

**Geografía ambiental: métodos y técnicas
desde América Latina**

Humberto Reyes Hernández
Carlos Morera Beita
Óscar Reyes Pérez
Editores

**Geografía ambiental: métodos y técnicas
desde América Latina**





© EUNA

Editorial Universidad Nacional
Heredia, Campus Omar Dengo
Costa Rica

Teléfono: 2562-6754 / Fax: 2562-6761

Correo electrónico: euna@una.cr

Apartado postal: 86-3000 (Heredia, Costa Rica)

La Editorial Universidad Nacional (EUNA) es miembro del Sistema Editorial Universitario Centroamericano (SEUCA)

© Geografía ambiental: métodos y técnicas desde América Latina

Humberto Reyes Hernández

Carlos Morera Beita

Óscar Reyes Pérez

Editores

Primera edición 2017

Dirección editorial: Alexandra Meléndez C. amelende@una.cr

Diseño de portada: Jania Umaña

363.7

G345G Geografía ambiental: métodos y técnicas desde América Latina/Humberto Reyes Hernández, Carlos Morera

Beita, Óscar Reyes Pérez editores.— Primera edición.

— Heredia, Costa Rica: EUNA, 2017.

236 páginas: ilustraciones; 24 cm

ISBN 978-9977-65-477-5

1. GEOGRAFÍA 2. MEDIO AMBIENTE 3. AMÉRICA LATINA 4. INDICADORES 5. IMPACTO AMBIENTAL 6. SOSTENIBILIDAD 7. MEDIO AMBIENTE NATURAL
I. Reyes Hernández, Humberto II. Morera Beita, Carlos Manuel, 1966- III. Reyes Pérez, Oscar

De conformidad con el Artículo 16 de la Ley N.º 6683, Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos, se prohíbe la reproducción parcial o total no autorizada de esta publicación por cualquier medio o procedimiento mecánico o electrónico, con excepción de lo estipulado en los artículos N.º 70 y N.º 73 de la misma ley, en los términos que estas normas y su reglamentación delimitan (Derecho de cita y Derecho de Reproducción con fines educativos).

Contenido

I PARTE: ABORDAJES CONCEPTUALES DE LAS PREOCUPACIONES AMBIENTALES DESDE LA GEOGRAFÍA.....	23
1.1. APLICABILIDAD DE INDICADORES DE ESTRUCTURA DE PAISAJE PARA EVALUAR TRANSFORMACIONES EN ESCENARIOS TROPICALES.....	25
1.1.1. Introducción.....	25
1.1.2. El concepto de paisaje.....	26
1.1.3. Metodología.....	27
1.1.4. Procesos de fragmentación y conectividad de los ecosistemas naturales.....	32
1.1.5. Análisis y Discusión.....	33
1.1.6. Validación de los índices de fragmentación para escenarios tropicales.....	39
1.1.7. Conclusiones.....	42
1.1.8. Bibliografía.....	43
1.2. TEORÍA Y MÉTODOS DE LA ASIMILACIÓN ECONÓMICA COMO MEDIOS DE APROXIMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL TERRITORIO.....	45
1.2.1. Introducción de la asimilación económica del territorio en los trabajos geográficos de México.....	45
1.2.2. Postulados teóricos de la asimilación.....	51
1.2.3. Procedimiento metodológico estándar sobre el nivel de asimilación económica del territorio.....	53
1.2.4. Ajustes metodológicos a la asimilación económica del territorio en cuestiones ambientales.....	68
1.2.5. Nuevas aportaciones cartográficas.....	87
1.2.6. Conclusiones.....	91
1.2.7. Bibliografía.....	92

1.3. EDUCACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA SUSTENTABILIDAD: GUÍA DE APRENDIZAJE PARA EL DESARROLLO DE LA HABILIDAD DE ACTUACIÓN EN EL ENTORNO RURAL.....	96
1.3.1. Introducción.....	96
1.3.2. Características del área de estudio.....	100
1.3.3. Materiales y Métodos.....	103
1.1.4. Resultados y conclusiones.....	121
1.1.7. Bibliografía.....	123

II PARTE: MÉTODOS DE LA GEOGRAFÍA APLICADOS A INVESTIGACIONES AMBIENTALES: CASOS DE ESTUDIO.....125

2.1. CONFIGURACIÓN MORFOESTRUCTURAL DEL PAISAJE DE LA CUENCA DEL RÍO TUXPAN. UN CASO LATINOAMERICANO.....	127
2.1.1. Introducción.....	127
2.1.2. Metodología.....	130
2.1.3. La cuenca del río Tuxpan.....	132
2.1.4. Rasgos morfoestructurales del paisaje.....	134
2.1.4.1. Principales unidades litológicas.....	136
2.1.5. Análisis estructural.....	137
2.1.5.1. Tectónica.....	139
2.1.5.2. Morfoestructuras.....	142
2.1.5.3. Estructuras prevolcánicas del terciario inferior.....	145
A) Lomas y Valles del Olivo (1).....	145
B) Estructuras volcánicas del terciario superior.....	145
B-1) Laderas de la Laja del Mioceno (2).....	145
B-2) Laderas de las Joyas del Mioceno (3).....	146
B-3) Laderas de la Colmena del Mioceno (4).....	147
B-4) Laderas del Ventero del Mioceno (5).....	147
B-5) Laderas de Huajúbaro del Mioceno (6).....	148
B-6) Laderas de Anganguero del Mioceno (7).....	149
B-7) Conos y domos de la Laguna Verde del Mioceno (8).....	149
B-8) Domos y planicies de Agostitlán del Mio-Plioceno (9).....	150

B-9) Laderas del Fraile del Plioceno (10).....	151
C) Estructuras volcánicas del cuaternario.....	152
C-1) Domos de La Laguna Larga y San Matías (11 y 12).....	152
C-2) Laderas de Ciudad Hidalgo (13).....	153
C-3) Laderas de Timbineo con remanentes del Mesozoico (14).....	153
C-4) Cono complejo de Zirahuato (15).....	154
C-5) Cono complejo del Huacal (16).....	154
C-7) Mesas de Jungapeo (17).....	155
D) Planicies aluviales del cuaternario (morfoesculturas).....	155
D-1) Planicie de Acumulación Tajimaroa (18).....	155
D-2) Planicie de Acumulación Ocampo (19).....	156
D-3) Planicie de Acumulación Tuxpan (20).....	156
2.1.6. Conclusiones.....	157
2.1.7. Bibliografía.....	158
2.2. IMPACTO AMBIENTAL DE BANCOS DE MATERIAL EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS.....	163
2.2.1. Introducción.....	163
2.2.2. Materiales y métodos.....	168
2.2.2.1. Inventario de bancos de material y ANP.....	168
2.2.3. Cuantificación del impacto.....	170
2.2.4. Evaluación del impacto ocasionado por los BdM en dos ANP.....	174
2.2.5. Resultados.....	178
2.2.6. Discusión.....	183
2.2.7. Conclusiones.....	184
2.2.8. Bibliografía.....	185
2.3. PERCEPCIÓN REMOTA E INSTRUMENTOS CUALITATIVOS PARA EVALUAR EL APROVECHAMIENTO MADERABLE DEL MEZQUITAL EN LA LLANURA DE RIOVERDE, SAN LUIS POTOSÍ.....	187
2.3.1. Introducción.....	187
2.3.2. Metodología.....	190
2.3.2.1. Caracterización de la zona de estudio.....	190
2.3.3. Cambios en la cobertura del mezquital.....	191

2.3.4. Aprovechamiento del mezquite.....	193
2.3.5. Resultados.....	194
2.3.6. Conclusiones.....	204
2.3.7. Bibliografía.....	205
2.4. MÉTODOS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA RESTAURACIÓN DE ISLAS: EL CASO DE LAS ERRADICACIONES DE ROEDORES INVASORES.....	207
2.4.1. Introducción.....	207
2.4.2. Área de estudio.....	217
2.4.3. Materiales y Métodos.....	218
2.4.3.1. Calibración de la cubeta de dispersión.....	218
2.4.3.2. Dispersión aérea de roenticida.....	220
2.4.4. Resultados.....	223
2.4.4.1. Calibración de la cubeta de dispersión.....	223
2.4.4.2. Dispersión aérea de roenticida.....	224
2.4.5. Discusión y Conclusiones.....	230
2.4.6. Bibliografía.....	233

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.1. Resumen de investigaciones de paisaje.....	31
Tabla 1.1.2. Estudios de casos y su condición con los escenarios de intervención de los ecosistemas naturales.....	35
Tabla 1.1.3. Aplicabilidad de los índices de paisaje según escenarios.....	38
Tabla 1.1.4. Aplicabilidad de los índices de paisaje según escenarios y casos.....	40
Tabla 1.1.5. Clasificación del índice de fragmentación.....	41
Tabla 1.2.1 Producción científica de la Geografía Mexicana en torno a la asimilación económica del territorio.....	49
Tabla 1.2.2. Postulados teóricos relacionados con el nivel de asimilación económica de un territorio.....	52

Tabla 1.2.3. Variables e indicadores socioeconómicos utilizados para la determinación de los niveles de asimilación económica del territorio.....	58
Tabla 1.2.4. Datos de las variables socioeconómicas.....	59
Tabla 1.2.5. Indicadores socioeconómicos.....	59
Tabla 1.2.6. Ponderación cualitativa y cuantitativa de los indicadores socioeconómicos.....	61
Tabla 1.2.7. Correlación entre indicadores socioeconómicos.....	62
Tabla 1.2.8. Combinación de jerarquías y asociación de códigos.....	63
Tabla 1.2.9. Variables elegidas para evaluar condiciones ambientales a través de procedimientos metodológicos de la asimilación económica del territorio.....	70
Tabla 1.2.10. Indicadores para la determinación de áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico en el estado de San Luis Potosí.....	71
Tabla 1.2.11. Indicadores para la valoración ambiental del estado de San Luis Potosí a través de sus niveles de asimilación económica.....	72
Tabla 1.2.12. Ejemplos de jerarquización de la información con base en seis clases.....	74
Tabla 1.2.13. Factores de ponderación para elaborar el indicador áreas biogeográficas.....	75
Tabla 1.2.14. Factores de ponderación para elaborar el indicador áreas sociodemográficas.....	76
Tabla 1.2.15. Factores de ponderación para elaborar el indicador potencial turístico.....	76
Tabla 1.2.16. Factores de ponderación para elaborar indicadores de impacto ambiental.....	77
Tabla 1.2.17. Jerarquías para la elaboración del indicador áreas biogeográficas.....	80
Tabla 1.2.18. Jerarquías para la elaboración del indicador áreas sociodemográficas.....	80

Tabla 1.2.19. Jerarquías para la elaboración del indicador potencial turístico.....	81
Tabla 1.2.20. Jerarquías para la elaboración de indicadores de impacto ambiental.....	81
Tabla 1.2.21. Ponderación y jerarquización de datos por UER del indicador áreas biogeográficas.....	82
Tabla 1.2.22. Ponderación y jerarquización de datos por UER del indicador áreas sociodemográficas.....	82
Tabla 1.2.23. Ponderación y jerarquización de datos por UER del indicador potencial turístico.....	83
Tabla 1.2.24. Ponderación y jerarquización de datos por UER de indicadores de impacto ambiental.....	83
Tabla 1.2.25. Ponderaciones finales para la obtención de indicadores que revelen áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico.....	84
Tabla 1.2.26. Jerarquías para los indicadores que revelen áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico.....	85
Tabla 1.2.27. Combinaciones resultantes por la asociación de indicadores que revelan áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico.....	85
Tabla 1.2.28. Combinaciones resultantes por la asociación de indicadores de impacto ambiental.....	86
Tabla 2.1.1. Cobertura porcentual de formaciones geológicas por periodo geológico en la cuenca del río Tuxpan.....	136
Tabla 2.1.2. Morfoestructuras y morfoesculturas.....	144
Tabla 2.2.1. Áreas naturales protegidas en el estado de San Luis Potosí y algunas de sus principales características.....	166
Tabla 2.2.2. Valoración de los impactos ambientales causados por una obra o actividad.....	171
Tabla 2.2.3. Etapas de un proyecto para el establecimiento de un BdM y sus actividades.....	172

Tabla 2.2.4. Identificación de los principales componentes afectados.....	173
Tabla 2.2.5. Valoración del impacto ambiental causado por los BdM.....	174
Tabla 2.2.6. Matriz de los impactos ambientales causados por los BdM en el ANP Sierra Abra Tanchipa.....	181
Tabla 2.2.7. Matriz de los impactos ambientales causados por los BdM en el Lago de la Media Luna.....	182
Tabla 2.3.1. Superficie forestal por año y tasa de cambio de uso de suelo del mezquital.....	196
Tabla 2.3.2. Permisos de Aprovechamiento forestal en terrenos diversos Rioverde.....	198
Cuadro 2.3.3. Permisos de Aprovechamiento forestal en terrenos diversos Cd Fernández.....	199
Tabla 2.3.4. Relación de tablas aprovechadas y tiempo invertido en la elaboración de muebles.....	201
Tabla 2.3.5. Análisis FODA.....	203
Tabla 2.4.1. Vertebrados extintos debido a la destrucción de hábitat, competencia y depredación por especies exóticas invasoras en islas mexicanas.....	209
Tabla 2.4.2. Islas mexicanas con registros confirmados de especies exóticas invasoras.....	211
Tabla 2.4.3. Erradicaciones exitosas en islas mexicanas entre 1994 y 2013.....	215
Tabla 2.4.4. Monitoreos biológicos pre-erradicación.....	223

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1. Estructura del paisaje.....	29
Figura 1.1.2. Escenarios del proceso de intervención antrópica en el paisaje.....	34
Figura 1.1.3. Índices de fragmentación para casos en estudios.....	42
Figura 1.2.1. Marco conceptual.....	51
Figura 1.2.2. Unidades espaciales de referencia territorio.....	55

Figura 1.2.3. Características de los niveles de asimilación económica revelados.....	65
Figura 1.2.4. Representación cartográfica de los niveles de asimilación económica.....	67
Figura 1.2.5. Delimitación de cuadrícula geográfica con el uso de SIG.....	69
Figura 1.2.6. Conformación de nubes tipológicas alternativas.....	87
Figura 1.2.7. Cartografía relativa con la evaluación ambiental del territorio.....	90
Figura 1.3.1: Mapa Político Regional de Chile Región de Coquimbo.....	102
Figura 2.1.1. Mapa de localización. Cuenca del río Tuxpan, Michoacán.....	133
Figura 2.1.2. Formaciones litológicas. Mapa geológico (Silva, 1979; en Palacio, 1985).....	138
Figura 2.1.3. Dirección y longitud de los morfoalineamientos (fracturas y fallas) en la región de la cuenca del río Tuxpan.....	141
Figura 2.1.4. Morfoalineamientos (fracturas y fallas) en la región de la cuenca del río Tuxpan de acuerdo con Garduño (1987b) e INEGI (1978).....	143
Figura 2.1.5. Mapa con las principales morfoestructuras en la cuenca del río Tuxpan.....	157
Figura 2.2.1. Localización de las principales Áreas Naturales Protegidas en el estado de San Luis Potosí.....	169
Figura 2.2.2. Principales materiales extraídos en los BdM en el estado de San Luis Potosí.....	178
Figura 2.2.3. Ubicación de los bancos de material registrados oficialmente en el estado de San Luis Potosí.....	179
Figura 2.2.4. Localización de los BdM y su relación con las ANP en el estado de San Luis Potosí.....	180
Figura 2.3.1. Distribución potencial del mezquite <i>Prosopis spp</i> en el estado de San Luis Potosí.....	188

Figura 2.3.2. Ubicación zona de estudio.....	189
Figura 2.3.3. Distribución de los mezquiales por tipo de suelo en la Llanura de Rioverde.....	191
Figura 2.3.4. Cambios en la cobertura de mezquite de la Llanura de Rioverde entre 1973 y 2001.....	195
Figura 2.3.5. Cambios en la cobertura arbórea de mezquite en la llanura de Rioverde, 1970-2000.....	197
Figura 2.3.6. Aplicación del Índice Normalizado de Vegetación, julio 2013.....	197
Figura 2.3.7. Tipos de establecimientos en la zona de estudio.....	200
Figura 2.3.8. Relación de madera utilizada para la elaboración de muebles.....	201
Figura 2.4.1. Islas con erradicaciones terminadas y pendientes en México hasta abril de 2014.....	213
Figura 2.4.2. Trayectoria de México en la restauración de sus islas a través de la erradicación de mamíferos invasores.....	214
Figura 2.4.3. Ubicación y fotografía aérea de los Cayos Norte Mayor y Menor.....	218
Figura 2.4.4. Unidad de muestreo para medir la tasa de aplicación real del helicóptero tras la dispersión aérea de rodenticida.....	220
Figura 2.4.5. Líneas de vuelo que seguirá el helicóptero durante la dispersión aérea de rodenticida para la erradicación de la rata negra en la isla Cayo Centro.....	222
Figura 2.4.6. Tasa de flujo medida durante cuatro diferentes eventos de calibración de la cubeta de dispersión en 2007 (dos ocasiones), 2009 y 2013.....	225
Figura 2.4.7. Gráfica en tres dimensiones que muestra la relación entre la apertura del disco de la cubeta, la velocidad de vuelo del helicóptero y la tasa de aplicación de rodenticida.....	225

PRESENTACIÓN

La preocupación de la geografía por el medio ambiente es una tradición epistemológica que viene de lejos. En este sentido, se debe citar a George Perkins Marsh como uno de los geógrafos pioneros en poner en relieve la degradación del medio natural que comportan muchas de las actividades humanas. En una fecha tan temprana como 1864, Marsh publicó *Man and Nature*, una obra muy citada posteriormente cuyo título completo era *Man and nature, or physical geography as modified by human action*, un trabajo que tendría una gran influencia en la geografía ambientalista posterior.

Marsh, al igual que contemporáneos como Ch. Lyell, A. Schow, A. von Humboldt y E. Reclus, daba mucha importancia a la problemática derivada de la transformación humana del medio y consideraba que la geografía debía ocuparse principalmente en analizar y procurar resolver tales problemas. Elisée Reclus fue un poco más lejos y, además de levantar acta de la degradación del ambiente, remitió a las desigualdades sociales como una de las causas de la distribución geográfica de tal degradación. Por ejemplo, cuando en su obra *L'Homme et la Terre* describe las diferencias en las tasas de mortalidad entre los barrios acomodados y los barrios pobres e insalubres, o cuando describe el esmog, mezcla de niebla y humo producido en la combustión de carbón por la industria, que cubría el cielo de “ciudades ahumadas” como Manchester, Essen o Pittsburg, haciendo irrespirable su atmósfera.

Pese a su importancia, los personajes citados y sus planteamientos fueron relegados del cuerpo principal de la geografía, en un período en que la revolución industrial basada en el avance científico y tecnológico producía un incremento tal de los bienes materiales que a pocos importaba la preocupación por la preservación de los recursos naturales, sino más bien todo lo contrario: poder acceder a su aprovechamiento y consumo sin freno.

Muchos años más tarde, en el coloquio celebrado en Princeton en 1955 bajo el título *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, impulsado por Carl O. Sauer y sus colegas de la escuela de geografía cultural de la

Universidad de Berkeley, se rindió tributo al trabajo pionero de G.P. Marsh al adoptarse la estructura de su libro como esquema organizativo de las contribuciones al coloquio. El volumen publicado con las contribuciones al congreso constituyó en el futuro una referencia obligada en relación con los impactos de las actividades humanas en el medio.

En esa segunda mitad del siglo XX y a medida en que la modificación del entorno se evidenció más, fue cristalizando un movimiento ambientalista cuya historia está jalonada por hitos significativos. Uno de los primeros fue la publicación de *Silent Spring* de Rachel Carlson, en 1962, donde se alertaba del impacto sobre insectos y pájaros de los pesticidas como el DDT, usados generosamente en los campos de EE.UU. y que condujo a su prohibición. La publicación, en 1972, del informe Meadows: “Los límites del crecimiento” por parte del Massachusetts Institute of Technology (MIT) por encargo del Club de Roma, donde se sustentaba la tesis de que en un planeta limitado las dinámicas de crecimiento exponencial de la población y el PIB no eran sostenibles, tuvo un gran impacto. También, formaría parte de esos hitos sobresalientes la aparición en 1987 del informe Brundtland: “Our common future”, en el que desde la ONU se da carta de naturaleza institucional al concepto “desarrollo sostenible”. Además de muchos otros documentos, protocolos, conferencias e informes que se efectuaron y continúan produciéndose en la actualidad.

La geografía no ha sido insensible al despertar social de la conciencia ambiental que se desarrolló de forma creciente a partir de los años 1960 y 1970 del siglo pasado. En 1987, en la Universidad de Clark e impulsado por Bill Turner II se reeditó el coloquio de Princeton de 1955, ahora con el título: *The Earth as Transformed by Human Action. Global and Regional Changes over the Past 300 Years*. En dicho coloquio se reflexionó ampliamente sobre el objeto de estudio de la geografía subrayándose la importancia de adoptar una perspectiva centrada en el estudio de las relaciones entre la humanidad y el medio ambiente frente a la concepción tradicional con base en la descripción y el análisis de la distribución espacial de los fenómenos geográficos.

El libro que el lector tiene en sus manos responde a esa concepción ambientalista que toma cuerpo en la geografía sobre todo a partir de las décadas de los años 1980 y 1990 del pasado siglo, y se ha seguido desarrollando hasta la actualidad, orientada al estudio de las relaciones entre las sociedades y el medio en un espacio concreto. Se enriquece con aportaciones de ciencias afines como la ecología del paisaje y se apoya en técnicas de aparición reciente como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La primera parte del libro está dedicada, precisamente, en la línea de las tendencias actuales de la geografía moderna, a las aportaciones conceptuales de la geografía en el marco de las relaciones entre las sociedades humanas y el medio ambiente.

Los investigadores Fabián Araya y Sandra Álvarez de la Universidad de La Serena en Chile presentan el ejemplo de una guía de aprendizaje diseñada como recurso didáctico para el desarrollo de habilidades cognitivas que propicien el pensamiento espacial de los estudiantes de nivel de Liceo en sectores rurales, y potencien la adquisición de aprendizajes significativos en el ámbito de la educación geográfica para la sustentabilidad. Los autores resaltan en las conclusiones que el desarrollo de un comportamiento ambientalmente sustentable no se logra solamente con aprendizajes memorísticos orientados al tratamiento de contenidos disciplinarios, sino que también se deben adquirir habilidades cognitivas específicas que permitan a los estudiantes avanzar de manera gradual hacia comportamientos y actitudes sustentables en el espacio geográfico rural.

El segundo capítulo consiste en una aportación de los investigadores Óscar Reyes, Xochizeltzin Castañeda y Priscila Lara sobre la asimilación económica como método para la evaluación ambiental del territorio, poniendo como ejemplos los casos de Cuba y México. El método utilizado se basa en parte en la utilización de un grupo de indicadores socioeconómicos (la densidad de población, el grado de urbanización, la concentración de la producción agrícola, la de la producción industrial y la densidad vial) y dos grupos de indicadores ambientales, uno sobre las áreas naturales prioritarias para el desarrollo de la actividad turística (biodiversidad,

dinámica demográfica, lsituación social y el equipamiento turístico) y otro sobre impactos sobre el medio (influencia antrópica sobre la cubierta vegetal, nivel de aprovechamiento de los acuíferos, alteración del medio por las vías de comunicación, afectación de la actividad minera sobre el medio). En las conclusiones, los autores consideran que “la asimilación económica del territorio representa una alternativa de aproximación para determinar cómo pueden aprovecharse de forma sustentable los elementos de la naturaleza; de igual forma para valorar el impacto que tienen en los recursos naturales la población y las actividades que desarrolla para apropiárselos”.

En el tercer capítulo, los investigadores Carlos Morera, uno de editores del libro, y Luis Fernando Sandoval, profesores ambos de la Universidad Nacional de Costa Rica presentan un trabajo sobre la aplicación de un conjunto de índices de análisis de la estructura del paisaje (número de fragmentos, superficie de la cobertura, tamaño medio de los fragmentos, índice de forma, dimensión fractal, vecindad y desviación estándar) ampliamente utilizados en el marco disciplinar de la ecología del paisaje, como instrumento para evaluar las transformaciones territoriales sucedidas en modelos de mosaicos de paisaje propios del medio tropical y previamente definidos (intacto, salpicado, fragmentado y relicto). El estudio compara la aplicabilidad de cada uno de los índices citados en cada uno de los tipos de paisajes obtenidos en estudios realizados a varias escalas, desde la nacional a la local, y en distintos años, algunos de ellos realizados con la participación de los autores. En sus conclusiones, los autores remarcan que: “Los escenarios de paisaje están determinados por dos procesos que son excluyentes como son la conectividad y la fragmentación ecológica, que genera que en todo espacio domine uno de estos procesos. Los resultados mostraron que la dominancia de estos procesos está determinada por varios factores que no son solo la cobertura boscosa sino además, la densidad, la distancia y el tamaño de las manchas de bosques”.

La segunda parte del libro está dedicada a la presentación de varios casos de estudio localizados en México, en los que se abordan los distintos procesos metodológicos empleados en el análisis de problemáticas

ambientales tan dispares como la delimitación ambiental de una cuenca hidrográfica, el impacto ambiental de los bancos de material producidos en la actividad minera, el análisis del aprovechamiento maderable del mezquital y la erradicación de roedores invasores en islas.

En el primer caso de estudio que se presenta, el investigador Carlos Arredondo León de la Universidad Autónoma Nacional de México (UNAM), se basa en el sistema de clasificación de unidades de paisaje o geosistemas de Georges Bertrand para identificar y caracterizar las unidades reconocibles en la cuenca hidrográfica del río Tuxpan (México). A partir de un proceso de fotointerpretación verificado después sobre el terreno, obtienen como resultado la cartografía del conjunto de morfoestructuras y morfoesculturas presentes en la cuenca mencionada. Ello constituye un claro ejemplo de regionalización ambiental.

El segundo caso de estudio corresponde al impacto ambiental producido por los bancos de material de las explotaciones mineras en dos áreas naturales protegidas localizadas en el estado de San Luis Potosí. Los investigadores Humberto Reyes, Olivia Sosa, Gerardo Palacio y Laura Yáñez, pertenecientes a Universidad Autónoma de San Luis Potosí, presentan una metodología de análisis basada en la valoración de la intensidad del impacto sobre un conjunto de variables de tipo ambiental y social. Los resultados se plasman en una matriz de impactos ambientales en la que destacan negativamente los causados sobre el paisaje y los producidos por la erosión hídrica y eólica.

En el tercer caso de estudio, los investigadores Erika Galarza, Humberto Reyes y Gerardo Palacio, de la Universidad San Luis Potosí México, presentan la evolución del paisaje del mezquital en la llanura de Rioverde (México), entre los años 1973, 1986 y 2001. Utilizan una metodología basada en la utilización de imágenes de satélite y la obtención de las tasas de cambio entre cada período. Se obtuvo que el mezquital había retrocedido en 3980 ha. La obtención de informaciones muy variadas, de tipo cualitativo, sobre la actividad económica que gira en torno el

aprovechamiento maderero del mezcal permitió a los autores efectuar un conjunto de recomendaciones sobre una gestión sostenible de los paisajes del mezcal.

El último capítulo del libro está dedicado al caso de la erradicación de roedores invasores en una serie de pequeñas islas de México, los cuales son perjudiciales para la conservación de la fauna autóctona. Los autores del estudio: F. A. Méndez, M. Latofski, A. Aguirre, K. Ramos, A. G. Cárdenas y E. M. Rojas, del Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C., Avenida Moctezuma 836, Zona Centro, Ensenada, Baja California, México 22800. Presentan una metodología para fijar las zonas y las trayectorias de los aviones que debían fumigar el rodenticida a lo largo de una serie de trayectorias predefinidas con la ayuda de imágenes satélite y el uso de GPS y Sistemas de Información Geográfica (SIG). En este sentido, los autores señalan en sus conclusiones que: “los métodos y sistemas de información geográfica son una herramienta crucial para monitorear la aplicación del rodenticida y asegurar que no existan huecos y que se alcance la densidad objetivo”.

Estamos frente a una obra que combina de manera equilibrada las contribuciones teóricas y las aplicadas y que, sin duda va a contribuir a la difusión del cuerpo teórico y metodológico que los geógrafos, junto a otros especialistas de ciencias afines, emplean en sus estudios sobre el estudio del cambio ambiental en todas sus escalas, en la línea de la nueva preocupación geográfica por las relaciones entre las sociedades y el medio ambiente, una problemática de gran importancia para el devenir de la humanidad.

Dr. Josep Pinto
Universidad de Girona, España

I PARTE:

**ABORDAJES CONCEPTUALES
DE LAS PREOCUPACIONES
AMBIENTALES
DESDE LA GEOGRAFÍA**

1.1. APLICABILIDAD DE INDICADORES DE ESTRUCTURA DE PAISAJE PARA EVALUAR TRANSFORMACIONES EN ESCENARIOS TROPICALES

Dr. Carlos Morera Beita ¹
Lic. Luis Fernando Sandoval
Universidad Nacional, Costa Rica

1.1.1. Introducción

En los tiempos actuales, las dinámicas emergentes de la relación sociedad–naturaleza del planeta provocan múltiples transformaciones ambientales y sociales. Ello genera retos inconmensurable. Lo anterior obliga a construir instrumentos que monitoreen las transformaciones del paisaje, como el elemento territorial que refleja los cambios que causas actividades antrópicas en los diferentes flujos ecológicos. Se requieren métodos para cuantificar los patrones espaciales con el objetivo contener el deterioro ambiental y de potenciar la conservación ecológica.

De esta forma, dentro de la ecología del paisaje, ciencia multidisciplinaria de reciente formación, han surgido los índices de paisaje que se identifican como cálculos geométricos que evalúan los atributos de la estructura del mosaico de paisaje (Farina, 2000 y Fortran, R., 1997) y que fueron desarrollados y validados, principalmente, en ambientes templados. Aunque existen diversas investigaciones sobre la temática, su aplicabilidad en escenarios tropicales es escaso. Se destaca el estudio realizado por Mass, J. y Correa, J. (2000), en el área protegida de Los Petenes, en el estado de Campeche (México), la cual es una investigación pionera que analiza las condiciones ecológicas e identifica grandes aplicabilidades de los índices de paisaje en procesos de conectividad y fragmentación de los ecosistemas tropicales, especialmente reconociendo patrones en el tiempo.

¹ Dr. Carlos Morera Beita, Costa Rica, cmorera@una.cr

Con el objetivo de evaluar la aplicabilidad de índices de paisaje en la evaluación de las transformaciones de escenarios tropicales, se centra en el número de fragmentos, superficie de la cobertura, tamaño medio de los fragmentos, índice de forma, dimensión fractal, vecindad y desviación estándar.

Lo anterior se aborda desde la perspectiva de potenciar la conservación ecológica, especialmente considerado los procesos de fragmentación y conectividad de los ecosistemas naturales, para los cuales se utilizan casos de estudios a tres diferentes escalas: nacional, regional y local. Se valora la aplicabilidad de los índices de paisajes y de fragmentación como resultado de investigaciones implementadas para los autores dentro de la Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica.

1.1.2. El concepto de paisaje

La ecología de paisaje surge como una ciencia a finales del siglo XXI con base en las preocupaciones científicas por comprender el funcionamiento de los espacios agrícolas y forestales en Europa con alto niveles de fragmentación, lo cual difiere con los países tropicales, donde esta ciencia emergente centrada en espacios con un alto nivel de conectividad. En los antecedentes de esta nueva ciencia, estaba el establecimiento de objetos de estudios comunes entre los ecólogos y los biogeógrafos, a lo que se fueron sumando otros profesionales, definiendo un área de conocimiento común, lo cual construyó lo que en la actualidad se conoce como ecología del paisaje.

Estos profesionales fundaron la Asociación Internacional de Ecología de Paisaje en 1982, que se organizó en dos grandes grupos: los norteamericanos y los europeos, especialmente de países del Este y los Países Bajos, con ejes de investigación algo diferenciados. El grupo de ecólogos del paisaje norteamericano han consolidado las investigaciones en modelos de poblaciones y los flujos de nutrientes en paisajes fragmentados, mientras los europeos se han centrado en la dinámica de poblaciones en escenarios fragmentados por razones de ocupación agrícola (Burel, F. y Baudry, J., 2002).

La ecología del paisaje es una disciplina que elabora una comprensión integrada e integral de los ambientes a escala de paisajes (Bennett, 2004). Desde sus inicios, esta ciencia fundó parte de las preocupaciones científicas, en la cartografía ecológica, especialmente en relación con la ecología regional como lo plantea Fortran (1997), que se vincula con la estructura de paisaje como parte de las técnicas de análisis de esta nueva ciencia.

1.1.3. Metodología

Este estudio realizó un análisis de la estructura del paisaje a tres diferentes escalas: nacional, regional y local en Costa Rica. La primera se sustentó en información secundaria de coberturas de uso de la tierra para el año 1992 del Instituto Tecnológico de Costa Rica y 2005 del INBio (Proyecto GUAS). Para la escala regional, se utilizó información cartográfica elaborada en la Escuela de Ciencias Geográficas en el estudio del Periurbano de la Gran Área Metropolitana (GAM), de los años 1986, 1995 y 2005.

A nivel local se realizó un registro histórico de fotografías aéreas para los años 1976, 1986, 1997 y una imagen Áster del año 2006, actualizada con trabajo de campo en el año 2010 para el distrito de Cahuita, así como fotografías aéreas de 1960, 1972 y 1997, con trabajo de campo para el año 2005 para la Fila Brunqueña. Para la evaluación de la estructura del paisaje en cada escenario se utilizó la extensión de Patch analysis del programa ArcGis 10, para el cálculo de los índices, así como una categorización de usos similares que permitían la comparación de la configuración física-espacial y la disposición de los diferentes elementos que componen el paisaje en cada una de la escalas en estudio.

Así, los principales componentes de las estructuras del paisaje identificados dentro de esta investigación son los siguientes

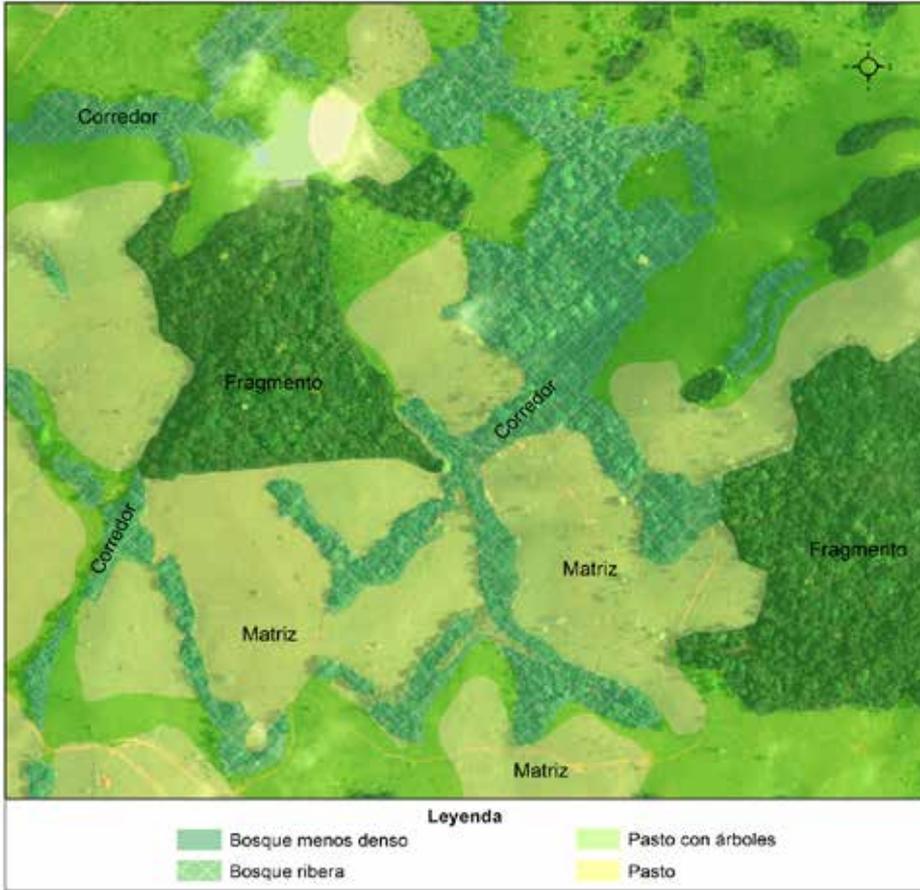
Fragmento: está conformado por aquellos espacios que presentan una ocupación similar, con dominancia de las mismas propiedades o de flujos ecológicos. Dependiendo del nivel de alternación humana, puede corresponder a fragmento natural cuando es un espacio reducido de un

ecosistema que dominó en el área. También, se puede identificar como agroecosistemas cuando corresponde a sistemas que preservan parte significativa de sus recursos ecológicos o que cuentan con un potencial de restauración de los mismos. Además, otro caso son los fragmentos urbanos que constituyen espacios humanizados con una intensa alteración humana.

Matriz: corresponde a la unidad de paisaje que domina en el mosaico. Una de las preocupaciones de la ecología del paisaje es cuantificar el comportamiento de la estructura del paisaje, lo que implica que se presenta una unidad que cubre la mayor superficie. Lo anterior resulta fácil de identificar en espacios con alto nivel de conectividad sin embargo, no se puede definir de igual forma en paisajes con alto nivel de fragmentación, donde la matriz puede estar integrada por uno o dos tipos de unidades de paisajes.

Corredor o conector: son aquellos espacios que permiten el flujo y el filtro de los recursos ecológicos, lo cual en principio son articuladores de procesos biológicos complementarios. Equívocamente, se han planteado como espacios rectilíneos; sin embargo, pueden corresponder a otras formas geométricas (figura 1.3.1).

Figura 1.1.1. Estructura del paisaje



Fuente: elaboración propia, (2016).

La dominancia entendida como la matriz así como el patrón de distribución espacial de los fragmentos determinan los procesos de conectividad y fragmentación de los ecosistemas naturales. Otro factor fundamental que influye, de forma determinante, en el patrón de la estructura del paisaje es la escala que permite la identificación de las diferentes categorías de unidades de paisaje como lo plantea Turner, M., Gardner, R. y O'neill, R. (2001). La escala se define como la dimensión espacial y temporal de un objeto o proceso, caracterizado por grano y extensión (Farina, 2000).

Como se identifica en la tabla 1.3.1, a medida que se incrementa la escala de las imágenes utilizadas para definir la estructura del paisaje, las categorías de unidades identificadas son más detalladas. Por ejemplo, en la

investigación con imágenes del país para los años 1992 y 2005, debido a lo general de escala (1:200000), solo se identificó un tipo de bosque, mientras el estudio realizado del GAM (Gran Área Metropolitana) para los años 1986 y 2005. La escala utilizada (1:100000) permitió reconocer bosques densos, así como bosques menos densos.

En el caso de la investigación a nivel local, se utilizó una escala de 1:40.000, además de las dos categorías de bosques anteriores se identificaron bosque ripario y vegetación de laguna. Es fundamental considerar el detalle de la escala y la disponibilidad de las imágenes en la definición de los objetivos de una investigación relacionada con las transformaciones en la estructura del paisaje. En el caso de Costa Rica (aunque la disponibilidad de imágenes digitales se ha incrementado durante los últimos años), existen vacíos en información de los años posteriores a la década de los noventa, que genera limitaciones en la implementación de investigaciones sobre transformaciones que en la mayoría de los casos requieren datos no menores de 30 años. Además, muchos espacios presentan el problema de una frecuente cantidad de nubes que generan las limitaciones del caso.

Tabla 1.1.1. Resumen de investigaciones de paisaje

Área	Escala	Tipos de vegetación	Fuente
País	1:200000	bosque charrales agropaisaje humedales manglar terreno descubierto urbano	INBio.2005. Proyecto Grúas II. ITEC. 1992
Región	1:100000	bosque denso bosque menos denso charral cultivos pastos pastos con árboles terreno descubierto	GAM.1986 – 2005
Local	1:40000	bosque denso bosque menos denso bosque ripario vegetación de laguna charral plantación forestal pastos con árboles cultivos pastos terreno descubierto	JAPDEVA. 1976 Sixaola. 1987 Proyecto Terra 1997 Áster 2006, actualizada al 2010.

Fuente: elaboración propia,(2016).

1.1.4. Procesos de fragmentación y conectividad de los ecosistemas naturales

Los procesos de fragmentación y conectividad se caracterizan por ser continuos y dinámicos. Se influyen principalmente por las actividades humanas y por las acciones naturales. La primera provoca reducción de la cobertura vegetal y alteración de la forma de los parches originales a pequeños fragmentos aislados dentro de una estructura de paisaje alterada. En el caso de la segunda, se propicia un proceso de recuperación de los ecosistemas naturales, que genera conectividad entre los fragmentos.

De acuerdo con Morera y Sandoval (2013), las condiciones económicas y las ecológicas, durante los últimos años, han logrado transformar el comportamiento histórico de la cobertura boscosa del país. Se revirtieron sus tasas de deforestación, hasta incrementar sus superficies forestales. El proceso anterior ha favorecido el surgimiento de paisajes salpicados con una alta presencia de conectividad ecológica (más de 60 % en cobertura boscosa), donde se superan algunos limitantes de fragmentación y, por consiguiente, se potencializa la conectividad ecológica.

Esta estructura del paisaje determinada por la intensidad de intervención humana en los ecosistemas ha generado dos facetas excluyentes: la fragmentación y la conectividad de los paisajes naturales, que se pueden combinar un mismo paisaje. En la figura 1.3.2 se consideran diferentes patrones de mosaicos al identificar cuatro escenarios de acuerdo con la intervención humana en los ecosistemas naturales para fines didácticos.

a) Paisaje intacto: corresponden a espacios dominados por los flujos ecológicos con una presencia mínima de intervención humana, que en el caso de los bosques tropicales son pequeñas áreas afectadas por las dinámicas de claro. En Costa Rica, muchos casos se localizan dentro de espacios protegidos con una alta categoría de preservación como las reservas absolutas y parques nacionales. Los paisajes intactos presentan menos de un 10 % de espacios con intervención humana, donde la matriz es la dominada por un ecosistema natural.

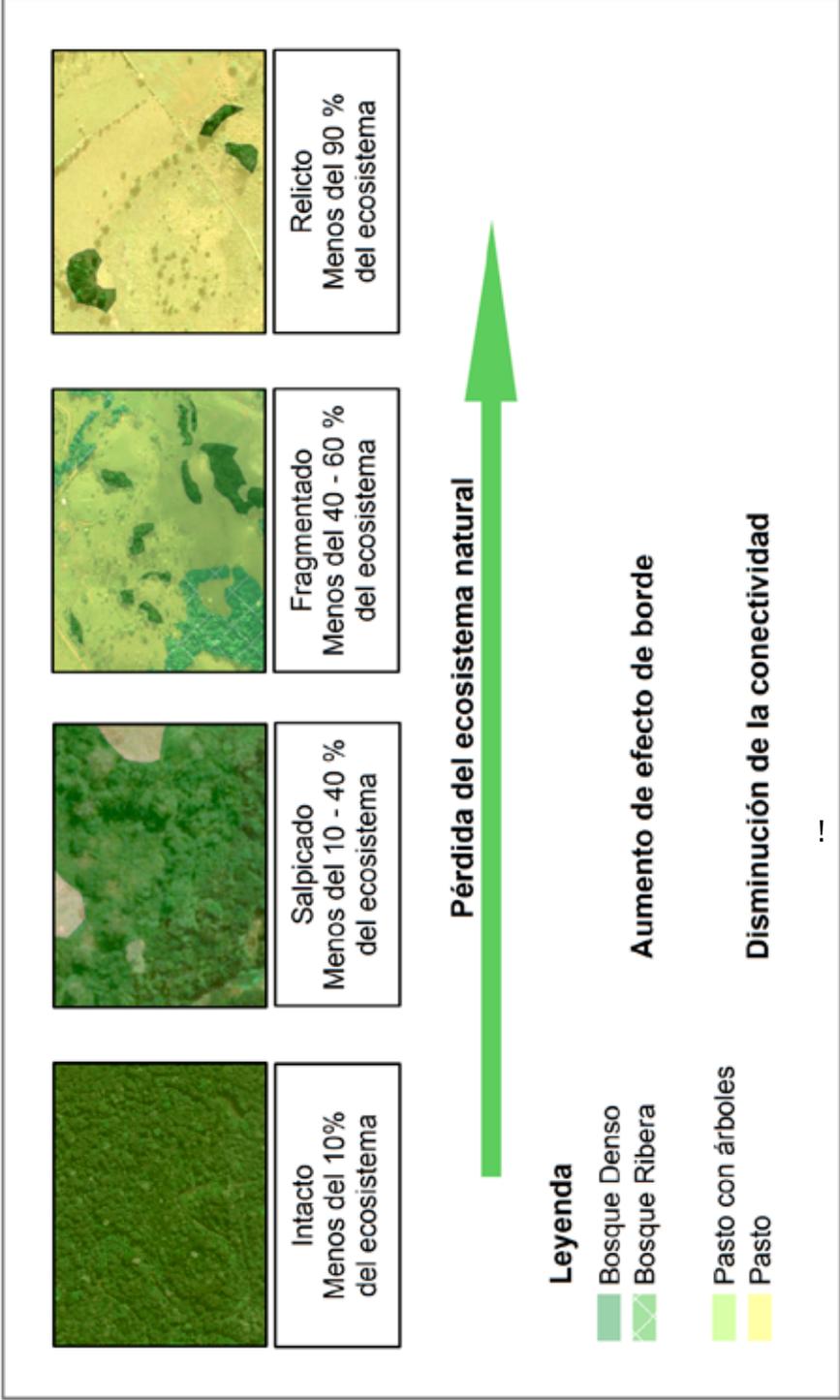
- b) Paisaje salpicado:** son aquellos escenarios donde aunque se presenta una alta huella humana en el paisaje, aún guarda un dominio de los ecosistemas naturales. Los espacios alterados por los humanos representan del 10 al 40 % del total de la superficie.
- c) Paisaje fragmentado:** en los espacios donde el proceso de la acción humana es más avanzado se exhibe este tipo de escenario, donde las áreas cubiertas por los ecosistemas naturales es del 40 al 60 % del área. Estos escenarios se muestran en espacios rurales o periurbanos, donde la actividad antrópica ha eliminado gran parte de la vegetación natural.
- d) Paisaje relicto:** son aquellos espacios donde se ha desarrollado una acción humana intensa. Generan la existencia de solo un 10 % de los ecosistemas naturales. Corresponde a espacios con alto proceso urbanístico o actividades agrícolas de alta intensidad.

1.1.5. Análisis y discusión

Con base en los datos de diversas investigaciones que han sido realizadas por los académicos de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional en espacios rurales, con excepción del realizado en la Gran Área Metropolitana (GAM), la mayoría de los casos, se categorizan por presentar un escenario paisajístico salpicado principalmente en los casos de estudios locales como Cahuita y Fila Brunqueña. En el caso de Cahuita para el año de 1976, se evidencia un paisaje intacto, producto de la conservación bajo la cual se encuentra gran parte de la vegetación natural. Mientras tanto, el estudio regional y nacional se presenta un escenario paisajístico fragmentado, alterado por las acciones antrópicas (Tabla 1.3.2).

Los anteriores son estados ideales sin embargo, en un mismo espacio; se pueden combinar características de varios escenarios de paisaje. Así, en investigaciones que utilizan escalas mayores, se presenta una generalización de estos diferentes procesos, por lo que la estandarización de los métodos ofrece un patrón promedio que determina cada uno de los cuatro escenarios.

Figura 1.1.2. Escenarios del proceso de intervención antrópica en el paisaje



Fuente: adaptado de Morera, Pinto y Romero, (2007, pág 19).

Tabla 1.1.2. Estudios de casos y su condición con los escenarios de intervención de los ecosistemas naturales.

Caso	Intacto	Salpicado	Fragmentado	Relicto	Índice de Fragmentación	% Cobertura de Bosque	Distancia		Tamaño medio del frag.
							Media Observada (m)	Media Observada (m)	
Costa Rica 1992		X	X		2,2	47,4	2636	2636	1895
Costa Rica 2005			X		4,3	43,2	8838	8838	5441
GAM 1986			X		5,2	30,4	5397	5397	5639
GAM 1996			X		4,5	23,5	2405	2405	4942
GAM 2005			X		5,4	28,3	6938	6938	5174
Cahuita 1976	X				0,4	90,6	6344	6344	4691
Cahuita 1987		X			2,66	78,2	4788	4788	2874
Cahuita 1997		X			1,1	78,1	5873	5873	1121
Cahuita 2010		X			0,76	80,1	5042	5042	1711
F. Brunqueña 1960		X			0,8	80,4	2106	2106	1299
F. Brunqueña 1972		X			2,3	62,9	3851	3851	3039
F. Brunqueña 2005		X			1,7	72,9	2515	2515	5523

Fuente: elaboración propia (2016).

La ecología de paisaje tiene como objeto de estudio los patrones espaciales y su medición, para lo cual se utilizan los índices de paisaje, que también son conocidos como métricas de paisaje. De acuerdo con Morera, C, Romero, M. y Sandoval, L. (2010). Los índices son cálculos geométricos que evalúan los atributos de la estructura del mosaico de paisaje y generan, en algunos casos, estandarización no adecuada para el escenario donde se aplica. Se concluye que el desarrollo de estos cálculos responden a paisajes templados, con condiciones ecológicas diferentes como son la mayor biodiversidad y los acelerados procesos de flujos de energía y restauración de los ecosistemas tropicales.

Además, con base en los procesos de fragmentación del paisaje, este es resultado de aspectos sociales como lo plantea Schelhas, J y Greenberg, R. (1996), cuando afirman que los factores socioculturales que influyen en la estructuración del paisaje difiere en los países tropicales y templados. Las métricas de paisaje están basadas en la medición y cuantificación del paisaje sobre determinados aspectos estructurales/espaciales (Lang y Blanschke, 2007), que son indicadores de los procesos dinámicos que actúan dentro de un paisaje debido a factores internos o externos de origen social como biofísico.

Los procesos de los índices de paisaje y sus procesos de cálculo están basados en dos formas de abordar la estructura de paisaje. El primer enfoque está apoyado en la teoría de biogeografía de islas, acuñada por MacArthur y Osborne (1984), la cual se fundamenta en las predicciones acerca del número de especies que podrían existir en una isla de acuerdo con las investigaciones realizadas en las islas del Caribe. Esta teoría no solo aplicaba al aspecto insular, sino también a los fragmentos aislados en continentes. Por lo cual, dentro de la estructura de paisaje, los fragmentos de ecosistemas naturales son considerados como islas.

Lo anterior se basa en los parámetros de carácter, extensión y localización espacial de los fragmentos, sin considerar el papel de la matriz. Este modelo fundamenta sus cálculos en la medida de las propiedades de los fragmentos como son número de fragmentos, superficie media del tamaño

La ecología de paisaje tiene como objeto de estudio los patrones espaciales y su medición, para lo cual se utilizan los índices de paisaje, que también son conocidos como métricas de paisaje. De acuerdo con Morera, C, Romero, M. y Sandoval, L. (2010). Los índices son cálculos geométricos que evalúan los atributos de la estructura del mosaico de paisaje y generan, en algunos casos, estandarización no adecuada para el escenario donde se aplica. Se concluye que el desarrollo de estos cálculos responden a paisajes templados, con condiciones ecológicas diferentes como son la mayor biodiversidad y los acelerados procesos de flujos de energía y restauración de los ecosistemas tropicales.

Tabla 1.1.3. Aplicabilidad de los índices de paisaje según escenarios

Escenarios	Índices que potencian sus aplicaciones	Índices que no potencian sus aplicaciones
Intacto	Número de fragmentos	Fragmentación Desviación estándar Tamaño medio Forma Vecindad
Salpicado	Número de fragmentos Tamaño medio Forma Desviación estándar Vecindad Fragmentación	
Fragmentado	Número de fragmentos Tamaño medio Índice de forma Desviación estándar Vecindad	
Relicto	Número de fragmento	Índice de fragmentación Desviación estándar Tamaño medio Forma Vecindad

Fuente: elaboración propia, (2016).

Además, los datos del cuadro 1.3.4 muestran una total independencia entre los diferentes índices evaluados. Se podría esperar que a mayor cantidad de fragmentos se presenta una mayor desviación estándar como encontró Morera y Sandoval (2012), en el caso de Cahuita; sin embargo, la correlación entre el número de fragmentos y la desviación estándar es de 0,08, lo cual es relativamente baja. Por ejemplo, el caso es la correlación entre el índice de fragmentación y la desviación estándar de los fragmentos, que fue de solo 0,21 lo cual no corresponde a lo esperado, debido a que cuando la fragmentación de los ecosistemas es mayor, el tamaño de los parches se incrementa aumentando la desviación estándar.

1.1.6. Validación de los índices de fragmentación para escenarios tropicales

De las investigaciones de adaptación a escenarios tropicales de cálculos de índices fragmentación se destaca el realizado por Vargas (2008), quien adaptó la clasificación de los índices de fragmentación basado en estudios en el Parque Nacional Miravalles y alrededores. Este autor desarrolla la siguiente adaptación de varias ecuaciones utilizadas para calcular procesos de fragmentación:

$$IF = \frac{SPTA}{Nm \times (\sum Sm/Dm)} \quad IF = \frac{SPTA}{Nm \times (\sum Sm/Dm)}$$

Donde: *SPTA*: superficie total del día.

IF: índice de fragmentación.

Nm: número total de manchas de bosque.

$\sum Sm$: superficies de las manchas de bosque.

$\sum Dm$: distancia entre manchas de bosque medidas desde el centro.

Además, el mismo autor construye una tabla de clasificación de acuerdo con rangos de índices de fragmentación que se muestran en la tabla 1.3.5. La aplicación de esta ecuación genera algunos cuestionamientos que no son resueltos en el artículo; por ejemplo, se asume que la superficie de las manchas de bosques se refiere al tamaño medio de los fragmentos de bosques y fue el valor utilizado para esta investigación. En el mismo sentido, la variable de distancia entre manchas de bosque medidas desde el centro de cada uno, se asume como la distancia media, datos que pueden estar afectados por valores extremos.

Tabla 1.1.4. Aplicabilidad de los índices de paisaje según escenarios y casos

Índices Casos	Número de Fragmento	Índice de Forma	Tamaño medio	Desviación estándar	Vecindad (Distancia media observada)
			Fragmentado		
Costa Rica 1992	1275	1.6	1895	40251	2636
Costa Rica 2005	40667	1.6	5441	4011.6	8838
GAM 1986	3426	1.8	5639	298.8	5397
GAM 1996	2273	1.6	4942	308.4	2405
GAM 2005	4462	2	5174	227.7	6938
			Intacto		
Cahuíta 1976	18	2.6	4691	7516.3	6344
			Salpicado		
Cahuíta 1987	23	2.3	2874	6702.4	4788
Cahuíta 1997	67	2.1	1121	2034.6	5873
Cahuíta 2010	83	2.3	1711	3603.3	5042
Fila Brunqueña 1960	34	1.84	1299,1	4252.2	2106
Fila Brunqueña 1972	27	2.63	3039,1	3094.7	3851
Fila Brunqueña 2005	20	4.0	5523,1	4488.3	2515

Fuente: elaboración propia, (2016).

Tabla 1.1.5. Clasificación del índice de fragmentación

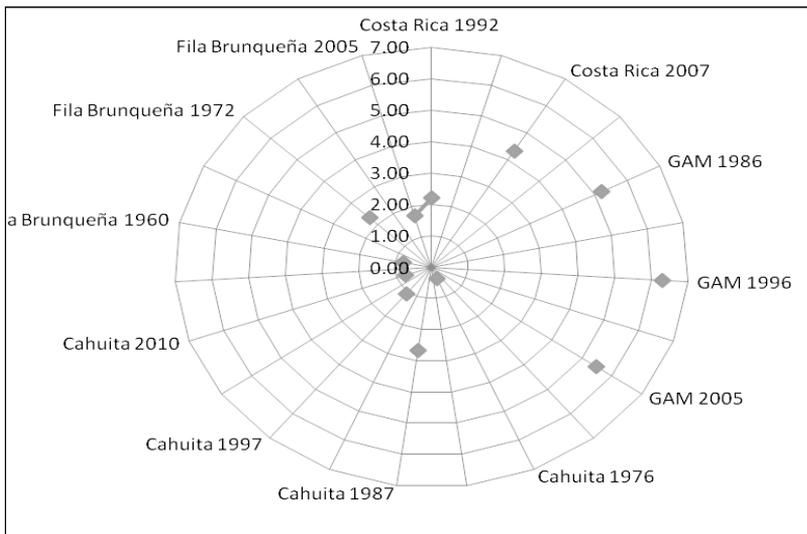
Clasificación	Rango
mínima	1.01 - 1.5
poca	1.51 - 3.50
media	3.51 - 5.75
moderada	5.76 - 7.20
fuerte	7.21 - 7.50
extrema	más de 7.51

Fuente: Vargas, G. (2008).

En la aplicación de la ecuación anterior, a los diferentes casos en estudio como muestra la figura 1.3.3, se encontró que los casos del GAM presentan valores más altos en el índice de fragmentación, lo cual es un indicador del alto proceso de fragmentación de los ecosistemas naturales, como era de esperarse, debido a la urbanización y la conurbación que presenta esta región. En el caso nacional se presentan valores medios, mientras los casos locales, especialmente Cahuita, presentan valores bajos, lo cual indica una alta conectividad. En esta investigación se identifica la limitación de imágenes con escalas desiguales y tomadas con métodos diferentes afectan la comparación de los resultados.

Para los casos específicos, Fila Brunqueña en 1972 y 2005. En este último año se evidenció una reducción del índice. Pasó de 2.3 a 1.7, lo cual refleja una disminución en la cantidad de fragmentos de bosque. El incremento del IF se reflejó en un periodo comprendido entre 1986 y 2007, donde para el año de 1992 se presentó un IF de 4.33 para Costa Rica y un IF de 6.3 para la GAM en 1996. Los anteriores datos demuestran la aplicabilidad del índice a nivel de comparación entre diferentes periodos, pero su limitación se evidencia cuando se compara con otros escenarios con otras escalas, lo cual se relaciona con que los índices son cifras comparativas solo en casos de escalas y métodos de toma de las imágenes o fotografía similares.

Figura 1.1.3. Índices de fragmentación para casos en estudios



Fuente: elaboración propia, (2016).

1.1.7. Conclusiones

Las investigaciones de paisaje se han transformado en temas frecuentes que capturan la atención en la geografía, especialmente, en lo relacionado con aspectos ambientales. Así, durante los últimos años han pululado investigaciones de aplicación de diferentes índices de paisajes que se han centrado en su uso, sin evaluar el alcance de los mismos. En este estudio se utiliza una serie de datos colectados en diferentes casos relacionados con transformaciones del paisaje, que permite evaluar su aplicabilidad y reconocer que se generan muchas contradicciones cuando los valores son comparados con otros escenarios.

Coincidiendo con lo planteado por Mass y Correa (2000), en una investigación sobre fragmentación del paisaje en México, los patrones de fragmentación son recientes y son dinámicos, por lo cual sus efectos sobre la biodiversidad son difíciles. Así, estos tipos de investigaciones permiten revisar algunos planteamientos teóricos, que se dan por probados, como los factores que determinan la fragmentación de los ecosistemas naturales.

Los escenarios de paisaje están determinados por dos procesos que son excluyentes tales como la conectividad y la fragmentación ecológica, así en todo espacio domina uno de estos procesos. Los resultados mostraron que la dominancia está determinada por varios factores que no son solo la cobertura boscosa sino también, la densidad, la distancia y el tamaño de las manchas de bosques. Se requiere revisar la ecuación de índice de fragmentación, porque genera contradicciones en espacios que aunque tengan igual porcentaje de bosque e índices de vecindad diferentes. Este resultado de este cálculo se comporta mayor con el que tiene mayor distancia de vecindad, cuando debería ser lo contrario.

Esta investigación evidencia la necesidad de validar con mayor detalle y con mayor cantidad de datos, la aplicabilidad de los diferentes índices, debido a que algunos resultados estarían determinados por los abordajes de cálculos que se realizan y no responden a particularidades de los mismos paisajes. Lo anterior es relevante si consideramos la importancia de las investigaciones sobre dinámicas de paisaje para el debate actual que enfrenta la sociedad relacionado con la sustentabilidad ecológica y que permitirían mejorar la toma de decisiones.

1.1.8. Bibliografía

- Bennet, A. (2004). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. San José, C. R. UICN.
- Burel, F. y Baudry, J. (2002). *Ecología del Paisaje. Conceptos, Métodos y Aplicaciones*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.
- Farina, A. (2000). *Principles and Methods in Landscape Ecology Landscape*. Amsterdam. Kluwer.
- Fortran, R. (1997). *Land Mosaics: The ecology of landscape and regions*. United Kingdom. Cambridge University Press.
- Lang, S. y Blanschke, T. (2007). *Análises da paisagem em SIG*. Sao Paulo, Brasil: Oficina de Textos

- MacArthur, R. & Wilson, E. (1967). *La teoría de la biogeografía de la isla*. New Jersey. Universidad de Princeton. Princeton.
- MacArthur, R. (1984). *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*. New Jersey. Universidad de Princeton. Princeton.
- Mass, J. y Correa, J. (2000). “Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida “Los Petenes”, Campeche, México”. *Investigaciones Geográficas*, 43, 42-59.
- Morera, C. y Sandoval, L. (2012). Estructura del paisaje y desarrollo turístico en Cahuita, Talamanca. En: *Revista Geográfica de América Central*, 48E(2). Escuela de Ciencias Geográficas, UNA. Heredia, Costa Rica.
- Morera, C. y Sandoval, L. (2013). Los procesos de fragmentación y la conectividad forestal en Costa Rica: dos casos de estudios. En: *Libro Geográfica: Paisaje y Conservación*. Escuela de Ciencias Geográficas, UNA. Heredia, Costa Rica.
- Morera, C. Pinto, J. y Romero, M. (2007). Paisaje, procesos de fragmentación y redes ecológicas. En: *Corredores biológicos: Acercamiento conceptual y experiencias en América*. Escuela de Ciencias Geográficas, UNA. Centro Científico Tropical. Heredia, Costa Rica.
- Morera, C., Romero, M. y Sandoval, L. (2010). Aplicaciones de los Índices de Paisaje en la Evaluación de la Conectividad en Ambientes Tropicales. Congreso XV de la Sociedad Mesoamericana de Biología de la Conservación, San José, Costa Rica.
- Schellhas, J. & Greenberg, R. (1996). *Forest patch in tropical landscapes*. Washington, D.C. USA. Island Press.
- Turner, M., Gardner, R. & O’Neill, R. (2001). *Landscape ecology in theory and practice. Patterns and process*. Nueva York, USA: Springer-Verlag.
- Vargas, G. (2008). Fragmentación y conectividad de ecosistemas en el sector del proyecto geotérmico Miravalles y sus alrededores. 1975-2007. En: *Revista Reflexiones* 87 (2), 9-38. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

1.2. TEORÍA Y MÉTODOS DE LA ASIMILACIÓN ECONÓMICA COMO MEDIOS DE APROXIMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL TERRITORIO

Óscar Reyes Pérez²
Xochizeltzin Castañeda Camacho
Priscila Lara Juárez
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

1.2.1. Introducción de la asimilación económica del territorio en los trabajos geográficos de México

Varias son las posturas en torno a la existencia o carencia de teoría y método de la Geografía; para quienes defienden que esta es una ciencia, se basan en el conocimiento que se genera al utilizarse procedimientos y herramientas ad hoc que fortalecen aquellos preceptos que explican de forma parcial la realidad examinada. En este contexto, la asimilación económica del territorio cuenta con más de cuarenta años de aplicación desde que surgió en lo que fuera la URSS: posteriormente, es retomada en investigaciones geográficas en los países de Cuba y México pues en el ámbito académico representa un medio para revelar contrastes de carácter socioeconómicos de distintos ámbitos espaciales: estatales, regionales y nacionales. Además, en la actualidad, se ha introducido un análisis sobre la disposición y situación de los recursos naturales y, de esta forma, sentar las bases de un aprovechamiento racional.

A finales del decenio de los ochenta del siglo pasado, investigadores del Instituto de Geografía de la UNAM realizaron estancias académicas en Cuba para obtener herramientas teóricas y metodológicas que fueron utilizadas en la elaboración del Atlas Nacional de México (1990-1992). Dicho documento a la postre fue integrado por tres tomos y que

2 Dr. Óscar Reyes Pérez, México, osrp@uaslp.mx

a través de 160 cartas (aproximadamente 600 mapas) sintetiza procesos históricos, físico-naturales, sociales, económicos y ambientales de la República Mexicana (IG-UNAM, 1992:VI.13.1).

Correspondiente al tomo III, la hoja VI.13.1 intitulada *Tipos de territorio por su nivel de utilización económica* constituye el primer trabajo en México que se elaboró bajo los principios teóricos y metodológicos de la asimilación económica. La concepción geográfica de este mapa tiene algunos errores, pero aún así cumple con el objetivo de revelar cómo en el territorio nacional se suceden nueve tipos distintos de relaciones espaciales según patrones demográficos y económicos (IG-UNAM, 1992:VI.13.1).

García de Fuentes publicó, poco tiempo después, un artículo que describe los ajustes metodológicos que debieron hacerse sobre esta temática al aplicarse en México; también, destacó que la asimilación económica del territorio se convierte en un enfoque alternativo para el análisis regional del país (García de Fuentes, 1993). Posteriormente, Propin y Sánchez (1998) quienes tal vez sean los principales expositores de esta teoría utilizaron la cuadrícula geográfica como unidad espacial de referencia y revelaron que el estado de Guerrero tenía doce niveles de asimilación económica del territorio.

Después de los trabajos de García de Fuentes, las investigaciones geográficas de México sobre esta vía teórico-metodológica adquirieron un nuevo cauce que ha generado el mayor número de documentos sobre esta temática. Al respecto, en 1997, Óscar Reyes elaboró la tesis intitulada “Los niveles de asimilación económica en el estado de Puebla” que evalúa los contrastes socioeconómicos regionales internos de esta entidad federativa (Reyes, 1997). Cabe destacar que en ese tiempo, este trabajo cobró relevancia por dos aspectos: por una parte, describió de forma puntual el procedimiento estadístico y cartográfico de la asimilación y, por otra parte, relacionó los nueve niveles de asimilación económica obtenidos con los cinco grados de marginación municipal determinados por Conapo y la Comisión Nacional del Agua (1993).

Pasaron prácticamente 20 años para que en México se hiciera una adaptación de la metodología para evaluar aspectos ambientales de un espacio geográfico determinado³; tales fueron las investigaciones hechas por Castañeda (2010) y Lara (2010) sobre el estado de San Luis Potosí. Mientras que en el primer caso se identificaron Áreas Naturales Prioritarias (ANP) con aptitudes para el desarrollo de la actividad turística. La segunda proporcionó indicadores que asocian los niveles de asimilación económica con la intensidad de impacto ambiental.

En suma, los trabajos de asimilación económica del territorio realizados en México puede agrupárseles en tres vertientes⁴: 1. Como parte integrante de atlas nacionales o estatales, 2. Como aportación principal de artículos científicos, y 3. Medios para la obtención de títulos de pregrado y grado. Como puede apreciarse en la tabla 1.2.1, de los 29 documentos hechos, la mayoría se han utilizado como medios de aprendizaje para estudiantes de Geografía.

Como se aprecia en el cuadro 1.2.1, la mayoría de los trabajos hechos en México acerca de la asimilación económica del territorio se han concentrado en torno a uno de sus conceptos centrales que es el nivel, en menor proporción con el tipo y solo hay dos casos relacionados con el

3 Aunque Sánchez y Propin (1999) elaboraron un artículo cuyo objetivo fue hacer una valoración medioambiental de los niveles de asimilación de la Riviera Mexicana, este trabajo se enfocó en el análisis de la dinámica económica de la actividad turística en los principales centros de ocio y recreación de esta porción del territorio nacional. De tal forma que los primeros indicios de adaptaciones metodológicas en materia ambiental de esta teoría pueden verse en Reyes (2000) y (2006). El primer documento contiene un mapa intitulado *Caracterización de los recursos naturales del estado de Puebla, por municipio*; mientras que el segundo proporciona un análisis cartográfico para revelar el potencial turístico de los recursos naturales del estado de Oaxaca.

4 No incluye información de los proyectos de investigación que entre 1996 y 2008 fueron aprobados y de los cuales, parte importante de su producción descansa en las aportaciones obtenidas a través de la asimilación económica del territorio. Al respecto, se cuenta con información de tres financiamientos: 1. *Asimilación económica del territorio en la península de Baja California*, por parte de la Dirección de Asuntos del Personal Académico de la UNAM, 2. Asimilación económica del estado de Zacatecas por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) y 3. Propuesta de ordenamiento ecológico de la actividad turística en la costa sur-occidental del pacífico mexicano con base en la asimilación económica del territorio, auspiciado por SEP-CONACYT.

grado. Ahora bien, al examinarse estos documentos resalta que ha sido una constante mantener el mismo patrón metodológico y salvo algunas excepciones (Reyes (2006) Castañeda (2010) Lara (2010) y García-Castro (2011)) se han introducido propuestas que lo enriquecen. Al respecto, la finalidad de este trabajo es mostrar los procedimientos relativos con la temática ambiental.

Tabla 1.2.1 Producción científica de la geografía mexicana en torno a la asimilación económica del territorio

Mapas para atlas	Año	Artículos	Año	Tesis	Año
		Asimilación económica del territorio (un nuevo enfoque en la interpretación regional del país)	1993	Los niveles de asimilación económica del estado de Puebla	1997
		Los tipos de asimilación económica en el territorio mexicano entre 1930 y 1990	1997	Niveles de asimilación económica del estado de Guanajuato	1998
		Niveles de asimilación económica del estado de Guerrero	1998	La asimilación económica del territorio costero de México	1999
		Niveles de asimilación económica del estado de Coahuila	1999	Los cambios en los tipos de asimilación económica del estado de Puebla entre 1950 y 1990	2000
		Valoración medioambiental de los niveles de asimilación de la Riviera Mexicana:	1999	Niveles de asimilación económica del estado de Jalisco	2001
		homogeneidad geográfica y heterogeneidad económica	2002	Niveles de asimilación económica del estado de Oaxaca	2001
		Los niveles de asimilación económica de la región costera de México	2000	Niveles de asimilación económica y estructura urbana de Chihuahua	2004
		Cambios en la orientación funcional de las ciudades medias del trópico mexicano	2001	Niveles de asimilación económica del estado de Querétaro	2006
		El empleo de la tipificación probabilística en aspectos sociodemográficos y su aplicación en el ordenamiento territorial mediante el uso de SIGS	2009	Niveles de asimilación económica en el estado de Morelos	2007
		Changes in the sectoral orientations of the State of Guerrero between 1970 and 2000	2012	Niveles de asimilación económica del Estado de México	2008
				Cambios en los tipos de asimilación económica del Estado de Guanajuato, entre 1950 y 2000	2009
				el territorio en Baja California Sur	2010
					2011
					2013

Continuación **Tabla 1.2.1 Producción científica de la geografía mexicana en torno a la asimilación económica del territorio**

Mapas para atlas	Año	Artículos	Año	Tesis	Año
			1993		
			1997	Niveles de asimilación económica de Tamaulipas	
			1998	Niveles de asimilación económica del estado de Zacatecas	
			1999	Niveles de asimilación económica en el estado de Michoacán	
			1999	Valoración ambiental del estado de San Luis Potosí a través de sus niveles de asimilación económica	
			2000	Los grados de asimilación económica del Estado de Guerrero a fines del siglo	
			2001	XX	
			2009	Los niveles de asimilación económica del territorio en Baja California Sur	
			2012		

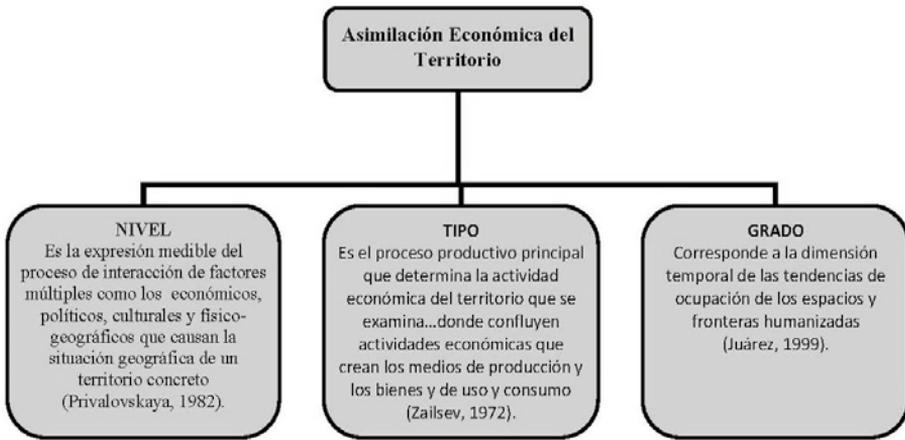
Aunque en casi todas las tesis que se han hecho sobre la asimilación económica del territorio (Tabla 1), existe un apartado relativo con la descripción del procedimiento metodológico. Estos tres documentos son la base sobre la cual se han realizados todas las demás investigaciones.

Fuente: elaboración propia, (2016).

1.2.2. Postulados teóricos de la asimilación

Como se mencionó en el párrafo anterior, existen tres acepciones básicas de la Asimilación Económica del Territorio (figura 1.2.1). La primera evidencia los contrastes existentes entre los territorios. La segunda resalta cuáles son los procesos preponderantes de un espacio geográfico determinado y la tercera establece las relaciones regionales que a través del tiempo se generan.

Figura 1.2.1. Marco conceptual



Fuente: elaboración propia, (2016).

En conjunto postulan 14 principios teóricos, Propin y Sánchez (1997, 1998), Reyes (2000) y García-Castro (2011), de los cuales siete corresponden al Nivel y son los que permiten establecer causas y consecuencias que se dan entre variables sociales, económicas y ambientales (tabla 1.2.2). Se infiere de estas *proposiciones* para mantener un territorio con altos niveles de asimilación, de que otro lo eleve, de que exista competencia entre ambos y que de forma consecuente la población mejore su calidad de vida, se genera cierta presión en los recursos naturales existentes en esos espacios, de los aledaños o de los provenientes de otros lugares. En otras palabras, existe impacto ambiental en la medida de la intensidad de la dinámica demográfica y económica de cada nivel de asimilación.

Tabla 1.2.2. Postulados teóricos relacionados con el nivel de asimilación económica de un territorio

1. Las inversiones socioeconómicas tienden a concentrarse en los territorios de mayor nivel de asimilación económica, debido a los bajos costos relacionados con la infraestructura ya creada, cultura productiva acumulada y el potencial cuantitativo y cualitativo de la población.
2. En forma opuesta, aquellas zonas identificadas con niveles inferiores requieren fuertes inversiones iniciales para el desarrollo de una actividad económica. Es común que estos territorios dependan de otras regiones a las cuales proveen de materias primas y materiales de distinta naturaleza. Se identifican con zonas agrícolas, ganaderas, mineras y forestales tradicionales, con áreas protegidas y con otras de condiciones naturales extremas como las desérticas, pantanosas y montañosas.
3. Los territorios de mayores niveles de asimilación económica se asocian con problemas ambientales de diversa magnitud y génesis; son atractivos en lo social, económico y político y sus conflictos locales se vinculan con las escalas macrorregional, nacional e internacional, en cuanto a tendencias globales relacionadas con la movilidad de la población, recursos materiales, financieros e informativos, porque son territorios de especial acaparación de capitales.
4. Los de bajo nivel se identifican con las zonas de pobreza extrema y problemas sociales consecuentes. Por la razón expuesta, su población, bajo condiciones de carencias, tiende a emigrar, hecho que no propicia ni incentiva los virtuales intentos de proyectos vinculados con el desarrollo local, y despersionifica el papel regional de una entidad político-administrativa cualquiera que fuese su escala geográfica.

5. Por su parte, los territorios de nueva asimilación económica suelen entrar en conflictos y competencia con otros antiguos y de mayores niveles. Esta situación puede dar al traste con intereses de carácter nacional debido a las decisiones que tome el gran capital; situación contradictoria que puede derivar en conflictos sociales de diversas magnitudes.
6. Un determinado nivel de asimilación económica no debe ser identificado con supuestos patrones óptimos de desarrollo económico y social. Cada uno está determinado mediante una jerarquía que oscila entre el territorio de mayor concentración de recursos humanos, financieros e informativos (regiones capitalinas) y las zonas de débil o ausente asimilación. Los niveles representan una imagen intelectual que facilita entender y explicar las similitudes y diferencias que acontecen entre distintos territorios a una escala geográfica previamente seleccionada.
7. Los territorios subdesarrollados, con independencia de su nivel de asimilación económica, son vulnerables a situaciones coyunturales externas en tanto dependen de las decisiones del "gran capital"; es usual que se sucedan contradicciones entre la cultura local y los intereses y voluntades foráneos. En sentido general, estos revelan una estructura regional desarticulada entre centros de mediana y alta asimilación económica.

Fuente: Propin y Sánchez, (1998).

Aunado a lo anterior, puede considerarse que aquellos espacios de baja asimilación económica constituyen territorios en donde la base natural aún no ha sido alterada de forma significativa, por lo cual representan lugares idóneos para la delimitación de áreas naturales prioritarias para la conservación. Así, con base en estas interpretaciones cognitivas, se desarrolla este trabajo.

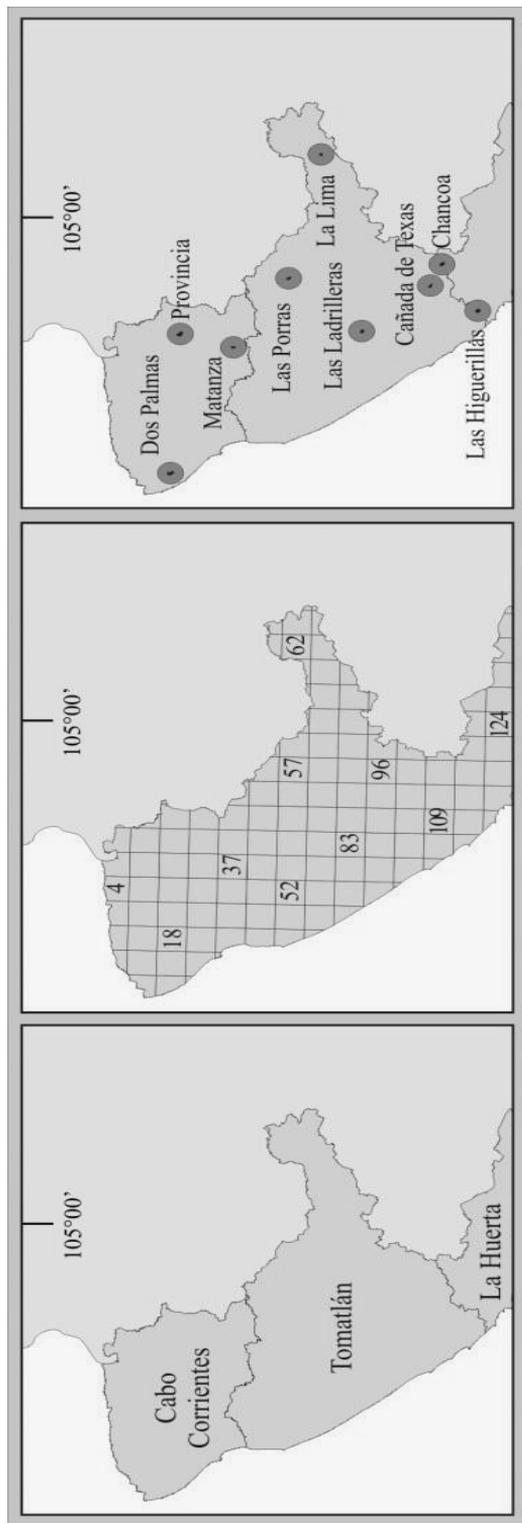
1.2.3. Procedimiento metodológico estándar sobre el nivel de asimilación económica del territorio

Entre la tipificación probabilística y la representación cartográfica se encuentra el manejo estadístico de la información que permite revelar los contrastes internos del territorio que se examina a través de la asimilación

económica. De forma específica, el procedimiento engloba siete pasos metodológicos: 1. Selección de la unidad espacial de referencia (UER), 2. Selección de variables, 3. Jerarquización de los datos, 4. Determinación de correlación entre variables, 5. Identificación de combinaciones necesarias, 6. Agrupación de los datos en nubes tipológicas y 7. Determinación de los niveles de asimilación económica (García de Fuentes, 1993; Reyes, 1997; Propin y Sánchez, 1998).

El principio básico de toda investigación de índole geográfica es el espacio que se examina. Para el caso que aquí concierne, existen tres opciones consistentes en el municipio como unidad político administrativa, la cuadrícula geográfica y las áreas concéntricas (figura 1.2.2). La elección de una u otra presenta las implicaciones que a continuación se describen.

Figura 1.2.2. Unidades espaciales de referencia territorio



Fuente: Elaboración propia, (2016).

Como la mayor parte de la información estadística que proporciona el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) corresponde al municipio, este se ha convertido en la unidad espacial de referencia (UER) preferida en los trabajos que examinan estados con un número considerable de ayuntamientos, tales son los casos de Oaxaca (Mendoza, 2001), Puebla (Reyes, 1997 y 2000), Michoacán (Delgado, 2010), México (Hernández, 2007) y Jalisco (Galindo, 2000); empero, el propio método da lugar a que los datos se generalicen para todo el municipio aunque algunos procesos demográficos (asentamientos de población) o económicos (industria) se restrinjan solamente a ciertos lugares.

Por su parte, la cuadrícula geográfica representa para la asimilación económica el medio para examinar los territorios de forma más detallada. Al respecto, aunque la base de la información es el municipio, a este se le divide en cuadrantes (figura 2) de tal forma que datos como la producción agrícola se asigna a aquellas UER en donde hay áreas dedicadas a esta actividad económica; también, puede ser que el indicador que se examina sea el grado de urbanización, entonces la estimación corresponderá a la UER donde se halle el área urbana en cuestión. Cabe aclarar que las investigaciones hechas sobre los estados de Guerrero (Propin y Sánchez, 1998) y Chihuahua (García-Amaral 2001), fueron los primeros en utilizar esta opción; sin embargo, como en ellos se trazó la retícula con base en una división contenida en los mapas turísticos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), resulta imposible trasladar de forma precisa la malla a un Sistema de Información Geográfica (SIG).

La tercera alternativa en la selección de la UER son las áreas concéntricas que se marcan en torno a todos o los principales centros de población de la zona de estudio (figura 1.2.2). En este caso, la información socioeconómica que se recoge pertenece al área delimitada, por lo cual todo lo que queda fuera de ella pierde significado aunque sea del mismo municipio. El único documento que se ha hecho con esta técnica (a mediados del último decenio del siglo pasado) es un mapa de la zona carbonífera del estado de Coahuila.

Independientemente de la opción de UER que se escoja, lo que determina su validez está en función de contar con la información que pueda asignárseles; es decir, si el dato que se va a utilizar no puede atribuírseles desde una perspectiva espacial, entonces ninguna de las tres técnicas servirá. Por ejemplo, cuando las estadísticas socioeconómicas se proporcionan a nivel regional o distrital, ya no pueden ser utilizadas pues estas escalas geográficas rebasan los límites de las UER descritas.

El siguiente paso metodológico consiste en la elección de las variables socioeconómicas y, de forma subsecuente, la búsqueda de los datos para la elaboración de los indicadores (tablas: 1.2.3, 1.2.4 y 1.2.5). Aunque casi de forma tácita quienes han trabajado con el nivel de asimilación económica del territorio utilizan información sobre población total, que vive en localidades urbanas, actividad industrial y agrícola y longitud vial. Para la elaboración de los mapas de la región carbonífera de Coahuila, de la región costera de Chiapas (Mapa inédito, formó parte de los resultados obtenidos para el proyecto *Riesgos asociados a inundaciones, Sierra Madre y costa de Chiapas*. Instituto de Geografía, UNAM, con apoyo financiero de la Comisión Nacional del Agua. Enero – diciembre de 1999) y del estado de San Luis Potosí, se consideró la relevancia de otras actividades económicas tales como la ganadería o la minería.

Tabla 1.2.3. Variables e indicadores socioeconómicos utilizados para la determinación de los niveles de asimilación económica del territorio

Variables seleccionadas		Indicadores generados*
Datos que pueden relacionarse con la superficie municipal o del cuadrante	Población total	Densidad de población
	Valor de la producción industrial básica o manufacturera	Concentración de la producción industrial
	Actividad agrícola o pecuaria: valor de la producción, superficie cultivada o con riego	Concentración de la producción agrícola o concentración de las tierras cultivadas con riego
	Longitud de la red de carreteras o caminos	Densidad vial
	Población que vive en localidades de más de 15 mil habitantes	Grado de urbanización

Fuente: UNAM (2012).

* El orden de los indicadores es distinto al que se utiliza en la conformación de las nubes tipológicas.

Tabla 1.2.4. Datos de las variables socioeconómicas

Cuadrante	Superficie (km ²)	Población total (hab)	Población urbana (hab)	Producción agrícola (\$1000)	Producción industrial (\$1000)	Longitud carreteras (km)
1	16.18	295	0	0	0	0
6	35.36	524	0	186.61	0	5.73
87	51.14	8025	7899	83457.52	1180.46	17.96
187	16.05	7102	6351	12541.12	0	5.15
872	5.09	8840	8714	449.046	293.82	2.69

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2012) y SIAP (2012)⁵.

Tabla 1.2.5. Indicadores socioeconómicos

Cuadrante	Densidad de población (hab/km ²)	Grado de urbanización (%)	Concentración de la producción agrícola ¹ (\$1000/km ²)	Concentración de la producción industrial (\$1000/km ²)	Densidad vial (km/km ²)
1	18.23	0	0	0	0
6	16.51	0	70.12	0	0.16
87	159.68	96.73	4025.93	23.08	0.35
187	442.91	89.29	2916.54	0	0.32
872	1736.70	98.57	95.95	57.72	0.52

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2012) y SIAP (2012).

Es importante destacar que el indicador que más problemas ha generado en cuanto a su elaboración es el relacionado con la agricultura. Esto ha ocurrido porque no hay una constante en cuanto a la información que proporciona cada entidad federativa; es decir, no siempre existe el dato por municipio sino que es común encontrarlo a nivel estatal, regional o distrital, por lo cual se complica su utilización por los tipos de UER que se emplean en la asimilación económica del territorio.

5 La información corresponde a UER determinados para los municipios costeros de la región del Pacífico sur-occidental mexicano.

En casi la totalidad de los trabajos, la elección o la utilización de estos indicadores socioeconómicos pareciera que obedece a un apego estricto a lo estipulado en el procedimiento más que a las particularidades de cada espacio geográfico examinado. Sin embargo, la investigación *Valoración ambiental del estado de San Luis Potosí a través de sus niveles de asimilación económica* hecha por Lara (2010) implementó cambios en tres sentidos. El primero consistió en considerar que algunas localidades que no son urbanas, según el criterio de Unikel, constituyen centros de desarrollo regional, por lo tanto en este indicador integró los asentamientos de población de 2500 a 14999 habitantes. El segundo criterio estableció que en ciertos espacios del territorio nacional, la minería y la ganadería son de igual o mayor relevancia que la agricultura, motivo por el cual incluyó datos de la dinámica de estas actividades económicas como indicadores adicionales. En cuanto al tercero, planteó que no es suficiente estimar el número de kilómetros de infraestructura carretera sino que es más revelador conocer la capacidad que existe en un espacio determinado para movilizar la población residente en él. Por tal razón, esta autora reemplazó la densidad vial por el índice de Engel o suficiencia vial.

El tercer paso metodológico consiste en que los datos de cada indicador se jerarquizan en cinco categorías (tabla 1.2.6). Sobre este punto, para la elaboración de los intervalos de las clases, existen diversos métodos según la naturaleza de la información; al respecto, algunos de los que se sugieren son por progresión aritmética, por progresión geométrica, de distribución de frecuencias absolutas, para clases regulares u homogéneas o de intervalos iguales, para clases irregulares con un número igual de observaciones o datos cada clase, y de límites de clases de intervalos irregulares o variables (Gómez, 2004). Como puede deducirse, la elección depende de las tendencias de los indicadores socioeconómicos, por tal motivo en esta faceta del procedimiento, pueden usarse más de dos métodos.

Tabla 1.2.6. Ponderación cualitativa y cuantitativa de los indicadores socioeconómicos

Indicadores Jerarquías		Densidad de población (hab/km ²)	Grado de urbanización (%)	Concentración de la producción agrícola (\$1000/km ²)	Concentración de la producción industrial (\$1000/km ²)	Densidad vial (km/km ²)
1	Muy bajo	0 – 40	0	0 – 10	0 – 30	0 – 0.10
2	Bajo	40.1 – 90	< 40	10.1 – 20	30.1 – 100	0.11 – 0.15
3	Medio	90.1 – 300	40 – 60	20.1 – 70	100.1 – 900	0.16 – 0.24
4	Alto	300.1 – 1000	60.1 – 80	70.1 – 150	900.1 – 5000	0.25 – 0.40
5	Muy alto	> 1000	> 80	> 150	> 5000	> 0.40

Fuente: Reyes (1997).

El paso metodológico por seguir consiste en determinar la relación existente entre los indicadores, en este caso de carácter cuantitativo (tabla 1.2.7). Esto se logra por medio del coeficiente de correlación de Spearman que puede definirse como “una medida de asociación lineal que utiliza los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos” (Martínez *et al.* 2009).

Tabla 1.2.7. Correlación entre indicadores socioeconómicos

Indicadores socioeconómicos	Densidad de población	Grado de urbanización	Concentración de la producción agrícola	Concentración de la producción industrial	Densidad vial
Densidad de población	1	0.66	0.23	0.88	0.42
Grado de urbanización	-	1	0.09	0.65	0.25
Concentración de la producción agrícola	-	-	1	0.04	0.22
Concentración de la producción industrial	-	-	-	1	0.29
Densidad vial	-	-	-	-	1

Fuente: Reyes (1997).

Este procedimiento estadístico, aparte de medir la intensidad en que una variable afecta de forma positiva o negativa a las demás, para la conformación de las nubes tipológicas permite identificar UER similares en cuanto al comportamiento de sus datos (tabla 1.2.8). En otras palabras, coadyuva a la delimitación de territorios con dinámicas socioeconómicas parecidas. Después de la obtención del coeficiente de correlación de Spearman y antes de la determinación de las nubes tipológicas, los datos de los indicadores de cada UER son reemplazados por las jerarquías asignadas. Por ejemplo, si un cuadrante tiene una densidad de población de 315 hab/km², un grado de urbanización de 45 %, una concentración de la producción agrícola de \$15,000 00 /km², una concentración de la producción industrial de \$458,000.00/km² y una densidad vial de 19,3 km/km², con base en los rangos de las clases de la tabla 6, los nuevos valores serían 4, 3, 2, 3, 3, respectivamente. Es decir, se crean combinaciones: 11111, 11121...21121, 21122... 31115, 31121 (tabla 1.2.8).

Tabla 1.2.8. Combinación de jerarquías y asociación de códigos

Combinación	Fr*	Combinación	Fr	Combinación	Fr	Nubes tipológicas	
11111	75	21111	31	31111	11	1111 1	3111 1
11121	76	21112	2	31112	1		
11131	49	21114	7	31113	1	2111 1	
11141	11	21121	64	31115	1		
↓		21122	6	31121	20	3112 2	2112 1
		21123	7	31122	16		3112 1
		21124	10	31123	6	2112 2	

Fuente: Reyes (2012). * Fr: Frecuencia de UER en que se repite esta combinación. Centro de nube.

Una vez que en cada UER son reemplazados los valores de sus indicadores por las jerarquías correspondientes, se determina la totalidad de combinaciones y se conoce el número de casos para cada una de ellas. Así, el penúltimo paso metodológico de la tipificación probabilística consiste en asociar aquellos territorios con dinámicas socioeconómicas parecidas entre sí. Para establecer una nube tipológica se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se identifican las combinaciones que aglutinan el mayor número de UER, pues son consideradas como centros en torno a los que van a confluír otras combinaciones con menor número de casos.
- Las combinaciones que difieren hasta en dos valores en uno de los indicadores del centro de nube se consideran asociaciones básicas.
- Las combinaciones que difieren en un valor o hasta en dos de los indicadores del centro de nube se incluyen si el coeficiente de correlación de Spearman establece que hay una relación significativa entre las variables.

- Solo en casos excepcionales: a) concentrar un número significativo de UER o b) ser el principal centro de desarrollo regional de la zona de estudio, una sola combinación puede constituirse como nube tipológica.
- Las combinaciones que no cumplan con ninguno de los criterios anteriores podrán ser ubicadas en las nubes con las que guarden mayor similitud y en algunos casos constituirán, puntos de transición entre dos grupos.

Después de que se determinan todas las nubes tipológicas se procede a especificar sus características y a ordenarlas según el nivel de asimilación económica del territorio que detentan (figura 1.2.3). Para lo primero se toma en cuenta la totalidad de las UER que conforman la nube y, por indicador, se especifica tanto la jerarquía preponderante como las de menor relevancia; mientras que para lo segundo se parte de los postulados teóricos 1 y 2 de los niveles de asimilación económica del territorio (tabla 1.2.2).

Figura 1.2.3. Características de los niveles de asimilación económica revelados

NIVELES	INDICADORES SOCIOECONÓMICOS				
	Densidad de población (hab/km ²)	Grado de urbanización (%)	Concentración de la producción agropecuaria (\$1000km ²)	Concentración de la producción industrial (\$1000km ²)	Densidad vial (km/km ²)
I	Muy bajo Bajo (medio)	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
II	Muy bajo	Muy bajo	Bajo Medio (Alto)	Muy bajo	Muy bajo
III	Bajo Medio	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
IV	Bajo Medio	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Alto Bajo - Medio
V	Bajo Medio	Muy bajo	Medio Bajo	Muy bajo	Muy bajo
VI	Medio Bajo (Alto)	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Bajo Medio
VII	Bajo Medio	Muy bajo	Bajo (Muy bajo)	Muy bajo	Alto (Muy alto)
...
XIII	Alto	Medio Alto	Alto Muy alto	Medio Alto	Muy alto

Fuente: elaboración propia con base en Reyes (2012) .

En la figura 1.2.3 se identifica como el Nivel I de asimilación derivó del primer grupo de combinaciones que se muestran en la tabla 1.2.6. Al respecto, de las 117 UER que concentró la primera asociación, en el primer indicador la jerarquía “Muy bajo” polarizó el 64.1 % de UER, la jerarquía “Bajo” el 26.5 % y la jerarquía “Medio” el 9.4 %; con base en estos porcentajes se ordenó las propiedades del indicador. En los otros indicadores todos los casos corresponden a la ponderación “Muy bajo”.

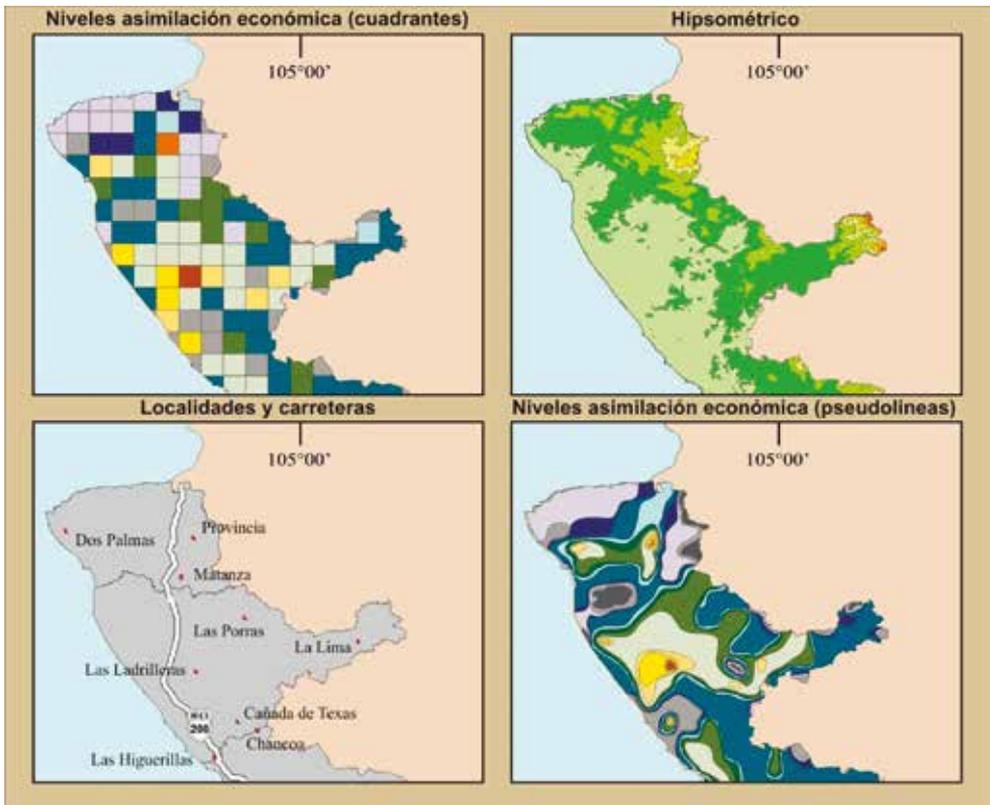
Así, como cada nivel de asimilación económica del territorio evidencia distintas intensidades en los procesos demográficos y en las dinámicas económicas del espacio geográfico examinado; y una vez que son trasladados a un mapa revelan los contrastes socioeconómicos regionales internos que se han generado a través del tiempo. Ahora bien, para la representación cartográfica de los niveles (figura 1.2.4) se procede de la forma siguiente:

- En primer lugar, por medio del método de fondo cualitativo, a cada UER se le asigna el nivel y color correspondiente.
- Este mapa junto con uno que muestre las características del relieve y de otro que sitúe los principales asentamientos de población y el trazado del sistema de carreteras son utilizados para buscar relaciones territoriales entre las UER con el mismo nivel de asimilación económica del territorio.
- Una vez que se encuentran conexiones entre cuadrantes con el mismo nivel de asimilación, por medio del método conocido como de falsas isolíneas o pseudolíneas, se hace una nueva demarcación de todos los niveles.

En términos generales, este, ha sido el procedimiento metodológico estándar que se ha utilizado en 18 de las 29 investigaciones referidas en el cuadro 1 y aunque la metodología es flexible, no se han hecho cambios significativos. En los casos de los trabajos *Los cambios en los tipos de asimilación económica del estado de Puebla, entre 1950 y 1990* (Reyes, 2000) y *Valoración ambiental del estado de San Luis Potosí a través de sus niveles de asimilación económica* (Lara, 2010) se han propuesto

modificaciones. En el primero se utilizaron variables del medio físico-geográfico para valorar la disponibilidad de recursos naturales, mientras que en el segundo, se introdujeron más indicadores de los recomendados y se propusieron métodos para cuantificar el impacto ambiental que ha generado el poblamiento y algunos procesos económicos. Bajo este contexto se desarrolla la segunda parte de este documento.

Figura 1.2.4. Representación cartográfica de los niveles de asimilación económica



Fuente: elaboración propia con base en Reyes (2012).

1.2.4. Ajustes metodológicos a la asimilación económica del territorio en cuestiones ambientales

Para el desarrollo de este apartado se eligieron dos trabajos que produjeron cambios en los procedimientos metodológicos de la asimilación económica con la finalidad de examinar aspectos ambientales de un territorio. Si bien los dos documentos tuvieron como zona de estudio al estado de San Luis Potosí, cada uno realizó análisis distintos: uno de ellos determinó áreas naturales prioritarias de conservación para el desarrollo de la actividad turística (Castañeda, 2010) y el otro evaluó el impacto ambiental que la dinámica demográfica y económica han generado en esta entidad (Lara, 2010).

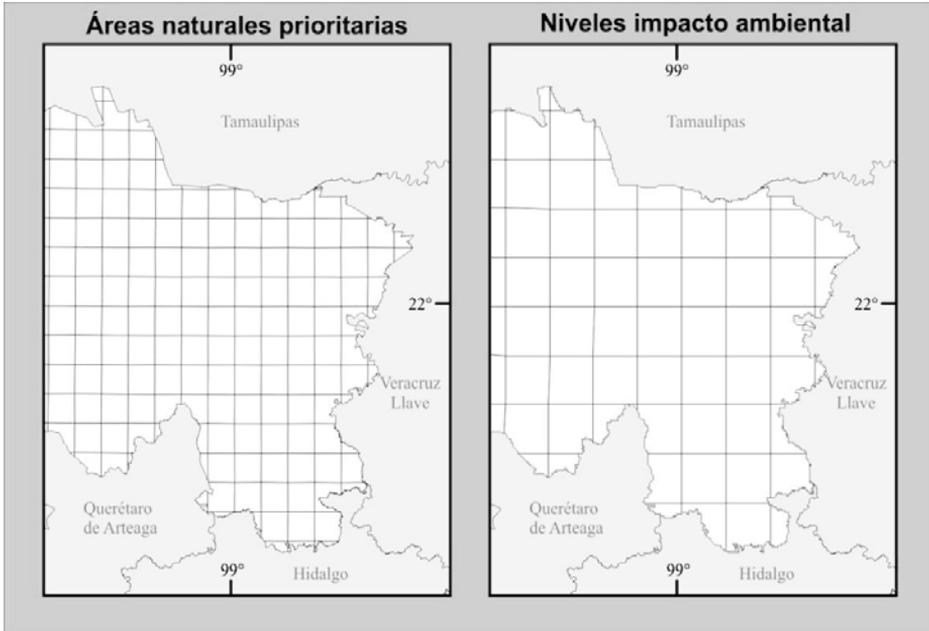
La primera modificación de relevancia que hicieron estos trabajos estuvo relacionada con las UER. En ambos casos, al requerirse mayor detalle en el manejo de la información, las autoras decidieron recurrir a la cuadrícula geográfica; pero a diferencia de los trabajos referidos en la sección anterior, en estos con el uso de herramientas de los *software* Ilwis y ArcGis la malla se dibujó con base en los meridianos y paralelos que enmarcan a la entidad. Así, para el primer documento las UER fueron trazadas cada 6' (en grados decimales), por lo que cada cuadrante “completo” cubrió 122,09 km²; en el segundo caso, las delimitaciones se establecieron cada 10' (en grados decimales), lo que proporcionó cuadrantes completos de 318,6 km² (figura 1.2.5).

Debe resaltarse que de todos los trabajos sobre asimilación que han empleado a la cuadrícula geográfica como UER (tabla 1.2.1), el de Lara y el de Castañeda son los primeros cuya retícula está georeferenciada con un SIG. Gracias a ello, los dos pudieron utilizar información de otros productos cartográficos, tal y como se describe a continuación.

Otro ajuste que establecieron estas investigaciones consistió en la introducción de nuevas variables para poder elaborar indicadores asociados con cuestiones ambientales (tabla 1.2.9). En el caso del trabajo sobre áreas naturales prioritarias para el desarrollo de la actividad turística estuvieron

relacionadas con la biodiversidad, la dinámica demográfica, la situación social y el equipamiento turístico. Para la evaluación del impacto ambiental se tomó en cuenta el disturbio ocasionado a la vegetación por factores antrópicos, la intensidad en el aprovechamiento del recurso agua, la afectación que generan la minería y la construcción de vías de comunicación.

Figura 1.2.5. Delimitación de cuadrícula geográfica con el uso de SIG



Fuente: elaboración propia con base en Castañeda (2010) y Lara (2010).

Tabla 1.2.9. Variables elegidas para evaluar condiciones ambientales a través de procedimientos metodológicos de la asimilación económica del territorio

<p>Trabajo 1 Determinación de áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico en el estado de San Luis Potosí: una propuesta de sustentabilidad</p>	<p>Trabajo 2 Valoración ambiental del estado de San Luis Potosí a través de sus niveles de asimilación económica</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura y tipos de vegetación • Topoformas • Recursos hídricos • Fauna (mamíferos, herpetofauna y aves) • Localidades, población y marginación • Equipamiento turístico 	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura vegetal • Uso del suelo • Pozos de agua • Biomas zonales • Relieve • Minas

Fuente: elaboración propia con base en Castañeda (2010) y Lara (2010).

Después de elegir sus variables, las autoras recabaron datos para cada cuadrante de su retícula geográfica con base en información cartográfica y estadística de INEGI, CONABIO, CONAPO, entre otras fuentes, después elaboraron indicadores de carácter ambiental (tablas 1.2.10 y 1.2.11).

Tabla 1.2.10. Indicadores para la determinación de áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico en el estado de San Luis Potosí

Indicadores	Justificación
Áreas biogeográficas	<p>Por medio de la asociación de variables físico-naturales, este indicador permite encontrar aquellos espacios que -según condición y nivel de diversidad de recursos naturales- ofrecen posibilidades para el desarrollo de la actividad turística.</p>
Áreas sociodemográficas	<p>Mediante este indicador es factible contrastar la dinámica demográfica regional según la situación social imperante: problemas de pobreza y marginación.</p>
Potencial turístico	<p>Indicador que revela la disposición de equipamiento y de servicios destinados para el turista; también, evidencia el grado de accesibilidad. Por lo tanto, constituye la expresión cuantitativa que permite diferenciar las aptitudes que poseen los territorios para el desarrollo del turismo.</p>

Fuente: elaboración propia con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.11. Indicadores para la valoración ambiental del estado de San Luis Potosí a través de sus niveles de asimilación económica

Indicadores	Justificación
Influencia antrópica sobre la cubierta vegetal	A través de él se determinan los efectos que tienen las actividades agropecuarias sobre las cubiertas vegetales, al partir de la aseveración de que en áreas donde no existe modificación o esta ha sido ligera, el suelo está protegido por vegetación primaria; mientras que en aquellas donde existe algún disturbio significativo, la vegetación es removida o reemplazada por especies secundarias (Nieto, 1999).
Nivel de aprovechamiento de los acuíferos	Con este indicador puede inferirse la intensidad del abatimiento de los mantos freáticos al tomar en cuenta los volúmenes de agua que se extraen para destinarse al riego de cultivos, dar de beber al ganado, atender procesos industriales y abastecer de agua potable a la población (Noyola, <i>et al.</i> 2009).
Alteración del medio por las vías de comunicación	Si bien para el desarrollo de las actividades económicas es indispensable tener acceso a los recursos naturales y transportar los productos a las zonas donde serán requeridos, las vías de comunicación provocan disturbios a los ecosistemas al ser construidas, por el uso que se les da y por su mantenimiento (Ramírez, <i>et al.</i> 2005).
Afectación de la actividad minera sobre el medio	La minería, más allá de los beneficios económicos que proporciona, constituye uno de los mecanismos antrópicos que más ha afectado al espacio geográfico al incidir sobre los suelos, los mantos acuíferos y los recursos forestales, entre otros, además de causar una modificación importante en el mismo paisaje.

Fuente: elaboración propia con base en Lara (2010).

La tabla 1.2.10 muestra que los indicadores generados sirvieron para identificar territorios con características naturales y socioeconómicas que pueden aprovecharse para el desarrollo sustentable de una actividad. Por su parte, la tabla 1.2.11 evidencia que los indicadores creados permitieron medir el impacto que ejercen la población y la economía sobre el espacio.

Para elaborar estos indicadores, bajo los principios metodológicos de la tipificación probabilística que son utilizados en la asimilación económica del territorio, fue necesario hacer modificaciones y aportar nuevos procedimientos. Al respecto, la jerarquización de las variables, la ponderación de los datos y la asociación entre las combinaciones de los indicadores tuvieron los ajustes siguientes:

- En primer lugar, la experiencia reportada en los trabajos hechos sobre asimilación de los estados de Puebla (Reyes, 1997), Guerrero (Propin y Sánchez, 1998), Coahuila (Sánchez *et al.* 1999), Chihuahua (García-Amaral, 2001) y Michoacán (Sánchez y Reyes, 2003), mostró que además de las cinco jerarquías en que se agrupan los datos, debía incorporarse otra con la finalidad de encontrar aquellos espacios donde el proceso examinado no tuviera presencia (tabla 1.2.12).

Tabla 1.2.12. Ejemplos de jerarquización de la información con base en seis clases

Variables Jerarquías		Porcentaje de superficie con vegetación	Sitios turísticos	Asociación vegetal	Interés turístico
		Cuantitativos		Cualitativos	
0	Nulo/ sin presencia	0	0	Sin vegetación aparente	Nulo
1	Muy bajo	1 – 19	1 – 2	Otros tipos de vegetación	Poco
2	Bajo	20 – 39	3 – 5	Pastizal natural	pocal
3	Medio	40 – 59	6 – 9	Selva caducifolia y subcaducifolia	regional
4	Alto	60 – 79	10 – 14	Matorral	nacional
5	Muy alto	80 – 100	> 14	Bosque mesófilo de montaña	internacional

Fuente: Elaboración propia con base en Castañeda (2010), Lara (2010) y Reyes (2006).

- Con el objetivo de establecer qué jerarquía le correspondía a cada dato de las variables elegidas, estas autoras tomaron criterios cualitativos o cuantitativos según la naturaleza de la información; en este sentido, recurrieron a las consideraciones metodológicas desarrolladas por Leno (1993), López (1999) y Reyes (2006) sobre temas relacionados con el hecho turístico. Cabe aclarar que estos trabajos muestran cómo asociar variables de naturaleza distinta de tal manera que permiten examinar de forma integral procesos que

acontecen en un espacio determinado en consecuencia, al introducirlos en la tipificación probabilística, tanto Castañeda (2010) como Lara (2010) la adaptaron para cuestiones ambientales. En suma, ante la introducción de datos de diferente índole, fue necesario establecer criterios de ponderación (tablas 1.2.13, 1.2.14, 1.2.15 y 1.2.16) a cada variable (tabla 1.2.9) con la intención de determinar las jerarquías correspondientes (tablas 1.2.17, 1.2.18, 1.2.19 y 1.2.20).

Tabla 1.2.13. Factores de ponderación para elaborar el indicador áreas biogeográficas

Variable	Consideraciones para la ponderación
Vegetación	<p>En todas las UER se midió la extensión de cada tipo de vegetación que constituyen a la variable.</p> <p>Se asignaron valores a cada tipo de vegetación que integran a la variable de tal manera que todos sumaron la unidad (A. 0.5, B. 0.3, C. 0.1, D.0.1: $0.5+0.3+0.1+0.1= 1.0$).</p> <p>Para la asignación de los valores, se tomó en cuenta el nivel de biodiversidad que tiene cada tipo de vegetación dentro de la variable.</p> <p>Se otorgó el valor inmediato inferior a las cubiertas vegetales que presenta algún nivel de disturbio (B.03 – b.0.1).</p> <p>A cada valor asignado se sumó una unidad porque cada tipo de vegetación tiene de forma inherente una importancia como elemento único (A. 1.5, B. 1.3, C. 1.1, D.1.1).</p> <p>Se multiplicaron los nuevos valores por la extensión de cada tipo de vegetación en las UER.</p>
Topoformas	Se determinó el número de topoformas por UER.
Hidrografía	Para cada UER se cuantificó cuántos tipos de cuerpos de agua contenía (ríos perennes, lagos, lagunas, manantiales, cascadas, presas) y se determinó si estaba dentro de alguna región hidrológica prioritaria.
Fauna	<p>Se ponderó cada UER, según la incidencia de mamíferos.</p> <p>Se valoró por UER, el nivel de endemismo de herpetofauna, en caso de existir registro.</p> <p>Se determinó si la UER estaba dentro de un área prioritaria para la conservación de aves.</p>

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.14. Factores de ponderación para elaborar el indicador áreas sociodemográficas

Variable	Consideraciones para la ponderación
Marginación	Se promedió el índice de marginación de las localidades contenidas en cada UER. Fueron utilizados los parámetros cuantitativos de cada grado de marginación establecido por CONAPO.
Tamaño de la localidad	Según el criterio de Unikel, se diferenciaron las localidades urbanas y mixtas-urbanas de las rurales. Las localidades rurales fueron diferenciadas en tres clases (cada 2500 habitantes).
Densidad de población	A cada UER se sumó la población de las localidades situadas en ella. El total de habitantes fue dividido entre la superficie de cada cuadrante.

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.15. Factores de ponderación para elaborar el indicador potencial turístico

Variable	Consideraciones para la ponderación
Sitios turísticos	Para cada UER, se determinó el número de lugares en donde existe registro de aprovechamiento de los recursos turísticos: hidrológicos, geológico-geomorfológicos y regiones especiales.
Equipamiento turístico	Se integró la variable por cuatro elementos: alojamiento, establecimientos de alimentos y bebidas, agencias de viajes y arrendadoras de autos.
	Se asignaron valores a cada tipo de equipamiento que integran a la variable de tal manera que todos sumaron la unidad (A. 0.5, B. 0.3, C. 0.1, D.0.1: $0.5+0.3+0.1+0.1= 1.0$).
	Para la asignación de los valores se tomó en cuenta el nivel de importancia que tiene cada tipo de equipamiento para el turismo.
	A cada valor asignado se sumó una unidad porque cada tipo de equipamiento tiene de forma inherente una importancia como elemento único (A. 1.5, B. 1.3, C. 1.1, D.1.1).
	Se multiplicaron los nuevos valores por el número de unidades que integran a cada tipo de equipamiento en las UER.

Accesibilidad	- Se integró la variable por tres tipos de elementos: carreteras pavimentadas, caminos de terracería y veredas.
	- Se asignaron valores a cada tipo de vía de comunicación que integran a la variable de tal manera que todos sumaron la unidad (A. 0.5, B. 0.3, C. 0.1, D.0.1: $0.5+0.3+0.1+0.1= 1.0$).
	- Para la asignación de los valores se tomó en cuenta el nivel de relevancia que tiene cada tipo de vía de comunicación para la movilidad.
	- A cada valor asignado se sumó una unidad porque cada tipo de vía de comunicación tiene de forma inherente una importancia como elemento único (A. 1.5, B. 1.3, C. 1.1, D.1.1).
	- Se multiplicaron los nuevos valores por el número de kilómetros por tipo de vías de comunicación que hay en las UER.

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.16. Factores de ponderación para elaborar indicadores de impacto ambiental

Variable	Consideraciones para la ponderación
Influencia antrópica sobre la cubierta vegetal	En todas las UER se midió la cubierta vegetal diferenciando las áreas con predominancia de especies originales de aquellas donde hay presencia de especies secundarias.
	Para cada UER, las áreas con predominancia de especies originales fueron multiplicadas por 1.0 y las que denotan especies secundarias por 0.5.
	Posteriormente, se sumaron los dos valores y con el nuevo dato se sacó la proporción que representa con respecto a la superficie total de la UER.

Nivel de aprovechamiento de los acuíferos	Se contabilizó el número de pozos por UER, se diferenció el tipo de uso que se le da al recurso, después se identificaron las zonas con agricultura de riego y, por último, se consideró la capacidad de recarga de los acuíferos por medio de las isoyetas.
	Con base en la información anterior, se asignaron valores de 1 a 3 según el nivel presión o de atenuación que se tiene en el recurso a partir de las siguientes inferencias:
	Se consideró que la presión sobre el recurso es mayor para el uso urbano (2) que para el doméstico (1). Con respecto al agua destinada para el riego, en relación con la superficie que se atiende, los factores de evaporación e infiltración inherentes y el volumen de agua requerido, inciden para que exista un impacto mayor sobre el recurso; por lo tanto, su valoración fue de 3. Se introdujo la capacidad de recarga de los mantos acuíferos con base en la precipitación media anual. Así, las áreas con precipitaciones de 200-499 mm tuvieron una valoración de 3, las de 500 – 1999 mm con 2 y las de >2000 mm con 1.
	Estos valores fueron multiplicados con su respectivo elemento para cada UER; después, se obtuvo un puntaje total para elaborar las jerarquías.
Alteración del medio por las vías de comunicación	En este caso se tomó en cuenta el tipo de vía de comunicación (Pavimentada, terracería, brecha o vereda), el ecosistema por donde fue construida y el relieve de dicha zona.
	Se asignaron valores a cada tipo de vía de comunicación de tal manera que todos sumaron la unidad (A. 0.5, B. 0.3, C. 0.1, D.0.1: $0.5+0.3+0.1+0.1= 1.0$).
	Para la asignación de los valores se tomó en cuenta el nivel de importancia que tiene cada tipo de vía de comunicación para la movilidad.
	A cada valor asignado se sumó una unidad porque cada tipo de vía de comunicación tiene de forma inherente relevancia como elemento único (A. 1.5, B. 1.3, C. 1.1, D.1.1). Los ecosistemas fueron agrupados en tres tipos de biomas zonales (tropical, templado y árido) y, según la notabilidad de su biodiversidad y el grado de afectación que les ocasiona la construcción de una vía de comunicación, se les otorgó una calificación de tal manera que todos sumaron la unidad (A. 0.6, B. 0.3, C. 0.1,; $0.6+0.3+0.1= 1.0$). A cada valor asignado se sumó una unidad porque cada tipo de bioma afectado tiene de forma inherente una importancia como elemento único (A. 1.6, B. 1.3, C. 1.1).

	<p>En cuanto al relieve, según la susceptibilidad a la modificación que presenta el paisaje por la construcción de cualquier vía de comunicación, se diferenció en tres grupos: 1. sierras, lomeríos y bajadas, 2. valles, ríos y cañones, y 3. mesetas y llanuras. Así, a cada uno se le otorgó una calificación de tal manera que todos sumaron la unidad (A. 0.5, B. 0.3, C. 0.2,; $0.5+0.3+0.2= 1.0$).</p> <p>A cada valor asignado se sumó una unidad porque cada grupo de relieve afectado tiene de forma inherente una importancia como elemento único (A. 1.5, B. 1.3, C. 1.2).</p> <p>Todos los valores referidos fueron multiplicados con su respectivo elemento para cada UER; después, se obtuvo un puntaje total para elaborar las jerarquías.</p>
<p>Afectación de la actividad minera sobre el medio</p>	<p>En este caso, se identificó el mayor número de minas en el estado de San Luis Potosí y se ubicaron geográficamente sobre la retícula. También, se tomó en cuenta el tipo de extracción que prepondera en la mina, ya sea a cielo abierto o de socavón y, por último, se consideró si la mina en cuestión está sujeta a un aprovechamiento económico o si están suspendidas sus actividades.</p> <p>Como el disturbio que genera en los ecosistemas una mina a cielo abierto es mayor que una de socavón, se le asignó un valor de 2, mientras que a la segunda de 1.</p>
	<p>En cuanto al disturbio que genera una mina al estar activa o el que provocó aunque se hayan detenido sus actividades de aprovechamiento, a cada caso se otorgó una calificación de tal manera que ambos sumaron la unidad (A. 0.6, B. 0.4,; $0.6+0.4= 1.0$).</p> <p>A cada valor asignado se sumó una unidad porque su nivel de afectación al medio tiene de forma inherente un peso como elemento único (A. 1.6, B. 1.4).</p> <p>Todos los valores referidos fueron multiplicados para cada mina situada en cada UER; después se obtuvo un puntaje total para elaborar las jerarquías.</p>

Fuente: elaborado con base en Lara (2010).

Una vez que fueron establecidos los criterios referidos en las tablas anteriores, los datos estadísticos y cartográficos que habían sido recabados para cada una de las UER de los trabajos que aquí se analizan, fueron ponderados y situados dentro de algún rango de clase (tablas 1.2.17, 1.2.18, 1.2.19 y 1.2.20), según el método más pertinente (Gómez, 2004); posteriormente, fueron reemplazados por la jerarquía correspondiente (tablas 1.2.21, 1.2.22, 1.2.23 y 1.2.24).

Tabla 1.2.17. Jerarquías para la elaboración del indicador áreas biogeográficas

Variables Jerarquías		Vegetación A	Topoformas B	Hidrografía C	Fauna D	A	B	C	D
						Valores de reemplazo			
0	Nulo/ sin presencia	-	-	0	-	-	0	-	
1	Muy bajo	0.06 – 2857.37	1	1	5.25 – 6.75	1	1	1	
2	Bajo	2919.16 – 5762.42	2	2	8.00 – 8.25	2	2	2	
3	Medio	5810.89 – 8654.11	3	3	9.25 – 11.0	3	3	3	
4	Alto	8685.60 – 11548.14	4	4	12.0 – 12.5	4	4	4	
5	Muy alto	11559.59 – 14436.26	5 – 7	5 - 6	13.5 – 15.0	5	5	5	

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.18. Jerarquías para la elaboración del indicador áreas sociodemográficas

Variables Jerarquías		Marginación E	Tamaño de la localidad F	Densidad de población G	E	F	G
					Valores de reemplazo		
0	Nulo/ sin presencia	0	0	0	0	0	0
1	Muy bajo	- 1.54231	< 2500	1 – 49	1	1	1
2	Bajo	-1.23275 – -1.02746	2500 – 4999	50 – 96	2	2	2
3	Medio	-1.01760 – -0.70118	5000 – 9999	100 – 389	3	3	3
4	Alto	-0.69153 – 0.61152	10000 – 14999	441 – 1052	4	4	4
5	Muy alto	0.61838 – 2.04212	15000 o más	7981	5	5	5

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.19. Jerarquías para la elaboración del indicador potencial turístico

Variables Jerarquías		Sitios turísticos H	Equipamiento turístico I	Accesibilidad J	H	I	J
					Valores de reemplazo		
0	Nulo/ sin presencia	0	0	0	0	0	0
1	Muy bajo	1	1.2 – 9.7	0.07 – 26.4	1	1	1
2	Bajo	2	12.2 – 27.8	26.7 – 53.1	2	2	2
3	Medio	3	62.2 – 74.1	53.2 – 78.4	3	3	3
4	Alto	-	100.3 – 133.8	80.3 – 92.0	-	4	4
5	Muy alto	5	564.7	112.8 – 132.8	5	5	5

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.20. Jerarquías para la elaboración de indicadores de impacto ambiental

Indicadores Jerarquías		Influencia antrópica sobre la cubierta vegetal I	Nivel de aprovechamiento de los acuíferos II	Alteración del medio por las vías de comunicación III	Afectación de la actividad minera sobre el medio IV	I	II	III	IV
						Valores de reemplazo			
0	Nulo/ sin presencia	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Muy bajo	1 – 19 %	2 – 4	1 – 199	1 – 2	1	1	1	1
2	Bajo	20 – 39 %	5 – 7	200 – 399	3 – 4	2	2	2	2
3	Medio	40 – 59 %	8 – 9	400 – 599	5 – 11	3	3	3	3
4	Alto	60 – 79 %	10 – 11	600 – 999	12 – 25	4	4	4	4
5	Muy alto	80 – 100 %	12 – 14	1000 – 2000	26 – 45	5	5	5	5

Fuente: Elaborado con base en Lara (2010).

Tabla 1.2.21. Ponderación y jerarquización de datos por UER del indicador áreas biogeográficas

Variables	A	B	C	D	A	B	C	D
Cuadrantes	Datos ponderados				Datos sustituidos			
65	8654.10	2	1	10.75	3	2	1	3
104	4443.41	1	1	6.5	2	1	1	2
168	2857.36	2	1	6.5	1	2	1	2
205	14381.19	4	1	10.75	5	4	1	3
458	9118.36	4	2	13.75	4	4	2	5
651	954.78	4	5	13.75	1	4	5	5
673	1571.18	3	2	13.75	1	3	2	5
905	0.762	1	2	13.75	1	1	2	5
910	137.73	1	1	12.00	1	1	1	4
940	10852.84	2	4	13.75	4	2	4	5
961	2608.34	3	3	13.75	1	3	3	5

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.22. Ponderación y jerarquización de datos por UER del indicador áreas sociodemográficas

Variables	E	F	G	E	F	G
Cuadrantes	Datos ponderados			Datos sustituidos		
65	-0.3024475	1064	21.65	4	1	1
104	-0.209245	314	5.46	4	1	1
168	0.43362	5250	81.83	4	3	2
205	0	0	0	0	0	0
458	-0.464218	591	8.80	4	1	1
651	-0.3238955	29581	315.76	4	5	3
673	-0.5982	116261	1052.28	4	5	4
905	0	0	1.12	0	0	1
910	0	0	0	0	0	0
940	0.19491	6001	248.63	4	3	3
961	-0.10236	21614	358.38	4	5	3

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.23. Ponderación y jerarquización de datos por UER del indicador potencial turístico

Variables Cuadrantes	H	I	J	H	I	J
	Datos ponderados			Datos sustituidos		
65	2	0	50.6	2	0	2
104	2	0	4.3	2	0	1
168	0	0	37.5	0	0	2
205	0	0	0	0	0	0
458	3	0	45.7	3	0	2
651	0	5.5	64.0	0	1	3
673	2	133.8	82.7	2	4	4
905	0	0	5.3	0	0	1
910	0	0	0	0	0	0
940	2	27.1	62.2	2	2	3
961	2	13.6	92.0	2	2	4

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.24. Ponderación y jerarquización de datos por UER de indicadores de impacto ambiental

Indicadores Cuadrantes	I	II	III	IV	I	II	III	IV	Combinaciones
	Datos ponderados				Datos sustituidos				
4	49.7	6	64	4	3	2	1	2	3212
12	21.6	2	514	6	2	1	3	3	2133
15	68.5	4	726	0	4	1	4	0	4140
17	7.3	2	293	30	1	1	2	5	1125
53	86.4	7	845	0	5	2	4	0	5240
66	54.2	0	0	0	3	0	0	0	3000
85	37.4	0	0	1	2	0	0	1	2001
94	15.0	6	380	0	1	2	2	0	1220
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0000
119	78.8	9	602	2	4	3	4	1	4341
178	94.3	13	296	0	5	5	2	0	5520

Fuente: Elaborado con base en Lara (2010).

Como puede deducirse de los procesos descritos, la finalidad de estas ponderaciones y jerarquizaciones fue la estandarización de datos de diversa índole para poder obtener indicadores sintéticos. Sin embargo, para el caso del trabajo de Castañeda, el procedimiento requirió un par de consideraciones más. La primera consistió en volver a ponderar cada variable según su importancia dentro del indicador y la relevancia que este tendría para revelar áreas prioritarias de conservación para el desarrollo de la actividad turística (tabla 1.2.25). Por último, se sumaron los valores resultantes para obtener un puntaje total. La segunda radicó en agrupar los nuevos datos con base en seis jerarquías (tabla 1.2.26) y obtener las combinaciones resultantes a partir de los tres indicadores (tabla 1.2.27).

Tabla 1.2.25. Ponderaciones finales para la obtención de indicadores que revelen áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico

Variables Cuadrantes	A	B	C	D	Pun- taje	E	F	G	Pun- taje	H	I	J	Pun- taje	
	Con base en 10 puntos					Con base en 5 puntos				Con base en 5 puntos				
	4	3	2	1		3	2	1		3	2	1		
65	12	6	2	3	23	12	2	1	15	6	0	2	8	
104	8	3	2	2	15	12	2	1	15	6	0	1	7	
168	4	6	2	2	14	12	6	2	20	0	0	2	2	
205	20	12	2	3	37	0	0	0	0	0	0	0	0	
458	16	12	4	5	37	12	2	1	15	9	0	2	11	
651	4	12	10	5	31	12	10	3	25	0	2	3	5	
673	4	9	4	5	22	12	10	4	26	6	8	4	18	
905	4	3	4	5	16	0	2	1	3	0	0	1	1	
910	4	3	2	4	13	0	0	0	0	0	0	0	0	
940	16	6	8	5	35	12	6	3	21	6	4	3	13	
961	4	9	6	5	24	12	10	3	25	6	4	4	14	

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.26. Jerarquías para los indicadores que revelen áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico

Indicadores Jerarquías	Áreas biogeográficas	Áreas sociodemográficas	Potencial turístico
0 Nulo/ sin presencia	0	0	0
1 Muy bajo	8 – 15	3 – 6	1 – 4
2 Bajo	16 – 22	9 – 12	5 – 7
3 Medio	23 – 29	14 – 16	8 – 10
4 Alto	30 – 36	17 – 21	11 – 14
5 Muy alto	37 – 44	23 – 26	18 – 22

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Tabla 1.2.27. Combinaciones resultantes por la asociación de indicadores que revelan áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico

Indicadores Cuadrantes	Áreas biogeográficas	Áreas sociodemográficas	Potencial turístico	Combinaciones
65	3	3	3	333
104	1	3	2	132
168	1	4	1	141
205	5	0	0	500
458	5	3	4	534
651	4	5	2	452
673	2	5	5	255
905	2	1	1	211
910	1	0	0	100
940	4	4	4	444
961	3	5	4	354

Fuente: Elaborado con base en Castañeda (2010).

Al llegar a este punto, los dos trabajos referidos volvieron a coincidir (tablas 1.2.27 y 1.2.28) al obtener para todas sus UER una caracterización (combinación) que en conjunto permitió la determinación de nubes tipológicas que revelan contrastes regionales sobre la temática examinada a través de un mapa sintético.

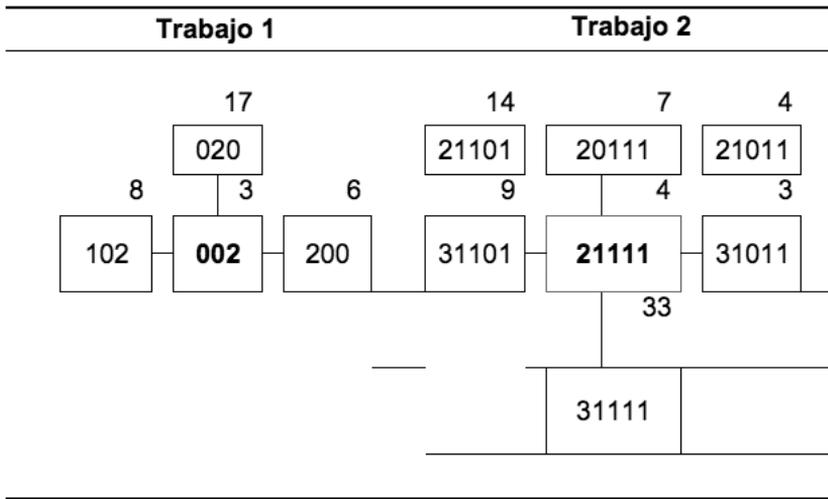
Tabla 1.2.28. Combinaciones resultantes por la asociación de indicadores de impacto ambiental

Indicadores Cuadrantes	Influencia antrópica sobre la cubierta vegetal	Nivel de aprovechamiento de los acuíferos	Alteración del medio por las vías de comunicación	Afectación de la actividad minera sobre el medio	Combinaciones
4	3	2	1	2	3212
12	2	1	3	3	2133
15	4	1	4	0	4140
17	1	1	2	5	1125
53	5	2	4	0	5240
66	3	0	0	0	3000
85	2	0	0	1	2001
94	1	2	2	0	1220
99	0	0	0	0	0000
119	4	3	4	1	4341
178	5	5	2	0	5520

Fuente: Elaborado con base en Lara (2010).

En cuanto a la elaboración de las nubes tipológicas, en los dos trabajos se dejó de lado, de forma parcial, el criterio que el centro de nube debe estar constituido por la combinación con el mayor número de frecuencias. Las dos autoras encontraron que el punto de partida será aquella combinación en torno a la cual confluyan las combinaciones más afines a ella (figura 1.2.6).

Figura 1.2.6. Conformación de nubes tipológicas alternativas



Fuente: Elaboración propia (2016).

Después de que estos dos trabajos definieron sus respectivas nubes tipológicas, por medio del método de las falsas isolíneas o pseudolíneas, las autoras elaboraron sus mapas finales (figura 1.2.7). Con ello, Castañeda (2010) pudo identificar áreas naturales prioritarias de conservación para el desarrollo de la actividad turística, mientras que por su parte Lara (2010) logró determinar niveles de impacto ambiental asociado con la dinámica demográfica y económica. Ahora bien, para elaborar este tipo de cartografía fue necesario hacer algunas valoraciones, tal como se describen a continuación.

1.2.5. Nuevas aportaciones cartográficas

Para confeccionar estos mapas (figura 1.2.7) fue evidente que no existía ninguna referencia en cuanto la expresión espacial de la información que habían procesado las dos investigaciones; por lo cual, las autoras partieron de las consideraciones siguientes:

Mapa: *Áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico*

- El mapa debía mostrar aquellos lugares cuya biodiversidad pudiera aprovecharse para el desarrollo de la actividad turística.
- Los espacios naturales con aptitud turística debían abarcar localidades con niveles moderados de marginación para que pudieran integrarse de forma más adecuada a esta actividad económica.
- Que de forma preferente, las áreas naturales prioritarias de conservación no contarán ya con sitios turísticos, pues una meta secundaria era detectar nuevos destinos para el ocio y la recreación.
- Que los sitios detectados permitieran definir áreas de protección, de aprovechamiento y de recuperación, es decir, bases para futuras Áreas Naturales Protegidas.

Mapa: *Valoración ambiental a través de los niveles de asimilación económica*

- El mapa debía mostrar, si las hubiera, asociaciones entre los impactos ambientales y la dinámica demográfica y económica que se desarrolla en la entidad.
- La delimitación de las áreas impactadas tendría una expresión espacial más amplia de los cuadrantes con determinado nivel de afectación toda vez que la alteración de los ecosistemas no se restringe a los límites de las parcelas, minas, pozos de agua o asentamientos de población, sino que tiene un área de influencia mayor.
- A diferencia de un mapa de asimilación económica, en el de valoración ambiental, los niveles más bajos no corresponderían con zonas de pobreza o de marginación, sino con espacios donde los procesos demográficos y económicos fueran mínimos o no estuvieran presentes.

- Los núcleos urbanos y la infraestructura carretera constituirían los nodos de red que evidenciarían los diferentes niveles de aprovechamiento de los recursos naturales de la zona de estudio.

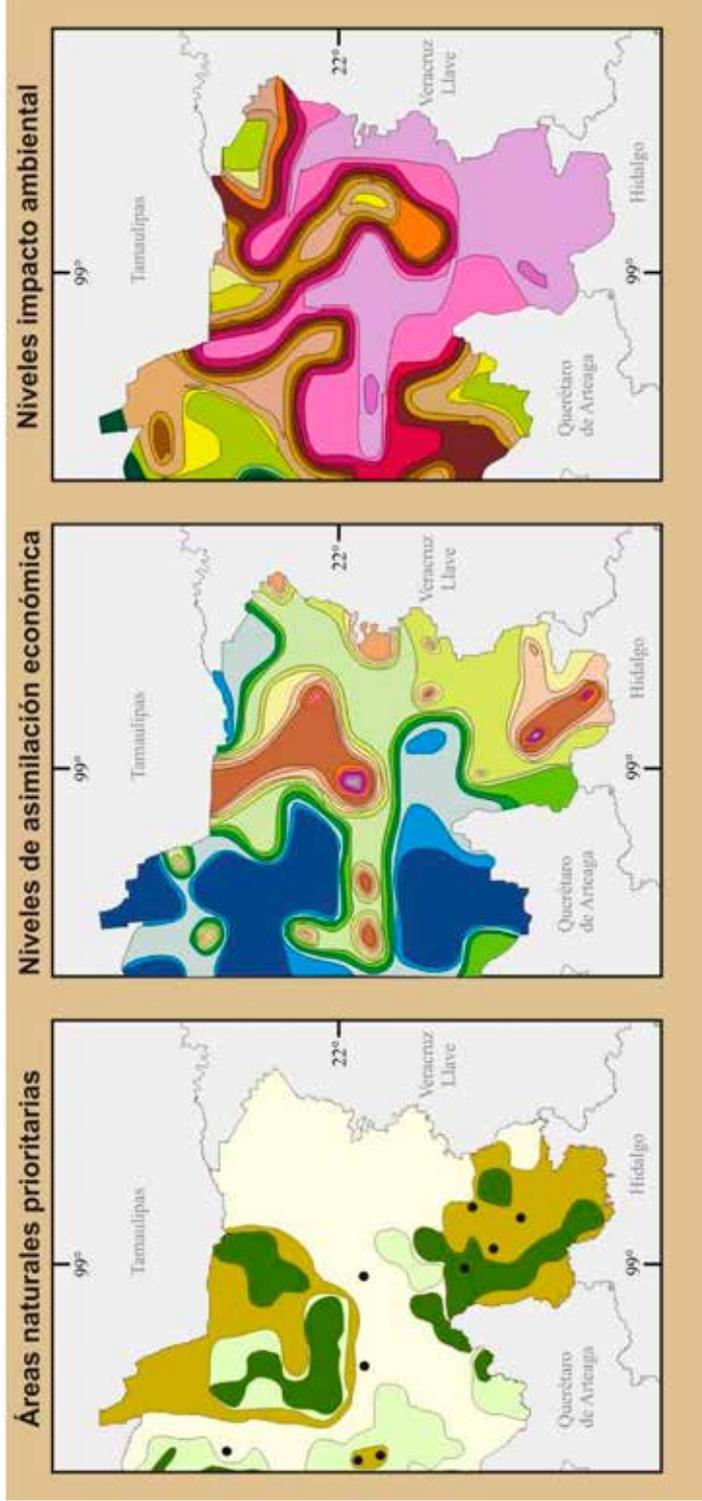
De esta manera, los mapas resultantes aportaron información significativa para la toma de decisiones en cuanto a la conservación y aprovechamiento de la base natural del estado de San Luis Potosí. Además, ante la propia naturaleza de los métodos cartográficos empleados, se obtuvieron imágenes sintéticas y dinámicas de los procesos analizados (figura 1.2.7).

En relación con lo anterior, la figura 1.2.7 contiene tres mapas, el de en medio muestra los niveles de asimilación económica del estado de San Luis Potosí, mientras que los de los extremos representan los temas examinados en las páginas anteriores. Al buscar elementos afines, entre ellos, resaltan dos particularidades:

A. Las Áreas Naturales Prioritarias de Conservación (de color verde), situadas al noroeste del primer mapa, llegan a coincidir con los territorios de menores niveles de asimilación económica (de tonos azules) del segundo mapa.

B. Por su parte, el tercer mapa evidencia que los recursos naturales de la Huasteca Potosina denotan altos niveles de disturbio (de colores rosas a violetas) en función de la intensidad de la apropiación del territorio (tonos café y violeta) que ejemplifica el segundo mapa.

Figura 1.2.7. Cartografía relativa con la evaluación ambiental del territorio



Fuente: elaborados con base en Castañeda (2010) y Lara (2010).

Un análisis más profundo de estas y otras singularidades facilitó a las autoras demostrar que la metodología de la asimilación económica del territorio, con los ajustes adecuados, posibilita incursionar en temas complementarios que enriquecen los postulados de esta teoría.

1.2.6. Conclusiones

La intención del presente documento fue demostrar que la Geografía cuenta con planteamientos teóricos y procedimientos metodológicos que permiten conocer las condiciones ambientales de un territorio determinado. En este contexto, la asimilación económica del territorio representa una alternativa de aproximación para determinar cómo pueden aprovecharse de forma sustentable los elementos de la naturaleza; de igual forma, para valorar el impacto que tienen en los recursos naturales la población y las actividades que desarrolla para apropiárselos.

Además, el desarrollo de este trabajo permite que la metodología utilizada en los trabajos que sirvieron como sustento pueda emularse para otras investigaciones. De hecho, muestra que los procedimientos son flexibles en la medida de un tratamiento adecuado de la información, datos que puedan representarse cartográficamente que es la parte sustancial de la Geografía.

Por último, los alcances de los postulados teóricos y procedimientos metodológicos de la asimilación económica del territorio aún guardan un potencial importante que debe ser aprovechado para fortalecer la interpretación de los procesos naturales y humanos que acontecen sobre la faz de la Tierra.

1.2.7 Bibliografía

- Castañeda, X. (2010). *Determinación de áreas naturales prioritarias de conservación con potencial turístico en el estado de San Luis Potosí: una propuesta de sustentabilidad*. Tesis para optar por el grado de Licenciatura, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades, San Luis Potosí, México.
- Conapo y Comisión Nacional del Agua (1993). *Indicadores socioeconómicos e índice de marginación municipal 1990*, México. Consejo Nacional de Población.
- Delgado, A. (2010). *Niveles de asimilación económica en el estado de Michoacán*. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Galindo, C. (2000). *Niveles de asimilación económica del estado de Jalisco*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- García de Fuentes, A. (1993). “Asimilación económica del territorio (un nuevo enfoque en la interpretación regional del país)” Investigaciones Geográficas, Boletín núm. 27. Instituto de Geografía, UNAM, México, pp 69-94.
- García-Amaral, M. (2001). *Niveles de asimilación económica y estructura urbana de Chihuahua*. Tesis para optar por el grado de Doctorado en Geografía, Posgrado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- García-Castro, N. (2004). *Niveles de asimilación económica del estado de Querétaro*. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- García-Castro, N. (2011). *Los grados de asimilación económica del estado de Guerrero, a fines del siglo XX*. Tesis para optar por el grado de Doctorado en Geografía. Posgrado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

- Gómez, M. (2004). *Métodos y Técnicas de la Cartografía Temática. Temas Selectos de Geografía de México*. México: Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México. Distrito Federal.
- Hernández, R. (2007). *Niveles de asimilación económica del estado de México*. Tesis de Licenciatura en Geografía. México: Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- IG-UNAM (1992). *Atlas Nacional de México*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 160 cartas.
- IG-UNAM (2007). *Nuevo Atlas Nacional de México*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 360 mapas.
- INEGI, (2012). II Censo de Población y Vivienda 2005 en Censos y Conteos de Población y Vivienda. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx>
- Juárez, M. (1999). *La asimilación económica del territorio costero de México*. Tesis de Doctorado en Geografía. México: Posgrado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Lara, P. (2010). *Valoración ambiental del estado de San Luis Potosí a través de sus niveles de asimilación económica*. Tesis para optar por el grado de Licenciatura, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Coordinación de Ciencias Sociales y Humanidades.
- Leno, F. (1993). *La evaluación de los recursos turísticos. El caso del Canal de Castilla. Tomo II*. Facultad de Geografía e Historia. Departamento de Geografía Humana. España: Editorial de la Universidad Complutense de Madrid.
- López, D. (1999). *La ordenación y planificación integrada de los recursos territoriales turísticos: estudio práctico de un espacio de "desarrollo turístico incipiente" el Alto Palancia (Castellón)*. España: Publicaciones de la Universidad Jaume I. Castellón Valencia.
- Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A., Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman: caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8 (2), abril-junio, Instituto Superior de Ciencias Médicas de La Habana, Cuba.

- Mendoza, S. (2001). *Niveles de asimilación económica del estado de Oaxaca*. Tesis de Licenciatura en Geografía. México: Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Nieto, L. (1999). La huella ecológica, publicado en Pulso, diario de San Luis, sección Ideas, pág. 4 del jueves 25 de marzo de 1999, San Luis Potosí, México. Disponible en: <http://ambiental.uaslp.mx/docs/LMNC-AP990325.pdf>.
- Noyola, M., Ramos, J., Domínguez, E., Pineda, L., López, H., Carbajal, N. (2009). Factores que dan origen al minado de acuíferos en ambientes áridos: Caso Valle de san Luis Potosí, *Revista Mexicana de Geológica*, 2 (2) México, pp. 395-410.
- Privalovskaya, E. (1982), Regionalización del territorio de la URSS como método de la interacción entre la economía y el medio, en *Perfeccionamiento del uso de la naturaleza*, ed. CAME, traducción Instituto de Geografía de la Academia y de Ciencias en Cuba, La Habana, Cuba.
- Propin, E. y Sánchez, A. (1997). Los tipos de asimilación económica del territorio mexicano entre 1930 y 1990. *Revista Geográfica* 123. México: Instituto Panamericano de Geografía e Historia. pp. 29-47.
- Propin, E. y Sánchez, A. (1998). Niveles de asimilación económica del estado de Guerrero. México: *Investigaciones Geográficas*, Boletín (37). Instituto de Geografía, UNAM. pp 59-70.
- Ramírez, M., Jiménez, M. y Martínez, A. (2005). *Estructura y densidad de la red de caminos en la reserva de la biosfera mariposa monarca*. México: Investigaciones Geográficas, (57), Universidad Nacional Autónoma de México *Distrito Federal*, pp. 68- 80.
- Reyes, O. (1997). *Los niveles de asimilación económica en el estado de Puebla*. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Reyes, O. (2000). *Los cambios en los tipos de asimilación económica del estado de Puebla*. Tesis para optar por el grado de Maestría en Geografía. Posgrado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

- Reyes, O. (2006). *La evaluación de las condiciones naturales para el desarrollo sustentable de la actividad turística en el estado de Oaxaca*. Tesis para optar por el grado de Doctorado en Geografía. Posgrado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Reyes, O., Vázquez, V., Reyes, H., Nicolás, M. y Rivera, J. (2012). Potencial turístico de la región Huasteca del estado de San Luis Potosí, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, XII, (38). El Colegio Mexiquense. pp. 249-275.
- Reyes, O. y Sánchez, A. (2006). Metodología para determinar el potencial de los recursos turísticos naturales en el estado de Oaxaca, México. *Cuadernos de Turismo*, n° 16. Universidad de Murcia, España. pp. 153-173.
- Sánchez, A. y Propin, E. (1999). Valoración medioambiental de los niveles de asimilación de la Riviera Mexicana: homogeneidad geográfica y heterogeneidad económica. *Observatorio Medioambiental*, (2), Universidad Complutense Madrid, España, pp 295-309.
- Sánchez, A. y Reyes, O. (2003). Los niveles de asimilación económica del estado de Michoacán. *Atlas de Michoacán*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Sánchez, A., Propin, E. y Reyes, O. (1999). Los niveles de asimilación económica del estado de Coahuila al termino del siglo XX. México: *Investigaciones Geográficas*, (39). Instituto de Geografía, UNAM. pp 159-167.
- SIAP(2012). Producción agrícola en Sistema de Información Agroalimentario y pesquero. Disponible en: http://www.campomexicano.gob.mx/portal_sispro/index.php?portal=tiempofertil
- UNAM (2013). TESIUNAM en Tesis del Sistema Bibliotecario de la UNAM. Disponible en: http://132.248.67.65:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=TES01

1.3. EDUCACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA SUSTENTABILIDAD: GUÍA DE APRENDIZAJE PARA EL DESARROLLO DE LA HABILIDAD DE ACTUACIÓN EN EL ENTORNO RURAL⁶

Dr. Fabián Araya Palacios⁷
Mg. Sandra Álvarez Barahona⁸
Programa de Educación Geográfica
Universidad de La Serena, Chile.

1.3.1. Introducción

En este mismo sentido, los docentes, agentes claves del proceso, consideran que enseñar a pensar a sus estudiantes es fundamental, no solo para que adquieran conocimientos, sino también para comprenderlos y valorarlos. De esta manera, los estudiantes podrán encontrar pertinencia a los contenidos curriculares en su quehacer cotidiano (Carretero, 1997; Rodríguez, 2007).

En este mismo sentido, los docentes, agentes claves del proceso, consideran que enseñar a pensar a sus estudiantes es fundamental, no solo para que adquieran conocimientos, sino también para comprenderlos y valorarlos. De esta manera, los estudiantes podrán encontrar pertinencia a los contenidos curriculares en su quehacer cotidiano (Carretero, 1997; Rodríguez, 2007).

Pese a la alta significación que docentes y estudiantes le otorgan al desarrollo de habilidades de nivel superior, resulta conveniente señalar que aún no son muy evidentes los resultados deseados, puesto que los alumnos no siempre demuestran niveles complejos de pensamiento, especialmente en determinadas tareas en que deben desarrollar ciertas conductas, por ejemplo resolver problemas, analizar, sintetizar, interpretar, valorar, entre

6 Este trabajo corresponde a una parte de los resultados del proyecto Fondecyt de Iniciación N° 11110068, desarrollado entre 2012 y 2013 en la Universidad de La Serena.

7 Dr. Fabián Araya Palacios, Chile, faraya@userena.cl

8 Mg. Sandra Álvarez Barahona, Chile, salvarez@userena.cl

otras. Sin duda, enseñar las habilidades cognitivas se convierte en una tarea difícil de ejecutar, ya que requiere de un proceso largo y a la vez complejo de formación en el que deben participar tanto la escuela, la familia (inherentes a todo proceso educativo) como la comunidad educativa en su conjunto. También, se requiere que el docente, como agente activo de la educación, evidencie categorías de pensamiento de nivel superior que le permitan transferir adecuadamente los conocimientos a sus estudiantes (Liceras, 1997; Amestoy de Sánchez, 2002).

En relación con lo anterior, J. Beas, M. Manterola y J. Santa Cruz (1998) señalan que:

el profesor debe estar capacitado para exhibir, frente a sus alumnos, hábitos de pensamiento de buena calidad. La experiencia en capacitación de profesores señala que el mejoramiento del pensamiento del profesor requiere tiempo y esfuerzo, más aún cuando, además de relevar la calidad del propio pensamiento, el profesor enfrenta la responsabilidad de darle un tratamiento pedagógico a la enseñanza de destrezas intelectuales. En otras palabras, además de ser un modelo, debe aprender métodos y estrategias para desarrollar habilidades cognitivas en sus alumnos. (p. 184).

En este sentido, el profesor requiere contar, a su vez, con estrategias efectivas para el diseño y la planificación de la enseñanza que le otorguen una mirada transversal del currículum y que posibilite no perder de vista los objetivos referidos a contenidos y habilidades cognitivas. De esta manera, resulta necesario que cada uno de los campos disciplinarios contribuya conceptual y didácticamente al desarrollo, cada vez más temprano, de habilidades de orden superior para generar en los estudiantes un conocimiento y comprensión real y significativa de su entorno.

En esta línea de acción se encuentran actualmente las Ciencias Sociales, disciplinas que han considerado resignificar el rol que ejerce cada una de ellas en relación con el desarrollo de habilidades de orden superior, además de contribuir a una comprensión integrada del espacio cercano y a una valoración del entorno geográfico cotidiano de los estudiantes. Desde

esta perspectiva, es necesario adjudicarle un especial énfasis a la Geografía, ciencia capaz de vincular estrechamente al ser humano con el espacio natural y cultural.

Al realizar un análisis más detallado acerca del rol que ejerce la Geografía en el desarrollo de estas habilidades, se torna necesario destacar la existencia de una serie de estrategias y modelos que tienden actualmente a la operacionalización efectiva de dicho proceso. Un ejemplo de ello, lo constituye el Modelo conceptual-metodológico para la enseñanza-aprendizaje del desarrollo rural sustentable, desde la perspectiva geográfica (Araya, F., 2005). Este modelo surge como respuesta a la necesidad de apoyar el desarrollo de habilidades cognitivas y comportamientos sustentables por parte de los estudiantes que viven en el ámbito rural. En el presente trabajo, siguiendo el modelo anteriormente citado, se asume el concepto de Desarrollo Sustentable derivado del informe Brundtland, debido a que implica una visión amplia del desarrollo (más allá de lo meramente económico) y comprende también una ética intergeneracional de cuidado de los recursos actuales para comprometerse con el legado a las generaciones futuras.⁹

El modelo en referencia sirvió de base para la formulación de un Proyecto Fondecyt, el que tuvo como propósito determinar los efectos en la modificación de las habilidades cognitivas y comportamientos de los estudiantes de educación media hacia el entorno geográfico rural, producidos por la aplicación de un modelo conceptual-metodológico para la enseñanza-aprendizaje del desarrollo rural sustentable. Según Araya (2011)

el Modelo presenta dos niveles. El primero de ellos (Nivel I) corresponde a las fases analíticas y comprende las dimensiones del espacio geográfico con las cuales, según lo planteado por Bailey (1983), el alumno se encuentra vinculado desde sus primeros años de vida. El segundo nivel (Nivel II) corresponde a las fases integradas del modelo.

9 Para más información sobre el Informe Brundtlande revisar: <http://www.un.org/depts/dhl/spanish/resguids/specenvsp.htm> (última visita: 2 de Enero de 2014).

A través de ellas, se pretende que los alumnos y alumnas desarrollen gradualmente sus capacidades para relacionarse de manera sistémica con el entorno rural. (p. 10).¹⁰

La operacionalización del proyecto Fondecyt se sustentó en la elaboración y la aplicación de guías de aprendizaje, diseñadas para desarrollar cada una de las habilidades cognitivas del modelo conceptual-metodológico desde una perspectiva constructivista y de acuerdo con las ideas de flexibilidad y pertinencia pedagógica. De este modo, es necesario destacar el interés que este tipo de recursos y métodos didácticos despierta en docentes, alumnos e investigadores a la hora de precisar y potenciar el desarrollo de diversas habilidades cognitivas.

Este trabajo tiene como propósito compartir con docentes, maestros y estudiantes una de las guías de aprendizaje elaboradas para el desarrollo de las habilidades cognitivas en educación geográfica, utilizadas en el contexto de la aplicación del proyecto Fondecyt anteriormente citado. En esta oportunidad, se presenta la guía de aprendizaje N° 4, dedicada a la habilidad de actuación en el espacio geográfico. Esta habilidad pretende que los estudiantes establezcan compromisos autónomos para el cuidado del ambiente y desarrollen comportamientos acordes con el respeto y la valoración de su entorno geográfico cotidiano.

Este material educativo se configura como un valioso recurso de apoyo a la enseñanza de habilidades complejas en el ámbito geográfico. La guía de aprendizaje se presenta tal como fue diseñada y aplicada con alumnos de primer año medio (14 años de edad como promedio) del Liceo Eduardo Frei Montalva de la Comuna de Monte Patria, Región de Coquimbo, Chile. En la sección de conclusiones se presentan algunas referencias a los resultados obtenidos después de la aplicación de la

10 La cita corresponde a un extracto del marco teórico del proyecto titulado: "Contextualización y aplicación de un modelo conceptual-metodológico para la enseñanza-aprendizaje del desarrollo rural sustentable, desde la perspectiva geográfica". Proyecto Fondecyt de iniciación 2011, N° 11110068 (sin publicar).

guía. Se deja constancia de que solo se esbozan aspectos generales de los resultados, pues el análisis pormenorizado no corresponde a los propósitos del presente artículo.

Se espera que este trabajo contribuya a enriquecer, a través de la ejemplificación de una guía de aprendizaje tendiente al desarrollo del pensamiento espacial de los estudiantes, el proceso pedagógico de aula en la asignatura de Historia, Geografía y Ciencias Sociales. De igual forma, se pretende que la guía de aprendizaje pueda ser de utilidad a docentes de otros subsectores de aprendizaje. Para ello, es necesario realizar las adecuaciones curriculares correspondientes y considerar los contextos, las necesidades y las aspiraciones de los diversos centros educativos que la deseen utilizar.

1.3.2. Características del área de estudio

El Valle del Limarí se ubica en la Región de Coquimbo, Chile (ver figura1). Esta región corresponde a una de las 15 regiones que tiene el país y se ubica en la zona del norte semiárido. Se caracteriza por la intersección de dos grandes cordones montañosos: La Cordillera de los Andes y la Cordillera de La Costa, lo que conforma la presencia de valles fluviales transversales. Es un área de transición entre un clima desértico y semidesértico, por lo que sus rasgos son muy diversos de norte a sur y de cordillera a costa.

La región está dividida en tres provincias, que se asocian a los valles y ríos principales, una de ellas es la provincia del Limarí, la que a su vez está constituida por cinco comunas, dentro de las cuales se cuenta la comuna de Monte Patria, lugar donde se encuentra la ciudad del mismo nombre, que alberga al Liceo Eduardo Frei Montalva.

El Valle del Limarí es una zona con un clima de estepa cálida, donde las precipitaciones son escasas e irregulares, con recurrentes periodos de sequía, lo que ocasiona consecuencias catastróficas para el desarrollo de la agricultura, una de las principales actividades económicas del lugar.

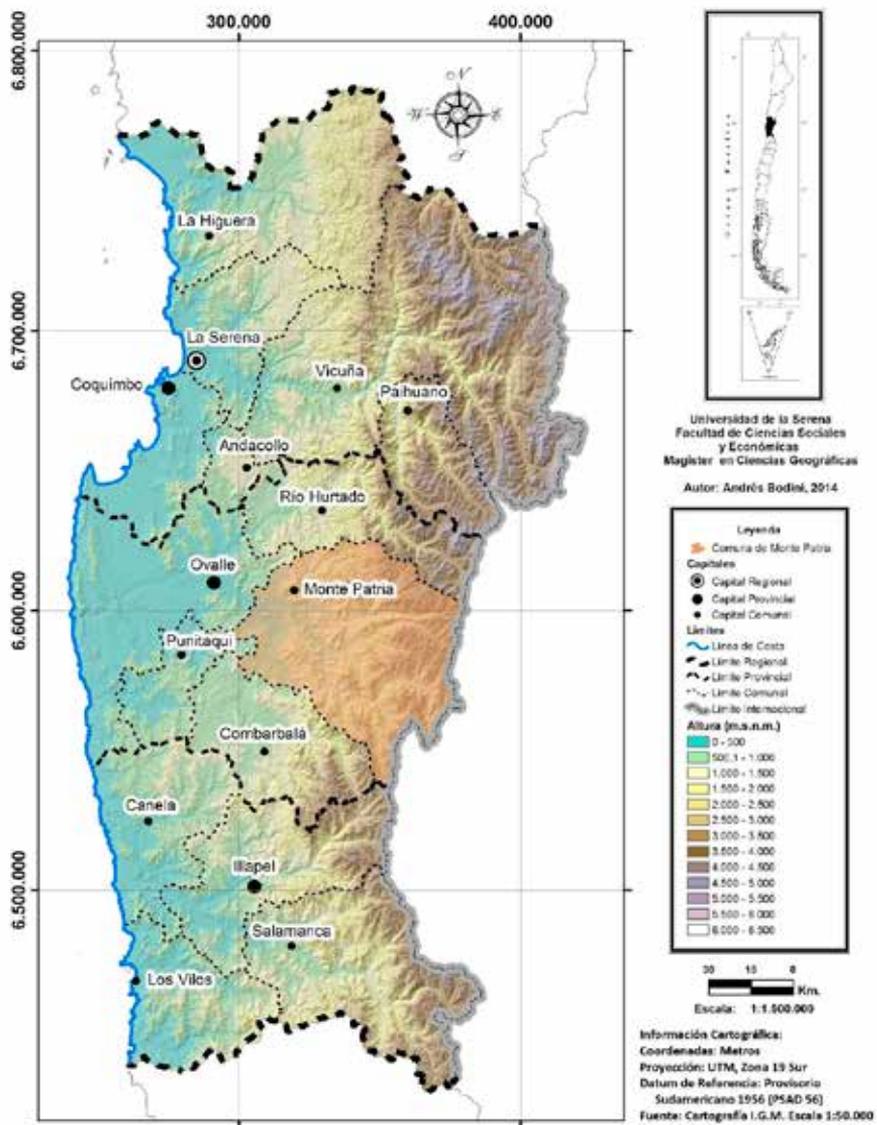
La temperatura promedio de 18°C, unida a la existencia de importantes embalses como La Paloma, Recoleta y Cogotí, permiten el desarrollo de una agricultura basada fundamentalmente en el cultivo de uvas. Pese a la escasa cubierta vegetacional, la agricultura es complementada con ganadería caprina, la que es desarrollada por comunidades agrícolas, una peculiar forma de relación entre el hombre y el espacio. En este contexto, se desarrollan todos los años veranadas e internadas, lo que aparece como un rasgo no solo económico, sino también cultural, forjando una identidad desde tiempos coloniales.

En la región de Coquimbo (ver figura 1.1.1) se reconocen diversas identidades, vinculadas a los recursos disponibles, así como a las cuencas existentes. De esta forma, es posible identificar identidades urbana, rural, costera, minera y criancera. En este sentido, los alumnos que forman parte de esta investigación y sus familias se caracterizan principalmente por una identidad rural, que está en permanente cambio debido a los procesos migratorios y la incorporación de características urbanas y también por una identidad criancera, la más tradicional de la región y asociada a las comunidades agrícolas.

La Región de Coquimbo se ha visto afectada desde el año 1982 por un proceso creciente de modernización agrícola que ha ocasionado una transformación profunda del paisaje geográfico. Los antiguos huertos familiares y el cultivo de primores (tomates, pimentón, etc.) han dado paso al cultivo de uva de exportación, controlada en su mayoría por grandes empresas multinacionales. Estas empresas han introducido innovaciones técnicas relacionadas con el uso del agua, la tecnificación de los procesos agrícolas y el sistema de fumigación y cosecha, lo cual ha incidido en el uso de productos químicos en la agricultura. En este contexto, los habitantes de la comuna de Monte Patria, especialmente los jóvenes, han modificado sus estilos de vida y sus expectativas. Durante el verano, se dedican a la producción de la uva de mesa, abandonando la atención hacia el estudio y su proyección académica futura.

Estas singularidades permiten un acercamiento a la comprensión de las cualidades de los grupos investigados en relación con el espacio

Figura 1.3.1: Mapa Político Regional de Chile y Región de Coquimbo.



Fuente: elaborados con base en Castañeda (2010) y Lara (2010).

en que habitan. Los alumnos viven en un entorno conformado por valles transversales, con padres que son principalmente pequeños agricultores y crianceros, por lo que un gran número comienza a trabajar desde muy jóvenes como temporeros en las labores de cosecha de uva. La concentración de la tierra por empresas multinacionales ha ocasionado una gran presión sobre el recurso agua y el acceso a las napas subterráneas de este recurso. Ello ha originado un conflicto entre los pequeños agricultores y los dueños de grandes propiedades que continúan el proceso de concentración de la producción agrícola.

Tanto el cultivo de uva como de palta (aguacate) y de otros productos, se han concentrado en manos de estancieros y dueños también de las acciones de agua correspondientes. Ello ha significado un proceso de transformación desde las tradicionales formas de cultivo, hacia modalidades tecnológicas propias del neoliberalismo avanzado, dependiente de los mercados internacionales y de las formas de producción e intercambio basadas en la demanda de productos desde mercados lejanos, en el contexto de una economía globalizada, competitiva y ajena a las identidades territoriales locales.

1.3.3. Materiales y métodos

La estructura que presenta cada una de las guías de aprendizaje se sustenta teóricamente en la secuencia didáctica de una clase de 90 minutos. Se expresa en los tres momentos claves de ésta: inicio, desarrollo y cierre. El propósito central consiste en que en cada una de ellas se apoye intencionalmente el desarrollo de las diversas habilidades cognitivas declaradas en el modelo conceptual-metodológico para el desarrollo rural sustentable.

En lo conceptual y didáctico, las guías de aprendizaje se sustentan en las ideas previas de los estudiantes. Ello permite aprovechar al máximo el conocimiento que tienen los estudiantes sobre su propia cultura, el territorio, el entorno cercano y las problemáticas ambientales más relevantes. Por ello, las actividades de las guías se caracterizan por ubicar y

contextualizar al estudiante en su entorno más cercano, tales como pueblo, comuna, provincia o región. Por lo tanto, se pretende que los estudiantes avancen, intencionadamente y de manera gradual, hacia comportamientos y actitudes sustentables en el espacio geográfico rural.

Cada guía de aprendizaje está diseñada para ser aplicada en una sesión de clase (90 minutos) y presenta al comienzo los aspectos formales y curriculares por considerar para su implementación: unidad, objetivos, aprendizajes esperados, habilidades y temas. Se destaca un título sugerente, motivador, pertinente y concordante con las habilidades y contenidos por trabajar en cada una de ellas.

Las guías de aprendizaje proporcionan al estudiante la oportunidad de hacer una lectura previa y general de esta, a través de un mapa de ruta de la guía, el que destaca sus momentos claves en función al desarrollo de las habilidades declaradas. Esto permite al estudiante conceptualizar, de mejor manera, las temáticas a desarrollar a lo largo de la guía. Además, es necesario destacar que cada guía de aprendizaje pretende desarrollar una habilidad cognitiva específica y sus correspondientes subhabilidades. Por ejemplo, la Guía de Aprendizaje N° 1 trabaja la habilidad de *Observación*, la N° 2 la habilidad de *Análisis*, la N° 3 la habilidad de *Comprensión* y finalmente la N° 4 (la cual se presenta en esta oportunidad) desarrolla la habilidad de *Actuación*. En esta última se considera como actividad relevante, una salida a terreno a sectores rurales aledaños a la localidad de Monte Patria, oportunidad en que los estudiantes aplican conocimientos geográficos adquiridos en las guías anteriores.

En relación con las etapas de las guías de aprendizaje, es necesario señalar que en la etapa de inicio se prepara y se sitúa al estudiante para las diversas tareas de aprendizaje con las que se enfrentará a lo largo de toda la guía. Ello tiene una duración aproximada de 20 minutos. Por lo mismo, corresponde situar en esta etapa un elemento importante presentado al estudiante, relacionado con la metodología indagatoria, centrada específicamente en recoger una respuesta ante una hipótesis (o pregunta) previa relacionada con los contenidos de cada guía de aprendizaje. Dicha

respuesta, por parte del estudiante, deberá ser contrastada por este al finalizar el trabajo en cada una de las sesiones de clases. Cabe destacar que dicha etapa va precedida de una incentivación inicial, momento en la que se le entrega al estudiante algún elemento visual para apoyar la contextualización de los diversos contenidos que se trabajarán en la guía de aprendizaje.

En la etapa de desarrollo, de aproximadamente 50 minutos de duración, se presentan los conceptos y los contenidos que se profundizarán en la clase y que propiciarán determinadas habilidades cognitivas. Es necesario manifestar que la etapa de desarrollo es la más significativa de la guía, ya que permite lograr una óptima participación de los estudiantes mediante la realización de una serie de actividades en función de temáticas atinentes al modelo, tales como la dimensión ambiental, económica, político-administrativa y tecnológica. Se destaca, además, la utilización de diversos recursos visuales, gráficos y textuales de calidad, que permitirán al estudiante focalizarse de mejor manera en la resolución de las tareas propuestas. De esta manera, el estudiante podrá trabajar con láminas, mapas, glosarios, gráficos, tablas estadísticas, fotografías aéreas y digitales, entre otras.

En la etapa de cierre, de aproximadamente 20 minutos de duración, se entrega al estudiante la posibilidad de sistematizar los conocimientos adquiridos en las etapas anteriores al relacionar su aprendizaje con las respuestas ofrecidas a la hipótesis inicial. La idea central es que el alumno contraste su respuesta inicial basada solo en conocimientos previos, con una nueva o más fortalecida percepción sobre la situación expuesta, considerando ahora la posesión de nuevos conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la guía. Esto le permitirá tener un mejor conocimiento de su progresión y le dará mayor significación a su propio trabajo.

Finalmente, la guía de aprendizaje concluye con una actividad en la cual se le solicita al estudiante redactar una Bitácora Diaria, que facilite el recuerdo de lo aprendido y en la que el estudiante se referirá a la siguiente cuestión: *Lo que aprendí hoy es importante porque.....* Dicha actividad permitirá a estudiantes y docentes determinar la calidad de los aprendizajes, realimentar, corregir y reforzar. También, dará la oportunidad de verificar conductas referidas a la expresión oral y escrita de los propios estudiantes.

Se presenta, a continuación, la guía de aprendizaje N° 4.

Universidad de La Serena / Proyecto Fondecyt 1111068

Liceo Presidente Eduardo Frei Montalva

Sector Historia, Geografía y Ciencias Sociales

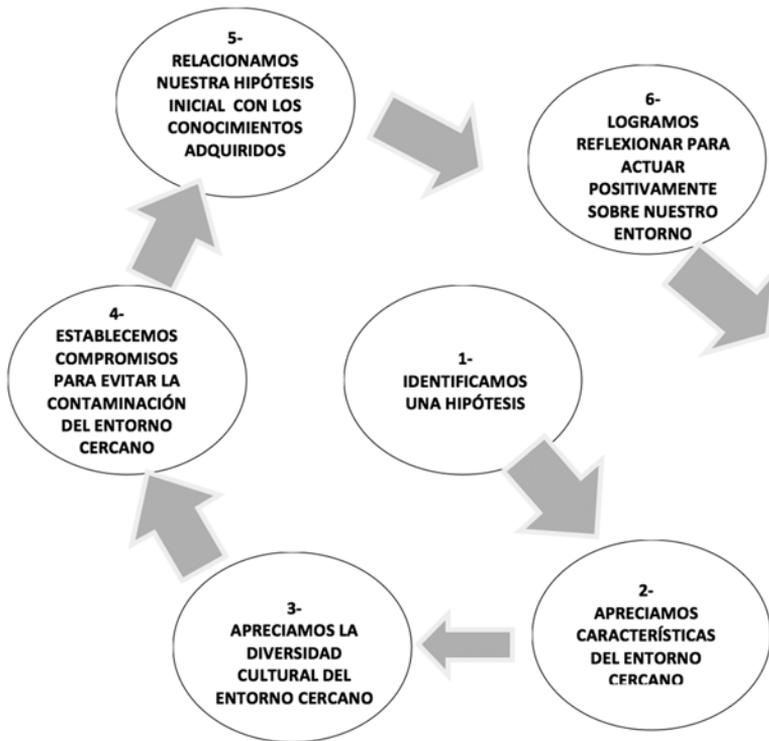
NM1

GUÍA DE APRENDIZAJE 4

ESTABLEZCO COMPROMISOS CON MI ENTORNO

- **Unidad de aprendizaje:** 3. La población mundial en la época de las grandes ciudades.
- **Objetivo Fundamental Transversal (OFT):** formación ética. Afianzar la capacidad para autorregular la conducta y autonomía actuando en concordancia con el principio del bien común.
- **Aprendizaje esperado:** investigar y exponer sobre los desafíos éticos, sociales y económicos que plantean las transformaciones demográficas considerando la contrastación e interpretación de diversas fuentes.
- **Habilidad:** actuación / apreciar efectos, establecer compromisos.
- **Temas:** organización social / cuidado medioambiental.
- **Temporalización:** 90 minutos.

MAPA DE RUTA DE LA GUÍA N° 4



Fuente: google.earth.com, (2016).

INCENTIVACIÓN

Intenta entregar una opinión sobre la siguiente cita. Comparte tus reflexiones con compañeros y docente.

“Primero fue necesario civilizar al hombre en su relación con el hombre. Ahora es necesario civilizar al hombre en su relación con la naturaleza”.

Victor Hugo

INICIO (20 minutos)

IDENTIFICAR/RELACIONAR

Para comenzar....

En función de tus conocimientos previos, trata de dar una respuesta a la siguiente hipótesis:

¿El deterioro del ambiente es el precio que debe pagarse por el crecimiento económico?

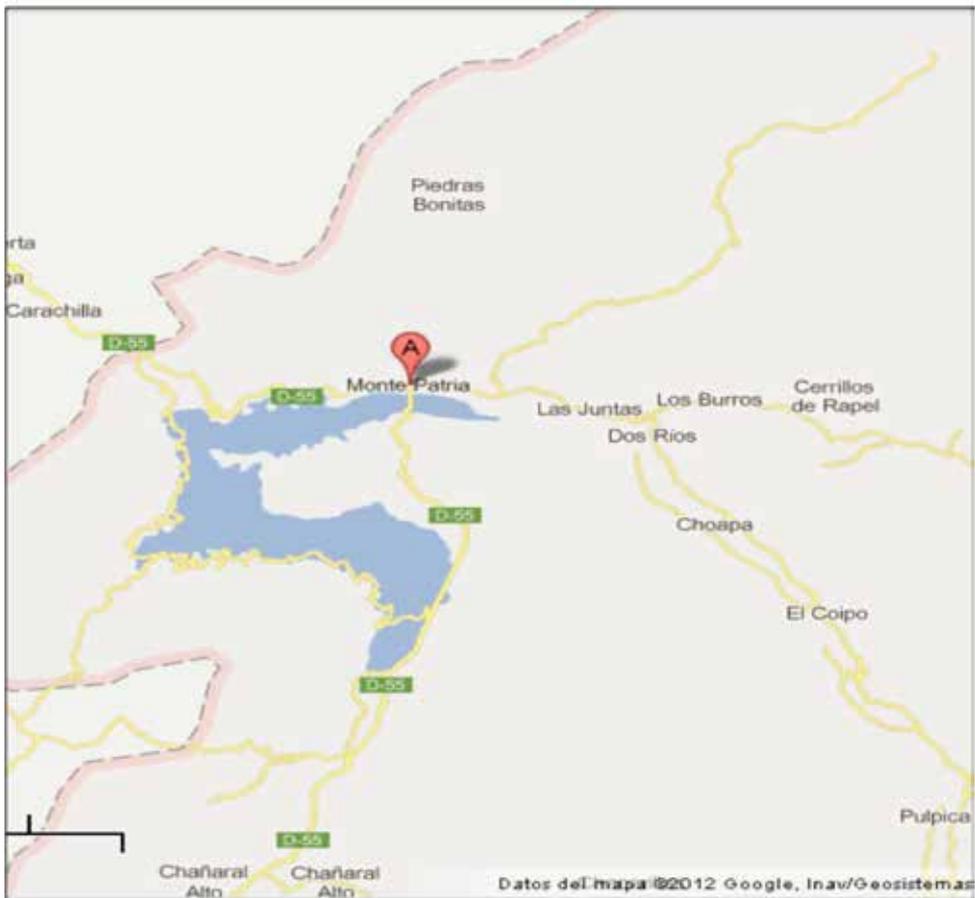
Al final de la sesión, deberás comprobarla en función de los conocimientos adquiridos en clases.

DESARROLLO (120 minutos)

ACTUACIÓN/ ESTABLECER COMPROMISOS

ACTIVIDADES SALIDA A TERRENO

Actividad N°1: apoyándose en el mapa de la Comuna de Monte Patria, que se presenta a continuación, indique el inicio del recorrido que realizará con sus compañeros. Señale con flechas la dirección a la que se dirige. A medida que avance en la salida, identifique los lugares visitados. Marque los puntos cardinales.



Fuente: google.earth.com, (2016).

Parada N°1

- Nombre de lugar: _____
- Localización geográfica: _____

- Tipo de ámbito: rural/ urbano: _____

Actividad N° 2:

Identifique los elementos del entorno natural y cultural que observe en el lugar. Para ello, complete el siguiente cuadro sinóptico. Luego, seleccione uno de ellos que a su juicio le otorgue más identidad y caracterice mejor el lugar visitado. Explique brevemente tu apreciación.

Elementos naturales	Elementos culturales
Elemento que da mayor identidad al lugar:	

Actividad N° 3:

Observe el lugar y describa la situación que presentan los siguientes elementos del entorno cultural:

1. caminos: _____

2. viviendas: _____

3. nivel socioeconómico de la población: _____

4. emplazamiento donde se ubican las construcciones: _____

5. servicios públicos: _____

6. tendido eléctrico: _____

7. áreas verdes: _____

Parada N° 2

Nombre del lugar: _____

Localización geográfica: _____

Tipo de ámbito: rural/ urbano: _____

Actividad N° 4:

A partir de tus observaciones, responde justificando adecuadamente tu respuesta:

1. El lugar ¿se caracteriza por ser extendido (llanura, planicie, cuenca hidrográfica) o de altura (sector cordillerano; meseta, entre otros)?

2. ¿Qué actividad económica ocupa una menor cantidad de suelo?

3. ¿Qué actividad económica se encuentra presente mayoritariamente?

Actividad N° 5:

En relación con lo observado en el lugar, además de sus conocimientos previos, señale una ventaja y una desventaja que presenta el lugar para la vida de las personas. Luego, proponga una medida para solucionar o mejorar la desventaja señalada.

VENTAJA	DESVENTAJA
Propuesta para mejorar la desventaja señalada:	

ENTREVISTA A UN LUGAREÑO

Nombre: _____

Edad: _____

Residente del lugar o visitante: _____

Cantidad de años de vivir en el lugar: _____

Preguntas:

1. ¿Cuáles son los problemas más graves en su comunidad?

2. ¿Qué sugiere para resolverlo?

Otras preguntas:

Actividad N° 6:

Realice una pequeña entrevista a una persona del lugar con el propósito de recopilar información sobre la percepción que tiene aquella persona sobre la vida en el lugar. Puedes realizar dicha actividad con tu grupo de trabajo.

TÉRMINO SALIDA A TERRENO

DESARROLLO 50 minutos

Lectura:

“En un lenguaje corriente, el concepto de comunidad se utiliza para referirse a cualquier tipo de agrupación social existente, tal como puede ser un pequeño grupo de población, una región, provincia o comuna delimitada administrativamente dentro de un territorio, un barrio o sector de una ciudad, un sector marginal en la periferia de la ciudad, etc.

La comunidad cualquiera sea su tipo, es siempre una constelación compleja e interrelacionada de un sinnúmero de organizaciones y grupos sociales. Tales características dan a la comunidad una identidad peculiar. Pero además, dichas características pueden permitirle establecer nexos o mecanismos diversos de relación con otras comunidades, estableciendo una nutrida relación o intercambio que influye y muchas veces determina su particular proyecto de desarrollo futuro”

(Reyes, Ernesto, *et. al.* Historia y Ciencias Sociales. Texto del estudiante. Primero Medio. Segunda Edición. Edit. Mc Graw Hill, Santiago de Chile, 2003. Pág. 67).

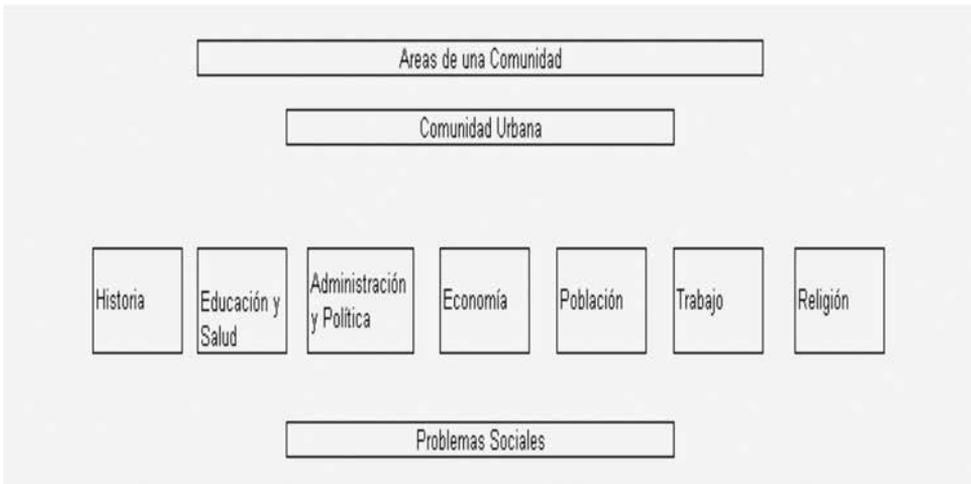
Glosario:

Diversidad cultural: la diversidad cultural se refiere a la convivencia e interacción entre distintas culturas.

Identidad cultural: se entiende por identidad a todos aquellos elementos que permiten identificarlos, caracterizarnos, mostrar que tenemos en común y que nos diferencia de otros pueblos.

Desarrollo sostenible: según la Comisión Mundial sobre ambiente y desarrollo, se define el concepto como el desarrollo que asegura las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para enfrentarse a sus propias necesidades.

Contaminación ambiental: se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico), o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación.



Actividad N° 7

Analize e interprete el siguiente organizador gráfico y desarrolle las actividades que se presentan a continuación:

De acuerdo con los componentes de la comunidad presentados en el esquema anterior, identifique dos problemas sociales existentes en la Comuna de Monte Patria. Explique brevemente:

Lectura

Se debe entender como contaminación a la presencia de sustancias nuevas en el ambiente o al aumento de los componentes normales, los cuales resultan nocivos para la salud del hombre.

Como resultado de prácticas no adecuadas para el aprovechamiento de los recursos naturales y de un descontrolado crecimiento del sector industrial y de las ciudades, se ha producido el deterioro del medio ambiente en Chile, que impacta negativamente en la calidad de vida de los chilenos. Actualmente esto afecta el desarrollo y la productividad del país porque produce enfermedades en los chilenos que viven en un ambiente contaminado.

Al igual que en otros países, la degradación del medio ambiente en Chile ha ocurrido desde nuestra historia antigua. Sin embargo, en los últimos veinte años, la destrucción de los recursos ha crecido hasta niveles críticos.

Frente a estos problemas, las respuestas han sido variadas. Así, se han observado actitudes de mayor responsabilidad en los medios de comunicación de masas (radio, televisión, etc.), como también una mayor participación de las instituciones dedicadas a la investigación sobre el medio ambiente (Codeff, universidades, etc.). Además, se han creado organizaciones gubernamentales (Conama, Conaf, Sesma, etc.) y no gubernamentales (ecologistas, Greenpeace Chile, etc.) que elaboran propuestas ambientalistas, buscando los medios técnicos y económicos que ayuden a las políticas de conservación y preservación del ambiente.

Sin embargo, a pesar de todas estas iniciativas, aún permanecen en nuestro país serios problemas de contaminación de diversa magnitud y desarrollo, que cada ciudadano debe comprender, con el fin de cooperar y apoyar leyes y políticas de conservación, en que sus acciones diarias deben ir en concordancia con dichos principios”

Fuente: HYPERLINK “<http://www.profesorenlinea.cl/ecologiaambiente/contaminacionChile.htm>” <http://www.profesorenlinea.cl/ecologiaambiente/contaminacionChile.htm> (Última visita: 2 de enero de 2014).

Actividad N° 8:

De acuerdo con la lectura anterior, señale cuáles tipos de contaminación se pueden apreciar en su localidad. Para ello, considere los siguientes patrones:

FENÓMENO	SE MANIFIESTA LA CONTAMINACIÓN SÍ/NO/ ¿CÓMO?
Expansión acelerada de la ciudad o pueblo	
Valor económico del suelo	
Problemas de acceso a la localidad	
Marginalidad urbana	
Aumento de medios de transporte	

Lectura

Actualmente, la sobreexplotación de los recursos y la contaminación ambiental alteran los ecosistemas, provocando una degradación que pone en peligro el equilibrio de las especies, incluyendo la humana. El modelo de la sociedad en que vivimos, caracterizada por un consumo excesivo, hace que se malgasten los recursos del planeta, aún aquellos que no son renovables. El 20% de la población mundial consume el 80% de los recursos del planeta, esto demuestra que los países más ricos consumen más de lo que necesitan, por lo que han surgido visiones que apuntan a que los países desarrollados deberían estabilizar su consumo de recursos para reducir los daños ocasionados al sistema medio ambiental.

Los problemas ambientales son globales y no tienen fronteras es por ello que el camino hacia las soluciones requiere del compromiso de todos los países. Ante tal escenario, la ONU (Organización de las Naciones Unidas) estableció en el punto 7, de sus 8 objetivos para el 2015, garantizar la sostenibilidad del medio ambiente; conjuntamente, los gobiernos del mundo han sido invitados a usar la década entre el 2005 y el 2014, para desarrollar estrategias nacionales y planes de acción con el fin de desarrollar una educación para el desarrollo sustentable.

En este sentido, nuestro país desarrolla, entre otras medidas, un programa de educación ambiental cuyo propósito central es formar una ciudadanía que desarrolle conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para una convivencia armónica entre los seres humanos, su cultura y su medio biofísico circundante. En este contexto, la web del Ministerio del Medio Ambiente ofrece una serie de propuestas para mejorar diversos problemas vinculados a la contaminación.

Fuente: apuntes de uso interno del curso de Metodología de la Enseñanza de La Geografía. Universidad de La Serena, (2012).

CIERRE (20 minutos)

Actividad N° 9:

Lea y reflexione sobre el texto anterior. Posteriormente, establezca compromisos personales para cumplir una acción positiva en la localidad en la cual vive, respecto del cuidado del ambiente. Escriba sus compromisos en la siguiente tabla de acuerdo con las categorías correspondientes.

Nombre de la localidad en la cual habita: _____

Reducir la contaminación	Reutilizar productos	Reciclar materiales	Rechazar acciones que dañan el entorno.

IDENTIFICAR/RELACIONAR

BITÁCORA

1.1.4. Resultados y conclusiones

El diseño de las guías estuvo orientado por la información proporcionada por un instrumento diagnóstico denominado pretest aplicado a alumnos de primer año medio del Liceo Eduardo Frei Montalva de la Comuna de Monte Patria, cuyos resultados fueron valiosos para identificar el nivel en que se encontraban los alumnos con respecto a sus conductas de entrada relacionadas con un comportamiento rural sustentable. Por ello, fue relevante considerar las habilidades cognitivas planteadas en el Modelo como orientación para elaborar los instrumentos. Entre habilidades destaca la observación, el análisis, la comprensión y la actuación. Cabe destacar que también fue considerado un segundo nivel de habilidades más específicas tales como identificar y describir los elementos geográficos; distinguir y clasificar elementos del entorno rural; relacionar e interpretar los elementos geográficos del entorno y, por último, apreciar y establecer comportamientos para el cuidado del medioambiente.

El proceso de elaboración de las guías se enriqueció a través de la información obtenida por los investigadores en sus permanentes visitas al Liceo de Monte Patria y mediante salidas a terreno en el entorno geográfico rural cercano al establecimiento educacional. Este conocimiento empírico del área de estudio resultó de gran relevancia debido a que constituyó el espacio geográfico a través del cual los estudiantes percibieron sus conocimientos previos y comportamientos sobre el entorno rural sustentable. Esta información sirvió de base para la formulación de variadas actividades propuestas en las guías, especialmente referidas a trabajos en terreno.

Una vez elaboradas las guías de aprendizaje (en una primera versión), fueron sometidas a un proceso de validación por parte de un grupo de estudiantes de primer año medio del Liceo Alberto Gallardo Lorca de Punitaqui, como también de una revisión por parte de destacados expertos en el área: el Dr. Xosé Manuel Souto de la Universidad de Valencia en España y la Dra. Edelmira González González de Chile. Ambos expertos entregaron valiosas orientaciones metodológicas y conceptuales para mejorar su diseño y contenidos.

La aplicación de las guías de aprendizaje se realizó durante los meses de agosto y septiembre del año 2012 y estuvo a cargo del equipo de profesores de historia, geografía y ciencias sociales del Liceo Eduardo Frei Montalva de Monte Patria, quienes, siguiendo las orientaciones y las adecuaciones curriculares, implementaron la propuesta en un Primer año de Educación Media durante un periodo de ocho sesiones de clases. Los docentes de aula dedicaron cuatro horas pedagógicas para cada una de las guías. Se consideró, además, una sesión de clases al comenzar la aplicación de la intervención en aula con la finalidad de aplicar el pretest y otra al finalizar para la aplicación del postest.

El trabajo ha presentado, de manera sucinta, los fundamentos y las características de una de las guías (N° 4) relacionada con la habilidad de actuación en el espacio geográfico. La aplicación de la guía N° 4 permitió relacionar estrategias didácticas y conceptos geográficos enfocados a la adquisición, por parte de los estudiantes de habilidades cognitivas importantes para el desenvolvimiento sustentable en el espacio geográfico. Al desarrollar la guía, los estudiantes lograron apreciar los efectos de la acción humana en el ambiente y establecer algunos compromisos para el cuidado del medio ambiente. La mayoría de los estudiantes enunciaron solo compromisos parciales y sin un mayor convencimiento con el rol social que les corresponde como ciudadanos geográficamente informados. Además, no plantearon un involucramiento autónomo y personal, sino, por el contrario, demandaron que otras personas realizarán las acciones necesarias para el cuidado del medio ambiente. Al parecer existe la visión, entre los alumnos, que ellos no son los responsables de mantener un comportamiento acorde con el respeto y sustentabilidad del entorno cercano.

El desarrollo de un comportamiento ambientalmente sustentable, no se logra con aprendizajes memorísticos orientados solamente al tratamiento de contenidos disciplinarios. Es necesario desarrollar, de manera intencionada, habilidades cognitivas específicas que permitan a los alumnos y alumnas avanzar, de manera gradual, hacia comportamientos y actitudes sustentables en el espacio geográfico rural. Las habilidades

cognitivas y comportamientos de los alumnos no son factibles de desarrollar en el corto plazo. Es necesario perseverar durante un largo período de tiempo para obtener resultados pertinentes y duraderos.

1.1.7. Bibliografía

- Amestoy, M. (2002). Research on the development and teaching of thinking skills. Recuperado de: <http://redie.ens.uabc.mx/index.php/redie/article/view/55/101>
- Araya, F. (2005). La Didáctica de la Geografía en el contexto de la década para la educación sustentable (2005-2014). *Revista de Geografía Norte Grande*, 34. Pontificia Universidad Católica de Chile, pp. 83-98.
- Araya, F. (2010). *Educación Geográfica para la sustentabilidad. Monografía de Investigación*. La Serena Chile: Editorial de la Universidad de La Serena.
- Araya, F. (2011). *Contextualización y aplicación de un modelo conceptual-metodológico para la enseñanza-aprendizaje del desarrollo rural sustentable*, desde la perspectiva geográfica. Proyecto Fondecyt de iniciación 2011, N° 11110068. Documento de circulación interna. Universidad de La Serena.
- Beas, J., Manterola, M. y Santa Cruz, J. (1998). Habilidades cognitivas y objetivos transversales: un tema para pensar y actuar. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 22. Pontificia Universidad Católica de Chile. P.
- Carretero, M., Pozo, I. y Asencio, M., (1997). *Problemas y perspectivas en la enseñanza de las Ciencias Sociales: Una Concepción cognitiva. La enseñanza de las Ciencias Sociales*, 2º Edición, Visor, Madrid. España.
- Cordero, S y Svarzman, J. (2007). *Hacer geografía en la escuela. Reflexiones y aportes para el trabajo en aula*. Buenos Aires: Ediciones Novedades educativas.
- Durán, D. (2008). El concepto de lugar en la enseñanza. Recuperado de: www.ecoportal.net/content/view/full/30984.

- Haubrich, H., Reinfried, S. y Schleicher, I. (2007). Declaración de Lucerna sobre educación geográfica para el desarrollo sostenible. Recuperado de: <http://geoperspectivas.blogspot.com/2008/03/educacin-geografica-para-el-desarrollo.html>.
- Herremans, I. (2002). Developing Awareness of the Sustainability Concept. *The Journal of Environmental Education*, 34 (1), 16-20.
- Liceras, Á. (1997). *Las dificultades en el aprendizaje de las ciencias sociales. Una perspectiva psicodidáctica*. Granada: Ediciones de la Universidad de Granada.
- Lidstone, J. y Williams, M. (2006). Geographical education in a changing world. Past experience, current trends and future challenges. *The GeoJournal Library*, 85. The Netherlands: Edit. Springer.
- Reyes, Ernesto, et. al. (2003). *Historia y Ciencias Sociales. Primero Medio*. Segunda Edición. Edit. Mc Graw Hill, Santiago de Chile: Mc Mraw- Hill.
- Rodríguez, L. (2007). *Una geografía escolar (in) visible. Desarrollo del pensamiento espacial desde la construcción de conceptos geográficos*. Santafé de Bogotá: Ediciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Stoltman, J. (2004). Scholarship and research in Geographical and environmental education. Geographical Education. Expanding horizons in a shrinking World. *SAGT Journal*, 33. Glasgow: Geographical Communications, pp.12-25.

II PARTE:

**MÉTODOS DE LA GEOGRAFÍA
APLICADOS A INVESTIGACIONES
AMBIENTALES:
CASOS DE ESTUDIO**

2.1. CONFIGURACIÓN MORFOESTRUCTURAL DEL PAISAJE DE LA CUENCA DEL RÍO TUXPAN: UN CASO LATINOAMERICANO

Dr. Carlos Arredondo León¹¹

Universidad Nacional Autónoma de México

2.1.1. Introducción

Una de las cuestiones centrales del ordenamiento territorial es, sin duda, la regionalización o delimitación ambiental; es decir, la caracterización del territorio mediante el establecimiento de unidades ambientales relativamente homogéneas en términos de su estructura y contenido. Esta fase es fundamental; de hecho, se considera el paso previo del ordenamiento para la evaluación de la aptitud del terreno, como para la zonificación de peligros y vulnerabilidad o para establecer la distribución geográfica de la biota (Bocco *et al.*, 2009). El criterio de partida para la delimitación ambiental puede llegar a ser diverso en cuanto a los objetivos planteados, sin embargo, cualquiera que este sea debe responder a una regionalización jerárquica y anidada a escala nacional, regional y local. El enfoque del Análisis Integrado de Paisaje, por ejemplo, parte del supuesto que la integración ecológica (regionalización mediante sistemas de paisajes) inicia con la recogida de información de los componentes y procesos de gran escala –*morfoestructura* y *clima*- y dinámicamente más estables.

El presente trabajo tiene como propósito conocer el arreglo morfoestructural cuenca del río Tuxpán. Se parte de que las macroestructuras¹² son los componentes más estables e independientes que definen el paisaje

11 Dr. Carlos Arredondo León, México, arredondo@humanidades.unam.mx

12 Otro conjunto de elementos inferior a las macroestructuras son la mesoestructuras, “complejo que cambia con relativa rapidez. En este nivel espacio-temporal de organización se incluyen todos los componentes del territorio que se manifiestan a escalas medias –mesoestructuras o componentes mesoestructurales–, dentro de los cuales se pueden distinguir dos grupos; a) el de los componentes abióticos –las aguas y el modelado del relieve– que son más estables y, b) los componentes biótico o menos estables y a la vez los más dependientes, y dinámicos –la vegetación, la fauna, los suelos y el antropismo” (García y Muñoz, 2002).

de la cuenca. Además, las morfoestructuras¹³ son el componente geocológico que define la estructura interna del paisaje y refiere a una homogeneidad relativa que resulta de una peculiar combinación entre la estructura geológica, contenido litológico y tectónico, así como de los principales rasgos morfológicos; por lo tanto, esta condición les confiere un grado de estabilidad e independencia. Llega a ser la estructura o almacén básico del territorio, sobre la cual se asientan y evolucionan los demás componentes que se manifiestan en el paisaje (García y Muñoz, 2002).

Entre los factores biofísicos, *el relieve ha sido señalado como un efectivo “attractor” o “precursor” of land-use change* (Bürgi *et al.*, 2004), al cual se le atribuyen innumerables formas de influencia sobre la dinámica del uso del suelo y la vegetación (Forman y Godron, 1986; China, 2002; Turner *et al.*, 2003; Burgos y Mas, 2004; García-Aguirre *et al.*, 2007).

Al ser la capa más externa de la Tierra, el relieve hace la vez de interfase funcional entre los potenciales y los limitantes geológicos y climáticos, de los cuales dependen los recursos bióticos y abióticos del sistema ambiental (Bertrand, 1968; Rzedowski, 1988). Por ejemplo, interviene en la disponibilidad de agua y suelo, la estabilidad del terreno y la accesibilidad, importantes indicadores de la productividad y de la transformación de los patrones y procesos del uso del suelo (China, 2002; Turner *et al.*, 2003; Bürgi *et al.*, 2004; Burgos y Mas, 2004; Durand y Lazos, 2004; García-Aguirre *et al.*, 2007).

En las últimas décadas, la geomorfología ha pasado de ser considerada como una ciencia pura y dedicada a describir y clasificar las formas del relieve –exclusivamente por su origen–, y al reconocimiento de las técnicas de investigación aplicadas en diferentes campos (Verstappen, 1983): cambios de uso y cubiertas del suelo, conservación de recursos naturales,

13 Morfoestructuras. De acuerdo con I.P. Gerasimov (1946; en Lugo, 2011), se trata de formas del relieve de los continentes o los fondos oceánicos, de dimensiones relativamente grandes, que deben su origen a factores principalmente geológicos (procesos endógenos); en tanto que la morfoescultura, como forma del relieve, es más pequeña, de tercer orden, que se origina por la influencia de factores exógenos, principalmente.

peligros naturales y prevención de desastres, diagnóstico, planeación y recuperación ambiental, atenuación y control de la erosión acelerada, aptitud de uso del suelo y planeación del crecimiento de las áreas urbanas (Burrough, 1986; Tapia y López Blanco, 2002; Aceves-Quesada *et al.*, 2006). En todos ellos se ha considerado el relieve como la unidad básica del análisis espacial y de los usos del suelo (Bocco *et al.*, 2001).

Es relevante destacar lo anterior porque los diferentes enfoques de la regionalización ambiental (fisiográfico, paisajístico, geopedológico, morfoedafológico, geomorfológico, entre otros) siguen, más menos, las mismas bases conceptuales en términos de la roca-suelo-vegetación (Mendoza y Bocco, 1997). Esto supone que los rasgos geológicos y geomorfológicos de un territorio constituyan el criterio de partida en la definición de unidades homogéneas de actuación (Echeverría, 1997); se otorga un papel protagónico en los aspectos geomorfológicos a la hora de la delimitación de unidades de paisaje (Echeverría, 1997; en Monné, 1997).

Los planteamientos modernos del análisis territorial que se apoyan en el estudio del paisaje (García y Muñoz, 2002) parten de la base conceptual de que el espacio geográfico es un ente discontinuo en términos de peso o significado dentro del complejo territorial; el paisaje es una síntesis del territorio; el contenido geoecológico resulta fundamental en el análisis y finalmente; los paisajes interiores de un territorio están relacionados de manera fundamental, lo que permite identificar entre ellos paisajes de distinto rango.

Uno de los componentes geoecológicos en la estructura del paisaje es el correspondiente al volumen o compartimento controlado por la tectónica o la estructura geológica que conforma los rasgos mayores del relieve y constituye la articulación básica del territorio, de gran impacto sobre los elementos bióticos en sitios donde el basamento está cercano a la superficie (Walker, 1999; en García y Muñoz, 2002).

2.1.2. Metodología

Como fase previa a la caracterización de la cuenca (regionalización ambiental) en sistemas de paisajes y paisajes elementales, este trabajo se apoya en el sistema de clasificación taxonómico-corológica de paisajes de Bertrand (1968), por lo que los sistemas de paisajes -equivalentes a los geosistemas del Análisis Integrado de Paisajes- se definen y delimitan a partir de una combinación de potencial abiótico, explotación biológica y acción antrópica. El aporte que ofrece el presente trabajo tiene que ver justamente con la definición tipológica y cartográfica de los componentes macroestructurales, entre ellos, las morfoestructuras-, es decir, aquellos componentes más independientes y estables del paisaje. Se parte de considerar que una morfoestructura es una entidad homogénea en cuanto a su origen geológico, litología aflorante, estilo de la tectónica y morfología. Por su grado de estabilidad e independencia, las morfoestructuras definen la estructura o armazón básico del territorio, en la cual se asientan y evolucionan los demás componentes que se manifiestan en el paisaje (García y Muñoz, 2002).

La delimitación de las morfoestructuras comprende tres fases: I) recopilación de información bibliográfica y cartográfica, II) interpretación, procesamiento y análisis en SIG y III) obtención de resultados. La primera fase incluye la revisión de trabajos y artículos de investigación relacionados con geología (Demant, 1982; INEGI, 1978; Quiñones, 1987; Lugo y Córdova, 1990; Garduño, 1987a), litología (Demant *et al.*, 1975; Silva, 1979, en Palacio, 1985; Garduño, 1987b), estratigrafía (Garduño, 1987b), estructura (Garduño, 1987b; Pradal y Robin, 1985) y tectónica regional y local del área de estudio (Lugo, 1990; Demant *et al.*, 1975; Demant, 1982; Garduño, 1987b; INEGI, 1978); además de consultar mapas topográficos (INEGI, 2000), geológicos (INEGI, 1978) y edafológicos (INEGI, 1983) a escala 1:50,000 e interpretar 18 fotografías aéreas a escala 1:75,000 (INEGI, 1995) mediante procesos técnicos de estereoscopia, siendo el primer acercamiento morfológico con el área de estudio.

La segunda fase de interpretación, procesamiento y análisis consiste primeramente en la elaboración e integración de la cartografía temática de base para la delimitación preliminar de las unidades morfoestructurales. Se parte de una base topográfica y geológica, por la cual se llega a la delimitación preliminar de las morfoestructuras y morfoesculturas.

La base de información geológica fue digitalizada en el SIG (ILWIS versión 3.0) en tanto que para la información topográfica se emplearon las curvas de nivel de los datos vectoriales del INEGI. El criterio para la diferenciación de estas unidades considera la morfología, el origen, la edad y la composición litológica de las unidades, así como del arreglo tectónico. De esta manera, cada unidad morfoestructural se diferencia de las demás por un tipo de geoforma, rango y desnivel altitudinal y densidad de drenaje; también de otros criterios como la ruptura de la pendiente y otros más específicos de la tectónica (orientación de laderas y densidad de fallas y fracturas) y la litología (tono, patrón, textura, tamaño, etc.).

La demarcación de las morfoestructuras se plasma en el Modelo Digital de Elevación de Terreno (MDT) con una resolución espacial de 30 m de tamaño de celda, y en el modelo sombreado –que muestra las diferencias de iluminación del terreno–, los cuales se obtienen a partir de las curvas de nivel a cada 20 m. Ambos modelos permiten identificar las principales formas del relieve y la configuración del sistema de drenaje.

La fotointerpretación de las morfoestructuras y morfoesculturas se lleva a cabo con los pares estereoscópicos previamente escogidos. Se consideran algunos rasgos del relieve para definir y diferenciar cada morfoestructura y morfoescultura tales como la ruptura de pendiente, el uso del suelo, la cobertura vegetal, la altura relativa, la presencia de cambios litológicos (tono, patrón, textura, tamaño, etc.), la densidad de drenaje, la posición y la forma topográfica de cada morfoestructura y morfoescultura (dómic, cónica, etc.), los rasgos disyuntivos lineales del relieve (fallas y fracturas) y las bases geológicas a escala 1:50,000. Una vez terminado el proceso de fotointerpretación, las unidades se transfieren a un medio cartográfico en el SIG. Finalmente, se realizan trabajos de campo con el objetivo de confirmar la fotointerpretación morfológica.

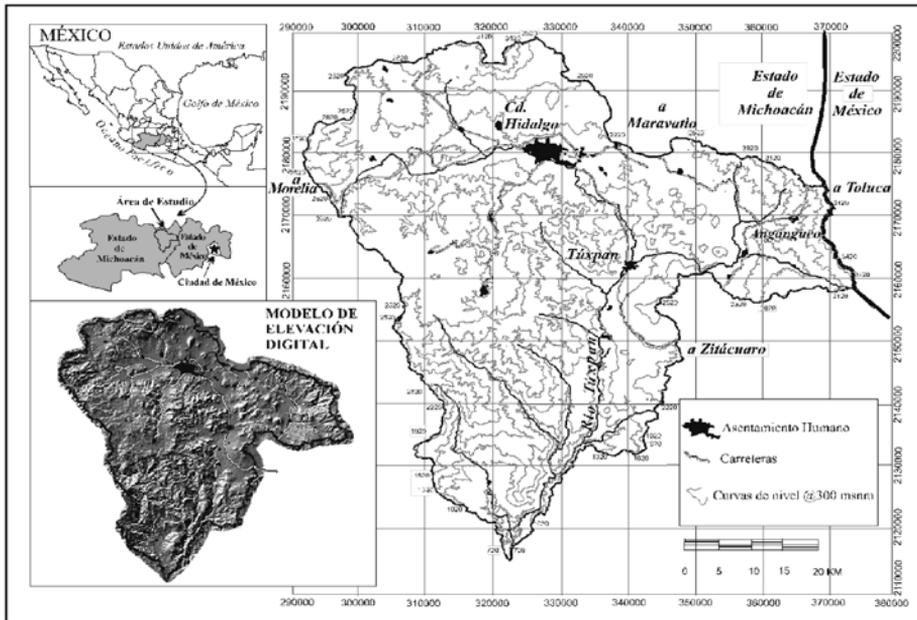
2.1.3. La cuenca del río Tuxpan

La cuenca del río Tuxpan (1887 km²) se ubica en la vertiente meridional de la provincia morfotectónica del Eje Volcánico Transversal, entre las ciudades de México y Morelia, Michoacán. El sector alto de la cuenca está delimitado por montañas volcánicas plio-cuaternarias (>3,000 msnm) cuyas vertientes interiores representan el 70% de la superficie de la cuenca. Los piedemontes vulcano-clásticos de las montañas convergen en su parte central hasta enlazar con la angosta llanura aluvial del río Tuxpan.

En lo que concierne a su morfología, esta se caracteriza por un extenso campo de lomeríos (16 km de ancho y >1,400 msnm), interrumpido por las pequeñas estructuras de un complejo volcánico monogenético del Cuaternario. En contraste, el fondo del sector bajo de la cuenca (<1,400 msnm) está modelado sobre antiguas calizas, conglomerados y esquistos plegados y fallados que permiten el encajamiento del río y el desarrollo de un profundo valle erosivo de morfología en “V”, con lomeríos y mesas basálticas incididos por la red fluvial.

El amplio desnivel altitudinal del área (>3,000 msnm) permite la formación de tres “pisos” bioclimáticos que se adaptan a la distribución de las estructuras geológicas: selva baja caducifolia en los lomeríos sedimentarios de la base de la cuenca (<1,400 msnm); bosques puros y mixtos de pino-encino en las laderas y fondos de los relieves volcánicos (1,600 a 3,500 msnm); y abetales puros en las cumbres de las principales elevaciones volcánicas (>3,500 msnm) (ver figura 2.1.1).

Figura 2.1.1. Mapa de localización. Cuenca del río Tuxpan, Michoacán



Fuente: elaboración propia, (2016).

2.1.4. Rasgos morfoestructurales del paisaje

La cuenca del río Tuxpan se enclava en dos subprovincias fisiográficas: al norte con la *Subprovincia Mil Cumbres o Sierra Volcánica Compleja* que pertenece a la Provincia *Eje Neovolcánico Transversal*, cadena andesítica de edad plio-cuaternaria (Demant, 1982) que delimita el extremo meridional de la altiplanicie mexicana. Lugo y Córdova (1990) señalan que este eje se caracteriza por relieves en forma de planicies escalonadas con montañas y sierras volcánicas; su relieve actual se debe a una conjunción de dos procesos, por una parte la tectónica de bloques y por otra, la actividad volcánica del Cuaternario, los cuales reflejan localmente un esquema topográfico complejo en forma de escarpes y taludes, sobre todo en los sistemas montañosos.

La mitad sur de la cuenca forma parte de la unidad fisiográfica denominada Depresión del Balsas, la cual, a su vez pertenece a la Provincia Sierra Madre del Sur (Quiñones, 1987). Lugo (1990) señala que la Sierra Madre del Sur es un sistema de bloques montañosos, diversos en su composición y edad, cuyo relieve está condicionado a la actividad tectónica (activa desde el Neógeno, intensa en la actualidad), la litología, la estructura geológica y las condiciones climáticas.

El contacto de estas dos grandes provincias permite que, al interior del área de estudio, afloren rocas metamórficas (esquistos) y sedimentarias (conglomerados y brechas sedimentarias) del Mesozoico y Cenozoico. Es muy probable que las rocas más antiguas del área correspondan a una secuencia de metasedimentarias y metavolcánicas pertenecientes al denominado Macizo de Taxco-Zitácuaro. Sobre yaciendo a esta secuencia, se tienen rocas sedimentarias del Cretácico que ocasionalmente se presentan asociadas a un vulcanismo de tipo andesítico. Finalmente, durante el Plio-pleistoceno, ocurrió un vulcanismo basáltico que cubre las rocas más antiguas (CNA, 2002).

A pesar de existir una amplia información bibliográfica del Cinturón Vulcano Mexicano, Garduño (1987b) considera que han sido pocos los trabajos realizados con un enfoque vulcanológico en el área de estudio. De los escasos trabajos en vulcanismo, el autor subraya y ordena en tres periodos las investigaciones más relevantes: el primero con trabajos geológicos dedicados a la minería e hidrocarburos; el segundo a una exploración de zonas geotérmicas; y el tercero con un amplio conocimiento del campo geotérmico de los Azufres y el Eje Neovolcánico Trasversal.

Como resultado de estas investigaciones se identifican unidades volcánicas de composición ignimbrítica que no habían sido consideradas antes de 1985, por lo que se concluye que aún no hay un modelo estructural de la evolución geodinámica y cinemática del Cinturón Vulcano Mexicano. Demant *et al.* (1975) señalan que las rocas de origen pre-volcánico más viejas que afloran en la región son los esquistos, cuya edad y fase metamórfica se calcula van desde el Triásico hasta el Cretácico Medio.

Por encima de este metamorfismo, se tienen las lutitas del Cretácico Superior. Seguido de los movimientos tectónicos paleocenos, se desarrolla una fase de abrasión que provoca en toda esta zona una “molassa” continental reconocida como parte del Grupo Balsas. En una fase tardía, dichos movimientos originan plegamientos amplios de fondo con orientación norte-sur. Dicha historia geológica pertenece a todo el basamento prevolcánico –del Mioceno Inferior- que aflora en la parte meridional de la región.

Seguida de esta fase, las rocas de origen volcánico datan a partir del Mioceno (Demant *et al.*, 1975). Esta secuencia se caracteriza por la formación de un sustrato de andesitas básicas y dacitas, que testifica intensos movimientos verticales. Sobre esta formación litológica yace una capa de andesitas y dacitas. Seguido de esta conformación geológica, surgen los grandes lagos (Lago de Cuitzeo) y las zonas de aguas termales (Los Azufres). Finalmente, la fase del Cuaternario se caracteriza por la formación del campo monogenético, con morfología de derrames y conos cineríticos de composición basáltica.

2.1.4.1. Principales unidades litológicas

De acuerdo con Silva (1979; en Palacio, 1985), Palacio (1985) y Garduño (1987b), las formaciones litológicas más representativas de la cuenca del río Tuxpan son, en orden cronológico: esquistos verdes y calizas del jurásico-cretácico, conglomerado de base del eoceno, formaciones cuaternarias, ignimbritas y domos volcánicos ignimbríticos del mioceno, vulcanismo andesítico del plioceno y coladas basálticas -andesíticas y tobas y brechas volcánicas del oligoceno (ver tabla. 2.1.1; y figura. 2.1.2).

Tabla 2.1.1. Cobertura porcentual de formaciones geológicas por periodo geológico en la cuenca del río Tuxpan

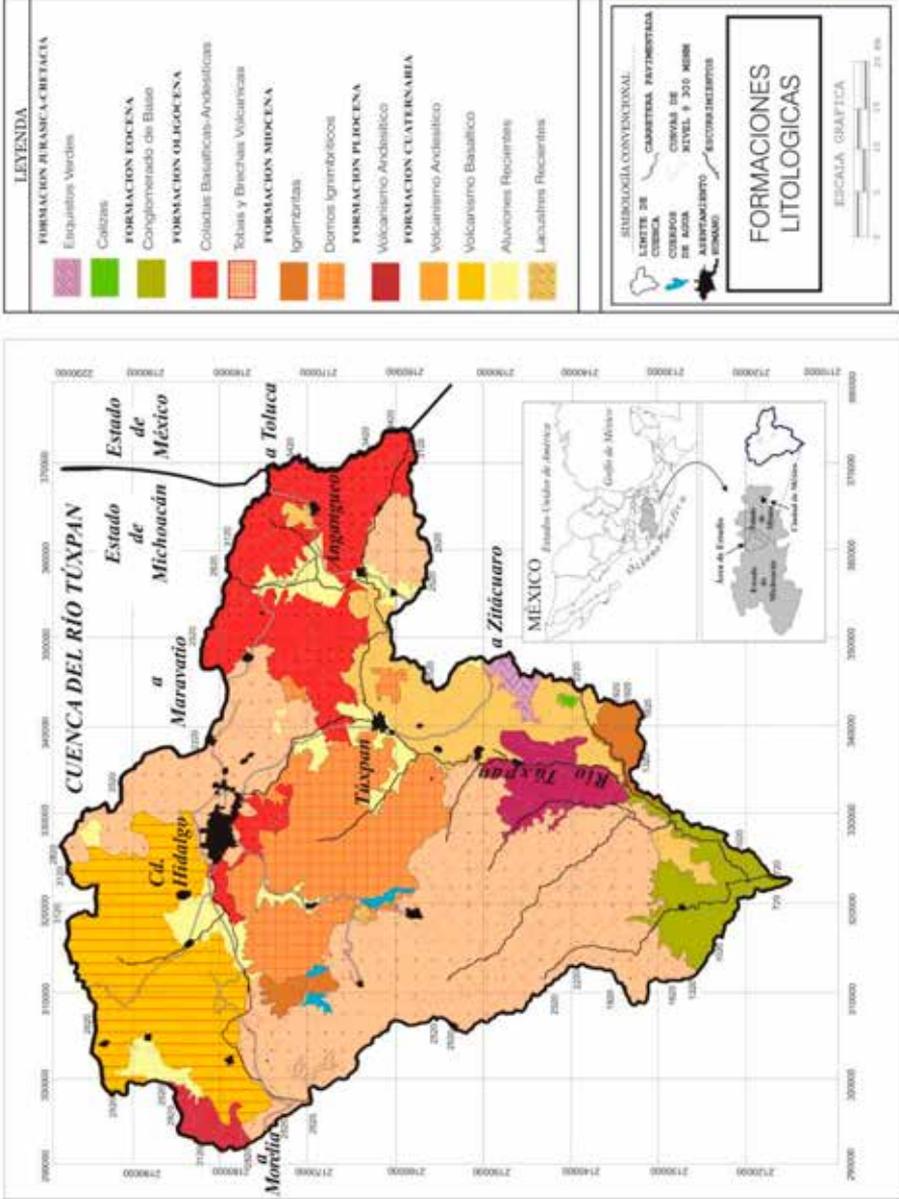
Era	Periodo	Unidad Geológica	%
Cenozoica	Cuaternario	aluviones	5.88
		sedimentos lacustres	0.12
		vulcanismo basáltico	18.23
		riolitas y dacitas	13.30
	Plioceno	vulcanismo andesítico	12.66
		Mioceno	domos volcánicos ignimbríticos
	Oligoceno	ignimbritas	4.74
		coladas basálticas andesíticas y dacíticas	1.19
		tobas y brechas volcánicas	26.93
	Eoceno	conglomerado de base	3.90
calizas		0.09	
Mesozoica	Jurásico	secuencia metamórfica; esquistos verdes	0.62

Fuente: Elaboración propia con información de Silva (1979; en Palacio, 1985).

2.1.5. Análisis estructural

El análisis estructural y microestructural elaborado por Garduño (1987b) señala dos grandes colapsos al norte de la cuenca, los cuales dan origen a la *caldera de Los Azufres* (del Pleistoceno) y la *caldera de La Venta-Ciudad Hidalgo* (del Cuaternario), separadas ambas por dos elementos morfoestructurales mayores; el *Graben de Ciudad Hidalgo* (NW-SE) y el *Graben de Cuitzeo-Maravatio* (E-W), limitado este último al este por el sistema tectónico activo de Acambay. El autor distingue tres sistemas de fracturación principales, de los cuales el sistema orientado al NNW-SSE y NW-SE corresponde al Sistema de Cuencas y Sierras; el sistema orientado al NE-SW, que afecta a las rocas volcánicas del Pliocuatnario y los sistemas E-W o ENE-WSW. Estos últimos asociados al Complejo Volcánico Mexicano.

Figura 2.1.2 Formaciones litológicas. Mapa geológico (Silva, 1979; en Palacio, 1985)



Fuente: Silva, (1979).

El análisis microestructural de la cuenca muestra que en el sector Zitácuaro-Ciudad Hidalgo incluye dos sistemas principales de lineamientos: uno orientado al NNW-SSE y otro al NE-SW, ambos relacionados con la actividad volcánica básica que afectó al área de estudio durante el Cuaternario. Colapso caldera de *Los Azufres*. Descubierta por Pradal y Robin (1985; en Garduño, 1987b), esta fosa de hundimiento de 14 km de radio limita al sur por el corredor de fallas E-W, las cuales corresponden, no a la caldera, sino a un sistema regional. Los flujos Ignimbríticos pleistocénicos se distribuyen desde la Presa Santa Inés hacia el oriente hasta Maravatio y la Presa de Chincua. En este último sector se datan depósitos lacustres que se encuentran debajo de las ignimbritas.

En el Colapso Caldera La Venta-Ciudad Hidalgo (radio de 16 km), los productos ignimbríticos se distribuyen en el área de las presas Pucuat, Mata de Pino y Sabaneta (sector centro-occidente) del área de estudio. Su borde norte está seccionado por el corredor de fallas E-W, que a su vez se relaciona con el vulcanismo ácido del Cuaternario. En el área de la depresión de Huajúbaro-La Venta, ubicada al WSW de Ciudad Hidalgo, sobresale un rasgo circular de 9 km de radio, cortado en su borde W por una falla NW-SE, que se prolonga 10 km hasta la Presa Pucuat, en tanto que hacia el norte, es intersectado por el sistema regional de fallas E-W.

2.1.5.1. Tectónica

a) Tectónica regional

El Sistema Neovolcánico Transmexicano (SNT) consiste en una serie de planicies escalonadas que se extienden desde las costas de Colima y Nayarit hasta los volcanes Pico de Orizaba y Cofre de Perote, en el estado de Veracruz (Lugo, 1990). Sin embargo, el autor señala que, de acuerdo con otras investigaciones, este complejo se extiende geológicamente hasta las costas del Golfo de México, existiendo varias teorías relacionadas con el origen del SNT, de las cuales la más viable es la propuesta por Demant *et al.* (1975), quien atribuye el origen de este complejo estructural a “la

subducción de la placa de Cocos bajo el continente con diversos ángulos”. En cuanto al vulcanismo del SNT, Demant (1982) considera que aun en la actualidad no se tiene una visión general de su estructura debida, entre otras cosas, a errores de interpretación detallada. No obstante, los trabajos de este autor señalan que el cambio drástico ocurrido en el océano Pacífico centro-oriental durante el Cenozoico tardío (10 MA) es un factor determinante del vulcanismo del SNT.

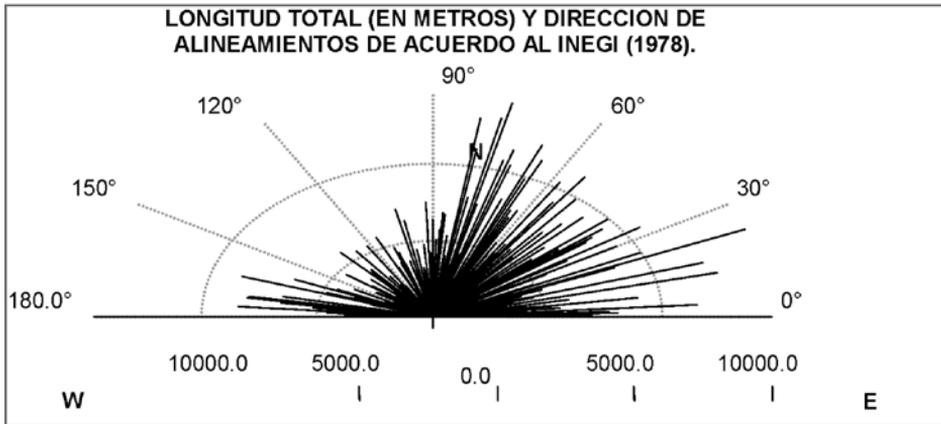
b) Tectónica local (morfoalineamientos)

En cuanto a la intensidad de la tectónica local, Garduño (1987b) señala que esta se incrementó en las rocas más antiguas –del Mioceno–, así como en la zona de Tzitzio y Los Azufres. Por ejemplo, se distingue una importante falla NW-SE que se prolonga desde la depresión de Huajúbaro-La Venta, al W del Colapso de Ciudad Hidalgo, hasta la Presa de Pucuat, en tanto que al E, en las inmediaciones de Ciudad Hidalgo, se observa un arco de círculo que constituye el borde oriental del Colapso de Ciudad Hidalgo.

El INEGI (1978), además, identifica 486 morfoalineamientos (fracturas y fallas) para la región que comprende la cuenca del río Tuxpan. Estos morfoalineamientos suman 873,80 km –con una densidad de 0,46 km/km²–. El 22% de los morfoalineamientos tiene una longitud aproximada de 0 a 1000 m, 43% de 1000 a 2000 m y, 21% de 2000 a 3000 m, habiendo pocas fracturas o fallas que superan los 5000 m de longitud (1,85%). La mayor densidad de estos morfoalineamientos se desarrolla en la Sierra de Angangueo, específicamente en las sierras de Chincua y El Campanario-Rancho Grande. Por su orientación, 69% de estos morfoalineamientos se disponen con orientación NE-SW, con predominio NNE-SSW (318.798 km), NEE-SWW (284,16 km) y, NWW-SEE (139,91 km). Los resultados coinciden con los obtenidos por Israde y Martínez (1986), quienes identificaron un sistema de fracturas *NE-SW* con movimientos laterales Plio-Cuaternarios (ver figura 2.1.3).

De acuerdo con la disposición de las estructuras, la ruptura y la orientación de las pendientes, se infirieron cinco morfoalineamientos de longitud variada, de los cuales, dos se localizan en las inmediaciones a la presa Mata de Pinos y en la proximidades de la localidad de Agostitlán. Resalta por su amplitud, un morfoalineamiento con dirección N-S que se extiende 13 km desde el puerto de La Sepultura a 2400 msnm, cruzando la presa Mata de Pinos y descendiendo hasta la comunidad de San Bartolo Cuitareo, ubicada al SW de Ciudad Hidalgo (2100 msnm). Finalmente, un morfoalineamiento (17 km) más se extiende desde el Puente de Tierra ubicado al S del poblado de Agostitlán, específicamente en el contacto del domo exhumado de Agostitlán, cruzando las laderas fuertemente diseccionadas (NW-SE) hasta encontrar el valle encajado del río Tuxpan, con un desnivel altitudinal de 1000 m.

Figura 2.1.3. Dirección y longitud de los morfoalineamientos (fracturas y fallas) en la región de la cuenca del río Tuxpan



Fuente: Mapa Geológico (Silva, 1979). En Palacios, (1985).

De acuerdo con la disposición de las estructuras, la ruptura y orientación de las pendientes, se infirieron cinco morfoalineamientos de longitud variada, de los cuales, dos se localizan en las inmediaciones a la presa Mata de Pinos y en la proximidades de la localidad de Agostitlán. Resalta, por su amplitud, un morfoalineamiento con dirección N-S que se extiende

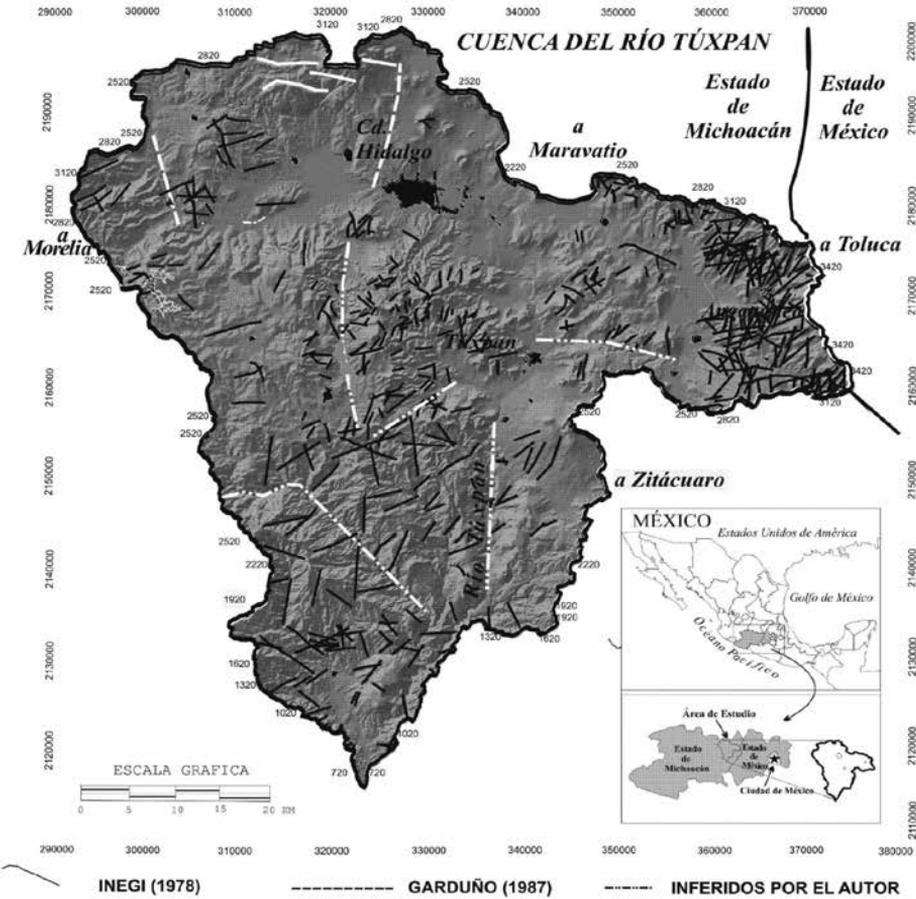
13 km desde el puerto de La Sepultura a 2400 msnm, cruzando la presa Mata de Pinos y descendiendo hasta la comunidad de San Bartolo Cuitareo, ubicada al SW de Ciudad Hidalgo (2,100 msnm). Finalmente, un morfoalineamiento (17 km) más se extiende desde el Puente de Tierra ubicado al S del poblado de Agostitlán, específicamente en el contacto del domo exhumado de Agostitlán, cruzando las laderas fuertemente diseccionadas (NW-SE) hasta encontrar el valle encajado del río Tuxpan, con un desnivel altitudinal de 1000 m.

El mapa de morfoalineamientos (ver figura 2.1.4) se obtiene a partir de información de Garduño (1987b) y del INEGI (1978), así como de aquella inferida a partir de la interpretación de los principales rasgos de las estructuras (disposición, ruptura y orientación de pendientes).

2.1.5.2. MORFOESTRUCTURAS

Con base en la información geológica, litológica y tectónica se cartografiaron veinte unidades morfoestructurales que, de acuerdo con su origen y edad, fueron agrupadas en cuatro grandes categorías: a) estructuras prevolcánicas del Terciario Inferior, b) estructuras volcánicas del Terciario Superior, c) estructuras volcánicas del Cuaternario y, d) planicies aluviales del Cuaternario (ver tabla 2.1.2).

Figura 2.1.4. Morfoalineamientos (fracturas y fallas) en la región de la cuenca del río Tuxpan de acuerdo con Garduño (1987b) e INEGI (1978)



Fuente: Tuxpan de Garduño (1987b) e INEGI (1978).

Tabla 2.1.2. Morfoestructuras y morfoesculturas

Clave	morfoestructura	area		altitud			drenaje		alineamientos			pendientes				
		(km ²)	%	rango	desnivel	Long(km)	D(km/km ²)	long.(km)	D(km/km ²)	0-3°	3-6°	6-15°	15-30°	30-45°	>45°	
1	LONAS Y VALLES DEL OLIVO	40.04	2.12	620-1420	800	121.76	3.04	27.00	0.7	15.15	10.35	23.81	31.94	15.06	3.70	
2	LADERAS DE LA LAJA	154.54	8.19	820-2820	2000	381.00	2.47	74.63	0.5	1.32	2.90	19.83	43.17	26.47	6.31	
3	LADERAS DE LAS JOYAS	62.13	3.29	1620-2820	1200	147.42	2.37	22.53	0.4	3.87	6.53	31.25	41.04	15.18	2.13	
4	LADERAS DE LA COLMEVA	137.63	7.30	1020-2820	1600	331.57	2.41	66.56	0.5	1.94	4.19	21.72	40.70	25.36	6.09	
5	LADERAS DEL VENTERO	118.75	6.30	2020-3020	1000	241.27	2.03	31.36	0.3	4.75	8.48	36.38	34.72	13.67	2.02	
6	LADERAS DE HUAJUMBARO	55.40	2.94	2220-3220	1000	138.84	2.51	15.36	0.3	5.38	7.05	29.24	39.29	17.17	1.89	
7	LADERAS DE ANGANQUEO	144.50	7.66	2220-3640	1420	284.20	1.97	243.13	1.7	5.63	8.52	32.33	38.06	14.21	1.24	
8	CONOS Y DOMOS DE LA LAJUNA VERDE	101.60	5.39	1620-3020	1400	150.50	1.48	40.09	0.4	8.50	13.48	38.68	27.46	10.52	1.36	
9	DOMOS Y PLANICIES DE AGOSTITLAN	116.70	6.19	2220-3020	800	217.45	1.86	24.45	0.2	18.71	19.93	46.62	12.88	1.65	0.09	
10	LADERAS DEL FRACLE	205.44	10.69	1620-3020	1400	482.06	2.35	121.07	0.6	7.07	9.04	26.85	31.94	19.75	5.34	
11	DOMOS DE LA GUJA LA RGA	51.29	2.72	2020-2820	800	117.25	2.29	19.73	0.4	15.20	22.80	40.83	17.61	3.39	0.22	
12	DOMOS DE SAN MATA	161.77	8.58	2020-3840	1620	342.03	2.11	47.49	0.3	10.26	17.26	36.35	27.25	8.14	0.72	
13	LADERAS DE CD. HIDALGO	140.35	7.44	1620-3220	1600	196.60	1.40	7.72	0.1	39.95	26.07	23.08	7.98	2.66	0.30	
14	LADERAS DE TIMBENO	45.53	2.41	820-2220	1400	85.02	1.87	6.69	0.1	7.02	11.10	28.95	37.17	13.72	1.92	
15	CONO DE ZIRAHUATO	97.99	5.19	1220-2820	1400	158.82	1.62	19.64	0.2	12.19	30.66	40.91	10.82	4.41	1.03	
16	CONO DEL HUACAL	35.63	1.89	2220-3220	1000	70.11	1.97	64.81	1.8	4.72	13.82	49.55	25.80	5.62	0.49	
17	MESA DE JUNGAPEO	111.93	5.93	620-2020	1400	217.42	1.94	35.82	0.3	6.37	7.61	21.56	35.68	22.43	6.35	
18	PLANICIE DE TAJMARA	50.06	2.65	2020-2420	400	105.74	2.11	3.75	0.1	62.30	16.98	13.09	6.66	1.11	0.02	
19	PLANICIE DE OCAIMPO	32.98	1.75	2220-2820	400	71.46	2.17	1.34	0	68.03	17.87	13.05	1.02	0.05	0.02	
20	PLANICIE DE TUXPAN	22.15	1.17	1620-2020	400	56.44	2.55	0.26	0	45.87	31.33	18.58	3.69	0.52	0.05	

Fuente: elaboración propia, (2016).

2.1.5.3. ESTRUCTURAS PREVOLCÁNICAS DEL Terciario Inferior

A) Lomas y Valles del Olivo (1)

Se localiza en el área de confluencia de los ríos Tuxpan y Chiquito, en el sector meridional de la cuenca. Sus lomas y valles se elevan entre los 620 y 1420 msnm, cuyo desnivel altitudinal (800 m), genera pendientes moderadas (15 y 30°) que se interrumpen con el fondo de valle aluvial y las laderas abruptas de la Mesa Chiquita. Esta morfoestructura (40,04 km²; 2,12% del área de la cuenca) del Eoceno es el resultado de movimientos tectónicos y de una fase de abrasión paleocénicos (Demant *et al.*, 1975), que derivaron en la acumulación de depósitos continentales (areniscas y conglomerados) y que genéticamente se correlacionan con la formación del *Grupo Balsas*. Estratigráficamente, sobreyace de manera discordante a los *Esquistos del Mesozoico*, al tiempo que aparece localmente cubierta por las rocas volcánicas ácidas del Terciario (andesitas) y los basaltos del Cuaternario. Esta morfoestructura se encuentra afectada por un moderado fracturamiento (0,7 km/km²) y su sensibilidad al modelado se encuentra altamente acusada por una fuerte densidad de disección (3,04 km/km²), cuya profundidad de los barrancos oscila entre los 40 y 100 m. En algunos sectores, alcanzan los 200 m (Palacio, 1985).

B) Estructuras volcánicas del terciario superior

B-1) Laderas de la Laja del Mioceno (2)

Se encuentra ubicada a 32 km al sur de Ciudad Hidalgo y 24 km al SW de Tuxpan y rodeando el Anticlinal de Tzitzio por el este. Esta unidad (154,54 km²; 8.19% de la cuenca) se caracteriza por sus laderas abruptas y fuertemente inclinadas (15-30° y >45°). Forman escarpados paisajes que se extienden entre los 820 y 2820 msnm (desnivel altitudinal de 2000 m).

Es una estructura de secuencia volcano-sedimentaria de tobas y brechas volcánicas ácidas cuyo relieve (en forma de laderas) se encuentra fuertemente afectado por la actividad tectónica de la región. Su edad se extiende al Mioceno y es el resultado de los movimientos compresivos e impulsos tectónicos regionales (Silva, 1979). Su delimitación obedece, entre otros factores, al marcado control estructural (falla inferida), que se observa al seguir el arroyo Tetengueo y cuyo valle desciende de NW-SE hacia la desembocadura del río Tuxpan. No obstante, su moderada longitud (74,63 km) y densidad de fracturas (0,5 km/km²), esta unidad, al igual que la anterior, presenta una fuerte sensibilidad al modelado debido a una marcada red de drenaje (381 km) y densidad de disección (2,47 km/km²), cuya profundidad de los barrancos oscila entre los 100 y 200 m. En algunos sectores, alcanza los 300 m (Palacio, 1985).

B-2) Laderas de las Joyas del Mioceno (3)

Esta estructura volcánica (62,13 km²; 3,29% de la cuenca) se ubica al sur de la comunidad de Agostitlán. La morfoestructura marca el inicio del complejo de laderas fuertemente accidentadas ubicadas al SE del área de estudio. Esta morfoestructura se eleva entre los 2220 y 2620 msnm. Su desnivel altitudinal (400 m) genera un sistema de laderas de pendientes medias (15 y 30°). Forma parte del Complejo Volcánico Superior Andesítico (CVSa) y su origen obedece al vulcanismo de la Sierra Madre Occidental debido a un *hiatus* que migra en espacio y tiempo desde el Mioceno (Garduño, 1987b). Su delimitación septentrional no solo obedece a una marcada ruptura de pendiente E-W, sino también precisa cambios litológicos en cuestión de edad y génesis, lo que la separa y diferencia del domo exhumado de Agostitlán.

Esta unidad tiene un marcado control estructural debido a la presencia de dos morfoalineamientos que convergen en el afluente del río Tetengueo: uno con dirección NE-SW y que la separa del sistema morfoestructural “La Laja” y de edad más antigua (Oligo-Mioceno), y otro que la separa de la secuencia volcano-sedimentaria y productos andesíticos del sistema “La Colmena”. Su

fracturamiento es moderado (0.4 km/km^2) en comparación de las estructuras anteriores; sin embargo, tiene una marcada sensibilidad al modelado debido a una mediana a alta densidad de disección ($2,37 \text{ km/km}^2$), cuya profundidad de sus barrancos se calcula entre los 100 y 200 m (Palacio, 1985).

B-3) Laderas de la Colmena del Mioceno (4)

Al igual que la anterior unidad, las laderas de esta estructura ($137,63 \text{ km}^2$; 7,30% de la cuenca) forman parte del CVSa. La delimitación de esta unidad obedece principalmente a tres morfoalineamientos por los cuales se desarrollan valles fuertemente diseccionados: el arroyo “Tetengueo” al S, el río “Tuxpan” al E y el arroyo “El Carrizal” al N, este último paralelo al camino Tuxpan-Agostitlán. Se extiende entre los 1020 y 1620 msnm con un desnivel altitudinal que oscila entre los 550 y 600 m. El estado actual de conservación de los productos andesíticos del Mioceno (tobas y brechas) está claramente subordinado a sus laderas de pendientes medias (15 y 45°). Difiere poco de las anteriores dos unidades morfoestructurales en el acomodo de sus laderas y orientación del afallamiento (NE-SW), cuya densidad se sitúa en $0,5 \text{ km/km}^2$.

La sensibilidad al modelado se considera de moderada a alta, debido a la densidad de disección ($2,41 \text{ km/km}^2$) y profundidad de sus barrancos (entre los 100 200 y hasta 3000 m). Este sistema morfoestructural presenta cierta vulnerabilidad a los procesos exógenos, sobre todo por la erosión fluvial y eólica, esta última debido a la influencia de los vientos Alisios del pacífico sobre sus vertientes de barlovento.

B-4) Laderas del Ventero del Mioceno (5)

Separada por límites precisos de ruptura de pendiente, origen, edad y composición litológica del domo dacítico de Agostitlán, esta estructura ($118,74 \text{ km}^2$; 6,29% del área de estudio) se situada geográficamente al SO de Ciudad Hidalgo y es parte también del CVSa. Sus laderas ($6-30^\circ$) con orientación NW-SE se extienden entre los 2020 y 3020 msnm sobre un territorio alargado (WE; 22 km), sin embargo, estrecho de N a S (5 km),

cuyo desnivel altitudinal alcanza los 1000 m Su límite E está marcado por un morfoalineamiento con dirección NS que se prolonga desde la presa Mata de Pino hasta el poblado de San Bartolo Cuitareo, siguiendo el arroyo “El Chaparro”.

Al NW, esta estructura es cortada por el valle que conduce la antigua carretera Ciudad Hidalgo-Morelia (dirección a Mil Cumbres), en tanto que al NE esta morfoestructura se ve interrumpida por la planicie aluvial del “Arroyo Tajimaroa”. No obstante su edad (Mioceno) y litología (productos ignimbríticos), Garduño (1987b) identifica en el cerro El Ventero derrames de basalto del periodo Cuaternario que subyacen de manera discordante a los materiales andesíticos del Mioceno. Su afallamiento es de tipo moderado ($0,3 \text{ km/km}^2$), así también su sensibilidad al modelado en términos de la densidad de disección ($2,03 \text{ km/km}^2$), esto en comparación con las anteriores unidades, se encuentra fuertemente acusada si se considera la profundidad de sus barrancos que alcanzan los 100 y 200 m, en ocasiones, 300 m.

B-5) Laderas de Huajúbaro del Mioceno (6)

Formada por laderas que se extienden a lo largo de la antigua carretera Morelia-México, esta estructura (55.38 km^2 ; 2.94% de la cuenca) se localiza en el extremo oriente del complejo volcánico de Mil Cumbres que, a su vez, se ubica en la parte occidental de la cuenca del río Tuxpan. Esta morfoestructura se extiende entre los 2,220 y 3,220 msnm lo que genera un marcado desnivel altitudinal (1,000 m) y pendientes medias entre los 15 y 30°. Garduño (1987b) la considera una morfoestructura de productos andesíticos del CVSa, por lo que su edad data del Mioceno.

Estructuralmente, esta unidad se circunscribe debido a dos morfoalineamientos naturales: uno, que Garduño (1987b) lo describe como una falla que se prolonga hasta la Presa de Pucuat y que forma parte de un rasgo circular (Colapso de La Venta-Ciudad Hidalgo) y otro, siguiendo la carretera Ciudad Hidalgo Morelia. No obstante su afallamiento moderado a bajo ($0,3 \text{ km/km}^2$), la unidad presenta una alta sensibilidad a modelado resultado de la marcada densidad de disección ($2,51 \text{ km/km}^2$) y la profundidad de sus barrancos, que oscila entre los 100 y 200 m (Palacio, 1985).

B-6) Laderas de Anganguo del Mioceno (7)

Ubicada en la parte oriental de la cuenca, esta unidad (144,51 km²; 7,66 % de la cuenca) forma parte también del CVSa. Su relieve se caracteriza por laderas de origen volcánico fuertemente diseccionadas que se extienden entre los 2 220 y 3 640 msnm, lo que origina, un desnivel altitudinal marcado (1 420 m), así como de fuertes pendientes que alcanzan los 15° en el piedemonte y los 30° y 45° en ciertas laderas de las cumbres. Su litología está integrada, principalmente, por rocas andesíticas del Mioceno y en menor medida por rocas basálticas del Cuaternario, su estructura geológica obedece a tres grandes fases del vulcanismo (Oligoceno-Mioceno inferior, Mioceno medio y superior y Plio-Cuaternaria).

Se trata de un complejo montañoso dislocado por un morfoalineamiento que lo separa en dos grandes subsistemas: la sierra de Chincua y El Campanario. Esta zona se ha desarrollado sobre una zona de debilidad cortical expresada por la Fractura Taxco-San Miguel de Allende, de orientación general NNW-SSE (Demant, 1982; Lugo *et al.*, 1985). En términos generales, esta estructura tiene una altitud promedio de 2 600 msnm, cota que marca el inicio de la vertiente occidental. Sus elevaciones muestran una mezcla homogénea de laderas convexas y concavidades asociadas al modelado fluvial y cuyos alineamientos NE-SW y NW-SE obedecen a un arreglo de alineamientos regional (Ramírez, 2004). No obstante, que su afallamiento resulta alto (1,7 km/km²), la sensibilidad al modelado es de bajo a moderado, resultado de la densidad de disección (1,97 km/km²), sin embargo es alta en relación con la profundidad de sus barrancos (200 y 300 m).

B-7) Conos y domos de la Laguna Verde del Mioceno (8)

Circundando la sierra de Anganguo y la planicie aluvial de Ocampo, esta unidad conformada principalmente de conos y domos (10,60 km²; 5,39 % de la cuenca) se extiende entre los 1 620 y 3 020 msnm, generan un desnivel altitudinal que, en la mayoría de los casos, no sobrepasa los 800 m. Es un complejo de conos andesíticos (cerros Camacho, La Cocina, Las Dormidas, La Laguna, Mendoza y Las Iglesias), coladas (El Garrapato) y

remanentes de domos ignimbríticos (cerro Ojo de Agua); edificios que no rebasan los 300 m con respecto a su nivel de base, aunque los hay que llegan a alcanzar los 400 m (cerro Camacho) y los 600 m (cerro Las Iglesias).

Las pendientes de esta unidad oscilan entre los 6° y 15°, lo que se corrobora con los resultados obtenidos por Ramírez (2004), la cual distingue tres niveles de pendientes: un nivel menor a 5° que corresponde con el nivel de base de los edificios volcánicos, otro entre 5° y 15° asociado a las coladas de lava y un tercero entre 25° y más de 30° perteneciente a los conos eruptivos. Esta morfoestructura presenta un sistema de fallas (0,4 km/km²) con orientación NE-SW. Su sensibilidad al modelado se considera baja al ser la segunda morfoestructura con menor densidad de drenaje en el área de estudio (1,48 km/km²) y cuyos barrancos no sobrepasan los 100 m de profundidad.

B-8) Domos y planicies de Agostitlán del Mio-Plioceno (9)

Considerada como una de las morfoestructuras más grandes de su tipo en la región, esta estructura (116,77 km²; 6,19 % de la cuenca) alberga domos y planicies que rodean y forman las presas de Pucuat, Sabaneta y Mata de Pinos. Se extiende en un diámetro de 10 km entre los 2 220 msnm (Mata de Pino) y 3 020 msnm. No obstante su marcado desnivel altitudinal (1 200 m), esta morfoestructura presenta planicies escalonadas integradas por lomas con pendientes de 3° en los poblados de Agostitlán y José María Morelos. Alcanzan 30 y 45° en algunas zonas montañosas.

Esta morfoestructura emerge sobre materiales ignimbríticos del Plioceno y, que son, de acuerdo con Garduño (1987b), resultado del primer colapso La Venta- Ciudad Hidalgo; Palacio (1985) define a esta estructura como un domo de composición dacítica que asciende a 300 m de altura con respecto de su base. En comparación con las demás unidades, esta morfoestructura presenta bajo grado de afallamiento (0,2 km/km²).

Su sensibilidad al modelado se considera baja, tanto por su densidad de disección (1,86 km/km²), como por la profundidad de sus barrancos. Sin embargo, el trabajo erosivo de corte vertical ha favorecido el

desmantelamiento acelerado de la estructura. Ha llegado a presentar cauces de 40 a 100 m de profundidad. Inclusive, los 300 m en algunos sectores.

B-9) Laderas del Fraile del Plioceno (10)

Se ubican al sur de Ciudad Hidalgo y en la denominada Sierra del Fraile, estas laderas conforman un complejo montañoso de aproximadamente 205,46 km² (10,89 % del área de la cuenca) que se extienden entre los 1 820 y 2 620 msnm cuyo marcado desnivel altitudinal (1 400 m) genera fuertes pendientes (30° y 45°) en las cimas de los cerros de El Fraile y Las Palmitas y de moderadas a suaves (3° y 6°) en la planicie aluvial de los poblados de El Jazmín y Turundeo. Su composición es de tipo dacítica y sus materiales descansan sobre los productos andesíticos del CVSa.

Silva (1979) las define, en su conjunto, como una estructura de levantamiento y fallamiento que generó grandes masas de brechas y tobas dacíticas, que afloran al SE de la Ciudad Hidalgo. Demant *et al.* (1975), por su parte, considera que los abanicos de este sistema fueron en su origen de material riolítico y que posteriormente fueron removidos en el periodo Cuaternario. Su demarcación obedece a dos morfoalineamientos principales: uno con dirección NS que se prolonga desde Mata de Pino hasta el poblado San Bartolo Cuitareo, otro NE-SW siguiendo el arroyo El Carrizal y paralelo al camino Tuxpan-Agostitlán, y finalmente, por la ruptura de la pendiente que se manifiesta en el contacto con los valles y planicies aluviales del río Tuxpan.

Su afallamiento (0,6 km/km²) se prolonga principalmente en dirección NE-SW y se considera de moderado a alto su sensibilidad al modelado resultado de la densidad de disección (2.35 km/km²) y la profundidad de sus cauces o barrancos, que alcanzan los 200 y 300 m.

C) Estructuras volcánicas del cuaternario

C-1) Domos de La Laguna Larga y San Matías (11 y 12)

De acuerdo con Garduño (1987b), estas estructuras se localizan en el contacto de dos depresiones: una con dirección NW-SE (depresión de Ciudad Hidalgo) ligada a la tectónica de Cuencas y Sierras y otra E-W (depresión de Maravatio-Cuitzeo) de afinidad con el Cinturón Volcánico Mexicano. Sin embargo, los domos de la Laguna Larga y de San Matías se relacionan con el primer colapso o depresión de Ciudad Hidalgo. Ambas morfoestructuras se elevan entre los 2020 y 3640 msnm. A diferencia de la primera estructura cuya cima alcanza los 2,820 msnm, la cumbre de la segunda sobrepasa los 3620 msnm y genera en ambos casos discrepancias relacionadas con las pendientes (6° y 15° ; 30° y 45°), desnivel altitudinal (800 m; 1,620 m).

Estas unidades morfoestructurales, además, difieren en superficie, composición y edad. La primera “Laguna Larga” (51,26 km²; 2,72% de la cuenca), se le relaciona con una actividad de domos riolíticos post-caldericos –domos satélite- del periodo Pleistoceno Medio Superior (Cerros el Guangoche y El Rosario). La segunda “San Matías” (161,82 km²; 8,58% de la cuenca) se le relaciona, por el contrario, con los domos dacíticos -post-caldera- de San Andrés (cerros de San Antonio, Las Palmas y Prieto) que guardan una dirección NW-SE y cuya datación se calcula para el Pleistoceno Medio. Resultado de la discrepancia en cuanto a sus respectivas superficies, la morfoestructura “Laguna Larga” exhibe un mayor afallamiento (0,4 km/km²) que aquella correspondiente a San Matías (0,3 km/km²). De acuerdo con sus respectivas densidades de disección, la primera unidad presenta mayor sensibilidad al modelado (2,29 km/km²) que la segunda (2,11 km/km²); sin embargo, si se considera la profundidad de sus barrancos, esta última morfoestructura es más susceptible a los procesos de modelado al registrar depresiones que superan los 200 m, en comparación de la primera que no excede los 100 m.

C-2) Laderas de Ciudad Hidalgo (13)

Esta unidad (140,29 km²; 7,44% de la cuenca) ocupa las zonas urbana-rurales de Ciudad Hidalgo. Sus laderas se extienden en promedio entre los 2020 y los 2420 msnm, alcanzado los 1620 msnm en ciertas planicies aluviales y los 3220 msnm en algunos sectores como el cerro de San Andrés. Sus pendientes (<3°) forman laderas suaves (conformadas de brechas volcánicas basálticas del Holoceno) en las inmediaciones de Ciudad Hidalgo, Epungio, Rincón de Arriba e Irimbo, alcanzado los 30° y 35° en laderas próximas a los cráteres o conos cineríticos y derrames basálticos que, a su vez, coronan las andesitas del Complejo Volcánico Superior.

La morfoestructura no solo exhibe bajo afallamiento (0,1 km/km²), también es la unidad con menor densidad de disección (1,40 km/km²) que, aunado a la modera profundidad de sus barrancos (40 m), le confiere una baja sensibilidad al modelado.

C 3) Laderas de Timbineo con remanentes del Mesozoico (14)

Esta unidad (45,58 km²; 2,42% de la cuenca) se localiza en las inmediaciones de la presa El Bosque, ubicada al SW de Zitácuaro. Sus laderas abruptas (15° y 30°) que, se extienden entre los 820 y 2220 msnm, forman escarpados paisajes en los cerros Zacapendo, Las Cebollas y El Puerto, cuyo desnivel altitudinal alcanza los 1400 m. Afectada por una tectónica sobrepuesta y aparente esquistosidad (Israde y Martínez, 1986), esta unidad es el resultado de una secuencia volcánica sedimentaria metamorfizada constituida de areniscas, lutitas, limonitas, tobas, calizas y andesitas.

El corte litológico del Complejo Metamórfico de Zitácuaro (Israde y Martínez, op. cit.) muestra claramente materiales basálticos en el cerro de Zacapendo y una secuencia volcánica sedimentaria con metamorfismo en el cerros de Las Cebollas y el poblado de Timbineo, así como de calizas alrededor del poblado El Puerto, seguido de tobas y areniscas en la Cuesta del Paso.

Esta morfoestructura muestra escaso fracturamiento ($0,1 \text{ km/km}^2$), sin embargo un enmarañado sistema de drenaje que, pese a su baja densidad ($1,87 \text{ km/km}^2$), exhibe una acusada sensibilidad al modelado debido a la profundidad de sus barrancos que alcanzan en algunos sectores los 300 m.

C-4) Cono complejo de Zirahuato (15)

Se trata de una morfoestructura de $97,97 \text{ km}^2$ de superficie (5,19% de la cuenca), la cual se ubica en las inmediación de la ciudad de Tuxpan. Su forma estratovolcánica abarca en su totalidad no solo el cerro “Zirahuato”, del cual recibe su nombre, sino también de otras manifestaciones volcánicas diferenciadas como los cerros de Tapia, El Pinal, Las Hoyas y La Cruz. Este estratovolcán (con pendientes entre 6 y 15°) se eleva entre los 1220 y 2620 msnm, generando un desnivel altitudinal de 1400 m. Esta morfoestructura se enmarca o delimita en su base por dos morfoalineamientos: uno con dirección NS que corresponde al cauce del río Tuxpan, el cual la separa de los afloramientos andesíticos del Mioceno y, otro de WE, que se prolonga desde el Crucero de la Cofradía hasta llegar a las inmediaciones de Ocampo, siguiendo el cauce del arroyo Anganguero.

Su demarcación obedece también al contacto con las unidades de Timbineo, Las Mesas y la planicie aluvial de Tuxpan. Los productos Ignimbríticos del Mioceno (C. La Campana) subyace de forma discordante con los derrames basálticos del Cuaternario. Su afallamiento es escaso ($0,2 \text{ km/km}^2$) y la sensibilidad al modelado es baja debido a su discreta densidad de disección ($1,62 \text{ km/km}^2$) y profundidad de sus barrancos (20 m).

C-5) Cono complejo del Huacal (16)

Esta unidad ($35,63 \text{ km}^2$; 1,89% de la cuenca) se localiza al E del área de estudio y comparte el espacio geográfico con la Sierra de Anganguero. Se eleva entre los 2220 y 3220 msnm, generando un desnivel altitudinal de 1000 m compuesta de derrames basálticos cuaternarios y de coladas lávicas asociadas al cono que les dio origen. Esta morfoestructura presenta una debilidad cortical que se expresa por una línea de falla que se

encuentra en la parte SE de la estructura (Ramírez, 2004); está separada de los materiales andesíticos de la Sierra de Angangueo por un morfoalineamiento más o menos recto con en dirección NW-SE.

Es la estructura con mayor afallamiento ($1,8 \text{ km/km}^2$) del área de estudio; sin embargo, su sensibilidad al modelado es de baja a moderada debido a una red fluvial poco desarrollada ($1,97 \text{ km/km}^2$).

C-7) Mesas de Jungapeo (17)

Conformada por tres principales mesas (M. Chiquita, M. del Campo y M. La Virgen) con orientación NE-SW, esta estructura ($111,92 \text{ km}^2$; 5,93% de la cuenca) se extiende entre los 620 y 2,020 msnm con un desnivel altitudinal igual a 1400 m. Subyace discordadamente sobre los depósitos continentales (areniscas y conglomerado) del Eoceno y la secuencia volcánico sedimentaria del Mioceno.

Este complejo morfoestructural es el resultado aparente de los derrames de lavas basálticas emitidas posiblemente por el cono compuesto "Zirahuato", que más tarde fueron expuestas a los agentes externos que produjeron cortes verticales profundos por los procesos erosivos. Las mesas no exhiben intensas pendientes en sus cimas, sin embargo, de forma acusante en sus laderas cuya inclinación llega a superar los 45° .

Esta morfoestructura presenta moderados valores de afallamiento ($0,3 \text{ km/km}^2$) con una red fluvial poco desarrollada ($1,94 \text{ km/km}^2$), sin embargo, su sensibilidad al modelado se ve fuertemente acusada debido a sus barrancos que alcanzan los 200 y 300 m de profundidad.

D) Planicies aluviales del cuaternario (morfoesculturas)

D-1) Planicie de Acumulación Tajimaroa (18)

Esta morfoescultura ($49,98 \text{ km}^2$ y 2,65% de la cuenca) se ubica en dirección E, respecto a Ciudad Hidalgo. Se trata de una planicie con pendientes suaves (entre 3° y 6°) que se extiende entre los 2020 y 2420 msnm con un desnivel altitudinal de 400 m. Emerge entre los materiales riolíticos y dacíticos del Colapso La Venta-Ciudad Hidalgo y los andesíticos del

Complejo Volcánico Superior. Garduño (1987b) relacionó los materiales de esta unidad con conglomerados de tipo fluvial y fragmentos de andesita y cementados por material tobáceo. Este mismo autor describe una secuencia fluvio lacustre con fallas donde se observa los depósitos de aluvión en contacto con materiales lacustres de 50 m de espesor que se datan del Pleistoceno Medio (700 a 200 mil años). Su afallamiento es prácticamente nulo ($0,1 \text{ km/km}^2$), en tanto que su sensibilidad al moderado se considera moderado debido a la presencia de escurrimientos como el río Tajimaroa y San Pedro que generan una red fluvial medianamente desarrollada ($2,11 \text{ km/km}^2$) con profundidades de 20 a 40 m.

D-2) Planicie de Acumulación Ocampo (19)

Ubicada al oriente de la cuenca y occidente de la Sierra de Anganguero, esta unidad ($32,97 \text{ km}^2$ y 1,75% de la cuenca) emerge entre los 2220 y 2620 msnm y su rango altitudinal no supera los 400 m. Debido a la juventud de las morfoestructuras adyacentes, esta morfoescultura presenta aluviales escasos (Ramírez, 2004). Se trata de depósitos cuaternarios provenientes de las estructuras andesíticas aledañas. Las pendientes de estos depósitos son, en la mayoría de los casos, menores de 3° y máximas de 6° . Su afallamiento es prácticamente nulo, no así su sensibilidad al modelado resultado de un acusada red de drenaje ($2,17 \text{ km/km}^2$).

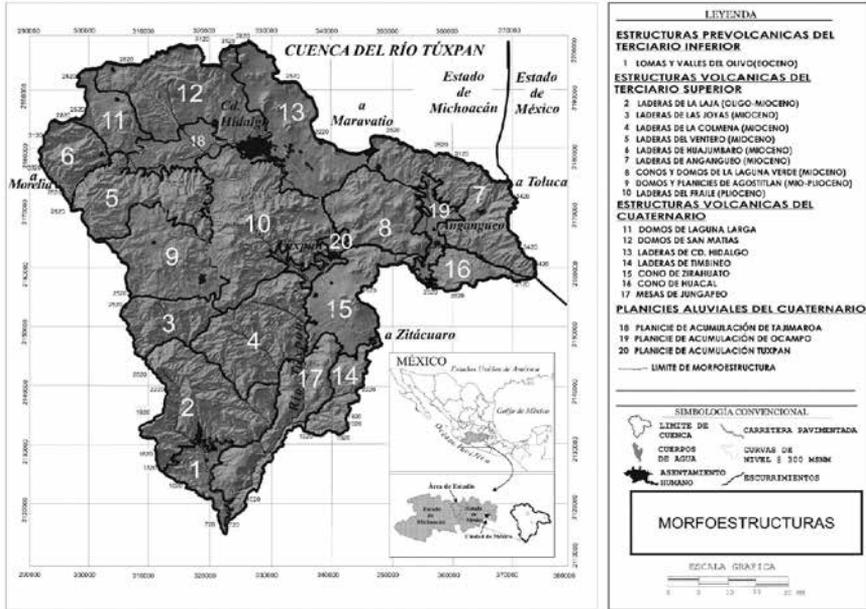
D-3) Planicie de Acumulación Tuxpan (20)

Esta unidad emerge entre dos morfoestructuras de edad y composición: las dacitas Pliocuaternarias de la Sierra del Fraile y los derrames basálticos del volcán “Zirahuato”. Esta unidad ($22,14 \text{ km}^2$ y 1,17% de la cuenca) probablemente compuesta de depósitos dacíticos provenientes de las laderas de la porción SE de la Sierra del Fraile, se eleva entre los 1620 y 2020 msnm generando un desnivel altitudinal (400 m).

Su afallamiento es nulo, sin embargo, es considerada como la segunda unidad con mayor densidad de disección ($2,55 \text{ km/km}^2$) debido a su prolongada red de drenaje (56.44 km), por lo que su sensibilidad al modelado

se considera elevada, situación que se exagera debido a la profundidad de sus barrancos que alcanzan los 100 y 150 m (ver figura 2.1.5).

Figura 2.1.5. Mapa con las principales morfoestructuras en la cuenca del río Tuxpan¹⁴



Fuente: elaboración propia, (2016).

2.1.6. Conclusiones

De igual manera que otros sistemas de clasificación territorial utilizados en la regionalización ambiental en México, el criterio empleado para caracterizar la cuenca del río Tuxpan en unidades morfoestructurales contempla el origen y el contenido litológico de las principales formaciones volcánicas. Como se puede observar, este criterio no novedoso en el estado de Michoacán; por el contrario, es ampliamente utilizado por algunos investigadores.

¹⁴ Entiéndase las planicies aluviales del cuaternario como morfoesculturas.

El análisis de los componentes más estables e independientes del terreno, es decir, la morfogénesis, el modelado, la litología y las formas del relieve se vuelven el punto de partida de los estudios de paisaje y de la regionalización ambiental, siendo inclusive el cuerpo de trabajo de otros enfoques de regionalización ambiental: fisiográfico, paisajístico, geopedológico, morfoedafológico, geomorfológico, entre otros, los cuales parten de la relación roca-suelo-vegetación (Mendoza y Bocco, 1997).

El análisis morfoestructural ofrece, como etapa inicial, una primera aproximación a la homogeneidad del territorio en términos geológicos, litológicos y tectónicos, que más tarde conforman los rasgos mayores del relieve y constituyen la articulación básica del territorio mediante los llamados sistemas territoriales.

2.1.7. Bibliografía

- Aceves, F., López, J., Martín del Pozzo A. L. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 23(2), 113-124. (In Spanish).
- Bertrand, G. (1968). Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Oest*, 39 (3), 249-272.
- Bocco, G. y Mendoza M. (1999). Evaluación de los cambios de la cobertura vegetal y uso del suelo en Michoacán (1975-1995). Lineamientos para la ordenación ecológica de su territorio. Proyecto N.º 96 06 042, Programa SIMORELOS-CONACYT. Informe Técnico, Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM, Campus Morelia.
- Bocco, G., Mendoza, M. y Masera, O. (2001). La Dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*. Instituto de Geografía de la UNAM. México, D.F. 44, 18-38.

- Bocco, G., Mendoza, M., Priego, Á., Burgos, A. (2009). *La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial*. SEMARNAT-INE.
- Bürgi M., Hersperger, A. M., Schneeberger, N. (2004). Driving forces of landscape change – current and new directions. *Landscape Ecology* 19, 857-868.
- Burgos, A., Maass, J. M. (2004). Vegetation change associated with land-use in tropical dry forest areas of Western Mexico. *Agriculture, Ecosystem Environment* 104(3), 475-481.
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of Geographical Information System for land resources Assessment*. Oxford: Clarendon Press.
- China, J. D. (2002). Tropical forest succession on abandoned farms in the Humacao Municipality of eastern Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 167, 195-207.
- CNA. (2002). *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Ciudad Hidalgo-Tuxpan, estado de Michoacán*. México: Comisión Nacional del Agua.
- Demant, A., Mauvois, R., Silva, L. (1975). *Reconocimiento geológico de la hojas Morelia, Maravatio (1:100 000) estado de Michoacán*. Instituto de Geología. UNAM.
- Demant, A. (1978). Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. Instituto de Geología. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2 (2) ,172-187.
- Demant, A. (1982). Interpretación geodinámica de vulcanismo del eje neovolcánico transmexicano. *Revista Instituto de Geología*. (5) 2. UNAM, México.
- Durand, L. y Lazos, E. (2004) Colonization and tropical deforestation in the Sierra Santa Marta, Southern Mexico. *Environmental Conservation* 31, 11-21.
- Echeverría, A. M. T. (1997). Cartografía geomorfológica temática y aplicada. En *Monné*, 1997. (Ed). Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada. Geoforma Ediciones. Logroño, España.
- Forman, R., Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. John Wiley and Sons, New York.

- García, A. Muñoz, J. (2002). *El paisaje en el ámbito de la geografía. Temas selectos de geografía de México*. México: UNAM.
- García-Aguirre, M. C., Ortiz, M. A., Zamorano, J. J., Reyes, Y. (2007). Vegetation and landform relationships at Ajusco volcano México, using a geographic information system (GIS). *Forest Ecology and Management*, 239, 1-12.
- Garduño, V. H. (1987a). *Modelo geológico regional del campo geotérmico de Los Azufres, Michoacán*. México: INEGI.
- Garduño, V. H. (1987b). *Estudio geológico regional para conocer las características de las rocas el basamento relativo del campo geotérmico de los Azufres*. C.F.E. Reporte 20:87. México: INEGI.
- Granados, L. E. M., Mendoza, M.E., Acosta, A. (2002). Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Gaceta Ecológica*, núm. 64, pp. 19-34.
- INEGI (1978). Carta geológica, hojas E14-A14 E14-A15, E14-A24, E14-A25, E14-A26, E14-A34, E14-A35, escala 1:50000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1983). Cartas de edafológicas, hojas E14-A34, E14-A35, E14-A34, E14-A24, E14-A14, escala 1:50000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1995). Conjunto de datos vectoriales. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI, (2000). *Censo General de Población y Vivienda*. México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Israde, A. I. y Martínez, A. L. (1986). *Contribución al estudio geológico de la transición Pacífico-Tethys, en el área de Zitácuaro, Mich.* IPN. Tesis de Lic. ESIA.
- Lugo-Huyp, J., Ortiz-Pérez, M. A., Palacio-Prieto, J. L., Bocco-Verdinelli, G. (1985). Las zonas más activas en el Cinturón Volcánico Mexicano (entre Michoacán y Tlaxcala): *Geofísica Internacional*. México. 24, 83-96.
- Lugo, J. (1990). El relieve de la república mexicana. *Revista Instituto de Geología*. Vol. 9; Núm. 1. UNAM, México.

- Lugo, J. y Córdova, C. (1990). Morfogénesis (mapa de la República Mexicana): UNAM, Instituto de Geografía, *Atlas Nacional de México*, hoja Geomorfología 1. Núm. IV.3.3, escala 1:4' 000, 000.
- Lugo, H. J. (2011). *Diccionario geomorfológico*. Geografía para el siglo XXI. Serie: textos universitarios. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mendoza, M., Bocco, G., Lopéz, E. y Bravo, M. (2002). Implicaciones hidrológicas del cambio de cobertura vegetal y uso del suelo, una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Investigaciones Geográficas* 49, 92-117.
- Monné, P. J. L. (1997). *Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada*. España: Geofoma Ediciones.
- Palacio, J. L. (1985). *Geomorfología Regional del oriente de Michoacán y occidente del Estado de México*. (Tesis inédita de doctorado). México: Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Pradal, E. y Robin, C. (1985). Découvert d'une caldéra majeure associée au champ géothermique Los Azufres Mich: Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Serie II, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'Univers, *Sciences de la Terre*, v. 01, núm. 14, p. 1,069-1,074.
- Quiñones, H. (1987). El sistema fisiográfico de la Dirección General de Geografía. *Revista de Geografía*. 1(2), 13-20.
- Ramírez, M. I. (2004). *Los espacios forestales de la Sierra de Angangueo (estados de Michoacán y México. Una visión geográfica*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Rzedowski, J. (1988). *La vegetación en México*. México: Limusa.
- Silva, L. (1979). *Contribution a la connaissance de l'Axe Volcanique et petrologique des laves du Michoacán Oriental*. Tesis de Doctor Ingeniero. Universidad d'Aix Marseille, France.
- Tapia-Varela, G. y López-Blanco, J. (2002). Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogénicas a escala 1:100,000. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 19(1), 50-65. (In Spanish).

- Turner, M. G., Pearson, S. M., Bolstad, P. y Wear, D. N. (2003). Effects of land-cover change on spatial pattern of forest communities in the Southern Appalachian mountains (USA). *Landscape Ecology*. 18, 449-464.
- Verstappen, H. Th. (1983). Applied Geomorphology (Geomorphological Surveys for Environmental Development). Amsterdam: Elsevier.
- Walker, D. A. (1999). An integrated vegetation mapping approach for northern Alaska (1:4 M scale). *International Journal of Remote Sensing*. 20/15 y 16: 2895-2920.

2.2. IMPACTO AMBIENTAL DE BANCOS DE MATERIAL EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Humberto Reyes.¹⁵

Olivia Sosa

Gerardo Palacio

Laura Yáñez

Universidad San Luis Potosí México

2.2.1. Introducción

La actividad minera representa una gran influencia económica fundamental en México. Se ubica como el cuarto sector que más divisas genera, solo después de la industria automotriz, el petróleo y las remesas. De acuerdo con el balance del sexenio anterior, la aportación económica de la minería mexicana alcanzó los 22 526 millones de dólares en 2010. Se le reconoce como una de las actividades económicas más importantes (INEGI, 2011). Sin embargo, esta actividad no solo aporta significativamente a la economía nacional, si no que representa una actividad que causa un enorme deterioro ambiental.

La minería provoca cambios en el paisaje modifica la topografía y el régimen de escurrimientos, además de la emisión de partículas a la atmósfera (Conesa, 1997). La alteración del microclima y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por arrastre del suelo son otros impactos notables. Los impactos ambientales ocasionados por la explotación de un banco de material (BdM) dependen principalmente de la extensión del sitio y el volumen de material extraído, localización del aprovechamiento, tipo de mineral explotado y los métodos de explotación (Sosa, 2012).

Continuando con el BdM, es relevante conocer la operación, el cual consta generalmente de las siguientes etapas: 1) exploración y elección del sitio, 2) construcción, 3) explotación, y 5) abandono del sitio. Se considera que el desmonte (remoción total de la vegetación en la zona a minar), el

15 Dr. Humberto Reyes Humberto Reyes, México, hreyes@uaslp.mx

despalme (operación en la cual se retira el suelo con maquinaria pesada), la perforación de las rocas, la excavación (extracción del material fragmentado y el acarreo (transporte del material extraído a la planta trituradora o de procesamiento) son las actividades que generan los mayores impactos.

Uno de los principales impactos de los BdM es el escénico debido a que se elimina por completo la cubierta vegetal, otros componentes y funciones de los ecosistemas son igualmente afectados. La fauna silvestre, por ejemplo, se ve perjudicada y desplazada debido al desmonte y despalmes, emisión de gases contaminantes, generación de polvos y por el ruido. Al respecto, se considera que el uso de explosivos y maquinaria pesada provocan la migración de las especies y alteran sus ciclos reproductivos (Ceballos y Brown, 1995, Ceballos y Ehrlich, 2002). Al acelerarse los procesos de erosión, se arrastran grandes cantidades de sedimento a los cuerpos de agua cercanos. Asimismo, se incrementa notablemente la emisión de gases a la atmósfera provenientes de la maquinaria pesada y vehículos automotores utilizados, así como la quema de combustibles. Finalmente, el ruido las vibraciones y la emisión de partículas al aire afectan severamente a las poblaciones silvestres y comunidades humanas (Sosa, 2012).

Con respecto al campo de las leyes, la legislación ambiental que regula la apertura y el funcionamiento de los bancos de material, existe la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) que señala que los bancos de material deben presentar una manifestación de impacto ambiental (MIA). Dicho estudio tiene como objetivo identificar y prevenir los efectos de las acciones o proyectos que pueden causar daños a la salud, al bienestar humano o al ambiente (SEMARNAT, 2005). Como complemento, previo a la apertura de un BdM se requiere un estudio técnico justificativo de cambio de uso de suelo en terrenos forestales y un depósito ante el fondo forestal mexicano por concepto de compensación ambiental para actividades de reforestación, restauración y mantenimiento (Jiménez *et al.*, 2006). Bajo este marco legal y debido a que los BdM son competencia estatal, en el estado de San Luis Potosí, la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental (SEGAM) se encarga de su regulación, supervisión y autorización.

La tradición minera en San Luis Potosí data desde 1592, cuando se descubrieron los primeros yacimientos de oro y plata, detonando el poblamiento y desarrollo de la zona. La población ocupada en la minería y en las actividades económicas asociadas, se asentó en la región donde ahora se ubica la ciudad de San Luis Potosí antes denominada “San Luis de Mezquitique”. Aunque, al inicio la extracción principal en el estado era de minerales metálicos, actualmente ocupa los primeros lugares a nivel nacional en la producción de minerales no metálicos. En la última década, la construcción de carreteras como las autopistas San Luis Potosí-Cd. Victoria y la supercarretera Rioverde-Valles han incrementado la apertura de BdM y con ello los impactos asociados (Escobar, 2013). En estas regiones, al igual que en otras partes del estado, existen áreas naturales protegidas, zonas de prioridad ecológica, Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves y ecosistemas considerados vulnerables (Loa, *et al.*, 2009; Leija *et al.*, 2011).

En el estado de San Luis Potosí existen 19 Áreas Naturales Protegidas (ANP) siete de carácter federal y 12 estatales (ver tabla 2.2.1, ver figura 2.2.1). Cubren una superficie aproximada de 4761,7 km², que representan el 8,5% del total del estado. No obstante el alto número de sitios que se encuentran bajo alguna categoría de protección, su superficie es aún insuficiente. Se considera que la superficie protegida debería ser de al menos el 15% del estado (Loa, *et al.*, 2009). Además de la poca representatividad de los ecosistemas regionales existen otros riesgos, como la deforestación, los incendios forestales, los aprovechamientos ilegales y la fragmentación de los ecosistemas que amenazan la biodiversidad de las ANP (Chapa-Vargas y Monzalo-Santos, 2012).

En este contexto, el objetivo de este trabajo es identificar y representar espacialmente los bancos de material registrados oficialmente en el estado de San Luis Potosí, su relación con respecto a las Áreas Naturales Protegidas y, finalmente, analizar el impacto ambiental ocasionado por esta actividad, específicamente en dos de ellas.

Tabla 2.2.1. Áreas naturales protegidas en el estado de San Luis Potosí y algunas de sus principales características

Denominación	Sup (ha)	Importancia ecológica
Federales		
Porción boscosa del estado de San Luis Potosí	299	Selvas altas y medianas perennifolias, bosque de niebla y hábitat de especies de mamíferos y aves amenazadas.
El Gogorrón	250	Matorrales xerófilos y pastizales nativos, presencia de reptiles y aves amenazadas.
El Potosí	20	Bosque de coníferas y hábitat de especies nativas, presencia de aves migratorias.
Zona protectora de San Luis Potosí	160	Área de recarga hidrológica de la ciudad.
La Mojonera	92	Matorrales xerófilos y pastizales nativos, hábitat de especies de mamíferos amenazadas.
Sierra de Álvarez	169	Bosques templados con asociación de <i>Quercus</i> y coníferas, presencia de aves migratorias y hábitat de anfibios y reptiles.
Sierra Abra Tanchipa	215	Selvas bajas caducifolias con presencia de especies de plantas, mamíferos y aves amenazadas.
Estatales		
Huiricuta	1402	Matorrales xerófilos y bosques templados, alta riqueza ornitológica y presencia de cactáceas en peligro de extinción.

Paseo de la presa San José	4	Matorrales xerófilos, áreas reforestadas con especies nativas.
Ejido San Juan de Guadalupe	12	Puerto de montaña con obras de recuperación y áreas reforestadas con especies nativas.
Real de Guadalcazar	2568	Matorrales xerófilos y bosques templados, alta riqueza de cactáceas amenazadas, hábitat de mamíferos y reptiles en peligro de extinción.
Palma Larga	3	Manantial.
Sótano de Golondrinas	3	Depresión cárstica, refugio de aves.
Cuevas del viento y de la fertilidad	0.1	Selvas medianas, sitios de gran importancia para las culturas locales.
La Hoya de las Huahuas	4	Depresión cárstica, refugio de aves.
Bosque Adolfo	0.4	Relicto de selva baja de la planicie Huasteca.
Rogue Bautista	3	Ecosistema acuático con presencia de peces y crustáceos endémicos.
Lago de la Media Luna	18	Selvas bajas y medianas, hábitat de una gran diversidad de especies de mamíferos y aves.
Sierra del Este y de Enmedio	0.95	Relicto de selva mediana de la planicie Huasteca.
Tancojol		

Fuente: Loa et al. (2009).

2.2.2. Materiales y métodos

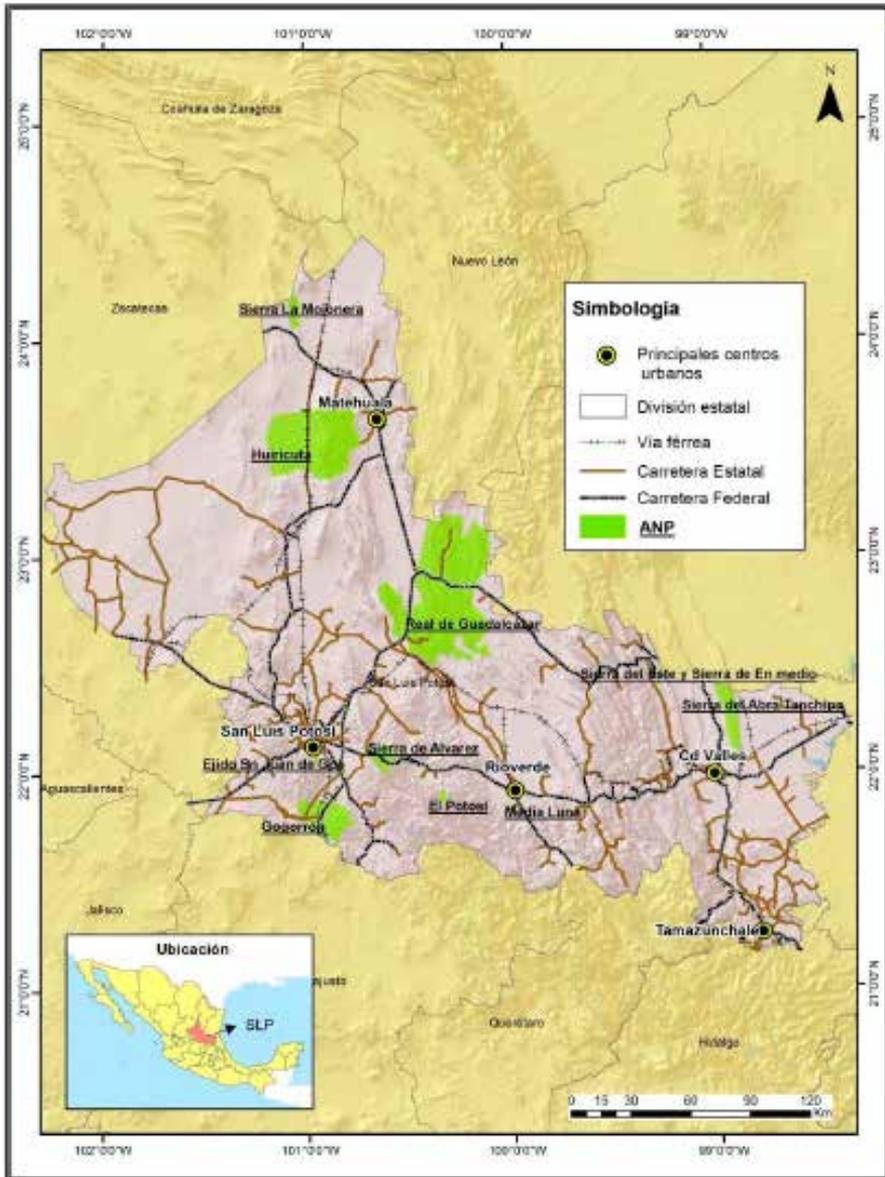
2.2.2.1. Inventario de bancos de material y ANP

A través de la consulta directa de los expedientes, bases de datos y archivos del departamento de Normatividad Ambiental de la SEGAM, se obtuvo el registro de 72 BdM activos en San Luis Potosí para el periodo 2005-2010. Del total de BdM oficialmente registrados solo 67 contaban con un expediente completo. Posteriormente se elaboró una base de datos con la información de las coordenadas del polígono del banco, tipo de material extraído, superficie, período de vida útil y volumen de extracción.

Los bancos de material fueron georeferenciados en el software ArcGis 9.3, bajo la proyección UTM, Zonas 13 y 14 N y el datum WGS 1984. Para ello, se elaboró la cobertura digital correspondiente y se definió su distribución en la zona de estudio y su relación con los tipos de suelos, la geología, el relieve, los tipos de vegetación y la proximidad a áreas urbanas. Cuando se trató de la renovación y/o ampliación de un BdM, se consideró como un solo registro, para ello su extensión inicial y ampliación fueron unificadas.

Las coberturas digitales de las ANP's registradas en el estado de San Luis Potosí fueron obtenidas de la página de la CONABIO. A esta cobertura le fueron sobrepuestos los datos de los BdM y finalmente se analizó su distribución espacial, el área de influencia y, la correlación y concordancia con lo declarado en la MIA. Se presentó como requisito previo a la autorización. Mediante este procedimiento fue posible identificar y cuantificar los bancos de material ubicados dentro de alguna ANP y su área de influencia.

Figura 2.2.1. Localización de las principales Áreas Naturales Protegidas en el estado de San Luis Potosí



Fuente: Elaboración propia (2016).

2.2.3. Cuantificación del impacto

La valoración y el análisis de los impactos ambientales atribuidos a los BdM se basó en la metodología de Sosa (2012). Esta metodología consta de varias etapas y la primera de ellas consiste en la valoración de los impactos ambientales, cuyo objetivo es homogeneizar los criterios sobre la temporalidad de la acción causante del impacto, intensidad y significancia del impacto, reversibilidad y efectividad de las medidas de mitigación. Para ello, se consideran los siguientes componentes: flora (tipo de vegetación, riqueza y diversidad de especies, especies en peligro), fauna (hábitat, migración, riqueza y diversidad de especies, especies en peligro), suelo (propiedades físicas y químicas, erosión eólica e hídrica, contaminación del suelo), hidrología (infiltración, modificación de cauces, contaminación de agua superficial y subterránea), emisión contaminantes al aire (O_3 , NO_x , SO_2 , CO , partículas), generación de ruido (decibeles), escenario (belleza escénica, monumentos históricos, culturales), socioeconómicos (empleo y salud) (ver Tabla 2.2.2).

Tabla 2.2.2. Valoración de los impactos ambientales causados por una obra o actividad.

Rubro	Criterio		
Duración de la acción o actividad	Corta (< 1 mes)	Mediana (>1 y <12 meses).	Larga (>12 meses)
Intensidad del impacto	Mínima (afectación <50% respecto al límite permisible)	Moderada (afectación \geq 50% respecto al límite permisible)	Alta (afectación por encima del límite permisible)
Significancia del impacto.	Leve (la afectación altera <20 % su funcionamiento en el ecosistema)	Moderado (la afectación altera <50 % su funcionamiento en el ecosistema)	Significativo (la afectación altera >50 % su funcionamiento en el ecosistema)
Reversibilidad del impacto	Corto plazo (el impacto puede ser revertido en menos de 12 meses)	Mediano plazo (el impacto puede ser revertido de 12 a 24 meses)	Largo plazo (el impacto no puede ser revertido en menos de 24 meses)
Medidas de mitigación	Factibles de implementar	Medianamente factibles	Poco factibles de implementar

Fuente: elaboración propia (2016).

Posteriormente, se procede a identificar las etapas del proyecto al analizar las actividades causantes de los mayores impactos ambientales en cada etapa (ver tabla 2.2.3) y los principales componentes del ecosistema afectados (ver tabla 2.2.4). En este proceso se consideran también los componentes socioeconómicos involucrados en las diferentes fases del proyecto. En seguida, se definen los impactos ambientales ocasionados en cada fase del proyecto para su posterior valoración.

Tabla 2.2.3. Etapas de un proyecto para el establecimiento de un BdM y sus actividades.

Etapas del proyecto/principales actividades.			
Selección y preparación del sitio	Construcción	Operación y mantenimiento	Abandono del sitio
Selección del sitio	Desmonte	Explotación del banco	Restauración del sitio
Señalización y delimitación	Despalme	Transporte de materiales	
	Manejo de residuos de despalme	Uso de agua	
	Generación de empleos	Manejo y disposición de residuos sólidos	
	Posibles accidentes	Manejo y disposición de aguas residuales	
		Operación de maquinaria y equipo	
		Generación de empleos	
		Posibles accidentes	

Fuente: elaboración propia (2016).

Tabla 2.2.4. Identificación de los principales componentes afectados

Componente biofísico	Componente biológico	Componente socioeconómico
Atmósfera: a) Calidad del aire, b) microclima, c) ruido	Flora: a) Tipo de vegetación, b) diversidad de especies, c) especies en peligro	Población: a) Generación de empleos, b) calidad de vida
Suelo: a) Calidad del suelo b) infiltración, c) erosión	Fauna: a) Diversidad de fauna, b) hábitat, distribución y corredores, c) especies en peligro	Uso actual del suelo: a) uso agrícola, b) uso pecuario, c) zona urbana
Hidrología: a) Calidad del agua, b) cantidad de agua, c) alteración de cauces		

Fuente: elaboración propia (2016).

Finalmente, se realiza la valoración del impacto causado, en donde se asigna un valor que puede ser positivo, negativo o neutral, el cual se pondera de acuerdo con los impactos ambientales estimados o identificados. Aquí, se determina el daño, afectación o beneficio del proyecto (ver tabla 2.2.5).

Tabla 2.2.5. Valoración del impacto ambiental causado por los BdM.

Valor asignado.	Clasificación del impacto.
0	Nulo
-1	Leve negativo
-2	Moderado negativo
-3	Significativo negativo
+1	Leve positivo
+2	Moderado positivo
+3	Significativo positivo

Fuente: elaboración propia (2016).

2.2.4. Evaluación del impacto ocasionado por los BdM en dos ANP

La etapa final implicó la elaboración de una matriz de doble entrada que contiene los elementos antes descritos, en donde mediante una sumatoria se obtiene el valor final de los impactos, considerando los valores positivos menos los negativos. Con base en lo anterior, se realizó una descripción de los impactos significativos (-3 y +3) y moderados (-2 y +2) y un análisis de los valores altos obtenido de los componentes del proyecto y los factores ambientales, así como del total obtenido en la matriz. Posteriormente, se cuantificó el total de impactos por componente del proyecto, número de impactos y su proporción para determinar las etapas donde se causa mayor daño.

Se elaboraron las matrices de impacto ambiental para las ANP: Sierra Abra Tanchipa y Lago de la Media Luna. La razón fue que en los límites de la Sierra de Tanchipa se localiza el BdM de mayor extensión y volumen extraído y en el Lago de la Media Luna se encuentran al menos cuatro BdM que afectan potencialmente el régimen hidrológico superficial y subterráneo de los ecosistemas acuáticos donde existen especie endémicas. En seguida, se muestran los criterios que se tomaron en cuenta para la asignación de pesos en la valoración de los impactos identificados:

A. Fauna

Al componente de hábitat se asignó un valor de -3 en la etapa del desmonte debido a que se destruye en su totalidad el hábitat de las especies establecidas en el área de operación del banco de material. Al encontrarse en los límites de una ANP, se considera que impacta significativamente a las especies. Se asignó un valor de -2 a la etapa de transporte de materiales debido a que el hábitat es fragmentado por la apertura de brecha y caminos.

Al proceso de migración, dado que los desmontes tienen un impacto significativo, se asignó un valor de -3. La destrucción de la vegetación circundante implica la migración de las especies algunas de las cuales se encuentran enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. En las etapas de extracción y transporte de materiales se asignó un -3 debido a que la contaminación por ruido y vibraciones provocados por la maquinaria pesada y los camiones de carga, ahuyentan a la fauna nativa del lugar, especialmente a la gran diversidad de aves que habitan en esta área.

La biodiversidad presente en la zona aledaña se consideró que en esta ANP se ha reportado una gran diversidad de especies de aves, así como de algunos mamíferos como el jaguar, el ocelote, el puma y venado cola blanca, por lo que se asignó un -3 al considerar la afectación sobre especies que se encuentran en alguna categoría de protección. En la etapa de transporte de materiales se asigna un -2 debido a que algunas de las especies nativas de esta zona corren el riesgo de ser atropelladas. En el caso de la Media Luna, la fauna reportada exhiben algunas especies amenazadas o en peligro de extinción como los peces: *Ataeniobius toweri* (Goodeidae), *Cichlasoma bartoni* (Cichlidae), *C. labridens*, *C. steindachneri*, *Cualac tessellatus* (Cyprinodontidae), *Dionda dichroma* (Cyprinidae), *D. mandibularis*, *Ictalurus mexicanus* (Ictaluridae), *Poecilia latipunctata* (Poeciliidae) y los crustáceos endémicos: *Palaemonetes lindsayi* (Palaemonidae), *Procambarus (Ortmannicus) xilitlae* (Cambaridae), *P. robertii*.

B. Flora

Como la actividad con mayor impacto adverso es el desmonte, debido a que se retira toda la cubierta vegetal, se asignó un valor de -3. En el ANP Sierra Abra Tanchipa se encuentran especies como la cícada en peligro de extinción *Dioon edule* (Zamiaceae) y la palma amenazada *Beaucarnea inermis* (Nolinaceae), ambas endémicas y enlistadas en la NOM-059-SE-MARNAT-2010, lo que incrementa la severidad del impacto.

C. Suelo

A la pérdida de suelo se asignó un valor de -1 en la etapa del desmonte, debido a que se retira una capa considerable de suelo, ya que para obtener material se realizan excavaciones profundas y se extraen volúmenes considerables de suelo. Aunque el impacto más significativo se genera durante el despalme y la extracción por lo que el valor asignado fue de -3. De acuerdo con sus características físicas, debido a grandes volúmenes de suelo, durante la extracción las propiedades de este componente son modificadas significativamente razón por la cual se le asignó un valor de -3 durante esta etapa del proyecto. A la afectación de las características químicas del suelo durante las etapas de despalme y extracción, se les asignaron valores de (-1 y -2 respectivamente).

A la erosión eólica, acelerada por la pérdida de la cubierta vegetal, se le asignó un valor de -2 en las etapas de despalme y desmonte. Mientras que en la etapa de extracción -3, debido a que el suelo extraído deja expuestos el material parental acelerando este proceso. En la etapa de abandono de sitio se considera un impacto con un valor de -2 debido a que si no se realiza una adecuada estabilización de taludes y se reforesta, este sitio tendrá un alto grado de erosión por factores como el viento y agua, entre otros. Con respecto a la erosión hídrica, la asignación de los mismos valores fue similar a la erosión eólica debido a la similitud de los factores que la propician. En virtud de que la afectación en la microflora y la fertilidad del suelo ocurre durante el despalme, ya que se retira la primera capa del perfil, donde esta se desarrolla, se le asignó un valor de -3. El impacto

ocasionado por la contaminación que ocurre principalmente en la etapa de extracción derivado del uso de maquinaria pesada la generación de residuos y el vertido de aceites y combustibles, por lo que el valor establecido fue de -2.

D. Hidrología

El mayor impacto en la infiltración ocurre en la etapa de la extracción, debido a que debido a la erosión que se genera por la falta de cobertura vegetal y los taludes, por lo que se estableció un valor de -2 y -1 en la etapa de desmonte. En el componente agua subterránea se consideró que como no se generan impactos significativos, se asignaron valores de -1 en las etapas de desmonte, extracción de materiales, y abandono de sitio, ya que solo se ven afectadas por la disminución del agua que se infiltra. Por su parte, las aguas superficiales, se consideran poco afectadas ya que no existen cuerpos de agua cercanos al sitio por lo que también se asignaron valores de -1 en las etapas de desmonte, extracción de materiales y abandono de sitio sin restauración. En la Media Luna, los principales impactos generados en el régimen hidrológico se reflejan en la ictofauna y las características hídricas del lago como la turbidez y eutrofización.

E. Aire

El aire es uno de los principales elementos afectados por la generación de partículas en la etapa de extracción de materiales debido a que las partículas de polvo son emitidas en gran escala durante la remoción. Adicionalmente, se consideró la emisión de partículas derivadas de la quema de combustible de la maquinaria pesada empleada en el proceso; por ello, se estipuló un valor de -3.

F. Paisaje

Las etapas en las que se genera un impacto significativo al paisaje se presentan durante el desmonte, el despalle, la extracción y el abandono de sitio debido a que esta área de prioridad ecológica se caracteriza por

tener selvas bajas y medianas, en las que la vegetación es más densa y el efecto visual es más perceptible, por lo que se asigna valor de -3 a cada una de las etapas.

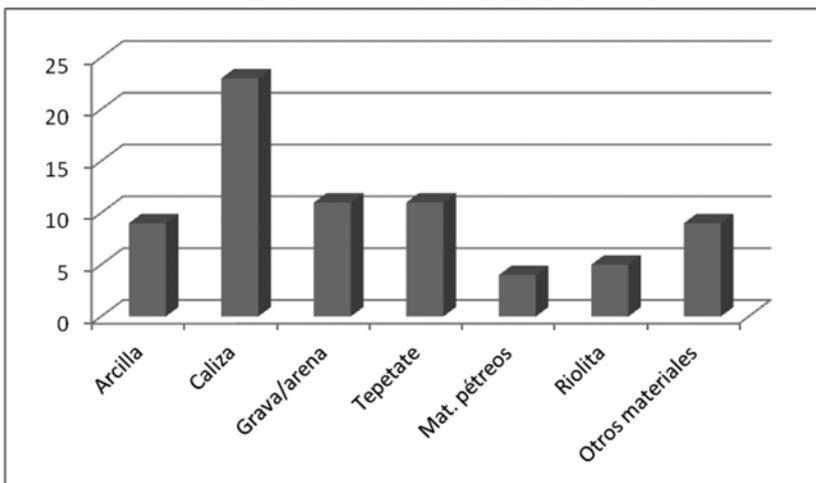
G. Ruido

Se consideró que la contaminación por ruido es de mayor intensidad durante la etapa del desmonte ocasionado por el ruido de la maquinaria pesada que se utiliza para la remoción de la cobertura vegetal, por lo que se fijó un valor de -3. En las etapas de despalme, extracción y transporte de materiales se determinó un -2 por el ruido generado por la maquinaria pesada, el equipo industrial para procesamiento y los transportes.

2.2.5. Resultados

Los resultados indican que existen 27 BdM ubicados en la región Media, ocho en la Huasteca, 18 en la Zona Centro y 14 en el Altiplano. Las regiones Media y Huasteca del estado concentran el 52 % del total de los BdM en todo el estado. Los principales materiales extraídos son caliza (23 BdM) grava y arena (11), tepetate (11) y arcilla (9) (ver figuras 2.2.2 y 2.2.3).

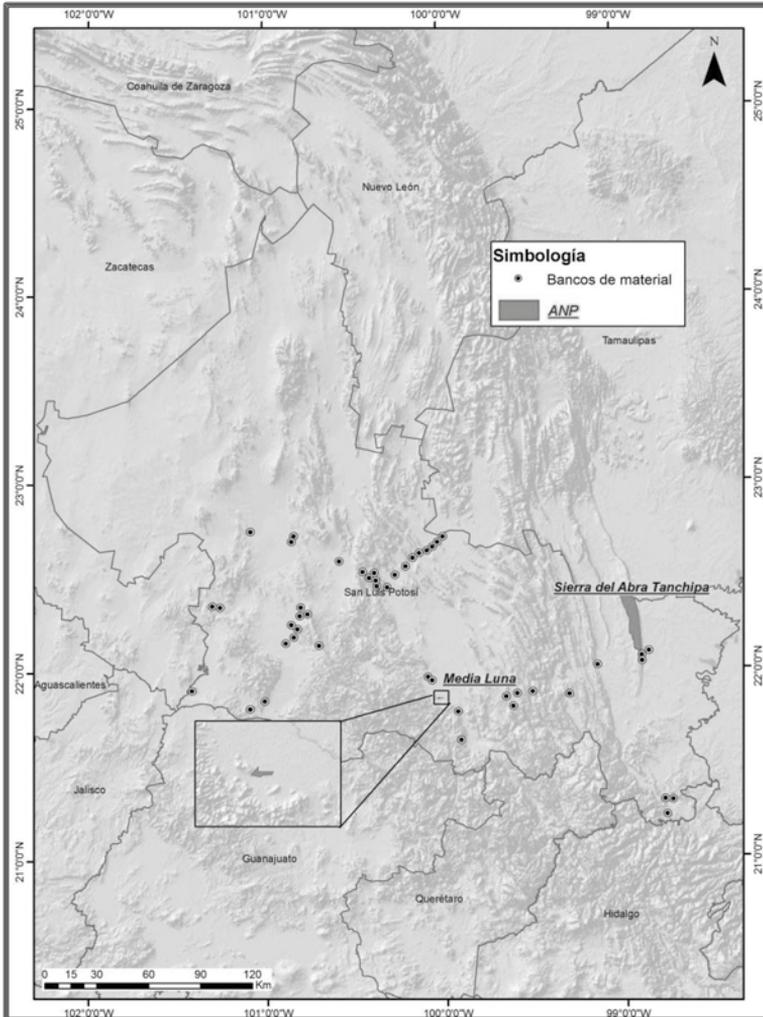
Figura 2.2.2. Principales materiales extraídos en los BdM en el estado de San Luis Potosí



Fuente: elaboración propia (2016).

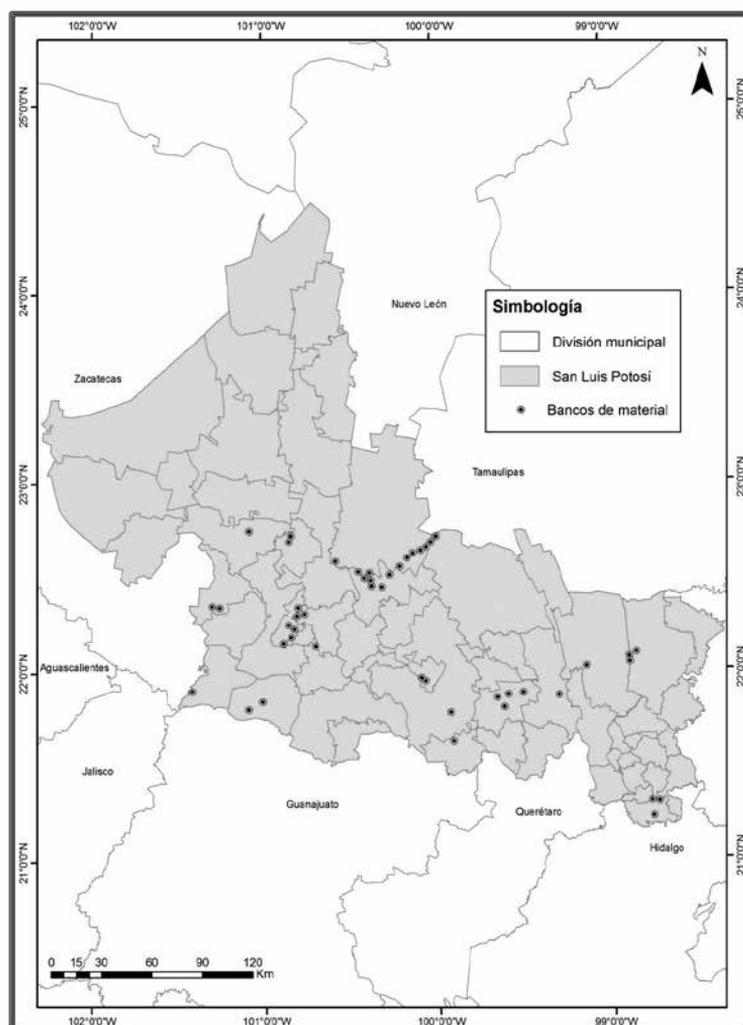
Un BdM se ubica en los límites de la ANP Sierra de Abra Tanchipa, el cual tiene una superficie de explotación de 1 028 ha de donde se extrae roca caliza, en tanto que al menos cuatro se encuentran ubicados en las inmediaciones del ANP Lago de la Media Luna (ver figura 2.2.4).

Figura 2.2.3. Ubicación de los bancos de material registrados oficialmente en el estado de San Luis Potosí.



Fuente: elaboración propia (2016).

Figura 2.2.4. Localización de los BdM y su relación con las ANP en el estado de San Luis Potosí



Fuente: elaboración propia (2016).

La matriz de impactos ambientales para el ANP Sierra Abra-Tanchipa indica que el componente de biodiversidad es el más afectado por la operación del BdM. El valor final de la matriz suma un total de -102, lo que implica un impacto ambiental de alta intensidad y efectos significativos a los diferentes componentes de los ecosistemas presentes en esta área (ver tabla 2.2.6).

Tabla 2.2.6. Matriz de los impactos ambientales causados por los BdM en el ANP Sierra Abra Tanchipa

Actividades de mayor impacto ambiental	A			B		C						D			E	F	G	Total
	Hábitat	Migración	Diversidad	Pérdida	Pérdida	Características físicas	Características químicas	Erosión eólica	Erosión hídrica	Microflora	Contaminación	Infiltración	Aguas subterráneas	Aguas superficiales	Partículas sólidas	Paisaje	Ruido	
Desmante	-3	-3	-3	-3	-1	0	0	-2	-2	0	0	-1	-1	-1	-1	-3	-3	-27
Despalme	0	0	0	0	-3	-3	-1	-2	-2	-3	-1	0	0	0	-1	-3	-2	-21
Extracción de materiales	0	-3	0	0	-3	-3	-2	-3	-3	0	-2	-2	-1	-1	-3	-3	-2	-31
Transporte de materiales	-2	-3	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-2	-1	-2	-13
Abandono del sitio sin restauración	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	0	0	-1	-2	0	-3	0	-10
Total	-5	-9	-5	-3	-7	-6	-3	-9	-9	-3	-4	-3	-3	-4	-7	-13	-9	-102

A: Fauna, B: Flora, C: Suelo, D: Hidrología, E: Aire, F: Paisaje, G: Ruido.

La matriz de impactos del Lago de la Media Luna refleja la afectación debida principalmente dos BdM. El primero de ellos tiene una superficie de 4.7 ha, del cual se extrae grava y arena, mientras que el segundo cuenta con una superficie de explotación 0.52 ha de donde se extrae riolita. Los impactos ambientales asociados con esta actividad afectan principalmente la hidrología y la fauna nativa. La etapa de extracción de material se le dio un -3 por los impactos significativos derivados de la acumulación del material extraído al cuerpo de agua por el arrastre pluvial. La suma total de los valores negativos de esta matriz es de -89, y los principales impactos generados se reflejan en la ictiofauna y las características hídricas.

Tabla 2.2.7. Matriz de los impactos ambientales causados por los BdM en el Lago de la Media Luna

Actividades de mayor impacto ambiental	ETAPA/ COMPONENTE	A			B							C			D			E	F	G	Total
		Hábitat	Migración	Diversidad	Pérdida	Pérdida	Físicas Características	Químicas Características	eólica Erosión	hídrica Erosión	Microflora	Contaminación	Infiltración	subterráneas Aguas	superficiales Aguas	Partículas sólidas	Paisaje	Ruido			
Desmante		-1	0	-1	-2	-2	0	-2	-2	0	0	-1	-1	-1	-1	-3	-2	-2	-18		
Despalme		0	0	0	0	-2	-1	-2	-2	-3	-1	0	0	0	-1	-1	-2	-2	-19		
Extracción de materiales		-3	0	-3	-2	-3	-2	-3	-3	0	-2	-1	-1	-3	-3	-3	-2	-2	-37		
Transporte de materiales		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-2	-1	-2	-6			
Abandono del sitio sin restauración		0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	0	0	-1	-1	0	-3	0	-9			
Total		-4	0	-4	-4	-7	-3	-9	-9	-3	-4	-2	-3	-5	-7	-11	-8	-89			

A: Fauna, B: Flora, C: Suelo, D: Hidrología, E: Aire, F: Paisaje, G: Ruido.

2.2.6. Discusión

Los resultados difieren en cuanto a los impactos reportados en las MIA'S mostradas por los promotores de los proyectos, principalmente en la cuantificación de la afectación en los factores bióticos y abióticos. Las modificaciones en el paisaje local y regional ocasionado por las actividades mineras son evidentes, pero a ello se suman otros impactos como la generación de ruido, la emisión de partículas y la contaminación de las aguas y suelos (Sosa, 2012). Se destaca el impacto ocasionado por el BdM situado en los límites de la Reserva de la Biosfera Sierra Abra-Tanchipa, que es además un Área de Importancia para la Conservación de las Aves. Además de ser el banco de mayor superficie de explotación se encuentra en una zona donde se alberga una amplia diversidad de especies que se encuentran en riesgo y tener la funcionalidad de corredor biológico (Arriaga *et al.*, 2000). El elemento edáfico es de los más afectados porque debe ser eliminado para poder acceder a los materiales de interés, cuyos impactos son irreversibles y no mitigables.

El despalme y la extracción de los materiales pueden ocasionar deslizamientos en el sitio desmontado, además de afectar el drenaje natural del área explotada debido a los cambios en los patrones de escurrimiento de aguas superficiales, a la larga acelera el azolve en los cuerpos de agua aledaños a un BdM.

Debido al desmonte, se reduce la infiltración del agua a los mantos freáticos. La pérdida de cobertura vegetal provoca erosión eólica e hídrica. Durante el transporte y la extracción de materiales, se emite la mayor cantidad de partículas de polvo al aire, además de las emisiones de los vehículos que transportan el material, por lo que las partículas sólidas emitidas a la atmósfera aumentan considerablemente en esta etapa. Aunado a ello, es usual que el uso de maquinaria pesada rebasa los niveles de ruido permitidos, esto sin considerar el uso de explosivos (Conesa, 1997, Jiménez *et al.*, 2006, Sosa, 2012).

Se considera que la flora y faunas silvestres son ampliamente afectadas por esta actividad, debido a que el desmonte remueve la totalidad de la cobertura vegetal en el sitio explotado y fragmenta el hábitat de la fauna nativa del área. Durante el transporte de materiales pueden ocurrir atropellamientos de fauna, además la contaminación por ruido generada por la maquinaria pesada ahuyenta a las especies y afecta sus ciclos reproductivos. Cuando el material que se extrae es la caliza, como ocurre en el BdM localizado en la Sierra Abra-Tanchipa, requiere de uso explosivos, los efectos adversos se incrementan.

Sin embargo, que no es factible la autorización para explotar un BdM en la cercanía de un ANP. Existen, al menos, otros ocho sitios dentro y en las inmediaciones de otras áreas protegidas, un ejemplo de ello son los BdM situados en la ANP Real de Guadalcazar. La explotación de los minerales se considera incompatible con el propósito de conservar la biodiversidad (Jiménez *et al.*, 2006), debido a que para la minería los recursos naturales tienen un valor económico de acuerdo al yacimiento que se pretende explotan, mientras que para las áreas protegidas, la biodiversidad y los servicios generados son invaluable. Al respecto, las Regiones Terrestres Prioritarias y las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves deberían ser consideradas, por SEGAM al momento de emitir una autorización para el establecimiento de un BdM.

Aunque no existe un seguimiento puntual de las operaciones de los BdM, por parte de la autoridad en la materia, es fundamental verificar las medidas de restauración implementadas al momento del abandono de sitio para cerciorarse que estas sean acordes con los impactos generados.

2.2.7. Conclusiones

En el estado de San Luis Potosí, existen 67 BdM ubicados principalmente en las regiones Media y Zona Centro, cuyo material más explotado es la caliza. Debido a que en los BdM el suelo y la roca subyacente son los recursos naturales explotados, estos componentes son

los más afectados. Las etapas en las cuales se genera mayor grado de afectación son la extracción de materiales, el desmonte y el despalme.

Los impactos ambientales afectan principalmente a la flora y fauna, lo cual se incrementa cuando existe la presencia de especies amenazadas. Las MIA presentadas por los que promueven los proyectos de los BdM, difieren en cuanto al grado de afectación de los diferentes componentes de los ecosistemas. Aunque se considera como una restricción la presencia de una ANP para la autorización de un BdM, existen al menos cinco dentro y en las inmediaciones de varias ANP. El ANP Sierra Abra-Tanchipa registra mayores impactos en comparación con el Lago de la Media Luna. Los impactos ambientales causados son visibles a simple vista por las modificaciones del paisaje que traen consigo. Sin embargo, a ello se suman otros impactos como la generación de ruido, la emisión de partículas y la contaminación de las aguas y suelos.

2.2.8. Bibliografía

- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. (Coord). (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. México: CONABIO.
- Ceballos, G. y Brown, J.H. (1995). Global patterns of mammalian diversity, endemism, and endangerment. *Conservation Biology*, (9):559-568.
- Ceballos, G. y Ehrlich, P. (2002). Mammal population losses and the extinction crisis. *Sciences*, 296 (5569), 904-907.
- Chapa-V. y Monzalo, K. (2012). Natural protected areas of San Luis Potosí, Mexico: ecological representativeness, risks, and conservation implications across scales. *International Journal of Geographical Information Science*, 26 (9), 1625-1641.
- Conesa, F. (1997). *Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental*. Ed. Madrid: Mundo-Prensa
- Escobar, C. (2013). *Impacto en la cubierta vegetal generado por la implementación del proyecto carretero Rioverde-Ciudad Valles, tramo Rayón-La Pitahaya*. (Tesis inédita de Licenciatura). CCSyH, UASLP.

- Jiménez, G., Rincón, E. y Huante, P. (2006). *El Diseño de minas superficiales en la prevención de impactos ambientales en México*. México: Instituto de Ecología, UNAM.
- INEGI (2011). *La minería en México 2011*. Serie estadísticas sectoriales. INEGI, México.
- Leija, L., Reyes, H., Fortanelli, M., J. y Palacio, G. (2011). Situación actual del bosque de niebla en el estado de San Luis Potosí, México. *Investigación y Ciencia*, 53, 3-11.
- Loa, L., Sánchez, H., Torres, J., Rosas, R. y Sierra, S. (Coords.). (2009). *Áreas prioritarias para el manejo y conservación en el estado de San Luis Potosí, México*. México: SEDARH-SEGAM.
- SEMARNAT (2005). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales*. México: SEMARNAT.
- Sosa, G. (2012). *Impacto ambiental generado por los banco de material en las zonas Media y Huasteca del estado de San Luis Potosí*. (Tesis inédita de Maestría). PMPCA, UASLP.

2.3. PERCEPCIÓN REMOTA E INSTRUMENTOS CUALITATIVOS PARA EVALUAR EL APROVECHAMIENTO MADERABLE DEL MEZQUITAL EN LA LLANURA DE RIOVERDE, SAN LUIS POTOSÍ

Erika Galarza
Humberto Reyes¹⁶
Gerardo Palacio

Universidad San Luis Potosí México

2.3.1. Introducción

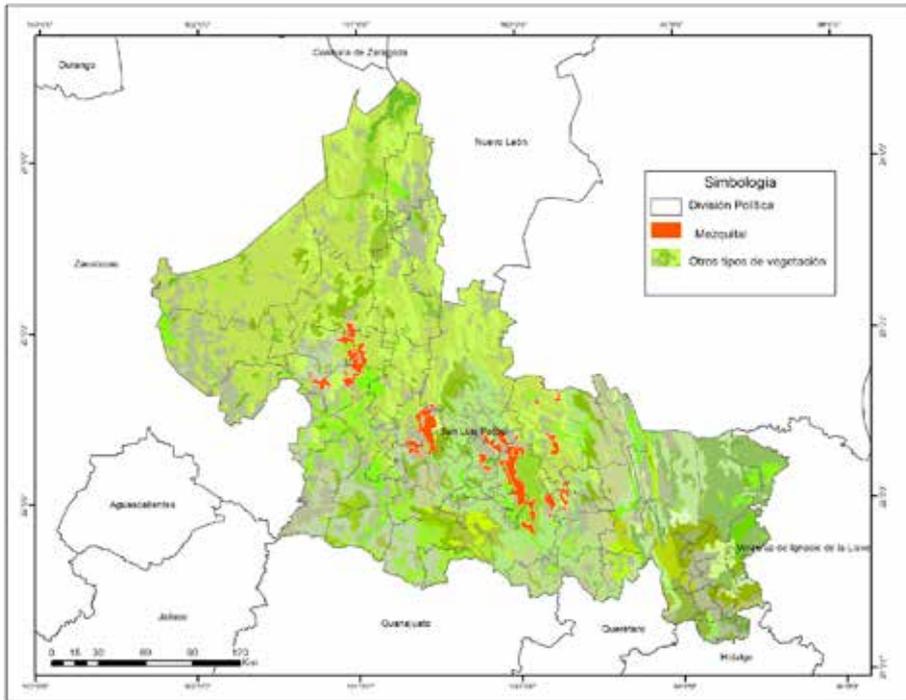
El mezquite (*Prosopis laevigata*, *P. juliflora* y *P. glandulosa* var *torreyana*) es una especie arbórea característica de las zonas semiáridas en San Luis Potosí, constituye un recurso natural de gran importancia por los servicios ambientales que presta y los beneficios económicos que aporta. Al ser una leguminosa tiene la capacidad de fijar nitrógeno al suelo, y así contribuye de forma significativa a las actividades agropecuarias, de tal forma que son de uso multipropósito (Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis M., M. I. Alcocer S., M. Gual D., y C. Sánchez D. 1999 citado en Guevara, 2008). Los mezquites, además de prevenir la erosión, crean microclimas y contribuyen a la reducción de gases invernadero al absorber CO₂. El valor económico y ecológico del mezquite es amplio y muy variado, según la parte del árbol en cuestión. Desde el punto de vista comercial, su madera puede ser convertida en muebles¹⁷, artesanías, leña o carbón, su fruto sirve como alimento para el ganado y la harina de la vaina se utiliza para la elaboración de repostería.

16 Dr. Humberto Reyes Humberto Reyes, México, hreyes@uaslp.mx

17 Estudios recientes sobre las características de la madera demuestran que es de buena calidad para ser utilizada en la industria mueblera ya que posee mayor dureza y capacidad de flexibilidad que muchas otras especies comerciales (Coronado, 1982).

En México, los mezquitales se distribuyen ampliamente en los estados de Nuevo León, Durango, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Michoacán, Puebla, Oaxaca y Chiapas (Palacios, 2006). En el territorio potosino, esta comunidad vegetal se localiza en los municipios de Cerritos, Cd. del Maíz, Cd. Fernández, Cárdenas, Guadalcázar, Moctezuma, Rioverde, San Nicolás Tolentino, Venado, Villa Hidalgo y Villa Juárez y ocupa una superficie aproximada de 142 657 ha (figura 2.3.1). Según Ruíz (2011) con el estudio: *Uso Potencial de la vaina de mezquite para la alimentación de animales domésticos del altiplano potosino*, también estos mezquitales se localizan en los municipios de Matehuala, Cedral, Charcas y Villa de Guadalupe, su importancia según evidencias históricas y arqueo-botánicas constituye que evidencia la existencia de una clara cultura forjada con el aprovechamiento de este recurso natural.

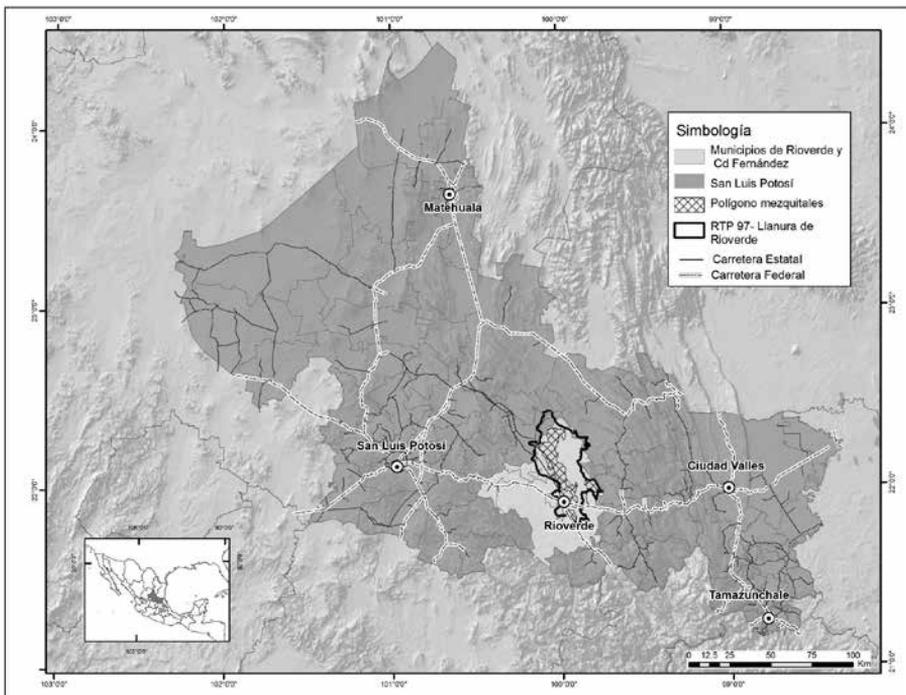
Figura 2.3.1. Distribución potencial del mezquite *Prosopis spp* en el estado de San Luis Potosí



Fuente: INEGI- CONABIO (2004).

Hacia el interior del Estado de San Luis Potosí, se destaca la Llanura de Rioverde¹⁸, ubicada en la Región Terrestre Prioritaria 97 (RTP 97) por su concentración de mezquital al cubrir una superficie aproximada de 41 362, ha que representa el 35 % de la región (figura 2.3.2). Por este hecho se eligió esta zona de estudio, considerando además que esta llanura es quizás el área compacta de mezquiteras con mayor extensión en el país. En esta región se localizan unas 50 000 ha con un estrato arbóreo dominante de *Prosopis spp* (Hernández y Villanueva, 2005) que suelen alcanzar alturas de más de 4 m aún en áreas con suelos someros. Generalmente, se desarrolla en las partes más bajas y planas de la llanura, en la transición del clima semiseco al semicálido.

Figura 2.3.2. Ubicación de la zona de estudio



Fuente: INEGI- CONABIO (2004).

18 La Llanura de Rioverde, según Ficha Técnica (INEGI), abarca los municipios de Rioverde y Cd. Fernández.

Por su importancia en el contexto regional, se consideró conveniente evaluar la distribución del mezquite en el tiempo y su relación con el aprovechamiento maderable a nivel local. Se aplicó una evaluación cualitativa basada en encuestas y entrevistas a la población que trabaja la madera de mezquite, mientras que la valoración cuantitativa de su cobertura y condición ecológica se efectuó mediante el procesamiento de imágenes de satélite.

2.3.2. Metodología

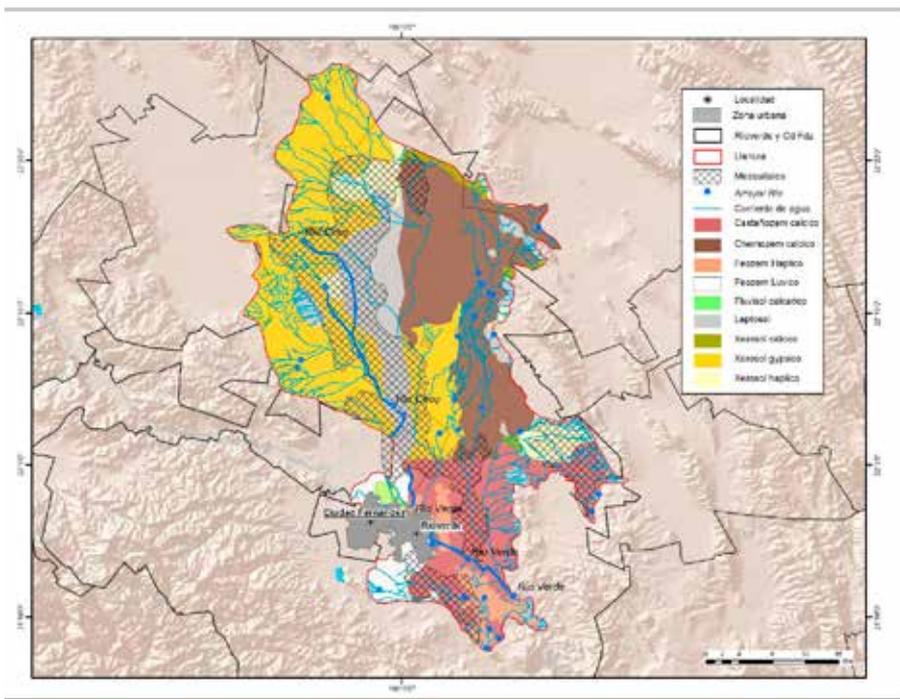
2.3.2.1. Caracterización de la zona de estudio

En el área de estudio (figura 2), el mezquite crece sobre una planicie aluvial. Se sitúa a una altitud que oscila entre los 1000 y 1200 metros. Los suelos están constituidos por el material transportado por las corrientes fluviales del río Choy y parte del río Verde; sin embargo, no se han desarrollado en estructura y profundidad por las propias características de su ambiente pedogenético (figura 3). Otros suelos presentes en la zona de estudio son los xerosoles propios de zonas áridas y planas con vegetación típica de matorral desértico o pastizal. Por último, el castañozem, que también es característico de zonas áridas con profundidades de más de 70 cm, moderadamente susceptibles a la erosión (INEGI, 2004). El mezquite se desarrolla preferentemente en la transición del clima semiárido al semicálido con precipitación entre los 300 y 400 mm anuales y temperaturas promedio entre 20 y 22°C (García, 1998; Maderey, 1990). Crece en asociación con otros elementos vegetales como el huizache (*Acacia spp*), el palo fierro (*Olneya tesota*), el palo verde (*Cercidium spp*) y el guamúchil (*Pithecellobium dulce*). Al este de los municipios de Rioverde y Cd. Fernández se han extendido comunidades vegetales arbustivas o herbáceas, de las cuales, algunas especies son alimento para ganado bovino (INEGI, 2005a).

En un estudio hecho por Rzedowski (1978:223) se muestra que el *Prosopis*, en el bosque espinoso, el mezquital abierto con una carpeta de gramíneas también puede prosperar a menudo en condiciones de drenaje deficiente y acumulación de sales solubles en el suelo, como es el caso de

la gran llanura de Rio Verde en San Luis Potosí (Rzedowski, 1966:144-145), donde en algunos sitios existe una interacción entre el mezquite con *Maytenus phyllanthoides* y *Juniperus monosperma* var. *Gracilis*.

Figura 2.3.3. Distribución de los mezquiales por tipo de suelo en la Llanura de Rio verde



Fuente: INEGI- CONABIO (2004).

2.3.3. Cambios en la cobertura del mezquital

Mediante el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis versión 9.3, se elaboró cartografía temática para conocer los elementos físico-geográficos relacionados con el área de estudio. Se utilizaron archivos en formato vectorial de topografía, uso de suelo y vegetación, climas, edafología, temperatura, precipitación, áreas prioritarias Pronafor regiones terrestres prioritarias (RTP'S), ejidos y propiedad privada, información generada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la Comisión Nacional

Forestal (CONAFOR), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y el Registro Agrario Nacional (RAN). A partir de esta cartografía, se delimitó la superficie con mayor vegetación aparente en la Llanura de Rioverde.

Los polígonos resultantes se sobrepusieron sobre tres imágenes de satélite Landsat: una MSS (79 m de resolución) de 1973, una TM (30 m de resolución) de 1986 y una ETM+ (30 m de resolución) de 2001. Las imágenes fueron desplegadas en el SIG Ermapper 6.4, con una combinación de bandas de falso color RGB 432, cuya sensibilidad a la vegetación verde, aparece en color rojo. Así, los polígonos de mezquites identificados previamente, se evaluaron a través de un análisis visual, con base en las reglas de identificación más importantes: el tono, la textura, la forma, el tamaño y la localización de los objetos observados y analizados. En este sentido, la zona presenta dos zonas: la primera cubierta de árboles con tonos oscuros y textura compacta debido al verdor y agrupamiento de los árboles, y la segunda más heterogénea cubierta por matorrales de textura lisa, rugosa o una combinación de ambas (figura 5).

Como superficies de contraste, se delimitaron las zonas de cultivo (en la imagen se aprecia el trazo lineal de parcelas o cultivos, formando contornos angulares) y las áreas con una escasa vegetación (de tonos más claros, por la reflectancia) (figura 5). Es importante puntualizar que la delimitación de los polígonos de mezquitil se concentró en los manchones de mayor cobertura, sin tomar en cuenta los individuos dispersos, ya que resulta más difícil su cuantificación. Cabe mencionar que la presencia de árboles espaciados, implica en la mayoría de los casos desmontes focalizados.

A través de la cuantificación de la tasa de cambio es posible identificar problemas relativos a la sustentabilidad de las actividades humanas (Palacio *et al.*, 2004). Para calcularla se aplicó la fórmula empleada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 1996, expresada a continuación:

$$\delta_n = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

S_1 : Superficie en la fecha 1

S_2 : Superficie en la fecha 2

n : es el número de años entre las dos fechas

Una vez que se procesó la información de las imágenes Landsat, se realizaron recorridos de campo georeferenciados para verificar la correspondencia de las áreas de distribución de mezquite derivado del análisis visual. En los sitios predeterminados se tomaron puntos de verificación con ayuda de GPS, identificando elementos del paisaje y la evaluación *in situ* de las condiciones generales de la cobertura vegetal y la dinámica de las actividades económicas presentes. Con base en los resultados obtenidos, se consideró pertinente extrapolar la información puntual de campo a zonas con condiciones específicas de la vegetación en la zona de estudio. Para tal fin se aplicó el NDVI sobre una imagen Landsat ETM+ de julio de 2013, deduciendo que cuanto mayor sea la diferencia entre las reflectividades de la banda IRC y R, mayor vigor vegetal presentará la cobertura observada. Este índice permite estimar el vigor y la biomasa en la cobertura vegetal a partir de las bandas Rojo (R) e Infrarrojo cercano (IRC)¹⁹, es decir, bajos contrastes indican una vegetación enferma, senescente o con poca densidad, hasta llegar a suelos descubiertos o al agua, que en ambos casos presentan una reflectividad muy similar entre el IRC y el R (Chuvieco, 2008).

2.3.4. Aprovechamiento del mezquite

Con base en una revisión documental y bibliográfica se obtuvo información clave sobre el aprovechamiento del mezquite, a escala nacional, estatal y municipal. Se documentaron particularmente estudios de caso, planes y programas de manejo aplicados en la zona de estudio y a partir de

19 Con la diferencia entre estas bandas se puede determinar la distribución diferencial de la cobertura vegetal. El empleo de los cocientes permite discriminar masas vegetales debido al comportamiento radiométrico específico de la vegetación (Chuvieco, 2008).

estos se elaboraron y aplicaron instrumentos cualitativos para recoger la percepción de la población local con respecto a la importancia económica que representa el mezquite; pero, como se describe a continuación, solo se consideró la de los usuarios directos.

En cuanto a los procesos económicos en torno al aprovechamiento de mezquite se procedió a analizar los datos oficiales de las bases de datos sobre aprovechamiento forestal proporcionados por SEMARNAT (2009) y se visitaron carpinterías en donde se trabaja la madera de mezquite. En esta fase de la investigación se eligieron a 20 de 78 dueños de carpinterías o madererías de los municipios de Rioverde y de Ciudad Fernández se recogieron datos sobre ubicación del establecimiento, giro del local (carpintería, maderería o bodega), la madera con la que realizaban los muebles, el tipo de madera utilizada para trabajar los muebles, la cantidad de madera utilizada por mueble y del volumen total anual, el tiempo que llevaba producir los diferentes artículos, la inversión y el precio de venta del producto.

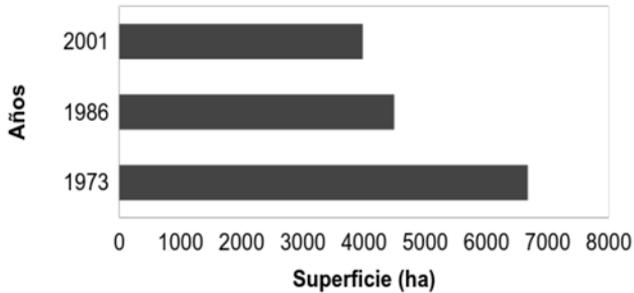
Finalmente, con toda la información recabada y con la intención de proponer un modelo de aprovechamiento del mezquite, se llevó a cabo un diagnóstico de su condición ecológica, su aprovechamiento maderable actual y potencial. Para ello, los datos que se obtuvieron en las entrevistas fueron capturados en una base de datos con la información proporcionada por los productores de muebles, carpinterías y personas que usan tradicionalmente la madera de mezquite. Para correlacionar estratégicamente la información se eligió la matriz FODA, porque esta permite conformar un esquema realista de la situación de una empresa a partir del discernimiento de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Se considera que este esquema es indispensable a todo intento de planeación y materia prima para la elaboración de cualquier diagnóstico organizacional (Molina, 2008).

2.3.5. Resultados

Sobre los cambios en la cobertura vegetal, los resultados demostraron que la cobertura arbórea de mezquites en la llanura de Rioverde en 1973 era de 6675 ha, la cual disminuyó a 4,490 ha en 1986, y se redujo a

3980 ha en 2001. Estos datos demuestran que en 28 años la superficie cubierta por este tipo de vegetación ha disminuido en un 40,3 % (figura 2.3.4).

2.3.4. Cambios en la cobertura de mezquite de la Llanura de Rioverde entre 1973 y 2001.



Fuente: elaboración propia (2016).

El análisis realizado permitió detectar que las tendencias de pérdida de cobertura vegetal se manifestaron de forma más evidente en dos zonas. La primera se ubica al noroeste de los municipios de Rioverde y Cd. Fernández, justo al margen derecho de la carretera a Villa Juárez. Esto ha ocurrido de forma preponderante por el impacto que ha ejercido el desarrollo de la agricultura²⁰. La otra zona se halla al noreste en un espacio circunscrito por la carretera municipal Cd Valles- Rioverde (figura 5). En este caso, se han abierto algunas zonas dedicadas a la agricultura por lo cual los árboles están más dispersos, además se presentan algunos espacios con claros evidentes dentro del municipio de Cd. Fernández, al norte de la mancha urbana, muy cerca de las localidades Rancho la Virgen, y Ejido Puentecitos, por donde se entrecruza la carretera a Villa Juárez y supercarretera San Luis- Rioverde.

²⁰ Cabe destacar que esta tendencia también se presentó cerca de las localidades de San Bartolo, Santa Rosa, Angostura, y Progreso.

Tabla 2.3.1. Superficie forestal por año y tasa de cambio de uso de suelo del mezquital

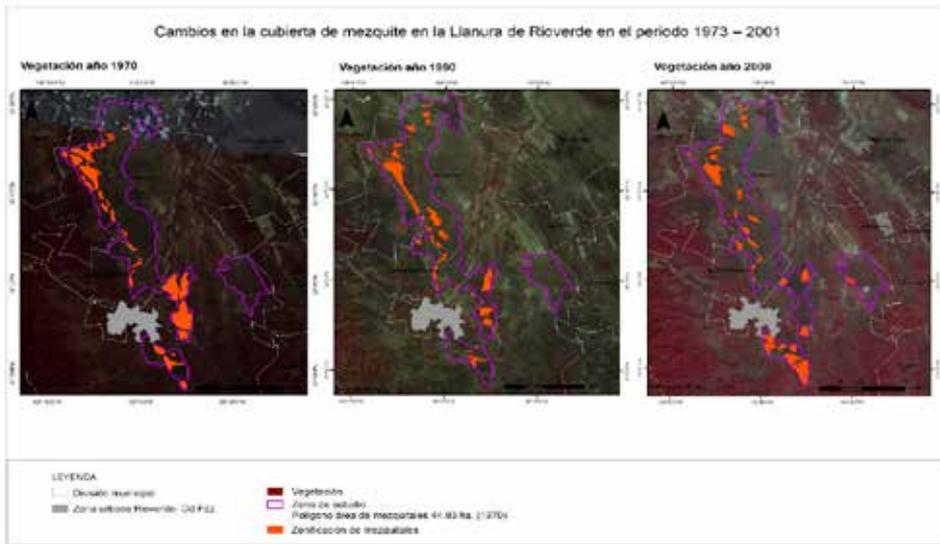
Municipios	Superficie por año (ha)			Tasa de cambio anual (%) por periodo	
	1973	1986	2001	1973-1986	1986-2001
Rioverde y Cd. Fernández	6 675	4 440	3 980	-3,08	-0,72

Fuente: elaboración propia (2016).

El mezquital tuvo una tasa de cambio relevante en el conjunto de la cobertura vegetal. El proceso de cambio representó en suma para los dos periodos una pérdida del 40,3 %. En la tabla 2.3.1, se puede observar que la tasa de cambio para el periodo 1973-1986, fue mucho mayor, con 13 años transcurridos, se perdió más cobertura; mientras que en el siguiente periodo, pasaron 15 años, la tasa de cambio fue menor. La figura 5 muestra la evolución de cobertura entre 1973 y el 2001. La línea en tono morado indica la distribución potencial del mezquite.

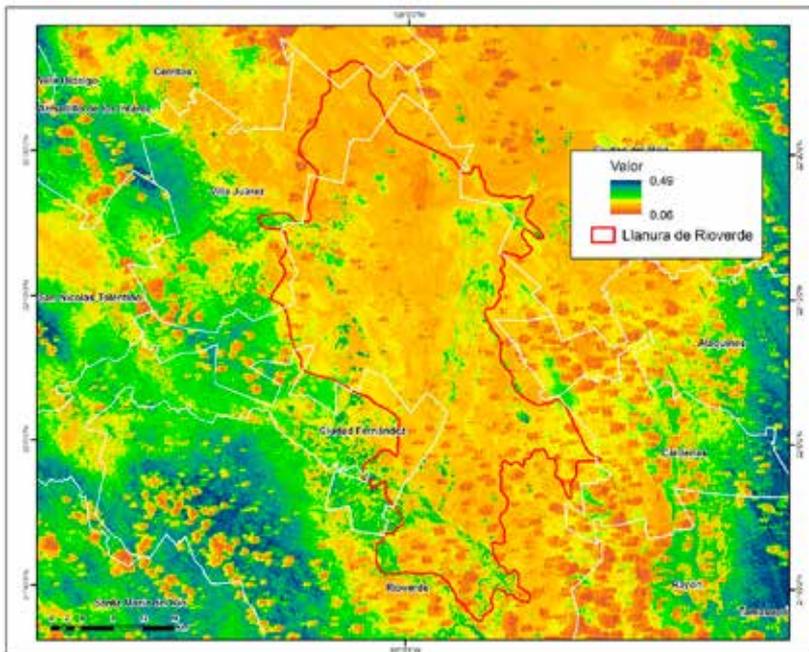
En relación con la aplicación del NDVI, recientemente, se encontró que en la Llanura de Rioverde a partir del color amarillo valor (0,1) hacia los rojos (0,06) las coberturas vegetales comienzan a decrecer (figura 2.3.6), hasta llegar al punto de prácticamente desaparecer. Entre los tonos amarillos y azules se pueden detectar tres franjas: al oeste, agricultura de riego y matorral submontano al este de la región se aprecia vegetación halófila y al sureste, bosque de encino.

Figura 2.3.5. Cambios en la cobertura arbórea de mezquite en la llanura de Rioverde, 1970-2000.



Fuente: Elaboración propia, (2016).

Figura 2.3.6. Aplicación del Índice Normalizado de Vegetación, julio 2013



Fuente: elaboración propia (2016).

En cuanto al uso del mezquite en la Llanura de Rioverde, específicamente en las zonas de montaña y de llanos, se detectó que este recurso natural se aprovecha principalmente para fabricar muebles. Según la SEMARNAT para tal fin, en 2011, se concedieron 30 permisos en terrenos diversos. En la información oficial destaca el mezquite como la especie más aprovechada (cuadros 2.3.2 y 2.3.3) y el municipio de Rioverde, donde se explotó en mayor volumen este recurso maderable entre 2007 y 2010. Esta situación cambió en 2011 al otorgarse un número menor de concesiones para la extracción de especies maderables. Al respecto, se postula que la disminución en el otorgamiento de permisos para aprovechar el mezquite podría inducir su extracción de manera clandestina.

Tabla 2.3.2. Permisos de aprovechamiento forestal en terrenos diversos Rioverde

Años	Especies maderables					Volumen mezquite (m ³ rta ²)
	Mezquite	Sabino	Casuarina	Apoyo solicitado, pero no autorizado	Otro tipos de especies	
2007	67	3	2	4	2	468.46
2008	47	3	1	3	2	493.21
2009	42	5	4	1	3	9216.4
2010	48	3	2	0	3	1024
2011	20	2	1	0	0	171.86

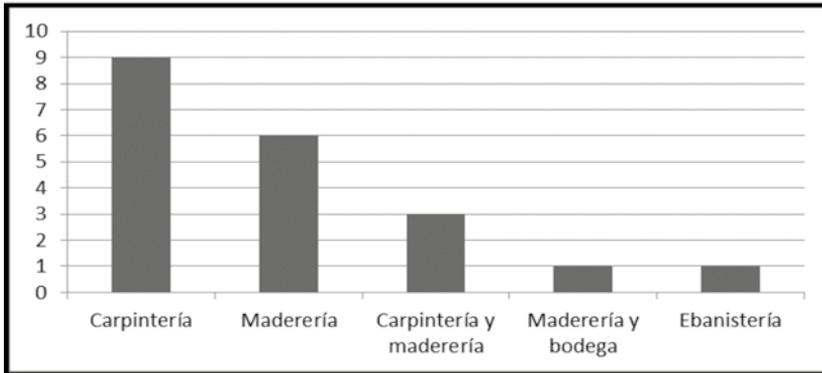
Fuente: SEMARNAT (2009).

Cuadro 2.3.3. Permisos de aprovechamiento forestal en terrenos diversos Cd. Fernández

Año	Especies maderables					Volumen mezquite (m ³ rta)
	Mezquite	Sabino	Casuarina	Apoyo solicitado, pero no autorizado	Otros tipos de especies	
2007	61	0	1	1	0	247.6
2008	39	1	1	0	1	237.9
2009	42	0	0	0	0	244.6
2010	30	0	1	0	1	276.7
2011	10	0	0	0	1	52.8

Fuente: SEMARNAT (2009).

La información cualitativa derivada de la aplicación de entrevistas a propietarios de unidades de producción asociadas con el uso del recurso maderable extraído en estos dos municipios, debe precisarse que nueve fueron carpinterías, seis madererías, una ebanistería y cuatro mixtas: tres carpinterías-madererías y una maderería-bodega (figura 2.3.7). El 50 % de los entrevistados mencionaron que la madera utilizada proviene de la zona montañosa, y que la obtienen de manera clandestina, porque los permisos de desmonte son más tardados. En algunos casos, la adquieren de otras entidades federativas como Michoacán y Durango.

Figura 2.3.7. Tipos de establecimientos en la zona de estudio

Fuente: elaboración propia (2016).

Los tipos de madera que se manejan con mayor frecuencia son pino, mezquite y cedro rojo, aunque hay madererías que solo trabajan pino o cedro rojo (figura 2.3.8). La mayoría de los encuestados no tenían idea de cuánta madera se utilizaba en el año, porque dependen de la demanda de trabajo y del artículo solicitado.

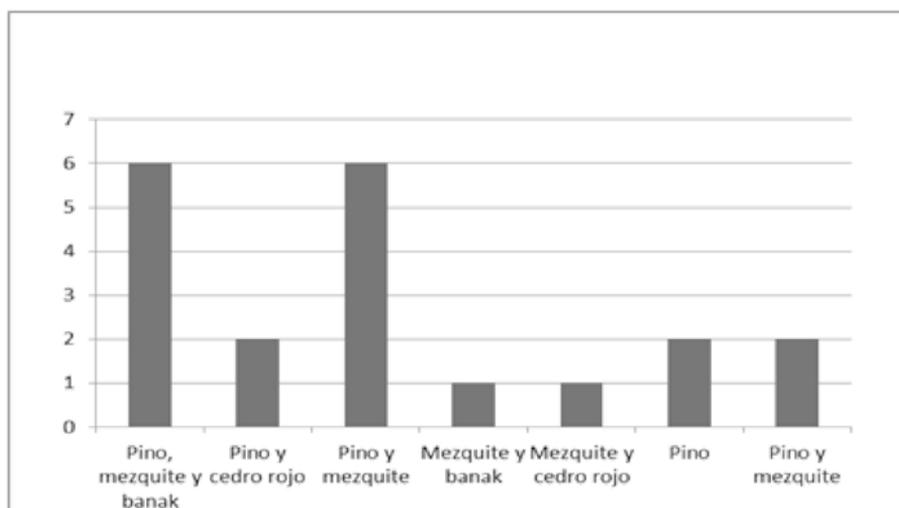
La mayoría de las madererías y fábricas de muebles comercian y utilizan en la elaboración de sus productos diversos tipos de maderas, que incluyen al mezquite y en algunos casos solo pino y cedro rojo, aunque la madera utilizada depende de la demanda específica. Además, los comedores son los artículos que mayor cantidad de madera demanda, los que requieren más tiempo en la producción y los que a, su vez, proporcionan los mayores dividendos (tabla 2.3.4). En comparación con las vitrinas y las puertas que requieren menor tiempo de trabajo y de forma proporcional, brindan mayores ganancias por unidad producida (alrededor de tres veces en relación con el costo de inversión).

Tabla 2.3.4. Relación de tablas aprovechadas y tiempo invertido en la elaboración de muebles

Mueble	Tablas	Tiempo	Costo (\$) Pesos/ US	Ganancia (\$) Pesos/ US
Comedor	10-12	3 semanas -2 meses	9 000/692	12 200/938
Librero	4-6	1 semana	1 200/92	2 500/192
Vitrina	7	1 semana	1 500/111	4000/307
Sillas	Varía según el número de sillas	1-3 semanas	S/D	S/D
Recámara	20-25	1-2 meses	S/D	S/D
Puertas	Varía según el número de puertas	1-2 semanas	1 000/333	3 500/269

Fuente: elaboración propia (2016).

Figura 2.3.8. Relación de madera utilizada para la elaboración de muebles



Fuente: elaboración propia (2016).

Se aplicaron 20 cuestionarios con un muestreo aleatorio, e igual número de entrevistas a los dueños de carpinterías y/o madererías de ambos municipios de un total de 78. Los entrevistados refirieron que los muebles que demandan mayor cantidad de madera e inversión de tiempo son las recámaras y los comedores. Debido a que no invierten mucho capital en la elaboración de estos muebles, pueden obtener hasta el 30 % de ganancia, dependiendo del tipo de mueble. Además, explican que el trabajar con mezquite implica mayores dificultades por su composición física, porque el tronco suele ser de constitución dura. La venta de los muebles se realiza principalmente en la cabecera municipal de Rioverde, y en menor medida se elaboran sobre pedido.

Algunas carpinterías llevan sus productos a otras ciudades como San Luis Potosí, Guadalajara, León, Monterrey y Tampico. El costo aproximado que implica el transporte de ocho bases de recámaras matrimoniales, ocho puertas y cuatro comedores con seis sillas, en un camión de 3,5 ton, de Rioverde a San Luis Potosí, incluyendo viáticos, gasolina y cassetas es de \$1 800.00 (\$138 US). Dicha cantidad es baja, puesto que se recupera con el monto que se obtiene de la ganancia por la venta de los productos.

El análisis FODA (herramienta que busca identificar y mantener las fortalezas y atacar las debilidades de tal forma que puedan convertirse en oportunidades) permite concluir que es necesario mantener la experiencia de los carpinteros y artesanos como fortaleza para potenciar las posibilidades de crecimiento. Asimismo, es necesario impulsar la promoción de productos de madera de mezquite para fortalecer su mercado y con ello reducir la amenaza de desempleo.

En la tabla 2.3.5 se presenta la matriz FODA, que sirvió para valorar la situación del mezquite y de su aprovechamiento en la Llanura de Rioverde. Es importante mencionar que este cuadro recoge la percepción basada en el conocimiento y la experiencia de la gente en torno a este recurso natural.

Tabla 2.3.5. Análisis FODA

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Experiencia de carpinteros	Aceptación de productos en la región y el estado	Poca promoción de productos de madera de mezquite	Mercado local
Área compacta de mezquiteras, con 50 000 ha de estrato arbóreo	Producto no perecedero	Escasez de cultura forestal	En ocasiones falta de trabajo, al ser demasiados en ese rubro
Existe interés para trabajar en proyectos relacionados con el manejo del mezquite	Mercado para una mayor diversificación de productos	La población no cuenta con capacitación en la diversificación de mezquite	Competencia de mueble sintético
Equipos para trabajar el mezquite	Subsidio para aprovechamientos forestales	Baja respuesta a las convocatorias de apoyos ProÁrbol	Tala clandestina
Participación en exposiciones, ferias regionales, estatales y nacionales	Crecimiento económico de la región	Falta de conocimiento en la administración de su negocio	Muebles de otro tipo a crédito

Fuente: Elaboración propia con base en entrevistas con la población (2013).

En suma, la matriz FODA, que se obtuvo, proporcionó información relevante para sugerir las siguientes acciones que permitirían enfrentar algunas de las debilidades y amenazas detectadas:

- Aprovechar el conocimiento y la experiencia de los carpinteros en la producción forestal y la comercialización de sus productos para crear una empresa comunitaria y ofrecer sus productos más allá del mercado local.

- Diversificar los productos derivados del mezquite, para aprovechar el recurso con otras actividades complementarias.
- Crear acciones conjuntas con autoridades para que sus productos puedan ser comercializados a nivel regional y nacional.
- Aprovechar los subsidios que ofrece CONAFOR en cuanto a capacitación y comercialización, al difundir su importancia entre los productores.
- Concientización con respecto al cuidado de la cobertura vegetal al analizar la situación actual y destacar los beneficios en el manejo forestal.
- Proponer a CONAFOR una extensión de áreas prioritarias para que se incluya a la Llanura de Rioverde dentro de las plantaciones forestales comerciales, y no únicamente como servicios ambientales.
- Crear una empresa forestal comunitaria, con la empresa que se propone, además de cultivar y manejar su bosque participar en la producción forestal, en la comercialización y ofrecer servicios ambientales.
- Impartir talleres sobre la administración de su negocio, de manera que lleven un registro de sus cuentas y tengan la posibilidad de crear un plan para otorgar muebles a crédito, sin que exista afectación en sus finanzas.

2.3.6. Conclusiones

El empleo de un enfoque mixto: cualitativo y cuantitativo, en este trabajo, permitió identificar las condiciones físicas en las que crece este tipo de vegetación, evaluar el estado de la cobertura vegetal, ponderar los ritmos de aprovechamiento y sugerir un esquema de trabajo que procure su conservación. En la llanura de Rioverde, el mezquital crece en suelos aluviales con diferentes condiciones de desarrollo en zonas de transición climática y en general con alta resistencia a la sequía, por lo que el potencial de manejo forestal es alto. En el periodo 1973- 2001, se perdieron 3980 ha de mezquital, siendo el periodo de

1973-1986 el de mayor deforestación. En consecuencia, la explotación del mezquite ha dado lugar a la fragmentación de este tipo de vegetación debido al aclareo, por lo que es urgente atender aquellas áreas que aún se conservan con vegetación arbórea, así como las áreas de renuevos. Cabe destacar que la Llanura de Rioverde no está incluida dentro de las áreas sujetas de apoyo para la reforestación que destina CONAFOR, esto a pesar de que existen áreas que deben ser restauradas. El diálogo con los carpinteros evidenció que su experiencia en cuanto al aprovechamiento de este recurso natural es una fortaleza muy útil y que se necesita atacar algunas debilidades, como es la poca promoción de productos derivados de la madera de mezquite, y más trascendental aún, evitar que las amenazas sobre la pérdida del recurso se concreten. Es fundamental fortalecer los esfuerzos en materia ambiental orientándolos para trabajar en acciones donde participen de forma coordinada autoridades y población en la formulación de políticas de conservación y alternativas para el manejo sustentable de los recursos naturales.

2.3.7. Bibliografía

- Chuvieco, E. (2008). “Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio”. Barcelona, España. Editorial Ariel, S.A, 3era edición actualizada.
- Coronado, B. (1982), “Características y usos del mezquite (*Prosopis* spp.) en México”. Facultad de Agronomía, UASLP.
- García, E (1998) y Maderrey-R, L. E. (1990). *Portal de Información Geográfica*, CONABIO. Instituto de Geografía, UNAM.
- Guevara, A., González, E., Suzán, H., Malda, G., Martínez, M., Gómez, M., Hernández, L., Pantoja, Y. y Olvera, D. (2008). “Distribución potencial de algunas leguminosas arbustivas en el altiplano central de México” *Agrociencia*, 42 (6), Agosto-Septiembre, pp. 703-716. Colegio de Postgraduados, México. Recuperado de: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=30211218010>

- INEGI (2004). *Guía para la interpretación cartográfica. Edafológica*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- INEGI, (2005a). *Guía para la interpretación cartográfica. Uso de suelo y vegetación*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- Molina, C. (2008). *Administración I* Compañía Editorial Nueva Imagen, S.A de C.V.
- Palacios, R. (2006). *Los Mezquites Mexicanos: Biodiversidad y Distribución Geográfica*, Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica (En línea). Bol. Soc. Argent. Bot.41 (1-2): 99-121. Recuperado de: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-23722006000100010&script=sci_arttext&tlng=es
- Palacio, J., Sánchez, M., Casado, J., Propin, E., Delgado, J., Velázquez, A., Chias, L., Ortiz, M., González, J., Negrete, G., Gabriel, J., y Márquez, R. (2004). *Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial*. Instituto de Geografía, UNAM, SEDESOL.
- Ruiz, D. (2011). *Uso Potencial de la vaina de mezquite para la alimentación de animales domésticos del altiplano potosino*. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina, PMPCA, UASLP.
- Rzedoski, J. (1966). *Vegetación del Estado de San Luis Potosí, Acta científica potosina* Vol. 5 (1-2):1 -291.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*, 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- SEMARNAT, (2009). *Certificados de Inscripción en el Registro Forestal Nacional, Centros de Almacenamiento y Transformación del Estado de San Luis Potosí*. Delegación Federal en San Luis Potosí.
- Velázquez A, Mas J.F., Díaz-Gallegos J.R., Mayorga-Saucedo R., P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández y J. L. Palacio. *Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Villanueva, J. y Hernández, A. (2005). *Estructura y crecimiento anual de algunas mezquiteras en San Luis Potosí*. CFM, 29 (96), INIFAP.

2.4. MÉTODOS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA RESTAURACIÓN DE ISLAS: EL CASO DE LAS ERRADICACIONES DE ROEDORES INVASORES

Federico A. Méndez Sánchez²¹.

Mariam Latofski Robles

Alfonso Aguirre Muñoz

Karina Ramos Rendón

Ana G. Cárdenas Tapia

Evaristo M. Rojas Mayoral

*Grupo de Ecología y Conservación de Islas,
Ensenada, Baja California, México.*

2.4.1. Introducción

La pérdida de biodiversidad y de los servicios ecosistémicos que esta brinda es uno de los mayores problemas ambientales que se enfrenta en la actualidad (Myers, Mittermeier, Mittermeier, da Fonseca y Kent, 2000). La destrucción de hábitat y las especies exóticas invasoras²² (EEI) son la primera y segunda causa, respectivamente, de la extinción de cientos de especies a nivel global (Courchamp, Chapuis y Pascal, 2003). Las EEI se han establecido en el 40 % de las islas del mundo, donde son la mayor amenaza para la biodiversidad e integridad ecológica de dichos ecosistemas (Veitch y Clout, 2002; Baillie, Hilton y Stuart, 2004; Veitch, Clout y Towns, 2011). Por ejemplo, actualmente un 74 % de las especies de aves amenazadas de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) presentes en islas oceánicas están siendo gravemente afectadas por las EEI, en particular de depredadores como ratas (*Rattus* spp.) y gatos (*Felis catus*) (BirdLife International, 2013). Tan solo en México, el 88 % del total

21 Autor para correspondencia: federico.mendez@islas.org.mx

22 Son aquellas que se encuentran fuera de su área de distribución natural y potencial, que fueron introducidas por el hombre de manera intencional o accidental, y que han logrado establecerse, causando daños a las especies de flora y fauna nativas.

de las extinciones de vertebrados terrestres del país son especies endémicas insulares, de las cuales un 76 % fue a causa de las EEI, especialmente ratas y gatos (cuadro I; Aguirre-Muñoz *et al.*, 2011).

México cuenta con 2 500 elementos insulares cuya superficie representa 0,2 % de toda la superficie terrestre del país. No obstante, estos albergan el 8,3 % de las especies conocidas de plantas vasculares y vertebrados terrestres del país, de las cuales más de 350 son especies y subespecies endémicas insulares. De hecho, al comparar con la porción continental, las islas del país albergan 14 veces más especies endémicas por unidad de superficie. Además, las islas más alejadas del continente -Guadalupe, Archipiélago de Revillagigedo y Arrecife Alacranes- proveen a México con una vasta Zona Económica Exclusiva (ZEE) de 3 149 920 km², la decimocuarta a nivel mundial. Asimismo, las aguas aledañas a las islas son especialmente ricas en recursos marinos, y aportan significativamente a la productividad de la pesca artesanal de especies de alto valor comercial como abulón, langosta y erizo (CANTIM, 2012).

Los roedores (*Rattus spp.*, *Mus musculus*) son de las EEI más dañinas y ampliamente distribuidas (Townes, Atkinson y Daugherty, 2006). Han sido responsables de la extirpación de numerosas poblaciones de aves marinas en islas (Jones *et al.*, 2008), además de causar fuertes impactos socioeconómicos (Reaser *et al.*, 2007). Actualmente, de las 35 islas en México con EEI aún presentes, 24 se encuentran bajo la amenaza de roedores introducidos (Tabla 2.4.2).

Afortunadamente, las islas representan una oportunidad de conservación excepcional, porque sus condiciones de aislamiento permiten la aplicación eficaz de un amplio rango de herramientas y métodos de restauración, mucho mayor a los espacios continentales. En este sentido, México tiene una exitosa trayectoria de restauración insular que comenzó en 1994-1995 con la erradicación²³ de gatos ferales en la isla Asunción, y las de gatos, ratas y ratones en la isla Rasa (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2011; Ceballos y Ramírez,

23 La erradicación de especies exóticas invasoras consiste en remover permanentemente la población entera de una especie dentro de un área determinada.

1997). Desde entonces y hasta el 2014, atendiendo prioridades de conservación (Latofski-Robles, Aguirre-Muñoz, Méndez-Sánchez, Reyes-Hernández y Schlüter, 2014), se han realizado 55 erradicaciones de 11 mamíferos invasores en 35 islas mexicanas, lo que representa una superficie acumulada de 50 815 hectáreas (figuras 1 y 2, y cuadro III). Estas acciones han protegido a 134 especies de plantas endémicas, 117 vertebrados endémicos y 220 poblaciones de aves marinas.

Tabla 2.4.1. Vertebrados extintos debido a la destrucción de hábitat, competencia y depredación por especies exóticas invasoras en islas mexicanas

Nombre científico	Nombre común	Isla	Año ^a	EEI
Aves				
<i>Oceanodroma macrodactyla</i>	Petrel de Guadalupe	Guadalupe	1912	Gato (P) Cabra (E)
<i>Colaptes auratus rufipileus</i>	Carpintero de Guadalupe		1906	
<i>Thryomanes bewickii brevicauda</i>	Saltapared de Guadalupe		1892	
<i>Regulus calendula obscurus</i>	Reyezuelo sencillo de Guadalupe		1953	
<i>Pipilo maculatus consobrinus</i>	Toquí pinto de Guadalupe		1897	
<i>Aimophila ruficeps sanctorum</i>	Zacatonero	Todos Santos	1927	Gato (E)
<i>Zenaida graysoni</i> ^b	Paloma de Socorro	Socorro (Archipiélago Revillagigedo)	1972	Gato (P) Borrego (E)
<i>Micrathene whitneyi graysoni</i>	Tecolote enano de Socorro		1932	
Mamíferos				
<i>Chaetodipus baileyi fornicatus</i>	Ratón de abazones	Montserrat	1957	Gato (E)

<i>Neotoma anthonyi</i>	Rata cambalachera de Todos Santos	Todos Santos	1950s	Gato (E)
<i>Neotoma bunkeri</i>	Rata de campo de Coronados	Coronados	1980s	Gato (E)
<i>Neotoma martinensis</i>	Rata cambalachera de San Martín	San Martín	1925	Gato (E)
<i>Oryzomys nelsoni</i>	Rata arrocera de Tres Marías	María Madre	1898	Gato (P) Rata negra (P)
<i>Peromyscus guardia harbisoni</i>	Ratón de Ángel de la Guarda	Granito	1973	Rata negra (P)
<i>Peromyscus guardia mejiae</i>	Ratón de Mejía	Mejía	1973	Gato (E)
<i>Peromyscus maniculatus cineritius</i>	Ratón de San Roque	San Roque	1960s	Gato (E) Rata negra (E)

EEI= especie exótica invasora; (P)= presente; (E)= erradicada; (^a)= año en que se registró por última vez; (^b)= extinta en la naturaleza pero se reproduce en cautiverio en zoológicos.

Fuente: Aguirre-Muñoz et al, (2011).

Tabla 2.4.2. Islas mexicanas con registros confirmados de especies exóticas invasoras

Región	Isla	Área (ha)	Especie Invasora
Pacífico Norte	Cedros	34,933	ratón común, rata negra, perro, gato, cabra, burro
	Coronado Sur	126w	ratón común
	Guadalupe	24,171	ratón común, gato
	Magdalena	27,773	ratón común, perro, gato, burro
	Natividad	736	ardilla antilope cola blanca
	Santa Margarita	21,504	gato, perro, cabra, burro, caballo, ardilla
Golfo de California	Alcatraz	50	ratón común
	Almagre Chico	10	rata negra
	Ángel de la Guarda	93,068	ratón común, rata negra, gato
	Carmen	14,461	gato, cabra
	Cerralvo	13,505	gato, cabra
	El Rancho	232	ratón común, rata negra
	Espíritu Santo	7,991	gato, cabra
	Granito	27	rata negra
	Mejía	247	ratón común, rata negra
	Melliza Este	1	rata negra
	Pájaros	82	rata negra
	Roca del Coyote	25	gato, perro
	Saliaca	2,000	ratón común, rata negra
	San Diego	56	cabra
	San Esteban	3,966	rata negra
	San José	18,109	gato, cabra, burro
	San Marcos	2,855	gato, cabra
	San Vicente	14	ratón común
Santa Catalina	3,890	ratón de Baja California	
Tiburón	119,875	rata negra, perro	
Pacífico Tropical	Clarión	1,958	conejo
	María Cleofas	1,963	rata negra, gato, cabra
	María Madre	14,388	rata negra, conejo, gato, cabra, caballo
	María Magdalena	6,977	rata negra, gato, cabra, venado cola blanca
	Socorro	13,033	ratón común, gato
Mar Caribe	Cayo Centro	537	rata negra, gato
	Cozumel	47,000	ratón común, rata negra
	Holbox	5,540	rata negra
	Mujeres	396	ratón común, rata negra

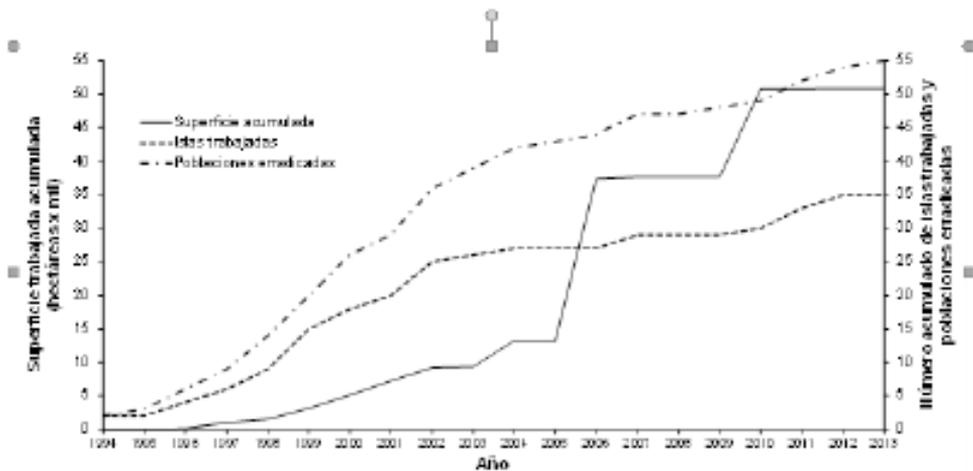
Fuente: Jones et al, (2008).



Fuente: elaboración propia (2013).

Fotografías 1-3. Un GPS diferencial (© TracMap) guió a un piloto experimentado durante la dispersión aérea de rodenticida en la isla San Benito Oeste en noviembre de 2013 (arriba y en medio). En tierra, una vez descargados los datos del GPS, el equipo técnico, a través de diversas herramientas de información geográfica como el software ArcGis (© Esri), verifica la superficie sobrevolada de la isla, poniendo especial atención en que no existan huecos sin rodenticida (abajo).

Figura 2.4.2. Trayectoria de México en la restauración de sus islas a través de la erradicación de mamíferos invasores.



Fuente: elaboración propia (2016).

En México, la dispersión aérea de rodenticida para erradicar roedores invasores ha sido implementada con éxito en seis islas mexicanas: San Benito Oeste (2013), en el Océano Pacífico, frente a la península de Baja California; Farallón de San Ignacio (2007), San Pedro Mártir (2007) e Isabel (2009) en el Golfo de California; y Cayo Norte Mayor y Menor (2012) en el Mar Caribe (ver Cuadro 2.4.3). Estas islas varían en tamaño -desde 15 ha hasta 400 ha-, en las especies de roedores erradicadas -rata negra (*Rattus rattus*) y ratón de cactus (*Peromyscus eremicus*)- y en las características topográficas y del ecosistema islas desérticas, subtropicales y tropicales, estas últimas con manglares y zonas inundables.

En todos los casos, el uso de GPS diferencial y de los sistemas de información geográfica fue crucial. Por ello, en el presente capítulo, detallaremos su utilidad y aplicación en la erradicación de roedores invasores como una medida de restauración ecológica de islas. En particular, el uso de estas herramientas persigue dos grandes objetivos. El primero es confirmar en tiempo real que la distribución de rodenticida fue homogénea, asegurando que toda la superficie de la isla fue cubierta. El segundo es

calcular y verificar que la densidad de roenticida que se distribuyó fue la predeterminada de inicio con base en las diferentes variables ecológicas, climáticas y topográficas.

Tabla 2.4.3. Erradicaciones exitosas en islas mexicanas entre 1994 y 2013.

Isla	Superficie (ha)	Especie Erradicada	Año	Método
Asunción	41	Gato	1994	Trampeo
Cayo Norte Mayor	29	Rata negra	2012	Dispersión aérea cebo
Cayo Norte Menor	15	Rata negra	2012	Dispersión aérea cebo
Clarión	1,958	Borrego, cerdo	2002	Cacería
Coronado Norte	37	Gato	1995-1996	Trampeo
Coronado Sur	126	Gato, cabra, burro	2003	Trampeo, cacería
Coronados	715	Gato	1998-1999	Trampeo
Danzante	412	Gato	2000	Trampeo
Estanque	82	Gato	1999	Trampeo, cacería
Farallón de San Ignacio	17	Rata negra	2007	Dispersión aérea cebo
Guadalupe	24,171	Cabra, borrego	1997	Traslado vivo
		Conejo, burro	2002	Traslado vivo
		Cabra	2003-2006	Traslado vivo, trampeo, cacería, telemetría
		Caballo	2004	Traslado vivo
		Perro	2007	Traslado vivo, trampeo, cacería
Isabel	80	Gato	1995-1998	Trampeo, cacería, estaciones de veneno
		Rata negra	2009	Dispersión aérea cebo
Mejía	245	Gato	1999-2001	Trampeo, cacería
Montserrat	1,886	Gato	2000-2003	Trampeo, cacería

Muertos	16	Ratón común	2011	Dispersión manual cebo
Natividad	736	Gato	1998-2000	Trampeo, cacería, traslado vivo
		Perro	2001	Traslado vivo
Pájaros	2	Ratón común	2011	Dispersión manual cebo
Partida Sur	1,533	Gato	2000	Traslado vivo
Pérez	11	Rata negra	2011	Dispersión manual cebo
Rasa	57	Rata, ratón	1995-1996	Estaciones de veneno
San Benito Este	146	Conejo	1999	Trampeo, cacería
San Benito Medio	45	Conejo	1998	Trampeo, cacería
San Benito Oeste	400	Conejo, cabra	1998	Trampeo, cacería
		Burro	2005	Traslado vivo
		Ratón de cactus	2013	Dispersión aérea cebo
San Francisquito	374	Cabra	1999	Cacería
		Gato	2000	Trampeo, cacería
San Jerónimo	48	Gato	1999	Trampeo, cacería
San Jorge Este	9	Rata negra	2000-2002	Estaciones de veneno
San Jorge Medio	41	Rata negra	2000-2002	Estaciones de veneno
San Jorge Oeste	7	Rata negra	2000-2002	Estaciones de veneno
San Martín	265	Gato	1999	Trampeo, cacería
San Pedro Mártir	267	Rata negra	2007	Dispersión aérea cebo
San Roque	35	Gato	1994	Trampeo
		Rata negra	1995	Estaciones de veneno
Santa Catalina	3,890	Gato	2002-2004	Trampeo, cacería
Socorro	13,033	Borrego	2010	Cacería, telemetría

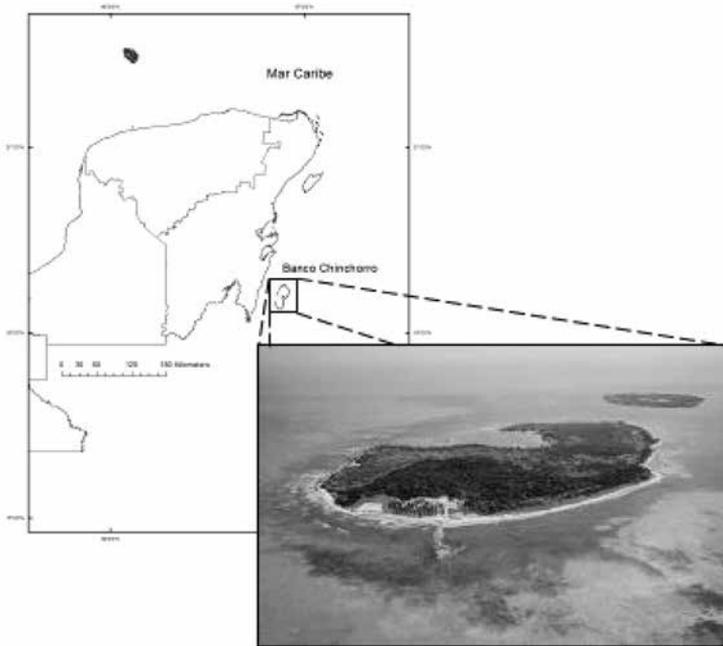
Todos Santos Norte	34	Gato, conejo	1999-2000	Trampeo, cacería
		Burro	2004	Traslado vivo
Todos Santos Sur	89	Gato	1997-1998 1999-2004	Trampeo, cacería
		Conejo	1997	Trampeo, cacería
Total: 35 islas	50,815	55 erradicaciones		

Fuente: elaboración propia (2016).

2.4.2. Área de estudio

Islas Cayo Norte Mayor y Menor. Estas islas son parte del Complejo Arrecifal Banco Chinchorro, compuesto por cuatro cayos: Cayo Centro (537 ha), Cayo Norte Mayor (28,8 ha), Cayo Norte Menor (14,6 ha) y Cayo Lobos (0,4 ha) (figura 3). En 1996 el complejo fue decretado como Reserva de la Biosfera por el gobierno federal. También es sitio RAMSAR. Sus coordenadas centrales son 18°35'00"N y 87°20'00"W. Se encuentra a 30 km de la costa de Quintana Roo. Con una precipitación promedio anual de 1 450 mm, en las islas hay lagunas interiores intermitentes. La vegetación dominante es el manglar, con parches de selva con árboles de los géneros *Bumelia*, *Bursera* y *Thrinax*. Su fauna está representada por 12 especies de reptiles y 129 de aves. En los Cayos Norte Mayor y Menor, el único mamífero terrestre nativo es el murciélago de piernas peludas (*Myotis keaysi*), en tanto que la rata negra era la única EEI presente. Se erradicó en 2012 (Samaniego-Herrera, 2014).

Figura 2.4.3. Ubicación y fotografía aérea de los Cayos Norte Mayor y Menor.



Fuente: elaboración propia (2015).

2.4.3 Materiales y métodos

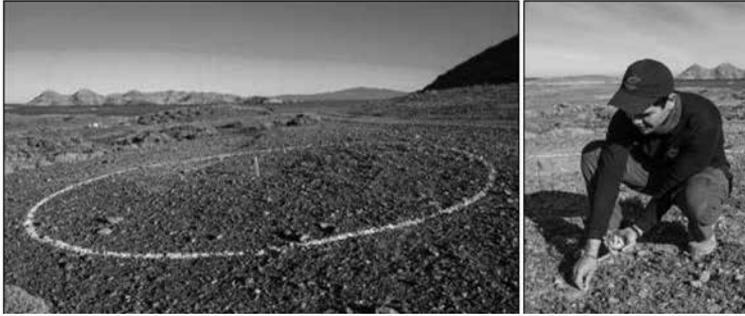
2.4.3.1 Calibración de la cubeta de dispersión

Debido a la alta precisión con que se debe implementar una erradicación, mediante el método de dispersión aérea, es muy importante que antes de cada operación se realice una calibración de la cubeta de dispersión. Las tres razones son las siguientes: (1) Asegurar que el rodenticida está siendo dispersado a la tasa de aplicación deseada; (2) Minimizar el riesgo de que existan huecos durante la aplicación del rodenticida; y (3) Probar y confirmar que el sistema -helicóptero, GPS y cubeta de dispersión- está funcionando correctamente. En esta etapa se miden dos parámetros, la tasa de flujo (TF) y la tasa de aplicación real (TAR). La TF se refiere al tiempo que le toma salir o ser dispersada una cantidad determinada de cebo, y

se mide en kilogramos por segundo (kg seg^{-1}). La TF es dependiente del diámetro del disco (45 mm - 110 mm) que se usará en la cubeta y por el cual fluye el rodenticida. Los parámetros predefinidos y que se mantienen constantes son la velocidad de vuelo del helicóptero (medida en nudos, y transformada a metros por segundo) y el ancho de banda de dispersión (por lo general de 60 m), el cual a su vez depende de la altura a la que vuela el helicóptero y la potencia (en revoluciones por minuto) del motor de la cubeta de dispersión. En total se realizan tres repeticiones con cada diferente disco.

Una vez que se realizaron las mediciones de la TF, se procede a verificar la TAR. Esto consiste en estimar la cantidad de cebo que fue dispersada por el helicóptero durante un vuelo de prueba. Para ello, en un área suficientemente grande -en este caso las instalaciones de la compañía aérea de servicios especializados Aspen Helicopters Ltd. localizadas en el aeropuerto de Oxnard, California, EE. UU.- se traza una línea recta por la que sobrevuela el helicóptero con la cubeta de dispersión. Para confirmar el ancho de banda deseado, se miden 30 m a cada lado de esta línea de vuelo, se representa así un ancho de banda de 60 m. Dentro de esta área se colocan de entre 15 y 30 unidades circulares de muestreo de 3 m de radio o un área de $28,27 \text{ m}^2$ (ver ejemplo en la figura 2.4.4). Finalmente, una vez que el helicóptero sobrevuela la zona dispersando cebo, se colectan todos y cada uno de los pellets de rodenticida en cada uno de los círculos, se cuentan y se pesan usando una balanza analítica. Con dicha información, se calcula la TAR, en kilogramos por hectárea, y se compara con la densidad de rodenticida objetivo a la que se hizo la calibración.

Figura 2.4.4. Unidad de muestreo para medir la tasa de aplicación real del helicóptero tras la dispersión aérea de rodenticida.



Fuente: elaboración propia (2013)

A continuación, se presenta el análisis de cuatro eventos de calibración de la cubeta de dispersión. Dos de estos se realizaron en 2007: uno en 2009 y uno más en 2013. Todos, excepto uno en 2007, se llevaron a cabo en las instalaciones de la compañía de helicópteros Aspen Helicopters Ltd. En todos los casos se ha usado la misma cubeta de dispersión, diseñada por la compañía neozelandesa Helicopters Otago Ltd. Utilizando el *software* MATLAB (© MathWorks). Así se relacionó y escribió con estos datos un código que integra la información de TF y TAR, relacionando así la velocidad del helicóptero, el diámetro del disco por utilizar en la cubeta de dispersión y la densidad de cebo estimada.

2.4.3.2 Dispersión aérea de rodenticida

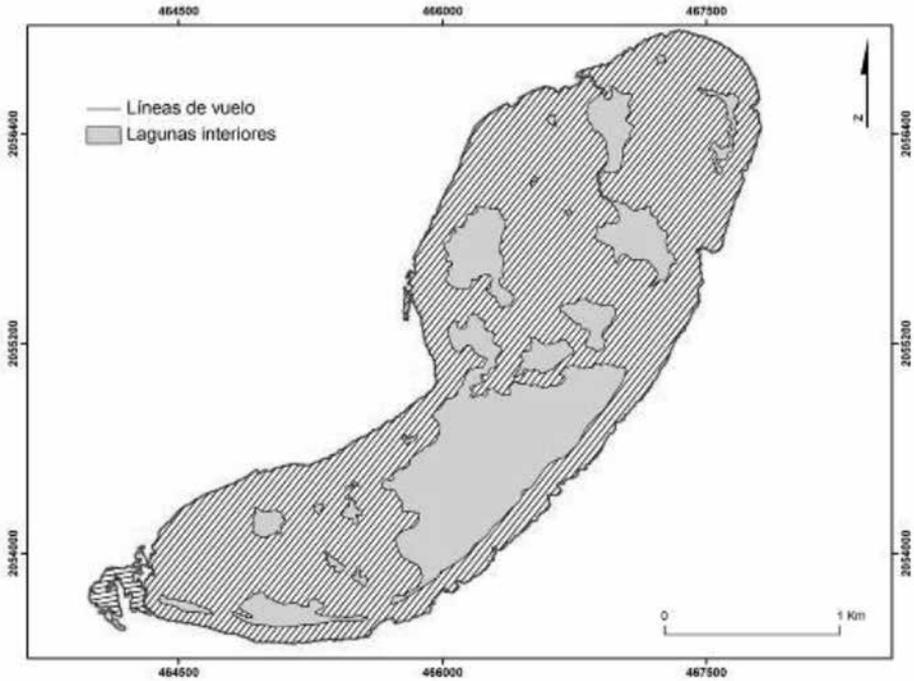
Este método consiste en que el helicóptero, del cual cuelga la cubeta de dispersión, distribuya uniformemente el rodenticida²⁴ en toda la superficie de la isla a la tasa de aplicación objetivo determinada a partir de los monitoreos biológicos preerradicación (cuadro IV) y verificada durante el evento de calibración anteriormente descrito. Tomando como base cartográfica imágenes satelitales recientes de las islas (e.g., Quickbird o

24 El rodenticida CI-25 fue desarrollado por los Laboratorios Bell (EE.UU) para su uso exclusivo en restauración ambiental. Hecho a base de Brodifacoum, es un anticoagulante de segunda generación. Su presentación es en grano comprimido, en pellets de 2 g con 25 ppm de Brodifacoum, no parafinado, de color verde (Kaukeinen, 1993).

WorldView-2, © DigitalGlobe), y usando el *software* ArcGis, se trazan las líneas paralelas de vuelo correspondientes (figura 2.4.5), generalmente orientadas en virtud de la distancia más corta para hacer más eficiente la aplicación. Además, en este paso, se incluyen las zonas de “no vuelo”, que representan áreas en las que el helicóptero no debe dispersar roenticida. Tal es el caso de construcciones o lagunas interiores como en la isla Cayo Centro, parte de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro (polígonos azules en la figura 5). Cabe señalar también que, para asegurar que no queden huecos sin roenticida, las líneas de vuelo tienen un traslape del 50 %. Así, si se busca una densidad final de 20 kg ha⁻¹, se deberá aplicar el roenticida a una tasa de 10 kg ha⁻¹.

Durante los vuelos de aplicación el GPS y, sobre todo, una barra de luces localizada en la cabina frente al piloto, guían a este para seguir las líneas de vuelo paralelas. Asimismo, una combinación de colores en las luces le indican el momento preciso en que debe accionar y cerrar la cubeta de dispersión. Esta práctica es común en labores de fumigación agrícola aérea, y ha sido adaptada para la restauración ecológica de islas. Mientras se recarga de roenticida la cubeta, los especialistas en información geográfica descargan los datos (en formato shp y txt) a una computadora para verificar que la zona sobrevolada no presenta huecos. Al mismo tiempo, se comienza el análisis de los datos para estimar la tasa de aplicación y poder luego compararla con la densidad en tierra, medida con una metodología similar a la que se usa para estimar la TAR durante los eventos de calibración.

Figura 2.4.5. Líneas de vuelo que seguirá el helicóptero durante la dispersión aérea de rodenticida para la erradicación de la rata negra en la isla Cayo Centro



Fuente: elaboración propia (2013).

A la fecha, el Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI), en colaboración con el gobierno federal de México, y con el apoyo de socios y donantes nacionales e internacionales, ha implementado con éxito seis campañas de erradicación de roedores mediante el método de dispersión aérea aquí descrito (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2011, Samaniego-Herrera *et al.*, 2011). A continuación, se presentan, como ejemplo, los resultados logrados durante uno de estos proyectos: la erradicación de rata negra en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro en 2012.

Tabla 2.4.4 Monitoreos biológicos pre-erradicación

Una erradicación es un proceso largo, delicado y costoso, por lo que se debe tener una base sólida de información precisa para poder realizarla exitosamente.

Los monitoreos biológicos pre-erradicación más importantes son:

	Grupo focal	Parámetros y/o estimaciones
Fauna nativa	Cangrejos terrestres	DP, TE, PH
	Lacertilios	DP, TE, PH
	Gecos	IA
	Iguanas	EP
	Aves	LE, TE
Fauna exótica	Rata negra	DP, TE, PH, IA, AH, D, P, SR, I
Experimentos seguridad	Degradación de cebo en zonas no inundables	TD
	Degradación de cebo en zonas inundables	TD
	Estimación del consumo general de cebo	TC
	Palatabilidad de cebo en especies nativas	P
	Educación Ambiental	Pláticas y talleres informativos

Acrónimos: DP= Densidad poblacional; TE= Tendencias estacionales; PH= Preferencia de hábitat; IA= Índice de abundancia; EP= Estimación poblacional; LE= Listado de especies; AH= Ambito hogareño; D= Dieta; P= Palatabilidad del cebo; SR= Susceptibilidad al rodenticida; I= Impactos a especies nativas; TD= Tiempo de degradación; TC= Tasa de consumo; PI= Personas informadas.

Una erradicación es un proceso largo, delicado y costoso, por lo que se debe tener una base sólida de información precisa para poder realizarla exitosamente.

Fuente: elaboración propia (2016).

2.4.4. Resultados

2.4.4.1 Calibración de la cubeta de dispersión

Gracias a la acumulación de datos a lo largo de cuatro diferentes eventos de calibración (figura 2.4.6) y al uso de herramientas como el programa Matlab, ha sido posible estandarizar la densidad de cebo que será dispersada en virtud de la velocidad del helicóptero y el diámetro del disco que se usará en la cubeta de dispersión (figura 2.4.7). La tasa de flujo presentada en la figura 6 se traduce a densidades de rodenticida en kg ha^{-1} con base en la cantidad de rodenticida vaciado en la cubeta de dispersión.

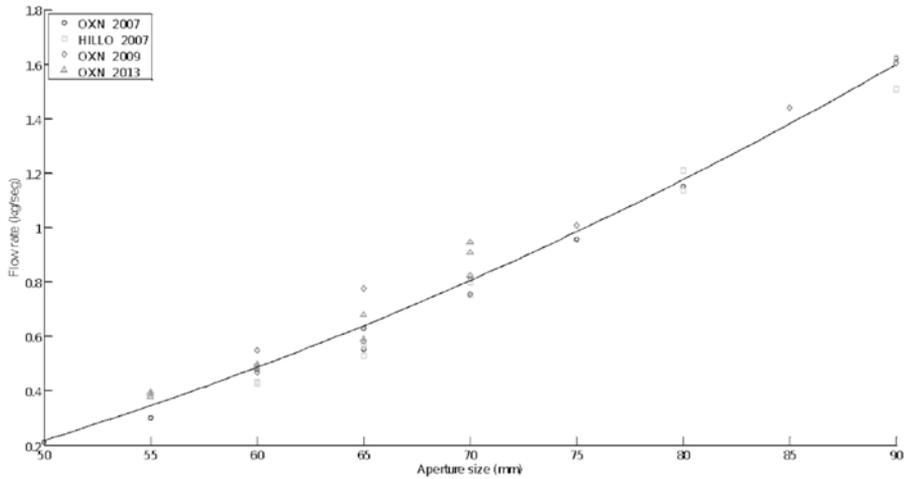
Así, con un disco de 70 mm a una velocidad constante de 60 nudos, se obtiene una tasa de aplicación de 4,5 kg ha⁻¹. Dicho proceso se automatizó a partir de un código en Matlab. Se convirtió interactivo al usuario para que este pueda elegir la combinación de variables deseadas. Esto resulta de gran utilidad, pues no solo sirve de comparación en futuros eventos de calibración, sino también puede llegar a ser tan preciso que ya no sea necesario realizar este tipo de ejercicios en un futuro o, al menos, no con tanta frecuencia.

2.4.4.2 Dispersión aérea de rodenticida

Tras varios años de monitoreos, del 13 de marzo al 2 de mayo de 2012, se llevó a cabo la ejecución de la erradicación consistente en la dispersión de rodenticida, así como en la confirmación de ausencia de la especie invasora y el monitoreo de la fauna nativa. La temporada elegida para la ejecución cumple con una regla de oro: es cuando la densidad de rata negra es más baja, y es cuando se encuentran menos especies nativas en la isla y en menor densidad, pues en su mayoría son aves migratorias; o bien, no se encuentran en etapa de anidación.

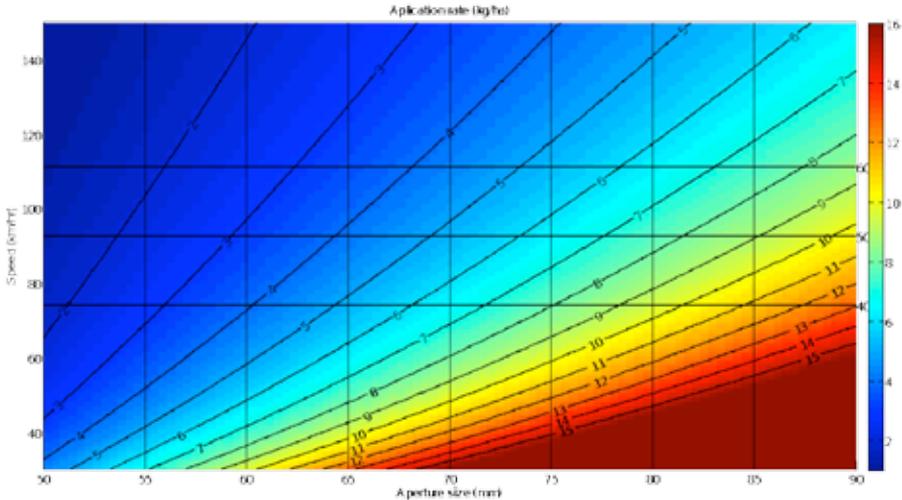
En la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, el helicóptero operó desde el helipuerto de las instalaciones de la Secretaría de Marina - Armada de México (SEMAR) en Cayo Norte Mayor. El rodenticida se dispersó en dos sesiones, con una separación de siete días entre ellas, los días 3 y 9 de abril de 2012. Debido a la topografía muy llana de la isla, se complementó la dispersión de cebo con bloques tóxicos colocados en las zonas inundables. La estrategia implementada para esta isla fue utilizar dos discos con el fin de aplicar una densidad distinta en manglar y otra en selva de 15 y 30 kg ha⁻¹, respectivamente. Para obtener dichos resultados, se utilizó un disco de 70 mm en manglar y un disco de 90 mm en selva. Durante la segunda dispersión se aplicaron 10 y 15 kg ha⁻¹ con los discos de 60 mm y 55 mm. Así, la densidad promedio durante la primera y segunda dispersión fue de 44,3 kg ha⁻¹ y 11,8 kg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 2.4.6. Tasa de flujo medida durante cuatro diferentes eventos de calibración de la cubeta de dispersión en 2007 (dos ocasiones), 2009 y 2013



Fuente: elaboración propia (2016).

Figura 2.4.7. Gráfica en tres dimensiones que muestra la relación entre la apertura del disco de la cubeta, la velocidad de vuelo del helicóptero y la tasa de aplicación de rodenticida



Fuente: elaboración propia (2016).

Los datos descargados del GPS diferencial, una vez que el piloto ha terminado de dispersar el cebo, son un “shapefile” de puntos con la trayectoria de vuelo y otro de polígonos que representan las bandas sobre las que voló el helicóptero dispersando rodenticida (mapa 1). Los puntos contienen información como velocidad, tiempo, coordenadas y flujo. Una vez limpios los puntos (mapa 2), se realiza una unión entre el *shapefile* de puntos y una tabla mediante una herramienta de ArcMap. La tabla contiene las densidades proporcionales al disco utilizado y a la velocidad del helicóptero. Se obtiene así la tasa de flujo.

Mapas 1-2. Muestra gráfica de la etapa inicial del procesamiento de datos para estimar la densidad final de rodenticida en la isla Cayo Norte Mayor



Fuente: elaboración propia (2015).

Una vez obtenida la tasa de flujo, se cortan los polígonos con base en los puntos, sin perder la información contenida en esas áreas (mapas 3 y 4). Después de obtener los multipolígonos con información específica de densidades, se realiza una unión de todos los polígonos en uno solo y se obtiene como resultado un traslape entre polígonos. Luego, mediante la tabla de atributos, se suman las columnas correspondientes a la densidad de cada una de las bandas. Este resultado representa una capa de polígonos subdivididos, que corresponden a la densidad de roenticida aplicada a la isla por cada descarga de datos específica.

Mapas 3-4. Cálculo de la densidad correspondiente para cada una de las bandas de aplicación de las áreas sobrevoladas por el helicóptero



Fuente: elaboración propia (2015).

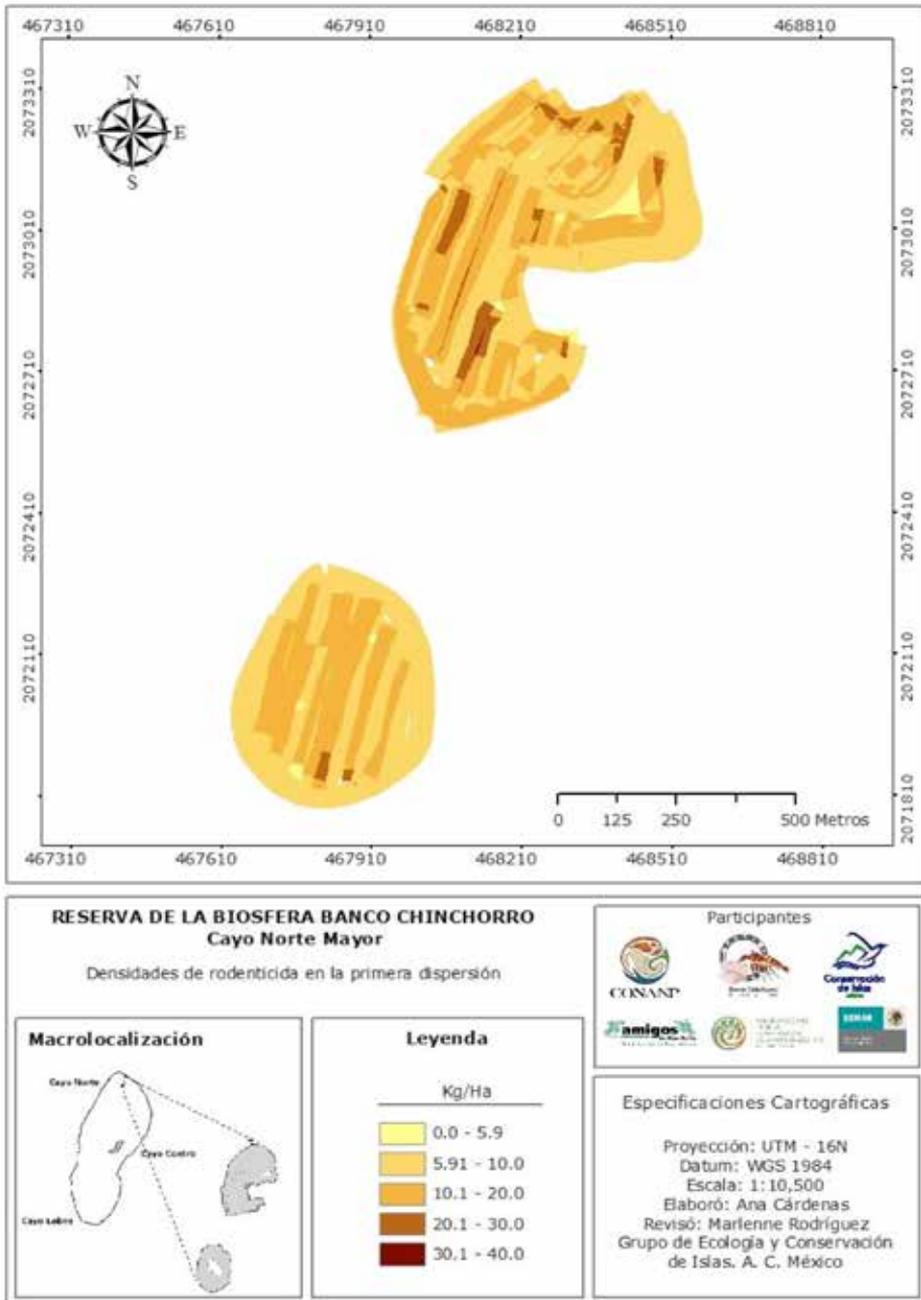
Por último, una vez que las descargas hayan sido finalizadas y los *shapefiles* de densidad final se hayan unido, se calcula la densidad total de roenticida en campo después de la dispersión aérea (mapas 5 y 6).

Mapa 5. Densidad promedio para cada subpolígono de las bandas de aplicación.



Fuente: elaboración propia (2015).

Mapa 6. Densidad final de roenticida durante la primera dispersión aérea en las islas Cayo Norte Mayor y Cayo Norte Menor en la Reserva de la Biosfera Banco Chichorro.



Fuente: Elaboración propia, (2016).

A partir del tercer día de la dispersión de cebo, se comenzaron a observar efectos físicos en individuos de rata negra con collares de telemetría. Entre el octavo y el onceavo día ocurrieron los decesos. Al cabo de tan solo cuatro semanas de la dispersión del cebo, gracias a la metodología para la confirmación de ausencia de roedores desarrollada por Samaniego-Herrera *et al.* 2013, se obtuvo un 90 % de probabilidad de éxito de la erradicación. Adicionalmente, durante las siguientes dos semanas después de la erradicación, se instaló un grid de detección de roedores por medio de bloques indicadores, trampas Tomahawk y trampas Sherman. Tras un esfuerzo de 277 bloques/noche y 42 noches/trampa, se obtuvo un 0 % de captura. La densidad de rata negra cambió de 224,8 ind/ha a 0 individuos (Ramos-Rendón *et al.*, 2013). Finalmente, el último monitoreo estacional de abril de 2014 reconfirmó la ausencia de ratas en estas islas.

2.4.5. Discusión y conclusiones

La clave para una campaña de dispersión aérea exitosa es asegurar que haya suficiente rodenticida disponible para que todos y cada uno de los roedores, sean ratas o ratones, lo consuman. En este sentido, los métodos y los sistemas de información geográfica son una herramienta crucial para monitorear la aplicación del rodenticida y asegurar que no existan huecos y que se alcance la densidad objetivo. En la campaña de erradicación de rata negra en las islas Cayo Norte Mayor y Cayo Norte Menor, parte de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, el valor promedio total de densidad obtenido tras la dispersión aérea, 56.1 kg ha⁻¹, fue muy cercano a la densidad objetivo de 60 kg ha⁻¹. Ello confirma que contar con las herramientas, aquí discutidas, es condición *sine qua non* para lograr esta precisión y, en consecuencia, lograr el objetivo último que es proteger la biodiversidad insular al remover al elemento de disturbio, que en este caso se trató de roedores introducidos.

Junto con el uso de estas herramientas, es indispensable desarrollar las habilidades del personal involucrado, tanto a nivel individual como en

su desempeño como equipo. A dos años de la dispersión de rodenticida, estas islas se han declarado libres de EEI. Los estudios de la fauna nativa continúan, porque los efectos positivos de las erradicaciones suelen tomar varios años en hacerse evidentes. En las islas Cayo Norte Mayor y Cayo Norte Menor se ha observado un aumento en los números de cangrejos ermitaños y de lagartijas (GECI, 2013).

Las erradicaciones de EEI en islas son una invaluable herramienta de restauración que genera respuestas favorables de las poblaciones nativas cuya recuperación se observa de manera tangible. Algunos ejemplos de beneficios brindados por estas campañas son (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2011, Samaniego-Herrera *et al.*, 2011, y Félix-Lizárraga, Aguirre-Muñoz, Keitt y Berlanga-García, 2009):

- Isla Farallón de San Ignacio: El rabijunco pico rojo (*P. aethereus*) mostró un 60 % de incremento en el número de nidos, así como aumento en el éxito reproductivo; la población de salamanquesa sonorensis (*Phyllodactylus homolepidurus*) incrementó.
- Isla Guadalupe: renuevos de plantas endémicas como el ciprés de Guadalupe (*Cupressus guadalupensis guadalupensis* o *Hesperocypris guadalupensis*) han reaparecido espontáneamente por decenas de miles; así como algunas especies de plantas que antes de la erradicación de la cabra feral se creían extintas, e.g. *Descurainia pinnata*, *Nicotiana attenuata* y *Satureja palmeri*, entre otras.
- Isla Isabel: se ha registrado un incremento en juveniles de reptiles nativos como el garrobo (*Ctenosaura pectinata*), la lagartija espinosa (*Sceloporus clarkii*) y el huico llanero (*Aspidoscelis costata*).
- Isla San Benito Oeste: plantas endémicas como la *Malva pacifica* y la siempre-viva (*Dudleya linearis*) ya no se encuentran en estatus crítico por la presencia de EEI.
- Isla San Pedro Mártir: la serpiente rey (*Lampropeltis getula nigrita*) “reapareció” tras varios años de no haber sido observada; y el mérgulo

de Craveri (*Synthliboramphus craveri*) volvió a anidar en la isla tras décadas de extirpación; además, se han registrado nuevas especies de murciélagos utilizando la isla.

- Isla San Roque: aves marinas como el cormorán de Brandt (*Phalacrocorax penicillatus*) y la alcuela oscura (*Ptychoramphus aleuticus*) han vuelto a anidar en la isla tras haber sido extirpadas por gatos y roedores.

Mientras que los beneficios de las erradicaciones son cada vez mejor registrados, la restauración insular continúa demostrando una alta tasa de retorno de la inversión y que es de vital importancia para la conservación de especies endémicas. Los métodos y las técnicas de erradicación de especies invasoras continúan analizándose y perfeccionándose. La integración, el aprovechamiento y el desarrollo de las capacidades de los sistemas de información geográfica han sido críticos en este proceso, en el que México se mantiene a la vanguardia y propositivo con el desarrollo de métodos que fortalecen las acciones de conservación y restauración insular a nivel mundial.

A la fecha se está a la mitad del camino en liberar a las islas de México de la amenaza de los roedores invasores. Ello representa un reto, tanto técnico como económico, además de que requieren una planeación de varios años. Afortunadamente, la notable acumulación de resultados positivos a la fecha ha creado un ambiente de confianza y con ello se ha estrechado la colaboración interinstitucional entre el gobierno, la academia, los donantes y la sociedad civil organizada. Así, resulta ahora fundamental consolidar la trayectoria actual, y reforzar los compromisos de todos los involucrados, de tal manera que en los próximos años México logre la meta histórica de contar con todas las islas del país libres de especies exóticas invasoras.

2.4.6. Bibliografía

- Aguirre-Muñoz, A.; Samaniego-Herrera, A.; Luna-Mendoza, L.; Ortiz-Alcaraz, A.; Rodríguez-Malagón, M.; Méndez-Sánchez, F.; Félix-Lizárraga, M.; Hernández-Montoya, J.C.; González Gómez, R.; Torres-García, F.; Barredo-Barberena, J.M.; & Latofski-Robles, M. (2011). Island restoration in Mexico: ecological outcomes after systematic eradications of invasive mammals. En: Veitch, C.R.; Clout, M.N.; y Towns, D.R. (Eds.). *Island invasives: eradication and management*. IUCN, Gland, Switzerland. Pp: 250-258.
- Baillie, J.E.M.; Hilton-Taylor, C.; & Stuart, S.N. (Eds.). (2004). *IUCN red list of threatened species. A global species assessment*. IUCN. Gland, Switzerland y Cambridge, xxiv 191 pp.
- BirdLife International. (2013). Small island birds are most at risk from invasive alien species. Presented as part of the BirdLife State of the world's birds website. Recuperado de: www.birdlife.org/datazone/sowb/casestudy/128. [Consulta 11 de abril de 2014].
- Ceballos, G., y Ramírez Ruíz, J. (1997). Programa de erradicación de los roedores introducidos en la Isla Rasa, Baja California: un plan de reestructuración ecológica. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México e Instituto de Ecología, A.C. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. C004.
- Clout, M.N. y Veitch, C.R. (2002). Turning the tide of biological invasion: the potential for eradicating invasive species. pp. 1-3. En: Veitch, C.R. y Clout, M.N. (Eds). *Turning the tide: the eradication of invasive species*. IUCN SSC Invasive Species Specialist Group. IUCN, Gland, Suiza y Cambridge, G.B.
- Comité Asesor Nacional sobre el Territorio Insular Mexicano. (2012). *Estrategia Nacional para la Conservación y el Desarrollo Sustentable del Territorio Insular Mexicano*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Gobernación, Secretaría de Marina- Armada de México y Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. México, D.F. y Ensenada, B.C. 125 pp.

- Courchamp, F.; Chapuis, J.L.; y Pascal, M. (2003) Mammal invaders on islands: impact, control, and control impact. *Biological Reviews* 78,347-383.
- Engeman, R. M., Pitt, W. C., Berentsen, A. R., y Eisemann, J. D. (2013). Assessing spatial variation and overall density of aerially broadcast toxic bait during a rat eradication on Palmyra Atoll. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(1), Pp: 480-487.
- Félix-Lizárraga, M.; Aguirre-Muñoz, A.; Keitt, B.; y Berlanga-García, H. (2009). Restauración de aves marinas en islas del Pacífico de Baja California con sistemas de atracción social. *Memorias del Encuentro Nacional para la Conservación y el Desarrollo Sustentable de las Islas de México*. 23-26 de junio de 2009. Ensenada, Baja California, México.
- Fischer, J. W., y Dunlevy, P. (2010). Eradicating Rats on Lehua Island, Hawaii, with the Help of GIS and GPS. *ArcNews Online*. Recuperado de: <http://www.esri.com/news/arcnews/spring10/articles/lehua-island-hawaii.html> [consulta 18 de abril de 2014].
- Ramos-Rendón, K., Samaniego-Herrera, A., Aguirre-Muñoz, A., Cárdenas-Tapia, A., Méndez-Sánchez, F. (2013). Erradicación de mamíferos exóticos en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Monitoreo y erradicación de rata negra (*Rattus rattus*) en Cayo Norte. Fase II. Informe técnico final. Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. Ensenada, B.C., México. 12 pp.
- Howald, G., Donlan C. J., Galván J. P., Russell J. C., Parkes J., Samaniego A., Wang Y., Veitch D., Genovesi P., Pascal M., Saunders A. y Tershy B. (2007). Invasive Rodent Eradication on Islands. *Conservation Biology*, 21(5), Pp: 1258-1268.
- Jones, H.P.; Tershy, B.R.; Zavaleta, E.S.; Croll, D.A.; Keitt, B.S.; Finkelstein, M.E.; y Howald, G.R. (2008). Severity of the effects of invasive rats on seabirds: a global review. *Conservation Biology* 22:16-26.

- Kaukeinen, D.E. (1993). Nontarget organism evaluations for rodenticides. En: Racke, K.D. y Leslie, A.R. (Eds.) *Pesticides in urban environments: fate and significance*. ACS Symposium Series, 522, American Chemical Society, Washington.
- Latofski-Robles, M., Aguirre-Muñoz, A., Méndez-Sánchez, F., Reyes-Hernández, A. y Schlüter, S. (2014). Prioritizing restoration actions for the islands of Mexico. Aceptado para publicación en *Western North American Naturalist*, número especial del 8th California Islands Symposium.
- Lavoie, C.; Donlan, C.J.; Campbell, K.; Cruz, F.; y Carrion, G.V. (2007). Geographic tools for eradication programs of insular non-native mammals. *Biol Invasions* 9. Pp.139-148.
- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; da Fonseca, G.A.B.; y Kent, J. (2000). Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. *Nature*. 403. Pp.853-858.
- Reaser, J.K.; Meyerson, L.A.; Cronk, Q.; De Poorter, M.; Eldrege, L.G.; Gree, E.; Kairo, M.; Latasi, P.; Mack, R.N.; Mauremootoo, J.; O'Dowd, D.; Orapa, W.; Sastruotomo, S.; Saunders, A.; Shine, C.; Thrainsson, S.; y Vaiutu, L. (2007). Ecological and socioeconomic impacts of invasive alien species in island ecosystems. *Environmental Conservation* 34(2) Pp. 98-111.
- Samaniego-Herrera, A.; Aguirre-Muñoz, A.; Howald, G.R.; Félix-Lizárraga, M.; Valdez-Villavicencio, J.; González-Gómez, R.; Méndez-Sánchez, F.; Torres-García, F.; Rodríguez-Malagón, M.; y Tershy, B.R. (2009). Eradication of black rats from Farallón de San Ignacio and San Pedro Mártir islands, Gulf of California, Mexico. En: Damiani, C.C. y Garcelon, D.K. (Eds.). *Proceedings of the seventh California Islands Symposium*. Institute for Wildlife Studies, Oxnard, CA, EUA. Pp 337-347.
- Samaniego-Herrera, A.; Aguirre-Muñoz, A.; Rodríguez-Malagón, M.; González-Gómez, R.; Torres-García, F.; Méndez-Sánchez, F.; Félix-Lizárraga, M.; y Latofski-Robles, M. (2011). Rodent eradications in Mexican islands: advances and challenges. En: Veitch, C.R.; Clout, M.N. y Towns, D.R. (Eds.) *Island invasives: eradication and management*. IUCN, Gland, Suiza. Pp. 350-355.

- Samaniego-Herrera, A., Anderson D. P., Parkes J. P., y Aguirre-Muñoz A. (2013). Rapid assessment of rat eradication after aerial baiting. *Journal of Applied Ecology*, 50(6), Pp.1415-1421.
- Samaniego-Herrera, A. (2014). Ecology and impacts of invasive rodents on tropical islands, in relation to eradication operations. (Tesis de Doctorado). The University of Auckland. Auckland, Nueva Zelanda.
- Towns, D.R. y Broome, K.G. (2003). From small Maria to massive Campbell: forty years of rat eradications from New Zealand islands. *New Zealand Journal of Zoology*. 30 Pp. 863-891.
- Towns, D. R., Atkinson, I. A. E., y Daugherty, C. H. (2006). Have the harmful effects of introduced rats on islands been exaggerated? *Biological invasions*. 8,Pp.863-891.
- Towns, D. R., West C. J., y Broome, K. G. (2013). Purposes, outcomes and challenges of eradicating mammals from New Zealand islands: an historical perspective. *Wildlife Research*, 40, Pp.94-107.
- Towns, D. R., McFadden, I., y Thomson, P. (1995). Offshore islands cooperative conservation project with ICI Crop Care Division: Phase Three (Cuvier Island). Science and Research Internal Report (150). Wellington Department of Conservation.
- Veitch, C. R., y Clout, M. N. (Eds.). (2002). *Turning the Tide: The Eradication of Invasive Species*. Proceedings of the International Conference on Eradication of Island Invasives. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission (27). Gland, Switzerland: IUCN.
- Veitch, C. R., Clout, M. N. y Towns, D. R. (Eds.). (2011). *Island Invasives: Eradication and Management*. Proceedings of the International Conference on Island Invasives. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission (42). Gland, Switzerland and Auckland, New Zealand: IUCN and CBB.

