2$.

III)  Valles intermontanos 1800 - 2400m (DV<100 m/km²) (Anexo 5)

7. Superficies planas a ligeramente inclinadas (0 – 3°), muy ligeramente diseccionadas (5 – 15 m/km²), con suelo Feozem calcárico y lúvico, Castañozem cálcico y háplico.
8. Superficies planas a ligeramente inclinadas (0 – 5°) poco diseccionadas (30 – 60m/km²) sobre rocas sedimentarias, lutita – arenisca y depósitos aluviales con suelo Castañozem cálcico y háplico y Feozem lúvico.
9. Superficies ligeramente a medianamente inclinadas (0 – 10°) poco diseccionadas (60-100m/km²) sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerado y depósitos aluviales con suelo Rendzina, Castañozem cálcico y Feozem calcárico.

IV)  Lomeríos residuales 2200 – 2400 m (DV100 a > 250 m/km²)

10. Lomeríos residuales mediana a fuertemente inclinados (3 – 20°), diseccionados (100 – 250 m/km²) sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerado, lutita – arenisca, con suelo Litosol, Castañozem háplico y Rendzina.

C) Lomeríos 2000 – 3400 m de altura relativa y disección vertical de 100 a > 250 m/km²

V)  Piedemonte 1800 – 2800 m (DV 60 - 250 m/km²)

11. Piedemontes (Conos de deyección) ligeramente a poco inclinados (3 – 10°), medianamente diseccionados (DV 60 - 100m/km²), sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerados de lutita – arenisca, con suelo Xerosol háplico, Feozem calcárico y Regosol calcárico.
12. Piedemontes (Conos de deyección) ligeramente a poco inclinados (5 – 10°), medianamente diseccionados (DV 100 - 250m/km²), sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerados de lutita – arenisca, con suelo Rendzina, Castañozem háplico y cálcico y Litosol.

VI)  Lomeríos pre montañosos 2000 – 2800 m (DV 200 – 250 m/km²)

13. ==Cañadas temporales (intermitentes), en forma de V, erosivas, torrenciales, encajadas, sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerado, lutita – arenisca, depósitos deluvio - coluviales, con afloramientos de roca, ausencia de suelos (Anexo 4).
14. Laderas ligeramente a fuertemente inclinadas (3 - 30°), diseccionadas (100 – 250 m/km²), sobre rocas sedimentaria terrígenas conglomerado, lutita – arenisca,

depósitos deluvio - coluviales, con afloramientos rocosos, con suelo Litosol, Regosol calcárico y Castañozem háplico.

D) Montañas bajas 2500 – 3400 m de altura relativa y disección vertical $> 250 \text{ m/km}^2$

VII)  Depresiones intramontañosas 2500 – 2800 m ($DV < 100 \text{ m/km}^2$)

15. —Cauce de las corrientes estacionales, erosivas, encajadas, en forma de cubeta cerrada, con fondo plano, con afloramientos de rocas carbonatadas, escasos materiales aluviales, (se observan tramos entubados como acueductos).
16. Superficies planas a muy ligeramente inclinadas ($0 - 3^\circ$) poco diseccionada ($30 - 60 \text{ m/km}^2$) sobre rocas sedimentarias, conglomerados de lutita – arenisca, con suelo Castañozem háplico y Luvisol albico, erosionados.
17. Superficies planas a ligeramente inclinadas ($1 - 5^\circ$), medianamente diseccionadas ($60 - 100 \text{ m/km}^2$) sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerados de lutita – arenisca, con suelo Castañozem háplico, Regosol calcárico y Cambrisol crómico.
18. Superficies ligeramente a poco inclinadas ($5 - 10^\circ$) medianamente diseccionadas ($60 - 100 \text{ m/km}^2$) sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerado y depósitos aluviales con suelo Cambrisol crómico, Litosol y Castañozem háplico erosionados.

VIII)  Montañas bajas 2300 – 3400 m ($DV > 350 \text{ m/km}^2$)

19. Cañadas (torrentes), erosivas, en forma de V abierta, profundas, sobre rocas arcillosas carbonatadas de tipo calizas y lutitas, con afloramiento de rocas y acumulación y arrastre de materiales proluviales.
20. —Corrientes estacionales con cauces encajados en forma de V abierta, erosivas sobre rocas arcillosas carbonatadas de tipo calizas y lutitas, con afloramiento de rocas y acumulación y arrastre de materiales aluviales.
21. Laderas poco inclinada a fuertemente inclinadas ($10 - 30^\circ$) fuertemente diseccionadas ($100 - 500 \text{ m/km}^2$), sobre rocas arcillosas carbonatadas de tipo calizas y lutitas, con suelos Litosol, Regosol calcárico y Rendzina.
22. Laderas muy fuertemente inclinadas ($> 30^\circ$), muy fuertemente diseccionadas ($> 500 \text{ m/km}^2$), sobre rocas arcillosas carbonatadas de tipo calizas y lutitas, con suelos Litosol y Regosol calcárico.
23. Complejo cumbral y cimas aisladas, angulares, mediana a fuertemente inclinadas ($10 - 30^\circ$), en rocas arcillosas carbonatadas de tipo calizas y lutitas, con suelo Litosol.

Paisajes físico-geográficos de los valles adyacentes a San Rafael, Galeana, Nuevo León

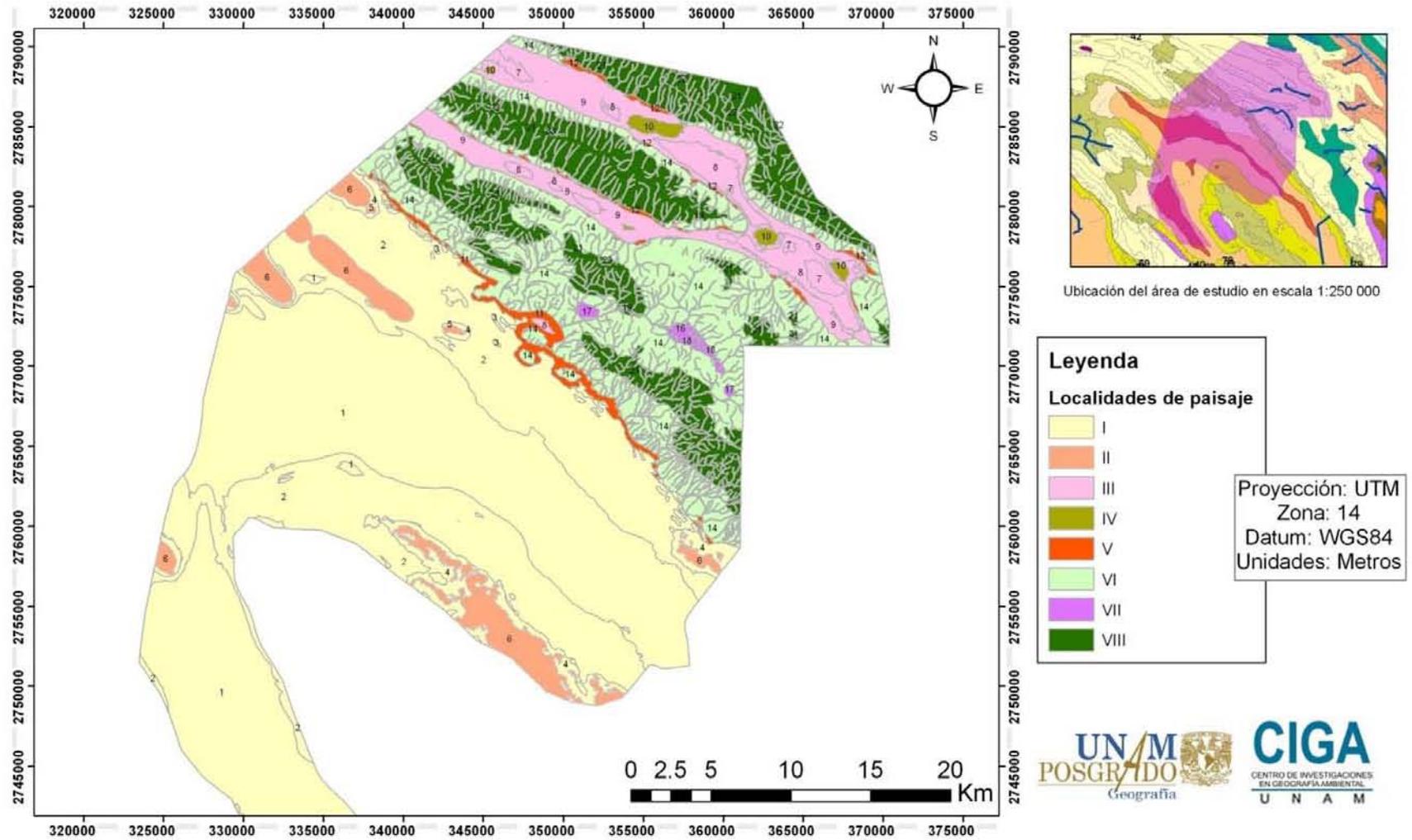


Figura 5. Mapa tipológico de paisajes físico – geográficos escala local 1:50 000.

Las unidades de paisaje con mayor superficie fueron la 1 y 2, planicies, con el 52% de la superficie del territorio, las unidades 14 y 21, laderas, con el 26% de la superficie y las unidades 7, 8 y 9, que representan los valles intermontanos que ocupan el 7.6% del área de estudio. Las unidades restantes se encuentran representadas con menos del 4 %, son unidades pequeñas en extensión como fueron algunos valles, lomeríos y montañas (Cuadro 11).

Superficie por unidad de paisaje.

Localidad	Comarca	Superficie en hectáreas	porcentajes
I	1	39405.9	31
I	2	26296.2	20.6
I	3	826.5	0.6
I	4	2895.7	2.27
II	5	246.2	0.19
II	6	4896.5	3.8
III	7	1022.6	0.8
III	8	2447.8	1.9
III	9	6288	4.9
IV	10	517.4	0.4
V	11	1451.7	1.14
V	12	758.7	0.59
VI	13	2698	2.12
VI	14	19197.5	15
VII	15	38.9	0.03
VII	16	62	0.04
VII	17	310	0.2
VII	18	87	0.06
VIII	19	22.2	0.01
VIII	20	2142.16	1.68
VIII	21	14280.8	11.2
VIII	22	1040.2	0.8
VIII	23	126.4	0.01

Cuadro 11. Superficie de las comarcas obtenidas en hectáreas y porcentajes

4. Elaboración de capas temáticas.

1. Estandarización de criterios de clasificación de coberturas y usos
2. Análisis general de coberturas y usos

Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal: Año 1970's

Dentro de la recopilación de información se digitalizó la vegetación del INEGI escala 1:50 000 de los años 1970's, obteniendo como resultado una capa digital en formato shapefile para su manejo en un sistema de información geográfica.

Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal: Año 2009

Fue elaborado un mapa de coberturas y uso de suelo del área de estudio para el año 2009, se tomaron en cuenta 196 puntos de validación, (Figura 7). Se tomó en consideración la temporada de siembra de verano donde los cultivos dominantes son papa, alfalfa, diferentes tipos de maíz, trigo y avena, estos fueron generalizados a cultivo activos. Se obtuvieron las estadísticas de la clasificación (Cuadro 12) y los valores de confiabilidad (Cuadro 13) y los globales para las coberturas y usos (Cuadro 14).

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	SUM
1	9	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	13
2	1	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
3	0	1	18	0	0	0	0	1	0	0	0	20
4	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	9
5	0	0	0	4	11	0	0	2	0	0	0	17
6	1	1	0	0	0	31	3	0	2	1	0	39
7	0	0	0	0	3	4	28	0	0	0	0	35
8	0	0	1	0	1	0	0	4	0	0	0	6
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
10	0	2	1	0	0	1	0	0	0	22	0	26
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
SUM	11	34	20	13	15	38	31	7	3	23	1	196

Cuadro 12. Estadísticas de confiabilidad de la clasificación de las imágenes SPOT año 2009.

ID	Clase	confiabilidad		Error	
		Productor	Usuario	Omisión	Comisión
1	Agricultura riego activa	0.818	0.692	0.181	0.021
2	Agricultura riego suspendida	0.823	0.965	0.176	0.006
3	Agricultura temporal	0.9	0.9	0.1	0.011
4	Bosque pino	0.692	1	0.307	0
5	Chaparral	0.733	0.647	0.266	0.033
6	Matorral micrófilo	0.815	0.794	0.184	0.05
7	Matorral rosetófilo	0.903	0.8	0.096	0.042
8	Pastizal inducido	0.571	0.666	0.428	0.01
9	sin vegetación	0.333	1	0.666	0
10	Vegetación halófila	0.956	0.846	0.0434	0.023
11	Crasicaule	1	1	0	0

Cuadro 13. Valores de confiabilidad y error de la clasificación para el año 2009.

Fiabilidad	0.826
Errores de omisión	0.173
Errores de comisión	0.0173
Kappa	0.79

Cuadro 14. Estadísticas globales de clasificación 2009.

A partir de la clasificación de coberturas se obtuvo un índice kappa de 79%; que de acuerdo a las indicaciones de Chuvieco (2002) es un valor aceptable para la clasificación. Los errores encontrados generalmente ocurren en la clase sin vegetación la cual presenta mayores errores de omisión. Estas áreas se encuentran principalmente en suelos yesosos por lo que no son detectados por el sensor; existen estudios sobre teledetección en suelos yesosos (Martínez-Montoya, 2005) que ubican las bandas del sensor Landsat ETM más significativas para la detección de estos suelos, en la parte del altiplano potosino, la banda más útil fue la banda 6, (sensor térmico) con la cual no cuenta el sensor utilizado en este estudio (SPOT). Las bandas complementarias para la detección de suelos yesosos son las bandas 5, 7, 3, 4 en el mencionado orden.

En el Cuadro 15 se hace una comparación de los valores LANDSAT y SPOT y su importancia en la detección de suelos yesosos.

Longitud de onda μm	Bandas Landsat ETM	Características para discriminar suelos yesosos (Martínez-Montoya, 2005)	Longitud de onda μm	Bandas SPOT y longitud de onda
0.45 – 0.52	B 1	Poco útil		
0.52 – 0.60	B 2	Muy poco útil	0.50 – 0.59	B 1
0.63 – 0.90	B 3	Medianamente útil	0.61 – 0.68	B 2
0.76 – 0.90	B 4	Medianamente útil	0.79 – 0.89	B 3
1.55 – 1.75	B 5	Útil	1.58 – 1.75	B 4
10.40 – 12.50	B 6	Muy útil		
2.08 – 2.35	B 7	Útil		
0.52 – 0.90	B 8	-----		

Cuadro 15. Comparativo de diferentes sensores y su uso para la detección de suelos yesosos (Chuvienco, 2002).

El sensor SPOT cuenta con menor resolución espectral ya que cubre menor longitud de onda que el sensor LANDSAT ETM + 7, el cual tiene longitudes de onda para discriminar los suelos yesosos, por lo tanto, zonas sin vegetación. Debido a la falla del sensor LANDSAT en el 2003, las imágenes recientes provenientes de dicho sensor se encuentran con falta de información a manera de huecos en la imagen. Teniendo en cuenta los objetivos del estudio enfocados al cambio de vegetación se utilizó el sensor SPOT ya que la longitud de onda para diferenciar la biomasa vegetal es de 0.63 a 1.75 μm , con las cuales cuenta dicho sensor.

4.1. Estandarización de criterios de clasificación de las coberturas vegetales

Unificación de criterios de clasificación de la vegetación para los mapas 1976 y 2009 (Mapas 4 y 5), este sistema jerárquico, estandarizado para la clasificación de la vegetación, propone una estrategia para la elaboración de mapas y leyendas de la vegetación a diferentes escalas, ello permite la unificación de los diferentes sistemas de clasificación propuestos en México para la investigación básica o aplicada a la conservación y manejo de los recursos naturales (Mapas 4 y 5).

Para esto (Velázquez *et al.*, en prensa) proponen diferentes niveles de clasificación los cuales son resumidos en claves que expresan: primero la fisonomía o forma de crecimiento de la vegetación, segundo el clima, tercero la fenología del follaje, cuarto la

presencia de espinas, característica de la hoja y/o succulencia y como quinto componente se puede agregar la especie dominante. (Cuadro 16).

Clave	Descripción
BtsPaci	Bosque, templado seco, perenne, aciculifolio
MtsPlat	Matorral, templado seco, perenne, latifolio
MtsPcrc-ros-esp	Matorral, templado seco, perenne, crasicaule-rosetofilo y/o espinoso
MtsPmic	Matorral, templado seco, perenne, micrófilo
HtsPang-ces	Herbazal, templado seco, perenne, angustifolio (cespitoso)
HeCang	Herbazal, frío, templado y tropical (euriclimático), perenne, angustifolio
HeCang-lat-crf	Herbazal, frío, templado y tropical (euriclimático), caduco, angustifoliolati-crasifolio.

Cuadro 16. Unificación de criterios en base al esquema jerárquico estandarizado para la clasificación de la vegetación de México (Velázquez *et al.*, en prensa).

Los criterios para representar los usos de suelo, fueron los utilizados por el (INEGI, 2005) en las cartas de uso de suelo y vegetación, en nuestra área de estudio se identificaron:

Agricultura de riego: áreas en la que el suelo es utilizado para labores agrícolas y sus cultivos reciben agua mediante algún sistema de riego o aprovechan la humedad residual del suelo, dentro de este tipo de agricultura identificamos dos tipos según su actividad.

- Agricultura de riego activa: que tuvo actividad agrícola con un sistema de riego durante el ciclo agrícola de verano 2009.
- Agricultura de riego suspendida: áreas que tuvieron irrigación y han sido abandonadas, en dichas áreas también se identificaron zonas con vegetación secundaria.

Agricultura de temporal: área en la que el suelo es utilizado para labores agrícolas y sus cultivos reciben únicamente agua de lluvia.

4.1. Análisis general de las coberturas vegetales

Los cambios en la vegetación en el área de estudio en general se pueden observar en el Cuadro 17, el cual muestra el cambio de cobertura en hectáreas y en la Figura 6 indica

el cambio de cobertura en porcentajes. La tendencia general es una disminución en las coberturas naturales, sobre todo los herbazales euclimáticos, caducifolios, angusti-lati-crasifolio con especies de *Muhlenbergia villiflora* (HeCang-lat-crf). Este tipo de vegetación es hábitat de especies endémicas y algunas en peligro de extinción como el perrito de la pradera *Cynomys mexicanus*, por lo que estos cambios representan disminución, pérdida y fragmentación al hábitat de dichas especies (Carrera-Máynez, 2008). La cobertura de Matorral, templado seco, perenne, micrófilo con especies de *Larrea tridentata* (MtsPmic) se vio disminuida 5,721 hectáreas en su extensión. Estas disminuciones en la cobertura dieron paso al crecimiento de la agricultura especialmente a agricultura de riego, tanto activa como suspendida, de la cual se observó un aumento de 6,396 hectáreas de vegetación secundaria compuesto principalmente por elementos de *Salsola sp.*

Claves	1976 ha	2009 ha	Cambio	Tasa de cambio
Bosque, templado seco, perenne, aciculifolio, con especies de <i>Pinus cembroides</i>	12308.27	9430.97	-2877.29	-0.0080
Matorral, templado seco, perenne, latifolio	11131.36	13859.69	2728.33	0.0067
Matorral, templado seco, perenne, crasicaule-rosetofilo y/o espinoso	18114.87	20087.62	1972.76	0.0031
Matorral, templado seco, perenne, micrófilo	29206.21	23470.17	-5736.03	-0.0066
Herbazal, frio, templado y tropical (euriclimático), caduco, angusti-lati-crasifolio.	22144.80	14562.42	-7582.37	-0.0126
Herbazal, frio, templado y tropical (euriclimático), perenne, angustifolio	5221.44	4979.67	-241.78	-0.0014
Agricultura de riego	10169.44	10754.47	585.03	0.0017
Agricultura de riego suspendida	4704.24	14710.02	10005.78	0.0352
Agricultura de temporal	11985.77	13707.15	1721.37	0.0041
Sin vegetación	505.73	991.94	486.21	0.0206
Zonas urbanas	364.55	659.67	295.12	0.0181

Cuadro 17. Cambio de cobertura y usos entre 1976 y 2009, para la región de San Rafael Galeana, Nuevo León.

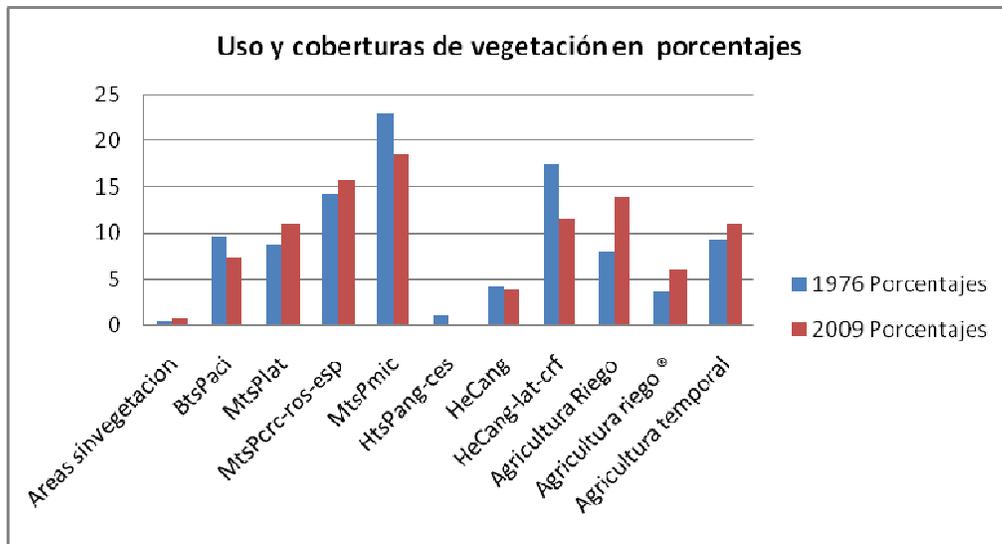


Figura 6. Comparación de coberturas y usos por años, 1976 – 2009, en porcentajes.

Coberturas y Usos 2009

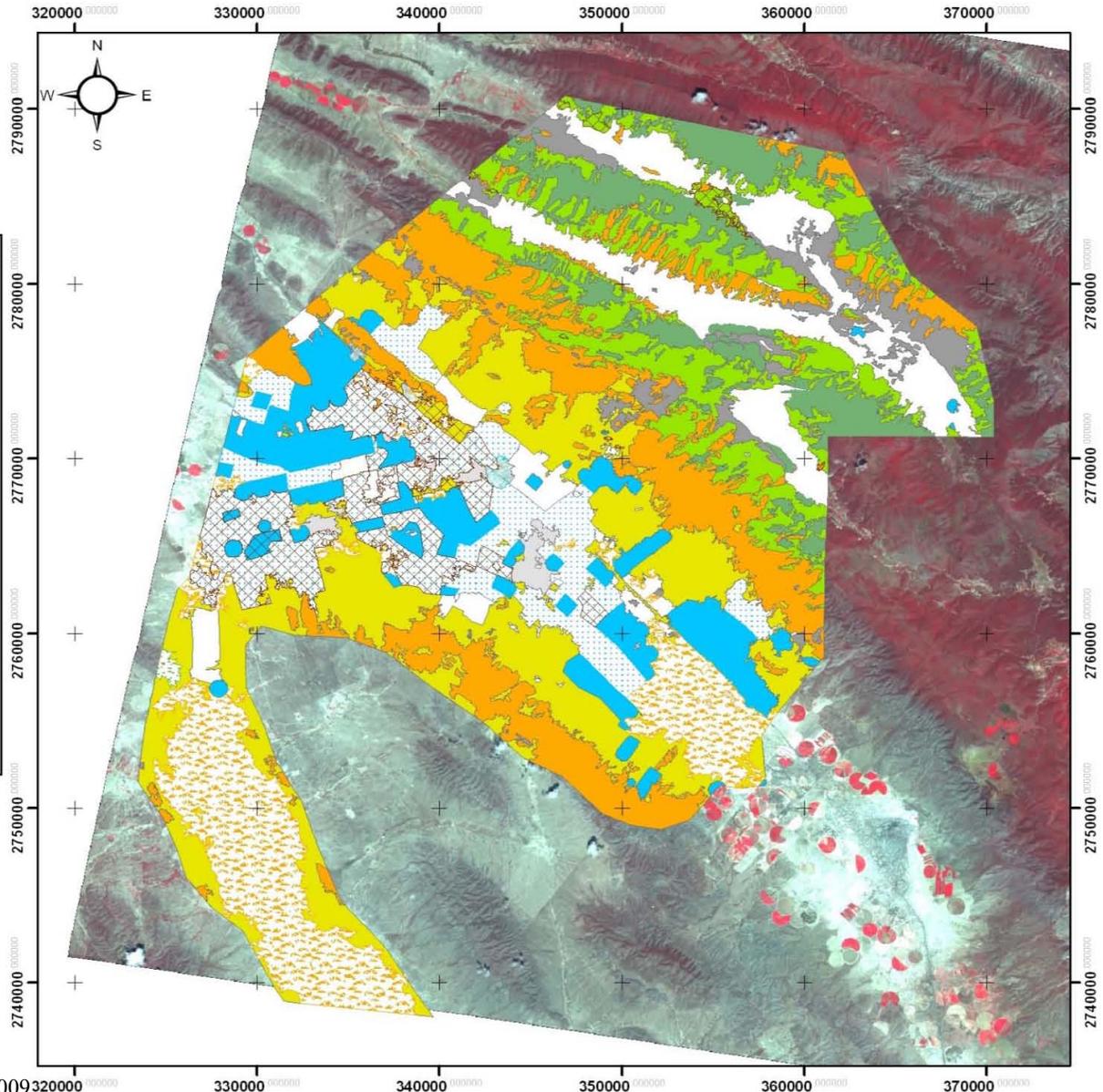


Figura 7. Mapa de coberturas y usos 2009

Cobertura 1976 propuesta SJECEMV

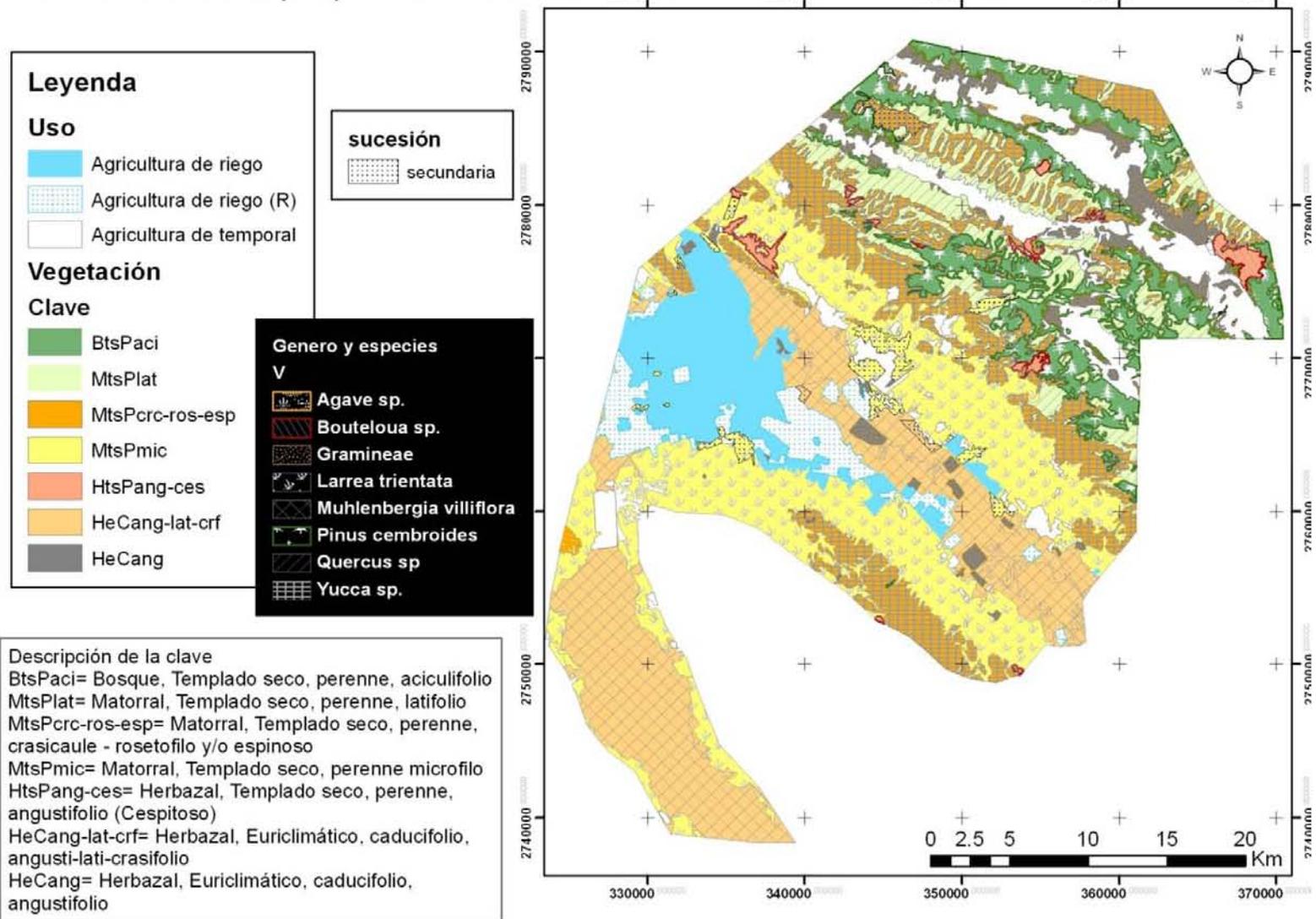


Figura 8. Mapa de coberturas y usos año 1976, bajo el esquema jerárquico estandarizado para la clasificación de la vegetación de México.

Cobertura 2009 propuesta SJECMV

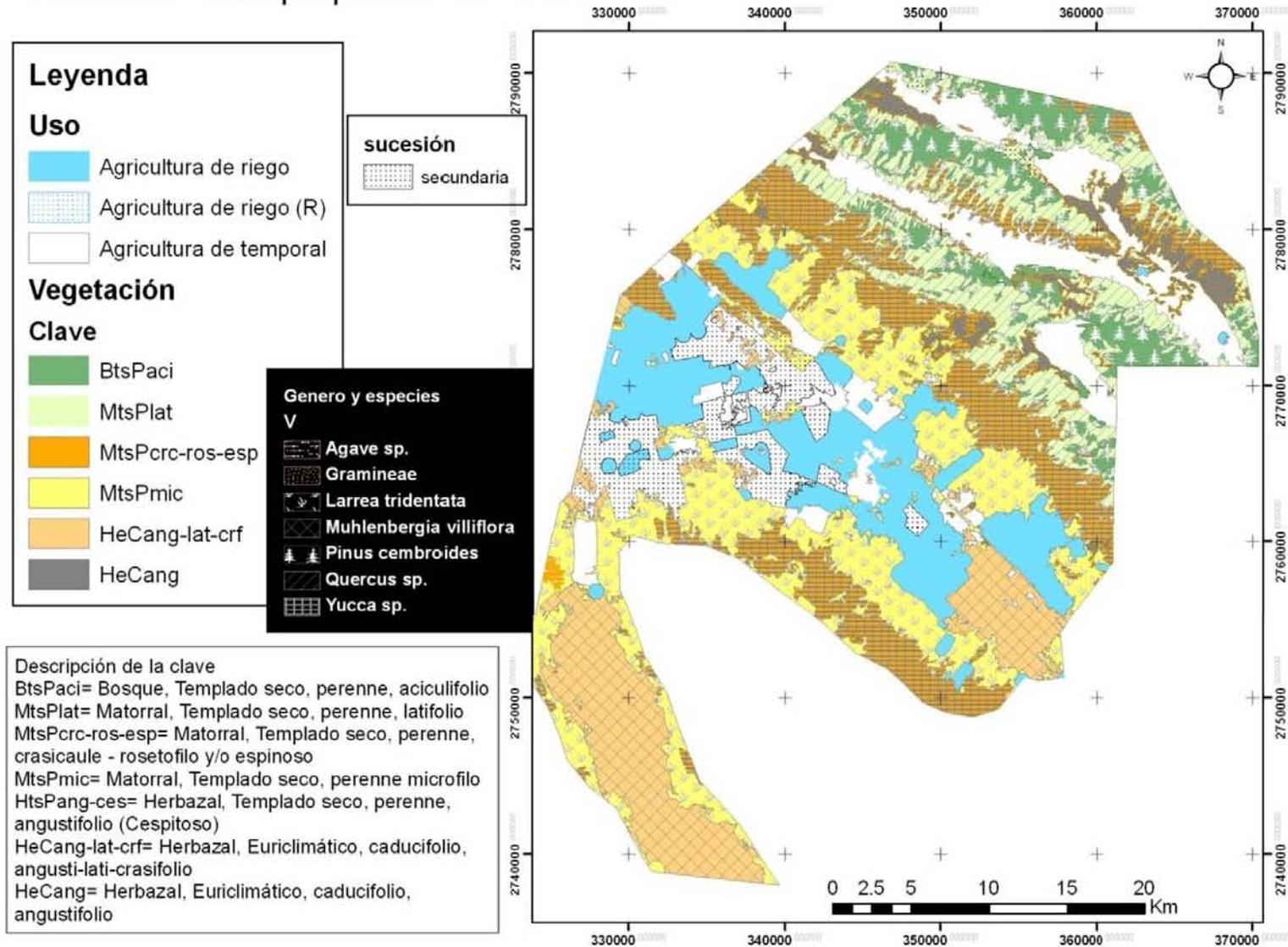


Figura 9. Mapa de coberturas y usos año 2009, bajo el esquema jerárquico estandarizado para la clasificación de la vegetación de México.

5. Análisis de cambio de uso de suelo, tomando como base a las unidades del paisaje

1. Análisis clúster

Una vez identificado el uso de suelo por unidades de paisaje, se procedió a la elaboración de las matrices analíticas, las cuales toman en cuenta indicadores antropogénicos y naturales las zonas urbanas (ZU), zonas sin vegetación (SNVEG), agricultura de riego activa (ARA), agricultura de riego suspendida (ARS), agricultura de temporal (AT), la vegetación conservada (VEGCON) y la vegetación perturbada o secundaria (VEGSE), en valores de hectáreas (Anexo 6 y 7). Una vez obtenidas ambas las matrices se generó la tasa de cambio por unidad de paisaje la cual consistió en la sobre posición de fechas y en un análisis de las categorías al dividir las hectáreas del 2009, sobre el total del año 1976 (Anexo 8).

Posteriormente se realizó un análisis multivariado clúster al 75% para separar los grupos que tuvieran mayor similitud en su tasa de cambio y excluir las unidades que no presentan cambios.

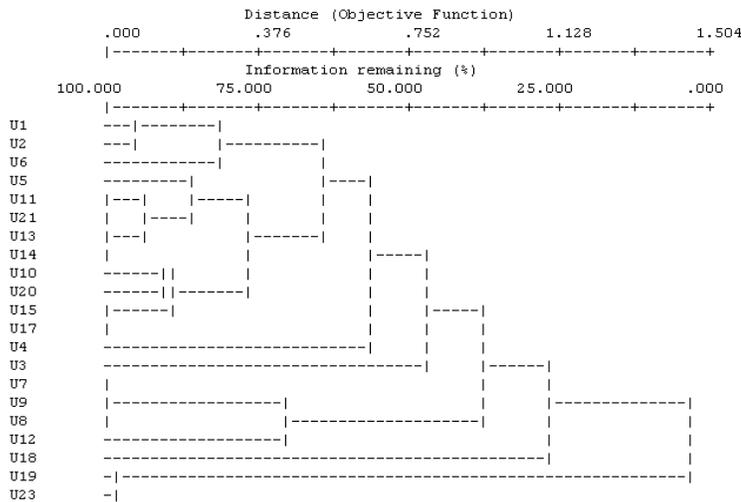


Figura 10. Dendrograma resultado del clúster, donde se discriminan los grupos con menor tendencia al cambio de cobertura y usos.

El resultado de este clúster permitió eliminar las unidades 16, 18, 19 y 23 por la baja tendencia en los cambios de coberturas y usos, (la división en el dendrograma se lleva a cabo más cercano al 0), y además, se eliminaron las unidades 13, 15 y 20 por ser cauces intermitentes donde no se llevan a cabo actividades agrícolas, posteriormente se volvió a correr el análisis clúster dando como resultado el siguiente dendrograma:

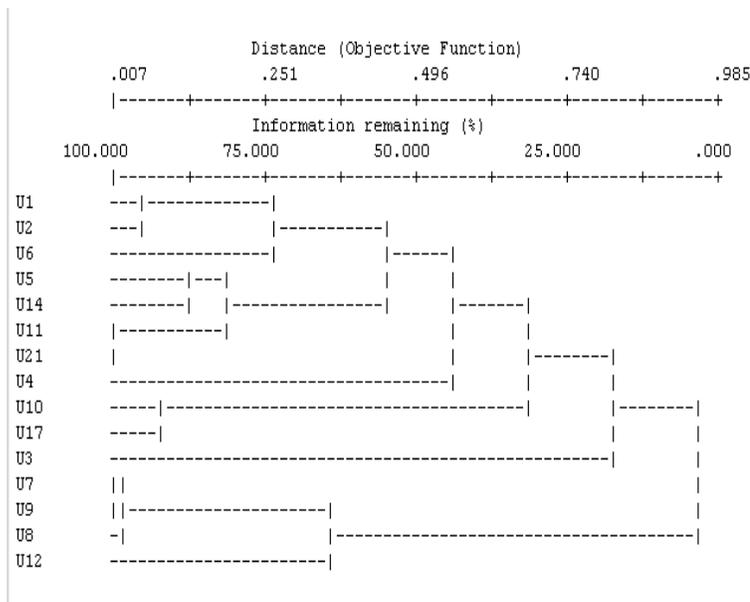


Figura 11. Dendrograma donde se muestran los grupos con mayor afinidad a los cambios de cobertura y usos.

La unidad 1 y 2 muestran mayor afinidad a los cambios de coberturas y usos y la extensión de ambas es la mayor entre todas las unidades, por lo que son las de principal interés en este análisis.

La unidad 1 corresponde a una superficie plana (0 – 1°) muy ligeramente disecionada, sobre depósitos aluviales con suelo Regosol éutrico y calcárico, xerosoles háplico, calcárico y gyplico, comprende 39,406 ha, para esta unidad de paisaje ocurre una disminución de 1,686 ha en la superficie de la agricultura de riego activa y 4,952 ha en la vegetación conservada y se observa un aumento de 6,416 ha en la vegetación secundaria debido al abandono de tierras y/o pérdida de productividad para 2009. Esta unidad en especial ha sido trabajada desde la década de los años 60's con diferentes usos, a principios de la década se utilizó como región lechera, posteriormente en la década de los años 70's, se introdujo el cultivo de papa en la región y de ahí a la fecha se ha continuado ocupando con diversos cultivos tecnificados pero prevaleciendo el cultivo de papa, que en los últimos 5 años ha tenido un decremento en la productividad debido a la plaga punta morada, la cual en algunos sitios permanece activa en el suelo después de varios años. Cuando esto sucede, se abandona la tierra. También se ha detectado en el ciclo de cultivo de la papa, un desplazamiento en las fechas de siembra y cosechas, lo que antes se sembraba del 20 de marzo al 15 de mayo, ahora se siembra de

principios de abril a julio-agosto; el periodo de cosecha se ha prolongado de 90 días a 140 días. Por otra parte el sistema de riego (pivote central) que ocupa este cultivo es por pozo subterráneo, el nivel de las aguas subterráneas ha sufrido modificaciones en su abastecimiento, los pozos que antes se perforaban y explotaban a 100 metros de profundidad, ahora se perforan hasta los 200 metros. Por estas razones, los mayores productores de papa se han reubicado hacia zonas más sureñas como San José de Raíces, Galeana y Aramberri (Martínez, 2009) y se ha ocupado esta región con otros cultivos de riego tecnificado de cereales.

Para la unidad 2, se observa un incremento en la agricultura de riego activa. Esta unidad de paisaje es parte de una planicie estructural; se caracteriza por una pendiente de 0 – 3° con suelos Xerosoles, tiene potencial para llevar a cabo la agricultura de riego, lo que derivó en una expansión de esta actividad dicha unidad. Se observa en el 2009, un incremento de agricultura activa de 1,884 ha, en la agricultura de riego suspendida de 1,974 ha, y una disminución de la vegetación conservada de 3,949 ha.

Las unidades con superficies más pequeñas no reflejan en gran medida el cambio en las coberturas, a continuación se muestra un resumen de los cambios de coberturas en las unidades sin incluir la unidad 1, 2 ya anteriormente explicadas.

	Cambio	unidades	hectáreas
Montañas y Valles intermontanos	Recuperaron vegetación natural	7, 8, 11 y 21	664.4
Laderas y Valles intermontanos	Decremento en la vegetación natural	6, 9, 10, 12 y 13	1182.5
Valles intermontanos y Planicie	Aumento en agricultura de riego activa	3, 4 y 8	246.2
Planicie	Aumento en agricultura de riego suspendida	6	117.3
Montañas,	Aumento en agricultura de	9, 12, 13 y 21	914.1

laderas y valles intermontanos	temporal		
Lomeríos	Aumento en la vegetación secundaria	10	102.67
Montaña, Ladera y valles intermontanos	Aumento zonas urbanas	7, 9, 12, 13, 20 y 21	1120.87
Montañas y Lomeríos	Estables	5, 15, 22	El cambio fue menor a 30 Ha por unidad

Cuadro 18. Cambio de cobertura entre 1976 y 2009, en las unidades pequeñas de paisaje.

6. Grados de modificación antropogénica

Se calculó el índice de antropización de la cobertura vegetal para las unidades con una tasa de cambio, los grados que predominan en el área de estudio fueron los siguientes:

Grado	Descripción	Índice
Muy Bajo	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o seminatural en más de 90% del complejo territorial natural. Menos del 10% se aprovecha en actividades agropecuarias y no se encuentran elementos urbanos y / o industriales.	$IACV \leq 0.2$
Bajo	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o seminatural en 55 – 60% del complejo territorial natural. Menos del 10% se aprovecha en actividades agrícolas y las pecuarias hasta en un 25%; no se encuentran elementos urbanos y/o industriales	$0.21 < IACV < 0.38$
Medio	Geocomplejos que mantienen su cobertura vegetal en estado natural y/o seminatural en 15-20% del complejo territorial natural. Las actividades agropecuarias se desarrollan hasta en 80% del territorio y no se encuentran elementos urbanos y/o industriales	$0.39 < IACV < 0.60$

Cuadro 19. Grado de antropización encontrados en el área de estudio para los años 1976 y 2009.

Los grados de modificación antropogénicas por unidad de paisaje fueron los siguientes:

Unidad	Descripción de la unidad	Superficie en % (del total del área de estudio)	Categoría del IACV según % de superficie que ocupan en 1976 (Fig12)	IACV de la Unidad en 1976	Categoría del IACV según % de superficie que ocupan en 2009 (Fig13)	IACV de la Unidad en 2009
1	Superficies planas (0 – 1°), muy ligeramente diseccionadas (5 – 10 m/km ²) sobre depósitos aluviales, con suelo Regosol éútrico y calcárico, Xerosol háplico, cálcico y gypico.	31%	Muy bajo 34% Bajo 65% Alto 1%	0.29 Bajo	Muy bajo 33% Bajo 1% Medio 65% Alto 1%	0.39 Medio
2	Superficies planas a muy ligeramente inclinadas (0 – 3°), ligeramente diseccionadas (15 – 30 m/km ²), sobre depósitos aluviales y conglomerados, con suelo Xerosol calcárico y háplico, Feozem calcárico y Regosol éútrico.	21%	Muy bajo 99% Bajo 1%	0.14 Muy bajo	Muy bajo 47% Bajo 53%	0.23 Bajo
3	Superficies planas a ligeramente inclinadas (0 – 5°), poco diseccionadas (30 – 60 m/km ²) sobre conglomerados calcáreos, calizas y depósitos aluviales, con suelos Litosoles, Regosol calcárico y Xerosol calcárico.	1%	Muy bajo 97% Bajo 3%	0.14 Muy bajo	Muy bajo 75% Bajo 4% Medio 8% Alto 11%	0.16 Muy bajo
4	Superficie plana a poco inclinada (0 – 10°) medianamente diseccionada (60 – 100 m/k ^{m2}) sobre rocas sedimentarias terrígenas, caliza y conglomerados, con suelo Xerosol háplico y calcárico y Feozem calcárico.	2%	Muy bajo 90% Bajo 9% Medio 1%	0.04 Muy bajo	Muy bajo 91% Bajo 4% Medio 5%	0.072 Muy bajo
5	Lomeríos residuales, ligeramente a poco inclinados (5 a 10°), medianamente diseccionados (60 – 100 m/km ²), sobre rocas terrígenas sedimentarias, conglomerado, lutita, arenisca, caliza, sobre suelo Regosol calcárico, Litosol y Xerosol háplico y cálcico.	0.19%	Muy bajo 100%	0.04 Muy bajo	Muy bajo 100%	0.013 Muy bajo

6	Lomeríos ligeramente a fuertemente inclinados (0 a 30°) diseccionados (100 – 250 m/km ²), sobre rocas terrígenas sedimentarias, conglomerado, lutita, arenisca, caliza, sobre suelo Regosol calcárico y éutrico y Litosol.	4%	Muy bajo 100%	0.03 Muy bajo	Muy bajo 73% Bajo 27%	0.08 Muy bajo
7	Superficies planas a ligeramente inclinadas (0 – 3°), muy ligeramente diseccionadas (5 – 15 m/km ²), con suelo Feozem calcárico y lúvico, Castañozem cálcico y háplico.	1%	Muy bajo 18% Bajo 3% Medio 45% Alto 32%	0.5 Medio	Muy bajo 35% Bajo 3% Medio 57% Alto 4%	0.35 Bajo
8	Superficies planas a ligeramente inclinadas (0 – 5°) poco diseccionadas (30 – 60m/km ²) sobre rocas sedimentarias, lutita – arenisca y depósitos aluviales con suelo Castañozem cálcico y háplico y Feozem lúvico.	2%	Medio 88% Alto 12%	0.58 Medio	Bajo 3% Medio 97%	0.49 Medio
9	Superficies ligeramente a medianamente inclinadas (0 – 10°) poco diseccionadas (60-100m/km ²) sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerado y depósitos aluviales con suelo Rendzina, Castañozem cálcico y Feozem calcárico.	5%	Muy bajo 7% Medio 93%	0.43 Medio	Muy bajo 7% Medio 93%	0.44 Medio
10	Lomeríos residuales mediana a fuertemente inclinados (3 – 20°), diseccionados (100 – 250 m/km ²) sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerado, lutita – arenisca, con suelo Litosol, Castañozem háplico y Rendzina.	0.4%	Muy bajo 39% Bajo 56% Alto 4%	0.21 Bajo	Muy bajo 44% Medio 56%	0.28 Bajo
11	Piedemontes (Conos de deyección) ligeramente a poco inclinados (3 – 10°), medianamente diseccionados (DV 60 - 100m/km ²), sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerados de lutita – arenisca, con suelo Xerosol	1%	Muy bajo 99% Bajo 1%	0.1 Muy bajo	Muy bajo 98% Bajo 1% Medio 1%	0.06 Muy bajo

	háplico, Feozem calcárico y Regosol calcárico.					
12	Piedemontes (Conos de deyección) ligeramente a poco inclinados (5 – 10°), medianamente diseccionados (DV 100 - 250m/km ²), sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerados de lutita – arenisca, con suelo Rendzina, Castañozem háplico y cálcico y Litosol.	1%	Muy bajo 46% Bajo 20% Medio 10% Alto 23%	0.25 Bajo	Muy bajo 34% Bajo 12% Medio 54%	0.29 Bajo
14	Laderas ligeramente a fuertemente inclinadas (3 - 30°), diseccionadas (100 – 250 m/km ²), sobre rocas sedimentaria terrígenas conglomerado, lutita – arenisca, depósitos deluvio - coluviales, con afloramientos rocosos, con suelo Litosol, Regosol calcárico y Castañozem háplico.	15%	Muy bajo 97% Bajo 2% Medio 1%	0.06 Muy bajo	Muy bajo 94% Bajo 3% Medio 2% Alto 1%	0.09 Muy bajo
17	Superficies planas a ligeramente inclinadas (1 – 5°), medianamente diseccionadas (60 – 100m/km ²) sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerados de lutita – arenisca, con suelo Castañozem háplico, Regosol calcárico y Cambrisol crómico.	0.2%	Medio 1% Alto 98%	0.7 Alto	Muy bajo 31% Bajo 1% Medio 68%	0.41 Medio
21	Laderas poco inclinada a fuertemente inclinadas (10 - 30°) fuertemente diseccionadas (100 - 500 m/km ²), sobre rocas arcillosas carbonatadas de tipo calizas y lutitas, con suelos Litosol, Regosol calcárico y Rendzina.	11%	Muy bajo 100%	0.01 Muy bajo	Muy bajo 100%	0.02 Muy bajo
22	Laderas muy fuertemente inclinadas (>30°), muy fuertemente diseccionadas (> 500 m/km ²), sobre rocas arcillosas carbonatadas de tipo calizas y lutitas, con suelos Litosol y Regosol calcárico.	1%	Muy bajo 100%	0.01 Muy bajo	Muy bajo 100%	0.01 Muy bajo

Cuadro 20. Grado de antropización e índice de antropización por unidad de paisaje en los años 1976 y 2009.

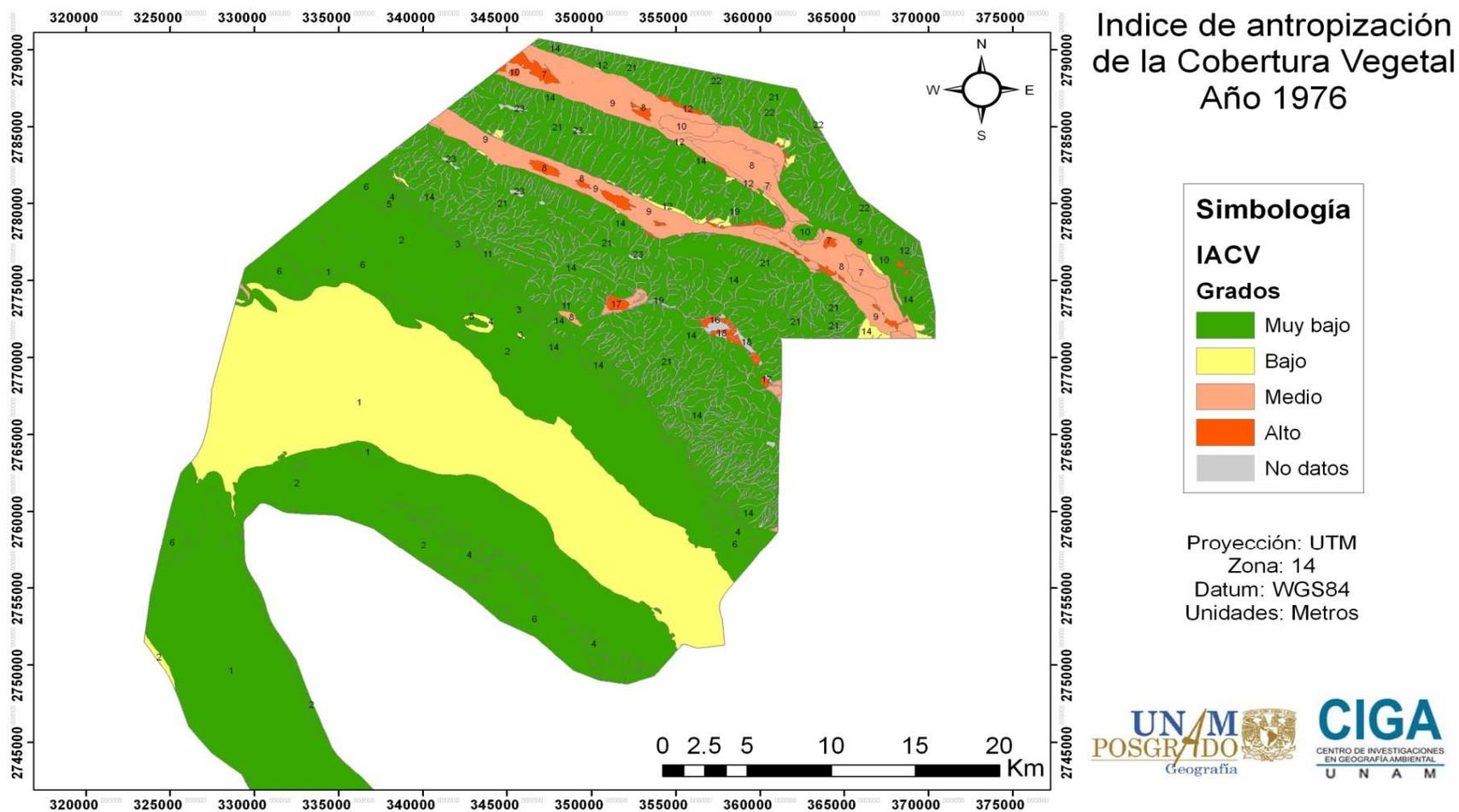


Figura 12. Mapa de grados de antropización de la cobertura vegetal del año 1976

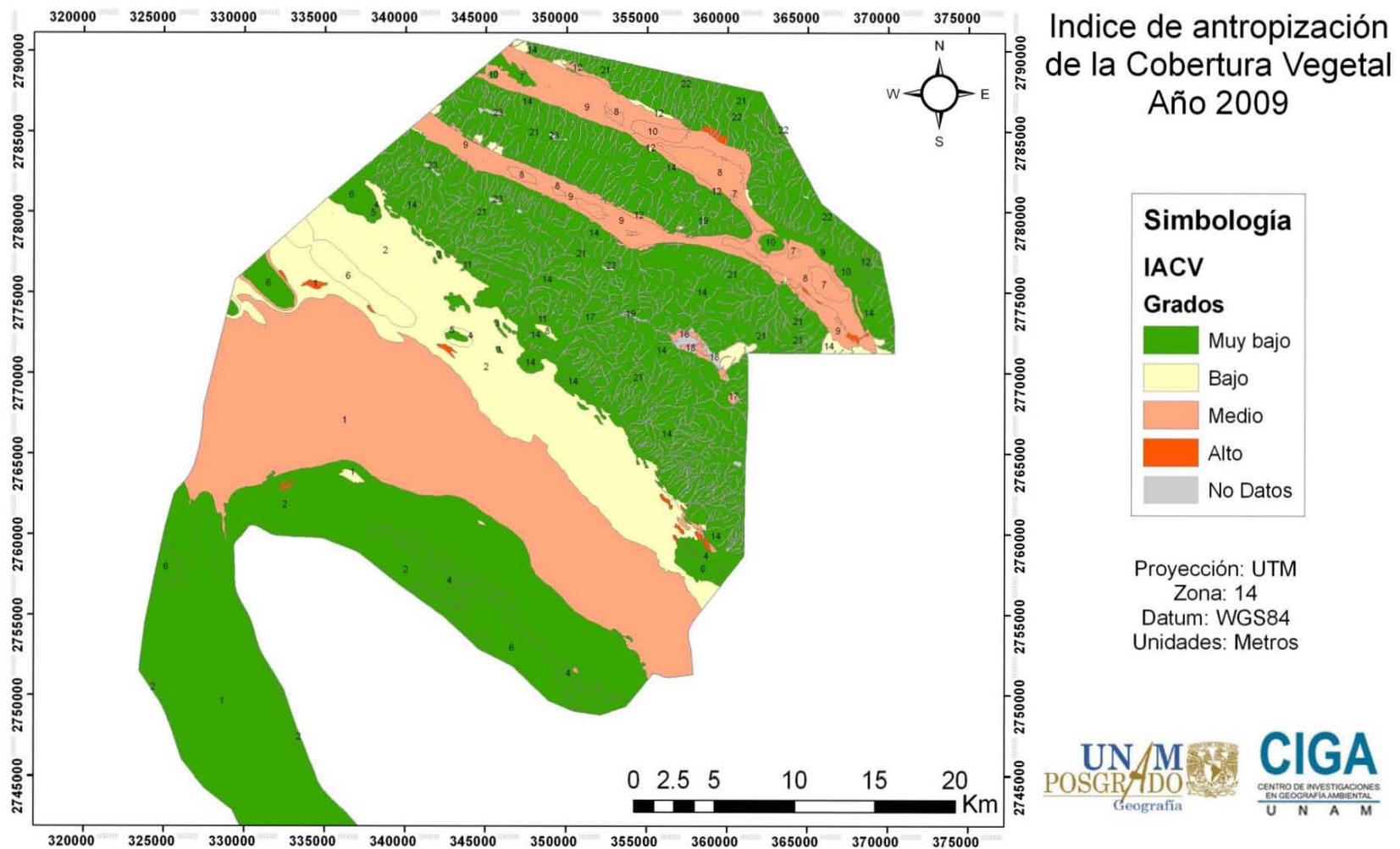


Figura 13. Mapa de grados de antropización de la cobertura vegetal del año 2009

Se reconocen 4 categorías del IACV dentro del área de estudio: Muy baja, baja, media y alta en los siguientes porcentajes.

Categoría	% superficie 1976	Superficie 1976 en hectáreas	% superficie 2009	Superficie 2009 en hectáreas
Muy baja	66	85,081	54	69,660
Baja	20	26,541	11	16,217
Media	7	9,044	28	35,675
Alta	1	1,215	1	330
Sin categoría	6		6	

Cuadro 21. Superficies ocupada por categoría del índice de antropización de la cobertura vegetal en 1976 y 2009 (en % y ha).

El grado de modificación que domina en ambas fechas es muy bajo, principalmente está relacionado con paisajes ubicados en la zona montañosa y en las planicies, dentro del área natural protegida El llano de la Soledad. En 1976, la planicie con mayor superficie dedicada a la agricultura pertenecía al grado de modificación bajo, para 2009, aumento a medio, lo que se traduce en una disminución substancial de las coberturas naturales, en esta unidad, en especial del ecosistema de pradera. También se observó para la unidad 2 un crecimiento en el grado de modificación para el año 2009, debido a que esta unidad fue receptora de diferentes cultivos de riego por la expansión de la agricultura en diferentes años. La reducción de vegetación conservada fue principalmente de matorrales xerofitos de hoja pequeña (micrófilo) y de roseta (rosetófilo).

Las unidades que se mantuvieron con el mismo grado de modificación fueron las unidades 7, 8 y 9; estas unidades corresponden a valles intermontanos donde el tipo de agricultura es principalmente de temporal y pastizales inducidos, por lo que el laboreo no implica los mismos problemas ambientales como la unidad 1 y 2. Para el año 2009, en la unidad 8 se establecieron cultivos de riego tecnificado, principalmente de papa, lo que podría dar inicio a problemas ambientales derivados de la implementación de fertilizantes y pesticidas que conllevan este tipo de cultivos.

6.1 Prospección para los próximos 33 años

En base a la matriz de cambio se elaboró una posible perspectiva para los próximos 33 años por unidad en hectáreas, haciendo un comparativo para las 3 fechas de las unidades que se observaron mayores cambios y superficie como fueron las unidades 1, 2 y 14 (Fig.14)

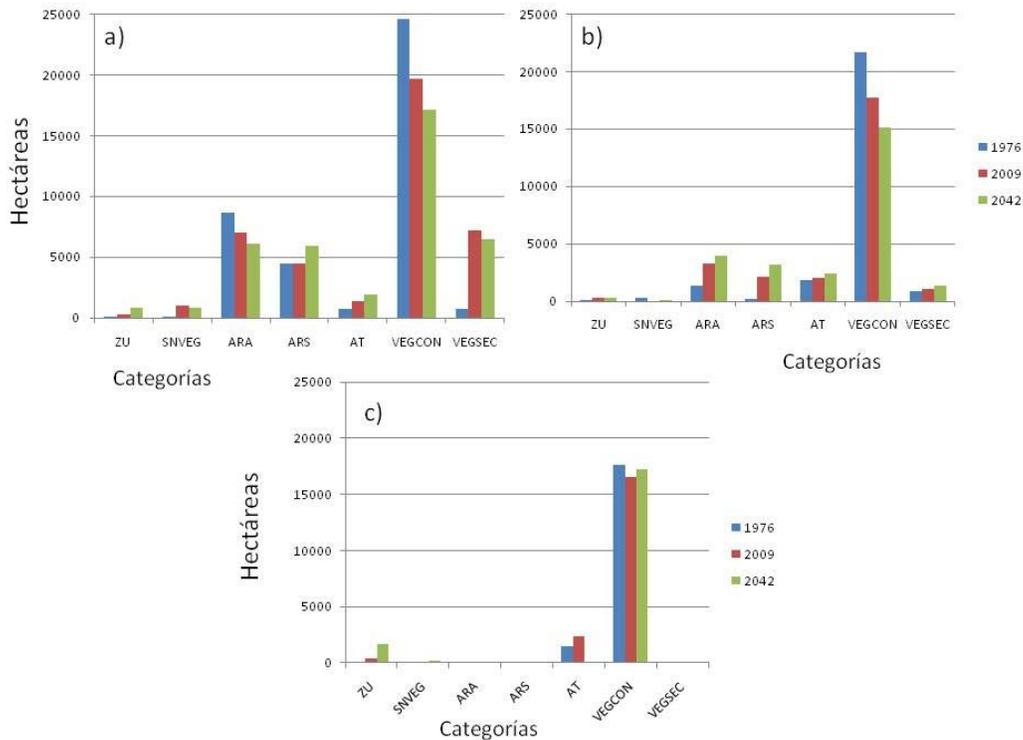


Figura 14. Gráficos comparativos para las tres fechas por categoría, a) unidad 1, b) unidad 2 y c) unidad 14.

En las gráficas observamos en la unidades 1 y 2 la vegetación conservada sigue disminuyendo mientras que la agricultura de riego suspendida sigue en aumento en ambas unidades y en la unidad 2 aumenta la agricultura de riego, siendo esta unidad la más vulnerable a sufrir mayores cambios en los próximos 33 años debido a la expansión de las zonas de riego, así como se observa un crecimiento en las zonas urbanas para la unidad 1 y 14, como un aumento de población, queda determinar si los factores socio-económicos apoyan esta prospección.

En cuanto al índice de antropización de la cobertura vegetal para el año 2042, en general hay una baja en el índice de antropización de la cobertura vegetal; en especial la unidad 1 pasa del grado medio en el 2009, al grado bajo en el 2042, esto puede ser posible si se abandonan cultivos por pérdida en la productividad del suelo. La unidad 2 se mantiene con un índice bajo, ya que esta unidad podría soportar la agricultura de riego por los próximos 33 años o al menos mantenerse a como se encuentra ahora (Cuadro 22).

Unidades	IACV	Categoría	Unidades	IACV	Categoría
U1	0.29	Bajo	U9	0.25	Bajo
U2	0.21	Bajo	U10	0.36	Bajo
U3	0.10	Muy bajo	U11	0.00	Muy bajo
U4	0.04	Muy bajo	U12	0.35	Bajo
U5	0.01	Muy bajo	U13	0.00	Muy bajo
U6	0.22	Bajo	U14	0.00	Muy bajo
U7	0.26	Bajo	U17	0.00	Muy bajo
U8	0.21	Bajo	U21	0.00	Muy bajo

Cuadro 22. Índice de antropización de la cobertura vegetal para el año 2042.

Conclusiones:

La tipología regional del paisaje nos da una idea general de la composición paisajística del área de estudio, lo que nos permitió identificar las unidades de interés que pudieran tener algún tipo de agricultura. De los veintitrés grupos de paisajes físico geográficos y ciento tres unidades de paisaje cartografiadas, las unidades dominantes fueron las Montañas de la Sierra Madre Oriental que representaron el 54% (3,947 km²) de la superficie y las menos representadas fueron los Valles fluviales con 0.74% (55 km²). Las unidades centrales del estudio se identificaron en las planicies y lomeríos, de los cuales se cartografiaron; seis grupos de paisajes como planicies, que constituyen el 23% (1,702 km²) de la superficie total, y se identificaron lomeríos, que abarcan el 21% (1554 km²) de la superficie.

En la cartografía generada de uso de suelo del 2009 por medio de clasificación de las imágenes SPOT, se obtuvo una confiabilidad global de 0.82 y un índice kappa de 0.79, se observaron los errores de omisión en zonas sin vegetación en la parte de planicies, en estas zonas se observan suelos blancos con alto contenido de yeso, lo cual puede

producir que el sensor SPOT no pueda discriminar el reflejo de otras coberturas, aunque para otros tipos de vegetación si fue apropiada la detección.

Los tipos de vegetación con mayores pérdidas por el cambio de coberturas y usos fueron: el pastizal ó Herbazal, frío, templado y tropical (euriclimático), perenne, angustifolio el cual disminuyo 7,667 ha y que es un tipo de vegetación que contiene especies endémicas y algunas en peligro de extinción; y el matorral micrófilo ó Matorral, templado seco, perenne, micrófilo, con 5,721 ha. Dichas coberturas fueron remplazadas por la agricultura de riego, en las cuales se identificaron dos categorías agricultura activa y agricultura suspendida. Ambas incrementaron su superficie a 10,530 ha y en particular, dentro de la superficie de riego se identificaron 6,396 ha de vegetación secundaria.

La cartografía local de los paisajes del área de estudio a escala 1:50 000, se distinguieron ocho localidades y veintitrés unidades de paisaje; de estas se observó que las áreas más extensas (657 km²) pertenecían a las planicies, en especial a las superficies planas (0 – 1°), muy ligeramente disecionadas (5 – 10 m/km²) sobre depósitos aluviales, con suelo Regosol éutrico y calcárico, Xerosol háplico, cálcico y gypico. En el análisis de cambio por unidad de paisaje, las planicies fueron las que presentaron mayores cambios de vegetación natural a agricultura de riego o temporal, se vio reflejado en el análisis de similaridad de las matrices de cambios mostradas, donde dichas unidades se mantuvieron separadas del resto; esto determinado por el alto número de hectáreas que cambiaron ya que ninguna otra unidad presentó la misma tasa de cambio.

El análisis clúster eliminó las unidades que no presentaron cambio alguno en su cobertura o su extensión fuese muy pequeña, por ello, se eliminaron del análisis las unidades 15, 16, 18, 19 y 23, quedando las unidades 1 y 2 como las que tuvieron mayores cambios en su cobertura.

El índice de antropización de la cobertura vegetal, se obtuvo las categorías de muy bajo, bajo, medio y alto para ambas fechas en diferentes proporciones, para 1976 el porcentaje de la categoría muy bajo fue del 66%, bajo 20% y medio 7% y para el año

2009 los porcentajes muy bajo fue 54%, bajo 11% y medio 28%, este último tuvo una transición de bajo a medio, en los últimos 33 años, la categoría alta se mantuvo estable en ambos años, ya que la zona se encuentra principalmente en áreas rurales donde los cambios de cobertura se dan en manera gradual a manera de cultivos, sin embargo, la transición dentro de la unidad de paisaje 1, tiene un alto laboreo (con expansión a la unidad 2) con el empleo de agroquímicos y extracción de agua lo que hace la transición de categoría baja a media, más preocupante que la unidad 9 que mantuvo la categoría media en ambos años. Por lo que nos hace pensar que los índices son tan solo una manera exploratoria de conocer la composición antro-po-natural de un lugar, más sin embargo se necesita estudios más a fondo de los agentes causales para asignarles estas categorías.

Los disturbios en el paisaje por parte de la agricultura de riego se han llevado a cabo por más de 33 años comenzando con una superficie de 14873 ha en 1976 a 25477 ha en el 2009, lo que puede tener como consecuencia un cambio en la dinámica y estructura del paisaje si en dado caso llega a abandonarse la agricultura de riego para dar paso a otro tipo de vegetación, como lo refleja la prospección para los próximos 33 años se observa una tendencia a la disminución de la cobertura agrícola para la zona de estudio, sobre todo en la unidad 1, la unidad 2 se mantiene en la categoría baja y aumenta su valor del índice de antropización, por lo que esta unidad podría experimentar mayores cambios para el 2042.

Este trabajo ha abordado únicamente los cambios en la cobertura vegetal a través de 33 años, es importante señalar la falta de una fecha intermedia en este rango de años, debido a que en los años 90's se realizaron la mayor cantidad de cambios respecto a los tipos de cultivos y técnicas que por la falta de cartografía de estas fechas no se incluyeron, además se sugiere un estudio detallado de suelos a escala 1:50 000 para la elaboración de un diagnóstico de potencialidades de suelo y determinara si aun es viable la agricultura de riego en la zona.

Referencias

- (2004) ERDAS Imagine. Leica Geosystems Geospatial Imaging.
- (2002) Gobierno Constitucional del Estado libre y soberano de Nuevo León, Periódico oficial. IN EJECUTIVO, P. (Ed.). Monterrey, Nuevo León Gobierno del estado de Nuevo León.
- (2006) Dictionary of Agriculture. third edition ed. London, A&C Black.
- AGUIRRE, C., HOTH, J.-LAFÓN, A. (Eds.) (2007) *Estrategia para la Conservación de Pastizales del Desierto Chihuahuense*, Chihuahua.
- ALLEN, F. D. M. A. E. J. (2007) Crop Management. IN VREUGDENHIL, D. (Ed.) *Potato Biology and Biotechnology advances and perspectives*. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier.
- ARONSON, J.-LE FLOC'H, E. (1996) Vital landscape attributes: missing tools for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 4, 377-387.
- ARRIAGA, L., ESPINOZA, J. M., AGUILAR, C., MARTÍNEZ, E., L., G.-E., L. (2000) Regiones terrestres prioritarias de México. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- BEZAURY-CREEL, J. E., TORRES, J. F.-OCHOA, L. M. O. (2007) Base de datos geográficos de áreas naturales protegidas estatales, del distrito federa y municipales de México. IN 1.0, V. (Ed.). The Nature Conservancy, PRONATURA A.C., Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas.
- BOCCO, G. (2003) Carl Troll y la ecología del paisaje. *Gaceta Ecológica*. México, Instituto Nacional de Ecología.
- BOCCO, G., MENDOZA, M. E., VELÁZQUEZ, A.-TORRES, A. (1999) La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo. *Investigaciones Geográficas, Boletín del instituto de Geografía UNAM*, 40, 7 - 22.
- BOCCO, G., MENDOZA, M., PRIEGO, A.-BURGOS, A. (2009) *La cartografía de los sistemas naturales como base para la planeación territorial. Una revisión bibliográfica*, México, SEMARNAT, INE, CIGA-UNAM.
- BOLLO, M. (en prensa) El enfoque Geocológico: ¿Geografía ambiental? *Coloquio internacional "Geografía y Ambiente en América Latina"*. Morelia Michoacán, CIGA, UNAM.
- BOTEQUILHA-LEITAO A., JOSEPH MILLER, JACK AHERN-MCGARIGAL, K. (2006) *Measuring Landscapes*, Washington - Covelo - London, Island press.
- CARRERA-MÁYNEZ, M. A. (2008) Situación actual, estrategias de conservación y bases para la recuperación del perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*). *Instituto de Ecología*. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México.
- CARTER, D. L. (1975) Problems of Salinity in Agriculture. IN POLJAKOFF-MAYBER, A. (Ed.) *Plants in Saline Environments*. Berlín.
- CETENAL (1975) Cartografía temática espacial 1:50 000 cartas: G14C54. México D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto.
- CETENAL (1976) Cartografía temática espacial 1:50 000 cartas: G14C44. México D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto.
- CETENAL (1977) Cartografía temática espacial 1:50 000 cartas: G14C46, G14C55, G14C45. México D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto.
- CONAPO (2010) México en cifras. IN POBLACIÓN, C. N. D. (Ed.). México D.F.
- COTERA-CORREA, M.-SCOTT-MORALES, L. (2000) Pradera de Tokio AICA 232. IN DEL-SOCORRO-ARIZMENDI, M.yMÁRQUEZ-VALDEMAR, L. (Eds.) *Área de Importancia para la conservación de las aves en México*. México D.F., CIPAMEX A.C.
- CRISSMAN, C., COLE, D.-CARPIO, F. (1994) Pesticide Use and Farm Worker Health in Ecuadorian Potato Production. *American Journal of Agricultural Economics*, 76, 593 - 597.
- CHARCAS, S. H. (2000) Proceso de conformación agrícola de la región de Río Verde, San Luis Potosí, México. *Revista geográfica*, 128, 105 - 117.
- CHUVIECO, E. (2002) *Teledetección ambiental*, Barcelona, Ariel Ciencia.
- DAVENPORT, J., MILBURN, P., ROSEN, C.-THORNTON, R. (2005) Environmental impacts of potato nutrient management. *American Journal of Potato Research*, 82, 321-328.
- ESRI (2007) Arc Info version 9.3. GIS. Environmental Systems Research, Institute, Inc.

- FAO (1996) Forest Resources Assessment 1990. *Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Rome.
- FAO (1997) Irrigation potential in Africa: A basin approach. *FAO Land and Water Bulletin - 4*. Natural Resources Management and Environment Department.
- FERNÁNDEZ-CIRELLI, A., ARUMÍ, J. L., RIVERA, D.-BOOCHS, P. (2009) Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid regions. *Chilean journal of agricultural research*, 69, 27-40.
- FISCHER, M.-STÖCKLIN, J. (1997) Local Extinctions of Plants in Remnants of Extensively used Calcareous Grasslands 1950 - 1985. *Conservation Biology*, 11, 727 - 737.
- FROLOVA, M. (2006) Desde el Concepto de paisaje a la Teoría de geosistema en al Geografía rusa: ¿hacia una aproximación geográfica global del medio ambiente? *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, 70, 225-235.
- GARCÍA-RUIZ, J. (2010) The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*.
- GARCÍA, E.-CONABIO (1998) Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García).
- GAUTHIER DAVID A (2006) Utilidad de un marco ecoregional en el manejo de áreas continentales de conservación. IN CASO, I. P. Y. M. (Ed.) *Especies, Espacios y riesgos*. Primera Edición ed. México, D.F., Instituto Nacional de Ecología.
- HERRERO, J.-BOIXADERA, J. (2006) Gypsic Soils. *Encyclopedia of Soil Science: Second Edition*, 796 - 799.
- HILLEL, D.-VLEK, P. (2005) The Sustainability of Irrigation. *Advances in Agronomy*.
- HUGGETT R. J (1995) *Geoecology; an evolutionary approach*, London Routledge.
- INEGI (1986) Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI (2005) Guía para la interpretación de la Cartografía; Uso de suelo y vegetación. Aguascalientes, México.
- ISACHENKO, A. (1973) *Principles of landscape science and physical geographic regionalization*, Melbourne University Press.
- JOBIN, B., BEAULIEU, J., GRENIER, M., BEÛ LANGER, L., MAISONNEUVE, C., BORDAGE, D.-FILION, B. (2003) Landscape changes and ecological studies in agricultural regions, QueÛ bec, Canada. *Landscape Ecology*, 18, 575-590.
- KENT MARTIN-COKER, P. (1992) *Vegetation Description and Analysis*, London, Belhaven Press.
- KERR, J. T.-CIHLAR, J. (2003) Land use and cover with intensity of agriculture for Canada from satellite and census data. *Global Ecology and Biogeography*, 12, 161-172.
- 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., SKÅNES, H., STEFFEN, W., STONE, G. D., SVEDIN, U., VELDKAMP, T. A., VOGEL, C.-XU, J. (2001) The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11, 261-269.
- MARGULES, C.-USHER, M. B. (1981) Criteria used in assessing wildlife conservation potential: A review. *Biological Conservation*, 21, 79-109.
- MARTÍNEZ-MONTOYA, J. F. (2005) Un enfoque multiescalar en la cartografía y génesis de suelos yesosos de San Luis Potosí, México. *Departamento de medio ambiente y ciencias del suelo*. Zaragoza, España, Universidad de Lleida.
- MARTÍNEZ, A. (2009) Técnico del centro de apoyo para el desarrollo rural de San Rafael. San Rafael, Galeana, Nuevo León.
- MATEO-RODRÍGUEZ, J. M.-VICENTE-DASILVA, E. (2004) La Geoecología del paisaje, como fundamento para el análisis ambiental. *Revista electrónica do Prodema*.
- MATHEWS-FERNÁNDEZ, J. (2008) Evaluación de la modificación Edafo-biógena de los paisajes de la región sierra-costa de Michoacán, México. *Centro de investigaciones en geografía ambiental*. Morelia, Michoacán, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S.-STAFFORD, S. (2000) *Multivariate Statistics for wildlife and Ecology Research*, New York, Springer.
- PERSSON, A. S., OLSSON, O., RUNDLÅF, M.-SMITH, H. G. (2010) Land use intensity and landscape complexity-Analysis of landscape characteristics in an agricultural region in Southern Sweden. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136, 169-176.
- PIMENTEL, D., MCLAUGHLIN, L., ZEPP, A., LAKITAN, B., KRAUS, T., KLEINMAN, P., VANCINI, F., ROACH, W. J., GRAAP, E., KEETON, W. S.-SELIG, G. (1993)

- Environmental and economic effects of reducing pesticide use in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 46, 273 - 288.**
- PRIEGO-SANTANDER, A. G., VELÁZQUEZ-MONTES, A.-ENRÍQUEZ-GUADARRAMA, C. (2004) El análisis de modificación geoecológica como herramienta del ordenamiento territorial: Caso de estudio de la cuenca Lerma-Chapala, México. .**
- PRIEGO, Á., BOCCO, G., MENDOZA, M. E.-GARRIDO, A. (2008) Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes fundamentos y métodos. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México.**
- RICKETTS, T. H. (2005) Pinpointing and preventing imminent extinctions. IN 51 (Ed.) 18497 - 18501. US, Proceedings of the National Academy of Sciences.**
- RIVERA-RIVERA, E. (2006) Caracterización y productividad invernal de tres áreas de pastizal: Hábitat para la lechuga llanera (*Athene cunicularia*) en el municipio de Galeana, Nuevo León, México. *Laboratorio de Ornitología*. San Nicolás de los Garza N.L. México, Universidad Autónoma de Nuevo León.**
- RUDEL, T. K., SCHNEIDER, L., URIARTE, M., TURNER II, B. L., DEFRIES, R., LAWRENCE, D., GEOGHEGAN, J., HECHT, S., ICKOWITZ, A., LAMBIN, E. F., BIRKENHOLTZ, T., BAPTISTA, S.-GRAU, R. (2009) Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970-2005. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 20675-20680.**
- SAMPSON FRED, F. K. (1994) Prairie conservation in North America. *Bioscience*, 44, 418-421.**
- SAUER, C. (1925) The morphology of landscape. *University of California Publication in Geography*, 2, 19-54.**
- SHISHENKO, P. G. (1988) *Estabilidad de los paisajes a las cargas económicas.*, Kiev, Ucrania.**
- SIAP, S. D. I. A. Y. P. (2008) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.**
- SOCHAVA, V. (1978) *Introducción a la teoría de los geosistemas, (en ruso)*.**
- SOTO ESPERANZA, M., CHIAPPY JHONES, C., GAMA CAMPILLO, L.-GIDDINGS, L. (2001) Antropización del noroeste del país. *Extraído del proyecto K032: Preparación del mapa de antropización del noroeste del país (CONABIO)*. México, Instituto de Ecología A.C.**
- STAPP P., B. V. H., M.D. LINDQUIST (2008) Ecology of Mammals of the Shortgrass Steppe. IN LAUENROTH W.K., I. C. B. (Ed.) *Ecology of the Shortgrass Steppe, a long-term perspective*. New York, Oxford University Press, Inc.**
- TIJERINA-CHÁVEZ, L. (1992) Impacto ambiental de los proyectos hidráulicos sobre la agricultura de riego. *Memorias del II simposio y I Reunión Nacional agricultura sostenible: un enfoque ecológico, socioeconómico y desarrollo tecnológico*. México, Comisión de estudios ambientales C.P. e Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura.**
- TROLL, C. (1950 [2003]) Ecología del paisaje. *Gaceta Ecológica*. México, Instituto Nacional de Ecología.**
- TURNER, M. G., ROMME, W. H., GARDNER, R. H., O'NEILL, R. V.-KRATZ, T. K. (1993) A revised concept of landscape equilibrium: Disturbance and stability on scaled landscapes. *Landscape Ecology*, 8, 213-227.**
- VELÁZQUEZ, A., C. MEDINA, DURÁN, E.-AMADOR, A. (en prensa) *Método o esquema jerárquico estandarizado para la clasificación de la vegetación en México*, Morelia Michoacán.**
- VELÁZQUEZ, A., DURÁN, E., RAMÍREZ, I., MAS, J.-F., BOCCO, G., RAMÍREZ, G.-PALACIO, J.-L. (2003) Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change*, 13, 175-184.**
- VIDINA 1970 en MATEO (1984) *Apuntes de Geografía de los Paisajes*, La Habana.**

Anexos



Anexo 1. Unidad 1 (mapa 1:50 000); superficies planas ($0 - 1^\circ$), muy ligeramente diseccionadas ($5 - 10 \text{ m/km}^2$) sobre depósitos aluviales, con suelo Regosol éutrico y calcárico, Xerosol háplico, cálcico y gypstico: en la fotografía se observa cultivos de riego tecnificados de maíz, al fondo se observa la unidad 2; superficies planas a muy ligeramente inclinadas ($0 - 3^\circ$), ligeramente diseccionadas ($15 - 30 \text{ m/km}^2$), sobre depósitos aluviales y conglomerados, con suelo Xerosol calcárico y háplico, Feozem calcárico y Regosol éutrico y la unidad 11 que corresponde a Piedemontes (conos de deyección) ligeramente a poco inclinados ($3-10^\circ$), medianamente diseccionados ($DV 60 - 100\text{m/km}^2$), sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerados de lutita-arenisca, con suelo Xerosol háplico, Feozem calcárico y Regosol calcárico.



Anexo 2. Unidad 1, campo de cultivo con vegetación secundaria



Anexo 3. Área natural protegida Llano de la Soledad.



Anexo 4. Cañadas temporales (intermitentes), en forma de V, erosivas, torrenciales, encajadas, sobre rocas sedimentarias terrígenas, conglomerado, lutita – arenisca, depósitos deluvio - coluviales, con afloramientos de roca, ausencia de suelos



Anexo 5. Valles intermontanos 1800 - 2400m (DV<100 m/km²) (Unidades 7, 8, 9); ejido Ciénaga del Toro

Matrices de vegetación

Año 1976

	ZU	SNVEG	ARA	ARS	AT	VEGCON	VEGSE
U1	92	91.89	8677.32	4447.46	763.04	24609.20	761.20
U2	90	326.98	1373.46	175.84	1814.40	21687.50	906.00
U3	0	0.00	9.18	0.00	14.29	792.90	0.00
U4	0	0.00	44.41	13.57	17.85	2778.10	37.40
U5	0	0.00	0.00	0.00	0.00	238.10	3.30
U6	35.4	0.00	54.72	0.00	58.34	4748.20	3.30
U7	4.4	0.00	0.00	0.00	725.07	297.80	0.00
U8	22	21.65	0.00	0.00	2034.33	408.60	0.00
U9	66.8	0.00	0.00	0.00	3864.80	2403.10	29.50
U10	0	0.00	0.00	0.00	139.87	370.00	7.30
U11	8	45.14	0.00	0.00	154.64	1247.00	0.00
U12	13	0.00	0.00	0.00	221.90	491.50	0.00
U13	0	0.00	0.00	0.00	56.52	2545.00	12.30
U14	40.6	27.47	0.00	0.00	1416.33	17617.10	71.20
U15	0	0.00	0.00	0.00	10.06	4.00	0.00
U16	0	0.00	0.00	0.00	62.03	0.00	0.00
U17	0	0.00	0.00	0.00	201.61	24.60	72.90
U18	0	0.00	0.00	0.00	72.91	3.75	0.00
U19	0	0.00	0.00	0.00	0.00	22.20	0.00
U20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	2097.90	33.90
U21	0	0.00	0.00	0.00	69.10	13771.00	436.30
U22	0	0.00	0.00	0.00	0.00	1040.00	0.00
U23	0	0.00	0.00	0.00	0.00	98.60	27.70

Anexo 6. Matriz analítica de usos de suelo y vegetación en 1976 en hectáreas

2009

	ZU	SNVEG	ARA	ARS	AT	VEGCON	VEGSE
U1	269.4	991	6991	4475.3	1342.75	19657.07	7177.95
U2	324.76	0	3258	2150.1	2060.88	17744.05	1078.77
U3	63.14	0	57.5	109.79	0.00	651.099	7.8
U4	0	0	186.1	73.71	4.39	2630.37	0
U5	0	0	0	0	0.00	244.9	0
U6	106.25	0	92	117.39	104.80	4481.06	98.78
U7	149.81	0	14.6	0	560.91	447.01	14.65
U8	90.34	0	57.2	0	1869.27	506.61	0
U9	231.11	0	0	0	4335.47	1747.74	201.58
U10	0	0	0	0	96.96	310.52	109.97
U11	40.4	0	47.8	5.32	87.38	1370.65	0
U12	119.2	0	0	0	331.74	410.37	8.25
U13	271.15	0	0	6	245.62	2424.33	10.41
U14	384.16	0	48.2	72.75	2319.08	16592.59	81.2
U15	0	0	0	0	33.19	5.7	0
U16	0	0	0	0	62.03	0	0
U17	0	0	0	0	211.93	98.71	0
U18	0	0	0	0	84.34	0	0
U19	0	0	0	0	0.00	19	0
U20	196.15	0	0	0	21.97	2120.11	0
U21	238.41	0	0	0	215.22	14064.81	0
U22	0	0	0	0	0.00	1039.83	0
U23	0	0	0	0	0.00	126.41	0

Anexo 7. Matriz analítica de uso de suelo y vegetación 2009 en hectáreas.

	ZU	SNVEG	ARA	ARS	AT	VEGCON	VEGSE
U1	0.9924	0.0711	1.0364	0.9776	0.6368	2.3127	0.9730
U2	0.9613	0.0000	0.9094	0.9806	0.8867	2.8178	0.4442
U3	1.0026	0.0000	1.9813	0.3931	0.0000	1.6162	0.0068
U4	0.0000	0.0000	1.4891	0.9560	0.0324	2.5226	0.0000
U5	0.0000	0.0000	0.0246	0.0712	0.0000	3.9042	0.0000
U6	1.0493	0.0000	0.7695	0.4968	0.5844	1.9213	0.1787
U7	0.8121	0.0000	0.0201	0.0000	1.7613	1.4065	0.0000
U8	1.1292	0.0000	0.0488	0.0000	1.7349	1.0798	0.0074
U9	0.6518	0.0000	0.0010	0.0000	1.9603	1.3180	0.0689
U10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5515	2.0268	0.4217
U11	1.1269	0.0727	0.0375	0.0043	0.0462	2.7078	0.0046
U12	1.0120	0.0000	0.0000	0.0000	0.8974	1.0699	0.0206
U13	0.9556	0.0045	0.0005	0.0025	0.7988	3.2340	0.0042
U14	0.6720	0.0135	0.0032	0.0051	0.8447	3.4523	0.0093

U15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9917	2.0083	0.0000
U16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
U17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9950	2.0050	0.0000
U18	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.3518	0.6482	0.0000
U19	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1446	0.8554	0.0000
U20	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.5252	2.4732	0.0000
U21	1.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.4828	2.5158	0.0000
U22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
U23	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000

Anexo 8. Matriz de cambio de coberturas y usos, 1976 -2009.

	ZU	SNVEG	ARA	ARS	AT	VEGCON	VEGSEC
U1	857.74	850.01	6139.46	5952.31	1907.43	17177.75	6473.28
U2	287.42	0.22	3970.58	3143.97	2398.18	15119.20	1356.19
U3	5.57	0.00	100.19	114.26	0.00	604.34	4.44
U4	0.00	0.00	295.64	95.01	2.73	2500.12	0.00
U5	0.00	0.00	0.49	0.81	0.00	245.84	0.00
U6	105.74	0.00	121.34	133.97	126.07	4192.44	97.91
U7	36.16	0.00	0.30	0.00	474.61	729.38	0.00
U8	260.46	0.00	47.40	0.00	1172.36	934.77	0.43
U9	186.40	0.00	0.00	0.00	2920.86	2925.46	177.19
U10	0.00	0.00	0.00	0.00	71.86	357.59	88.05
U11	1313.54	2.26	0.20	0.02	1.65	107.39	0.10
U12	16.10	0.00	0.00	0.00	313.92	399.89	7.91
U13	10.13	0.01	0.00	0.02	1.72	2671.62	0.03
U14	1616.25	209.28	0.22	0.35	47.18	17222.37	0.55
U17	0.00	0.00	0.00	0.00	213.31	99.89	0.00
U21	18.94	0.00	0.00	0.00	257.61	13998.36	0.00

Anexo 9. Valores de superficie en hectáreas de las diferentes unidades de paisaje del año 2042