



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN GEOGRAFÍA

**FRAGMENTACIÓN FORESTAL EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA
MONARCA: CUANTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN, Y CORRELACIONES
(1999-2010)**

**TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA**

**PRESENTA:
PABLO LEAUTAUD VALENZUELA**

**TUTOR
JOSÉ LÓPEZ GARCÍA
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA**

MÉXICO, D. F. DICIEMBRE 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

En primer lugar al Programa de Posgrado en Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, por haber aceptado mi solicitud de ingreso a la maestría y permitir la realización de la presente investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por haberme otorgado una beca durante mis estudios de maestría (CVU: 448480).

A mi tutor, el Dr. José López García, por su continua confianza y apoyo a través de los años, en particular durante la elaboración de esta tesis.

A los miembros del sínodo evaluador: Dra. Lilia de Lourdes Manzo Delgado, Dr. Víctor Barradas Miranda, Dr. Arturo García Romero, y Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez. Por sus muy apreciados comentarios que sin duda enriquecieron este trabajo.

A los profesores adscritos al programa de posgrado, por compartirnos sus conocimientos y experiencias.

Agradecimientos personales

A mi familia por su continuo apoyo durante mi desarrollo académico, que a pesar de la distancia geográfica, seguimos estando juntos.

A todas mis amistades, por seguir construyendo experiencias muy gratas. Y en particular Antonio y Hazziel (orden alfabético), hermanos honorarios, por su apoyo físico y moral, sus enseñanzas me son invaluableles.

Y sobre todo, gracias a ti Itzi, por ser la columna de mi vida. Mis logros son tuyos, te amo.

بنی آدم اعضای یک پیکرند
که در آفرینش ز یک گوهرند
چو عضوی به درد آورد روزگار
دگر عضوها را نماند قرار
تو کز محنت دیگران بی غمی
نشاید که نامت نهند آدمی

ی سعد-

*Los seres humanos son miembros de un todo,
En la creación de una esencia y alma.
Si un miembro aflige con dolor,
Los otros inquietos permanecerán.
Si usted no tiene condolencia para el dolor humano,
El nombre de humano usted no podrá ostentar.*

-Sa'di

Tabla de contenido

1	Capítulo I: Introducción	11
1.1	Objetivos	13
1.1.1	General	13
1.1.2	Particulares	13
1.2	Hipótesis	15
1.3	Marco teórico – conceptual	17
1.3.1	La ciencia del paisaje	17
1.3.1.1	Ecología del paisaje	19
1.3.1.2	Geoecología del paisaje	21
1.3.2	Fragmentación forestal	22
1.3.2.1	Causas de la fragmentación	22
1.3.2.2	Efectos de la fragmentación	23
1.3.2.3	Cuantificación de la fragmentación y su análisis	24
1.4	Proceso metodológico general	25
1.4.1	Flujo de trabajo	25
1.4.2	Insumos y bases de datos	25
1.4.2.1	Topografía: elementos del medio natural físico, y del medio social	26
1.4.2.2	Densidad de cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM)	26
1.4.3	Forma y tamaño de la retícula espacial	27
2	Capítulo II: La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	31
2.1	Subsistema abiótico	31
2.1.1	Componentes morfoestructurales	33
2.1.2	Componentes climáticos	33
2.1.3	Componentes morfoesculturales	34
2.1.4	Componentes hidrológicos	34
2.2	Subsistema biótico	35
2.2.1	Cubierta vegetal	35
2.2.2	Cubierta edáfica	36
2.3	Subsistema antrópico	37
2.3.1	Demografía	37

2.3.1.1	Dinámica de población 1999-2010	37
2.3.1.2	Índice de masculinidad en la RBMM	39
2.3.1.3	Vulnerabilidad social en la RBMM	43
2.3.2	Tenencia de la tierra	44
2.3.3	Delimitación del área natural protegida.....	46
2.3.3.1	Programas de apoyo a la conservación	48
2.4	Problemática ambiental	49
2.4.1	Cambios de la cobertura forestal 1999-2010	50
3	Capítulo III: Cuantificación de la fragmentación forestal	53
3.1.2	Índice de Fragmentación Reticular	55
3.2	Cuantificación de la fragmentación en la RBMM.....	56
3.2.1	Fragmentación forestal en 1999	56
3.2.1.1	Índice de fragmentación poligonal para el año 1999	56
3.2.1.2	Índice de fragmentación reticular para el año 1999	59
3.2.2	Fragmentación forestal en 2003	62
3.2.2.1	Índice de fragmentación poligonal para el año 2003.....	62
3.2.2.2	Índice de fragmentación reticular para el año 2003	64
3.2.3	Fragmentación forestal en 2010	67
3.2.3.1	Índice de fragmentación poligonal para el año 2010.....	67
3.2.3.2	Índice de fragmentación reticular para el año 2010	69
3.3	Observaciones sobre la cuantificación de la fragmentación forestal	72
4	Capítulo IV: Dinámica y caracterización de la fragmentación forestal.....	73
4.1	Método para cuantificar y caracterizar la dinámica de fragmentación	74
4.2	Dinámica de fragmentación forestal en la RBMM	75
4.2.1	Dinámica de fragmentación en el periodo 1999-2003	75
4.2.2	Dinámica de fragmentación en el periodo 2003-2010	78
4.2.3	Dinámica de fragmentación en el periodo 1999-2010	82
4.2.4	Delimitación del tipo de dinámica temporal en la variación relativa del IFR. 87	
4.3	Observaciones sobre la dinámica de la fragmentación forestal.....	90
5	Capítulo V: Elementos del paisaje y su influencia en la fragmentación forestal ..	93

5.1	Método para determinar el efecto de los elementos del paisaje sobre la fragmentación forestal.....	94
5.1.1	Integración a la retícula hexagonal	94
5.1.2	Análisis estadístico	95
5.1.2.1	Estadística y unidades de paisaje	96
5.2	Efecto de los elementos del paisaje sobre la fragmentación forestal	97
5.2.1	Elementos del paisaje cuantificados como variables continuas.....	97
5.2.1.1	Efectos sobre la fragmentación.....	98
5.2.1.2	Efectos sobre la dinámica de fragmentación.....	100
5.2.2	Elementos del paisaje cuantificados como variables discretas	102
5.2.2.1	Efectos sobre la fragmentación.....	102
5.2.2.2	Efectos sobre la intensidad de cambio en la fragmentación	111
5.2.2.3	Efecto sobre las características del cambio en la fragmentación	116
5.2.3	Delimitación cuantitativa de unidades de paisaje y su relación con la fragmentación	123
5.3	Observaciones sobre los elementos del paisaje y su influencia sobre la fragmentación forestal.....	127
6	Capítulo VI: El patrón de fragmentación forestal en la RBMM 1999-2010	131
6.1	Integración del patrón de fragmentación.....	133
6.2	Conclusiones generales	140
	Referencias bibliográficas	141
7	Apéndices	151
7.1	Valores promedio del Índice de Fragmentación Reticular (IFR) y de la Tasa de Cambio Anual del IFR para cada Predio, Municipio y Estado.	153
7.2	Cartografía	157
7.2.1	Mapa I. Topografía	158
7.2.2	Mapa II. Índice de Fragmentación Reticular (IFR) 1999.....	159
7.2.3	Mapa III. Índice de Fragmentación Reticular (IFR) 2003.....	160
7.2.4	Mapa IV. Índice de Fragmentación Reticular (IFR) 2010	161
7.2.5	Mapa V. Tasa de Cambio Anual en el IFR (TCA) 1999-2003	162
7.2.6	Mapa VI. Tasa de Cambio Anual en el IFR (TCA) 2003-2010	163
7.2.7	Mapa VII. Tasa de Cambio Anual en el IFR (TCA) 1999-2010	164
7.2.8	Mapa VIII. Tipo de cambio (Dinámica trianual).....	165
7.2.9	Mapa IX. Integración del Patrón de Fragmentación 1999-2003-2010	166

Índice de tablas

Tabla 1	Población total y Tasa de Cambio Anual (TCA) por municipio y estado.	38
Tabla 2	Índice de masculinidad y su cambio, por municipio y estado.	41
Tabla 3	Proporción de población por nivel de vulnerabilidad en cada municipio y estado.	44
Tabla 4	Valores del Índice de Fragmentación Poligonal para el año 1999.	58
Tabla 5	Valores del Índice de Fragmentación Reticular (IFR) para el año 1999.	59
Tabla 6	Valores del Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) para el año 2003.	64
Tabla 7	Valores del Índice de Fragmentación Reticular (IFR) para el año 2003.	64
Tabla 8	Valores del Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) para el año 2010.	69
Tabla 9	Valores del Índice de Fragmentación Reticular (IFR) para el año 2010.	69
Tabla 10	Cambio en el Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) durante el periodo 1999 a 2003.	76
Tabla 11	Valores del cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 1999 a 2003.	78
Tabla 12	Caracterización del cambio en la fragmentación forestal del periodo 1999 a 2003.	78
Tabla 13	Cambio en el Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) durante el periodo 2003 a 2010.	80
Tabla 14	Valores del cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 2003 a 2010.	80
Tabla 15	Caracterización del cambio en la fragmentación forestal del periodo 2003 a 2010.	82
Tabla 16	Cambio en el Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) durante el periodo 1999 a 2010.	82
Tabla 17	Valores del cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 1999 a 2010.	84
Tabla 18	Caracterización del cambio en la fragmentación forestal del periodo 1999 a 2010.	87
Tabla 19	Superficie de área forestal correspondiente al tipo de cambio delimitado.	88
Tabla 20	Variables independientes empleadas como factores explicativos de la fragmentación.	94
Tabla 21	Matriz de correlaciones para el universo de celdas hexagonales. Tonos rojos indican correlaciones positivas, y los tonos azules relaciones inversas.	99
Tabla 22	Matriz de correlaciones para el muestreo del 10% de celdas hexagonales. Tonos rojos indican correlaciones positivas, y los tonos azules relaciones inversas.	99
Tabla 23	Valor p de las pruebas Wilcoxon y Kruskal-Wallis, y valor de ajuste de los análisis de varianza (ANDEVA), para los IFR de cada año.	102
Tabla 24	Predios con mayor nivel de fragmentación para cada año.	111
Tabla 25	Valor p de las pruebas Wilcoxon y Kruskal-Wallis, y valor de ajuste de los análisis de varianza (ANDEVA), para las tasas de cambio anual (TCA) de cada periodo.	112
Tabla 26	Valor p de las pruebas Wilcoxon y Kruskal-Wallis, y valor de ajuste de los análisis de varianza (ANDEVA), para las proporciones de destitución (Py) de cada periodo.	120
Tabla 27	Nivel de ajuste por año y para cada delimitación de K-Modas.	126
Tabla 28	Valor p de la prueba Kruskal-Wallis, y valor de ajuste de los análisis de varianza (ANDEVA), para las variables de respuesta IFR, TCA, y Py.	127
Tabla 29	Numero de polígonos y hexágonos por nivel de fragmentación para cada año cuantificado.	132
Tabla 30	Pesos asignados a los elementos que conforman la integración del patrón de fragmentación.	134

Índice de figuras

Fig. 1	Valor Z para cada tamaño de celda, la línea punteada indica el valor de referencia 1.96.....	29
Fig. 2	La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, en su delimitación de 2009.....	32
Fig. 3	Tasa de cambio por localidad en el periodo 1999 a 2010.	40
Fig. 4	Intensidad en el cambio del Índice de Masculinidad en el periodo 1999 a 2010.....	42
Fig. 5	Nivel de vulnerabilidad social por localidad.....	45
Fig. 6	Categoría de tenencia y sus características para los predios delimitados en 2009.	47
Fig. 7	Estado de la cobertura forestal en el periodo 1999 a 2010.....	52
Fig. 8	Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) para el año 1999.	57
Fig. 9	Índice de Fragmentación Reticular para el año 1999.	60
Fig. 10	Análisis Gi* de Getis-Ord para el IFR de 1999.....	61
Fig. 11	Índice de Fragmentación Poligonal para el año 2003.....	63
Fig. 12	Índice de Fragmentación Reticular (IFR) para el año 2003.	65
Fig. 13	Análisis Gi* de Getis-Ord para el IFR de 2003.....	66
Fig. 14	Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) para el año 2010.	68
Fig. 15	Índice de Fragmentación Reticular (IFR) en el año 2010.	70
Fig. 16	Análisis Gi* de Getis-Ord para el IFR de 2010.....	71
Fig. 17	Cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 1999 a 2003.	77
Fig. 18	Caracterización por proporción de destitución en el periodo 1999 a 2003.	79
Fig. 19	Cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 2003 a 2010.	81
Fig. 20	Caracterización por proporción de destitución en el periodo 2003 a 2010.	83
Fig. 21	Cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 1999 a 2010.	85
Fig. 22	Caracterización por proporción de destitución en el periodo 1999 a 2010.	86
Fig. 23	Tipos de cambio delimitados; dinámica trianual.	89
Fig. 24	Intensidad de fragmentación forestal por predio durante el año 1999.....	104
Fig. 25	Intensidad de fragmentación forestal por microcuenca durante el año 1999.....	105
Fig. 26	Intensidad de fragmentación forestal por predio durante el año 2003.....	106
Fig. 27	Intensidad de fragmentación forestal por microcuenca durante el año 2003.....	108
Fig. 28	Intensidad de fragmentación forestal por predio durante el año 2010.....	109
Fig. 29	Intensidad de fragmentación forestal por microcuenca durante el año 2010.....	110
Fig. 30	Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por predio para el periodo 1999 a 2003.	113
Fig. 31	Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por microcuenca para el periodo 1999 a 2003.	114
Fig. 32	Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por predio para el periodo 2003 a 2010.	115
Fig. 33	Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por microcuenca para el periodo 2003 a 2010..	117
Fig. 34	Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por predio para el periodo 1999 a 2010.	118

Fig. 35 Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por microcuenca para el periodo 1999 a 2010.	119
Fig. 36 Caracterización del cambio en la fragmentación mediante la proporción de destitución (Py) para cada predio en el periodo 1999 a 2010.	121
Fig. 37 Tipo de cambio (Dinámica trianual) de la fragmentación a nivel predio.	122
Fig. 38 Caracterización del cambio en la fragmentación mediante la proporción de destitución (Py) para cada microcuenca en el periodo 1999 a 2010.	124
Fig. 39 Tipo de cambio (Dinámica trianual) de la fragmentación a nivel microcuenca.	125
Fig. 40 Nivel de fragmentación forestal en 2010 por unidad de paisaje.	128
Fig. 41 Integración del Patrón de Fragmentación 1999-2003-2010.	135
Fig. 42 Análisis Gi* de Getis-Ord del Integración del Patrón de Fragmentación 1999-2003-2010.	136

Resumen

La fragmentación forestal es resultado de un proceso de pérdida de cobertura en el bosque, dejando sólo parches o islas entre las cuales se disminuyen o pierden los flujos entre elementos del ecosistema, degradando su estado de conservación y la calidad de los servicios ecosistémicos que proveen.

Las evaluaciones forestales en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) se han enfocado al análisis de cambio en la densidad de cobertura. Esta investigación complementa esos trabajos, incorporando una perspectiva geoecológica (fragmentación del hábitat), que provee una visión más completa del estado de conservación de los bosques de la RBMM.

Se determinó que una cuantificación por retícula hexagonal resulta más apropiada para análisis de procesos de flujo-conectividad a escalas finas. Esta cuantificación permitió realizar una caracterización detallada de la dinámica de fragmentación identificando una fuerte pérdida en conectividad durante el periodo 1999 a 2003, coincidiendo con eventos de tala asociados a las condiciones sociales derivadas de la ampliación de la RBMM. En el periodo 2003 a 2010 se observa de manera generalizada una reducción de la fragmentación, sin embargo, no resulta suficiente para recuperar la conectividad presente en 1999, a pesar de que la evaluación de cambio en densidad de cobertura para este periodo 1999 a 2010 indica una recuperación en la superficie ocupada por bosque.

También permitió establecer que el grado y dinámica de fragmentación tiene una estrecha relación con los elementos que conforman el paisaje de la RBMM, en particular con los relacionados al nivel de acceso (distancia a caminos y localidades), y a condiciones sociales que generan una mayor presión sobre el recurso bosque (migración, pobreza, y marginación).

De esta manera, a través de la presente investigación se obtuvo una visión más completa que permite mejorar la gestión de los recursos naturales, contribuyendo a la conservación de los servicios ecosistémicos de los cuales nuestra sociedad es dependiente.

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El paisaje de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), debido a características de sus elementos naturales y sociales, resulta una zona prioritaria para el diseño de políticas ambientales. La implementación de dichas políticas responde, y a su vez afecta, a la dinámica de producción del espacio social, y por tanto, al uso de los recursos naturales implícitos en él.

Es el efecto sobre estos recursos naturales, y en particular los bosques, que ha resultado de interés a un número de investigaciones que, dentro del marco de la conservación, buscan analizar este proceso de degradación y pérdida de la cobertura forestal. Sin embargo, el considerar exclusivamente la presencia de cobertura forestal como subrogado del estado de conservación, puede resultar en una visión incompleta de dicha propiedad. Es aquí donde la caracterización de la fragmentación forestal resulta relevante.

La fragmentación o pérdida de conectividad, como se explica más adelante, es el resultado de un proceso de disminución en la cobertura forestal. Y sus efectos sobre los procesos del ecosistema, la hacen un buen indicador del estado de conservación del paisaje. De esta manera la presente investigación pretende complementar a los trabajos ya elaborados en la RBMM (destacando: López-García 2009, 2011b, 2013; Manzo-Delgado 2014; entre otros), para lograr un mejor entendimiento sobre el uso y conservación de sus bosques.

Una de las particularidades de la zona de estudio es precisamente su condición de área natural protegida (ANP), lo cual conlleva la ejecución de estrategias de manejo específicas. Esto es particularmente evidente en el año 2000, cuando se presenta la mayor extensión a la superficie de la reserva. Es por eso que en este trabajo se evalúa la fragmentación en los años: 1999; antes de la ampliación, 2003; tres años después del aumento, y 2010; una década después

de la extensión. De esta manera comprendiendo el efecto del ANP sobre la fragmentación forestal.

Otra de las aportaciones de esta investigación es la implementación de un método de cuantificación basado en una gradilla hexagonal, considerada más conveniente que una rectangular en estudios de procesos ecológicos. Además, esta aproximación resulta más apropiada a la escala de trabajo (1:10,000 o mayor), a diferencia de otros estudios de fragmentación forestal elaborados en México, por lo general a escalas regionales, los cuales utilizan métodos de cuantificación por polígono o parche, como pueden ser los trabajos de Correa-Ayram (2012), Cayuela *et al.* (2006), Guevara & Sánchez-Ríos (2004), Ochoa-Gaona (2001), entre otros.

Para favorecer su comprensión, se presenta al patrón de fragmentación con la siguiente estructura capitular:

- El capítulo I y II expone temas introductorios sobre el marco teórico, proceso metodológico general, y aspectos descriptivos de la zona de estudio.
- El capítulo III describe como se realizó la cuantificación de la fragmentación, se presentan y discuten los resultados para los años 1999, 2003, y 2010.
- En el capítulo IV se presenta la dinámica de fragmentación en los periodos 1999-2003, 2003-2010, y 1999-2010. También se caracteriza el tipo de dinámica; cambio en estructura o configuración.
- El capítulo V explora la relación entre la fragmentación y su dinámica, con respecto a factores explicativos de carácter natural y social.
- Y en el capítulo VI se retoman las temáticas anteriores para presentar una discusión y conclusión general sobre el patrón de fragmentación en la RBMM.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Describir el patrón de fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) en el periodo 1999-2003-2010.

1.1.2 Particulares

Cuantificar mediante índices de paisaje la fragmentación del hábitat forestal en la RBMM, en cada uno de los estados temporales; 1999, 2003 y 2010.

Caracterizar la dinámica de fragmentación en los periodos 1999-2003, 2003-2010, y 1999-2010, mediante el índice de proporción de destitución.

Determinar si factores ambientales de origen tanto natural como antropogénico, explican de manera significativa la distribución o dinámica del fenómeno de fragmentación.

1.2 HIPÓTESIS

Se espera que los valores de fragmentación forestal cambien en el espacio y tiempo. Y se conjetura que esta variación responda a factores tanto de carácter social como natural, en particular los relacionados a la implementación de políticas derivadas del establecimiento del Área Natural Protegida (Social / Espacial / Temporal), así como a los factores naturales concernientes al costo de oportunidad para la explotación del recurso forestal (Natural / Espacial).

1.3 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

1.3.1 La ciencia del paisaje

En castellano y otras lenguas la palabra paisaje tiene un significado estético que se aleja mucho del significado que se le atribuye en geografía. Desde el punto de vista geográfico, la palabra paisaje es la traducción del vocablo alemán *Landschaft* que, en esta lengua tiene dos sentidos; De una parte se refiere a lo que el observador percibe visualmente, es una aprehensión e interiorización de la realidad objetiva. Por otro lado, *Landschaft* también tiene un sentido de totalidad: es la porción de un territorio que se percibe globalmente como un todo y que, por eso mismo presenta una cierta individualidad (Higueras, 2003).

Y aunque el concepto de paisaje está claro, el término admite muchas acepciones, incluso en el campo de la geografía, como Bertrand (1968) hace notar: “Paisaje es un término anticuado e impreciso, aunque cómodo, que cada uno utiliza a su manera, frecuentemente añadiéndole un calificativo de restricción que altera su sentido”. Mateo (2002) recopila interpretaciones del término paisaje, las cuales han servido de núcleo para la consolidación de diferentes interpretaciones y concepciones científicas, a continuación se presentan las interpretaciones que resultan relevantes para el presente estudio:

- A. El paisaje como formación natural: esta interpretación se sostiene en la idea sobre la interrelación de componentes y elementos naturales, o sea, se entiende al paisaje como una formación natural, integrada por componentes y elementos naturales en interrelación dialéctica. De tal manera, no se tiene en cuenta el grado de naturalidad o transformación. En este sentido se distinguen tres grupos de interpretaciones:
 - a. El paisaje natural como concepto de género: significa que el término paisaje se utiliza para cualquier objeto paisajístico de cualquier dimensión, complejidad o nivel. Se utiliza como sinónimos los

términos de complejo territorial natural, geocomplejo o geosistema natural (Passarge, 1919).

- b. El paisaje natural desde una interpretación regional: Concibe al paisaje como una de las unidades taxonómicas (generalmente la región) de la regionalización geocológica o físico-geográfica.
 - c. El paisaje natural desde una interpretación tipológica: considera al paisaje como un territorio de trazos comunes, formados por la interacción de componentes naturales, y que se distingue por la semejanza y la repetitividad.
- B. El paisaje como formación antro-po-natural: También se conoce como paisajes actuales o contemporáneos. Consiste en concebir al paisaje como un sistema espacial o territorial, compuesto por elementos naturales y antro-po-tecnogénicos condicionados socialmente, los cuales modifican o transforman las propiedades de los paisajes naturales originales. En este sentido estas denominaciones, tienen que ver con el grado de naturalidad o de modificación y transformación antropogénica. Se recalca sin embargo, que a todas esas categorías de los paisajes, subyace el hecho de que están formadas por la interacción e interdependencia de los componentes naturales. Se forma además, por complejos o paisajes de nivel taxonómico inferior. De tal manera, según esta acepción, el paisaje puede estar formado por paisajes naturales (en estado natural o casi-natural), paisajes antro-po - naturales y paisajes antrópicos o antropogénicos. Según esta acepción, que tiene un carácter de género, el paisaje constituye la interface entre la naturaleza y la sociedad. Se acepta así, por un lado su materialidad, o sea, la existencia de una estructura y funcionamiento inherente a los fenómenos y cuerpos naturales. Por otra parte, se considera, que el hecho paisajístico de estos cuerpos naturales es determinado por el sistema económico y cultural, cuyos efectos difieren de acuerdo a las intervenciones económicas y la actividad de los grupos sociales (Passos, 2000).

Así, el paisaje según esta última acepción es en sí un paisaje natural (o sea formado por cuerpos naturales), pero que abarca un amplio espectro de gradaciones y categorías que difieren de acuerdo al grado de naturalidad y de antropogenización. Es esta la acepción, que se ha asumido al realizar la presente investigación.

La ciencia del paisaje es definida por la Unión Geográfica Internacional (I.G.U., 1983), como la disciplina científica que estudia el paisaje, la cual presenta un carácter holístico y un desarrollo que ha implicado métodos sistémicos, así como aspectos estructuro-funcionales. Y por esto ha requerido del apoyo de múltiples disciplinas, de las cuales destaca la ecología, que a partir de una reconceptualización y la incorporación de la dimensión espacial se desarrolla a una ecología del paisaje.

1.3.1.1 Ecología del paisaje

La ecología del paisaje es una de las ramas más jóvenes de la ecología, se conformó al término de la segunda guerra mundial en países de Europa del centro y este (Schreiber, 1990) y sólo hasta finales del siglo XX se expandió al continente americano (Foreman, 1990) y Asia, asumiendo el carácter definitivo de una ciencia global distintiva, única y dinámica (Farina, 2006).

Las raíces de esta disciplina se extienden hacia la geografía, geobotánica y gestión territorial. El término “ecología del paisaje” fue acuñado por el biogeógrafo alemán Carl Troll a finales de la década de 1930. Troll apuntaba a la evolución de una nueva ciencia que combinara la aproximación espacial “horizontal” de los geógrafos, con el acercamiento funcional “vertical” de los ecólogos (ibíd.). La ecología del paisaje, que nace como una ciencia social (Naveh & Lieberman, 1984; 1994) ha sido aceptada por ecólogos como un nivel prometedor en estudios ecológicos (Risser *et al.*, 1984; Forman & Godron, 1986; Turner, 1989; Wiens *et al.*, 1993; Forman, 1995; Farina, 1993; 1998; 2000; Moss 2000; Turner *et al.* 2001).

Debido a la complejidad y diversidad en sus orígenes, el estudio de la ecología del paisaje puede ser abordado en diferentes maneras; Históricamente la disciplina era planteada únicamente a una escala “humana”, pero en su desarrollo más reciente se han incorporado estudios sobre el arreglo espacial de patrones y procesos característicos del suelo, vegetación, animales y el humano. Es por esto último que resulta de vital importancia desarrollar el marco teórico de esta nueva disciplina, y aunque hay pocos esfuerzos al respecto (Wiens, 1992; Antrop, 2001; Tress & Tress, 2001; Haber, 2004), los autores coinciden en incorporar a la ecología del paisaje al paradigma de la Teoría General de Sistemas (Von Bertalanffy, 1969) y los sistemas complejos (Farina, 2004; 2006).

1.3.1.1.1 Teorías y modelos incorporados en la Ecología del Paisaje

El marco de trabajo de la ecología del paisaje incorpora distintos paradigmas teóricos, estableciendo un escenario que la impulsa a la conformación de una ciencia del paisaje. Incorporar una definición de todos estos paradigmas resultaría en un texto demasiado extenso, y considerando la amplia literatura al respecto, resulta más conveniente enlistar a dichas teorías:

- Teoría de la complejidad
- Teoría de la información
- Cognición y autopoiesis
- Semiótica, bio y eco-semiótica.
- Teoría de la percolación
- Teoría de metapoblaciones
- Sistemas fuente-sumidero

Estas teorías y su relación con la ecología de los paisajes se explican en el capítulo II de Farina (2006).

1.3.1.2 *Geoecología del paisaje*

Desde la primera mitad del siglo XX, Troll (1950) propuso la creación de la geoecología del paisaje como disciplina científica, centrada en el estudio de los aspectos espacio-funcionales. Esta tendencia se reforzó a partir de los años 1970's, con la puesta en moda de la cuestión ambiental. Ello puso a la orden del día, la necesidad de integrar las corrientes geográfico-espacial y ecológico-funcional al estudiar el paisaje. Al mismo tiempo, se reforzaba la idea de concebir al paisaje como un polisistema, en la interface entre la naturaleza y la sociedad. La aparición del concepto de geosistema propuesto por Sochava a finales de los años 1960s que presuponía interpretar al paisaje y todo el instrumental teórico-metodológico acumulado por más de 100 años de estudio, desde una visión sistémica, fue un paso importante en la integración de la dimensión espacial con la funcional (Mateo-Rodriguez, 2002).

Estos esfuerzos unificadores han dado lugar a la formación de la geoecología de los paisajes, como una disciplina integradora que se basa en el estudio del paisaje, desde su acepción de paisaje natural o como formación antro-po-natural. De tal manera, a pesar de todos los esfuerzos integradores en torno a la noción de paisaje, en el campo académico existen al menos tres direcciones que tienen al paisaje como su concepto nodal las cuales forman en su conjunto a lo que se puede denominar la ciencia del paisaje como enfoque transdisciplinario o familia de disciplinas científicas (Ibíd.):

- La *ecología del paisaje*, como una disciplina principalmente de corte biológico.
- La *geoecología de los paisajes*, que hereda el legado de la geografía del paisaje, y la geografía física compleja y es cercana a la ecogeografía y la geografía ambiental (Bertrand, 1968).
- La *geografía cultural del paisaje*, centrada en la dimensión socio-ecológica, en la percepción de los paisajes, y en el análisis del paisaje cultural.

1.3.2 Fragmentación forestal

La deforestación es un proceso complejo que entraña distintos grados de perturbación, puede consistir en el aclareo del bosque, puede ser más puntual y eliminar estratos o especies en particular o puede eliminar completamente el bosque, dejando campos de hierbas prácticamente desprovistos de árboles. Lo más común es que la deforestación afecte sólo parte del bosque, dejando parches, islas o fragmentos, dando lugar a la fragmentación forestal (Guevara *et al.*, 2004).

Los parámetros de la fragmentación son: el tamaño, la forma y la distribución de los fragmentos, y su combinación dan un patrón de fragmentación. Para el estudio del paisaje es básico entender el patrón de fragmentación, ante el cual surgen preguntas acerca de su origen. Las respuestas pueden ser varias y atender a criterios distintos como son: el impedimento de usar partes del bosque debido a restricciones del relieve; puede ser que se identifique la utilidad de algunas especies en una porción determinada del bosque; puede obedecer a la forma de propiedad, a la diversificación del uso de suelo, al modo de apropiación del bosque o alguna peculiaridad cultural (socio-económica). Lo más probable es que el patrón de fragmentación se explique por una combinación de criterios que finalmente da como resultado también el diseño del paisaje (Ibíd.).

1.3.2.1 Causas de la fragmentación

Los procesos naturales son capaces de alterar el paisaje causando la destrucción total o parcial del hábitat. Ejemplos son: erupciones volcánicas, cambio climático a largo plazo e incendios naturales. Sin embargo, la modificación del paisaje por humanos es la principal causa de la pérdida del bosque y fragmentación actual del hábitat. La modificación antropogénica del paisaje se da por numerosas razones, entre las más comunes son la expansión de la frontera agropecuaria y la urbanización. (Lindenmayer & Fischer, 2006)

Existen numerosas investigaciones sobre las causas de la fragmentación de hábitat, algunas se enfocan a factores naturales, por ejemplo Coops *et al.* (2010), que evalúa el efecto de las plagas forestales sobre la fragmentación forestal. No obstante, la gran mayoría de estos trabajos está orientada hacia los factores antrópicos (deforestación, cambio de uso del suelo, construcción de caminos, etc) de la fragmentación, entre estos se encuentran: Newman *et al.* (2013); Freitas *et al.* (2010); Echeverría *et al.* (2008); Abdullah & Nakagoshi (2007); Hawbaker *et al.* (2006); Echeverría *et al.* (2006), entre otros.

1.3.2.2 Efectos de la fragmentación

La pérdida y fragmentación del bosque resulta en una serie de impactos ecológicos, ambientales, sociales y económicos. La alteración de la cobertura forestal afecta directamente a los procesos ecosistémicos lo que deriva en perturbaciones a la biodiversidad y el microclima del hábitat. Así mismo, el cambio en área y configuración de la vegetación repercute sobre la productividad forestal (maderable y no maderable), altera el valor recreacional de la tierra y daña la provisión de servicios ecosistémicos, como la captura de agua y carbono (Kupfer, 2006).

Ejemplo de lo anterior es el trabajo realizado por Zeng *et al.* (2009), el cual concluye que la fragmentación forestal afecta la susceptibilidad del bosque a daños por viento. Cabe mencionar la recopilación bibliográfica de Broadbent *et al.* (2008), en la cual se refieren más efectos de la fragmentación como: susceptibilidad a incendios naturales, incremento en mortandad de los árboles, cambios en composición de especies de animales y plantas, alteración del microclima, incremento en emisiones de carbono, efectos sobre la estabilidad de suelo, entre otros.

1.3.2.2.1 Efecto de borde

El efecto de borde se observa cuando dos tipos de cobertura terrestre son adyacentes y son suficientemente diferentes en su estructura (Forman, 1995;

Farina, 2000b). Debido al contacto con una cobertura contrastante, las zonas periféricas de las dos cubiertas son alteradas en sus microclimas. Como consecuencia de la estrecha relación entre las condiciones ecológicas y la biodiversidad, se observan diferencias en la composición de especies entre las partes centrales inalteradas de un parche y la zona a lo largo de su perímetro (Forman, 1995; Kolasa & Zalewski, 1995). La medición de estos efectos de borde es útil para mejorar la comprensión de los efectos antropogénicos sobre el paisaje (Bogaert *et al.*, 2011). En consecuencia, los datos empíricos se deben recoger in situ para poder hacer estimaciones más realistas de los efectos de borde y sus consecuencias ecológicas (Chen *et al.*, 2008).

1.3.2.3 Cuantificación de la fragmentación y su análisis

Para el estudio de los efectos de la estructura del paisaje sobre procesos ecológicos, es necesario el desarrollo de métodos para cuantificar el patrón espacial en variables medibles la cuales se pueden ligar a estos procesos (Frohn, 1998). Las métricas o índices de paisaje, han sido desarrollados para satisfacer esta necesidad (Diaz, 1996).

Estos índices conforman el método primordial del presente trabajo, y se aborda más sobre sus cuestiones teórico metodológicas en los capítulos III, IV, y V.

1.4 PROCESO METODOLÓGICO GENERAL

Como ya se había mencionado anteriormente, para facilitar la explicación del trabajo realizado, se han delimitado capítulos que abordan en detalle las diferentes temáticas elaboradas durante la investigación. Y aunque en cada capítulo se reportan los materiales y métodos utilizados, se considera pertinente presentar un condensado del proceso metodológico en su totalidad, de manera que sea más clara la secuencia que siguió la investigación.

1.4.1 Flujo de trabajo

Las etapas en que se divide esta investigación corresponden en cierta medida a los objetivos particulares planteados, y las cuales fueron elaboradas siguiendo esta secuencia:

1. Se prepararon los datos utilizados en el sistema de información geográfica (SIG).
2. Se cuantificó la fragmentación en cada periodo temporal.
3. Se caracterizó la dinámica del cambio en la fragmentación entre los periodos analizados.
4. Se encontró la influencia de factores ambientales sobre la fragmentación y su dinámica.
5. Se integraron todos los resultados obtenidos en una discusión y conclusión general.

1.4.2 Insumos y bases de datos

Como se puede observar el primer paso consistió en la preparación de los datos que se utilizaron en el SIG, ya que estos constituyen la base con la que se realizaron todos los análisis consecutivos, es por eso que se dedica este espacio para la descripción de estos materiales.

Todos los mapas propios a la RBMM, incluidos los que se presentan como figuras en los capítulos consecuentes, se representan con el datum WGS 1984 proyectados con el sistema UTM correspondiente a la zona 14 norte.

1.4.2.1 Topografía: elementos del medio natural físico, y del medio social

Del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se obtuvieron los vectores correspondientes a las cartas topográficas escala 1:50,000¹ los cuales resultaron útiles para la conformación de la cartografía base, en particular las curvas de nivel con las cuales se interpoló un modelo digital de terreno (MDT) que a su vez fue la base para calcular otras variables (pendiente, curvatura, y orientación de ladera) utilizadas principalmente en el capítulo V, como factores explicativos de la fragmentación.

Este MDT también fue utilizado para delimitar las microcuencas presentes dentro de la RBMM, a las cuales se les asignó un nombre correspondiendo al elemento más relevante contenido en la microcuenca. Este elemento puede ser un río o arroyo, cañada, cuerpo de agua, cerro o loma, o incluso un asentamiento humano.

Del INEGI también se compilaron los “Principales resultados por localidad (ITER)”, de los censos nacionales 2000 y 2010, y de los conteos nacionales 1995 y 2005. Los cuales fueron utilizados para realizar una descripción demográfica de la zona de estudio (capítulo II), así como en las correlaciones presentadas en el capítulo IV.

Todos los datos del INEGI requirieron ser re proyectados del sistema de coordenadas ITRF 1992, al utilizado en este trabajo: WGS 1984 (UTM Zona 14N).

1.4.2.2 Densidad de cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM)

La principal fuente de información de este trabajo lo constituyen los polígonos de densidad de cobertura forestal elaborados por el Dr. José López

¹ Las claves de las cartas utilizadas son: E14A15, E14A16, E14A25, E14A26, E14A35, y E14A36. Estas cartas representan los elementos topográficos correspondientes a los años 1998 y 1999.

García y su equipo de trabajo en los últimos años (López-García, 2005; 2009; 2010; 2011; 2011b; 2013). En su último compendio editorial, López-García (2013) explica la metodología para obtener dichas densidades y describe sus resultados obtenidos en el periodo 1999 a 2011.

A partir de estas densidades de cobertura es que se delimitan las zonas con presencia o ausencia de bosque, utilizando el criterio establecido por la FAO: Tierras con una extensión mayor a 0.5 ha con árboles de más de cinco metros de altura y una densidad de cobertura mayor al diez por ciento (FAO, 2010), obteniendo así una clasificación binaria del paisaje la cual fue necesaria para el cálculo de los índices de fragmentación forestal.

En este caso los vectores originales requirieron ser re proyectados del sistema de coordenadas NAD 1927 al WGS 1984, ambos presentes en la zona UTM 14N.

1.4.3 Forma y tamaño de la retícula espacial

Como se verá en los capítulos siguientes, gran parte de los índices y estadísticos fueron calculados dentro de una retícula, la cual cubre en su totalidad a la zona en estudio, cuya forma y tamaño responde a varios criterios.

En primer lugar se tiene la forma, Birch *et al.* (2007) realiza una revisión bibliográfica sobre el uso de retículas con diferente forma (triángulos, cuadros y hexágonos) en análisis espacial de proceso ecológicos. Aunque hacen evidente que las cuadrículas son las más ampliamente utilizadas, los autores concluyen que los hexágonos resultan más apropiados para estudios que implican interacciones, flujos o conectividad dentro del proceso ecológico.

Una matriz hexagonal presenta diversas ventajas sobre una rectangular, por mencionar algunas:

- Propiedades de vecindad más simples y ampliadas, una posición relativa puede tener hasta seis vecinos (Milbau *et al.*, 2003).

- Provee una mayor superficie de interacción y/o conectividad (Thorhallsdottir, 1990).
- En gradillas rectangulares, los vecinos en diagonal pueden alterar la interface entre vecinos ortogonales (Barthram *et al.*, 2002).

Es por estas características que para la presente investigación se consideró apropiado emplear una redícula hexagonal, ya que la fragmentación implica un proceso ecológico de conectividad, o mejor dicho, de ausencia de esta.

En segundo lugar, hay que considerar el tamaño de las celdas presentes en esta gradilla, para esto es importante contemplar la autocorrelación espacial y sus implicaciones.

El término “autocorrelación” se refiere al grado de correlación de una variable contra si misma (auto). Agregando el adjetivo “espacial”, se hace implícito que esta relación es una función de la distancia espacial entre los valores de esta variable, o de su localización en el espacio (Fortin & Dale, 2005). Esta falta de “independencia espacial” se puede presentar debido a que en el mundo natural, objetos que se encuentran cercanos suelen ser más parecidos entre sí, que objetos lejanos, algo que en la geografía se le conoce como Ley de Tobler (Tobler, 1970). Una de las implicaciones de la autocorrelación espacial es que las pruebas estadísticas (paramétricas) se ven afectadas, ya que los resultados pueden aparentar ser más significativos de lo que en realidad son, debido a que el número de observaciones independientes verdaderas es menor al número usado en la prueba (Legendre, 1993; Thomson *et al.*, 1996). Sin embargo, se debe tener en mente que es esta falta de independencia la que provee de predictibilidad espacial, característica esencial de los patrones (Dale, 1999).

Como Fortin & Dale (2005) mencionan, la autocorrelación espacial es dependiente de la escala. Es por eso que para definir el tamaño de la celda hexagonal utilizada, se realizó el ejercicio de calcular la autocorrelación (por medio del índice I de Moran), en redículas con diferente tamaño de celda: 5, 10,

20, 50, 100, 200 y 500 hectáreas. Para realizar estos cálculos se tomó como base el índice de paisaje “densidad de borde”, para el periodo temporal intermedio, en este caso correspondiente al año 2003.

En la figura 1 se presentan los valores Z^2 de la I de Moran para cada tamaño de celda correspondiente, como se puede notar, los tamaños de celda que presentan menor autocorrelación son los de 10, 50, 100 y 500 hectáreas. Considerando la superficie de la zona de estudio, y la escala con la que se generaron los polígonos de densidad de cobertura, se decidió emplear la retícula con escala más fina, es decir la de hexágonos con una superficie de diez hectáreas.

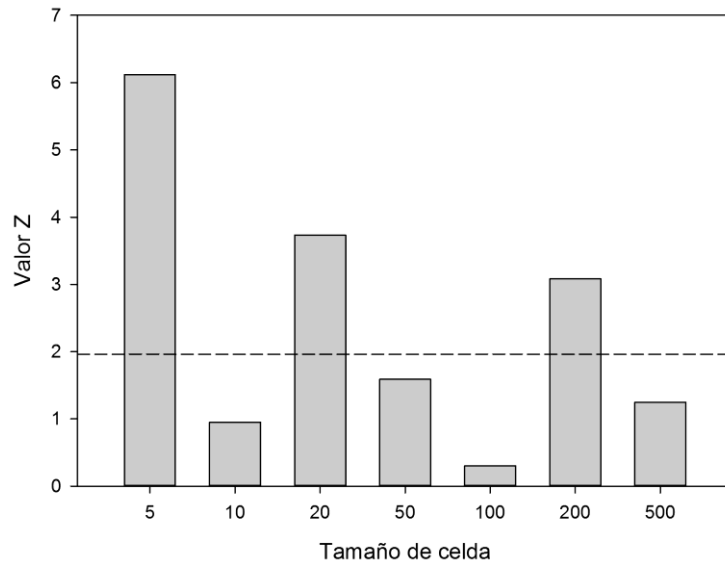


Fig. 1 Valor Z para cada tamaño de celda, la línea punteada indica el valor de referencia 1.96

² Para pruebas estadísticas, los valores I de Moran son transformados a niveles Z , donde valores superiores a 1.96 o inferiores a -1.96 indican una autocorrelación espacial significativa al 5%.

2 CAPÍTULO II: LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA

La presente investigación se llevó a cabo en los bosques presentes en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), que se localiza en los municipios de Donato Guerra, San José del Rincón, Temascalcingo y Villa de Allende en el Estado de México, así como en los municipios de Angangueo, Aporo, Contepec, Ocampo, Senguio, Tlalpujahu³ y Zitácuato, pertenecientes al estado de Michoacán. La reserva tiene una superficie total de 56,259 ha, de la cual la zona núcleo abarca 13,555 ha y la de amortiguamiento 42,704 ha (Fig. 2 y Mapa D).

Es este capítulo se describe de manera breve los elementos geocológicos que conforman el paisaje estudiado, siguiendo la propuesta de Bertrand (1968 y 1972) retomada por García-Romero & Muñoz-Jiménez (2002), así como la problemática ambiental que atañe a este territorio. Algunos de estos elementos serán retomados como variables explicativas de la fragmentación en el capítulo V.

2.1 SUBSISTEMA ABIÓTICO

Aquí se incluyen los componentes materiales y energéticos del sistema territorial, no relacionados con la actividad biológica y que, considerados como la infraestructura básica del territorio, son aprovechados como recursos por los elementos vivos del sistema.

³ El municipio de Tlalpujahu se localiza fuera del límite de la RBMM, sin embargo debido a su cercanía e importancia en cuanto a población (como lo menciona el plan de manejo del ANP), se considera en la presente investigación.

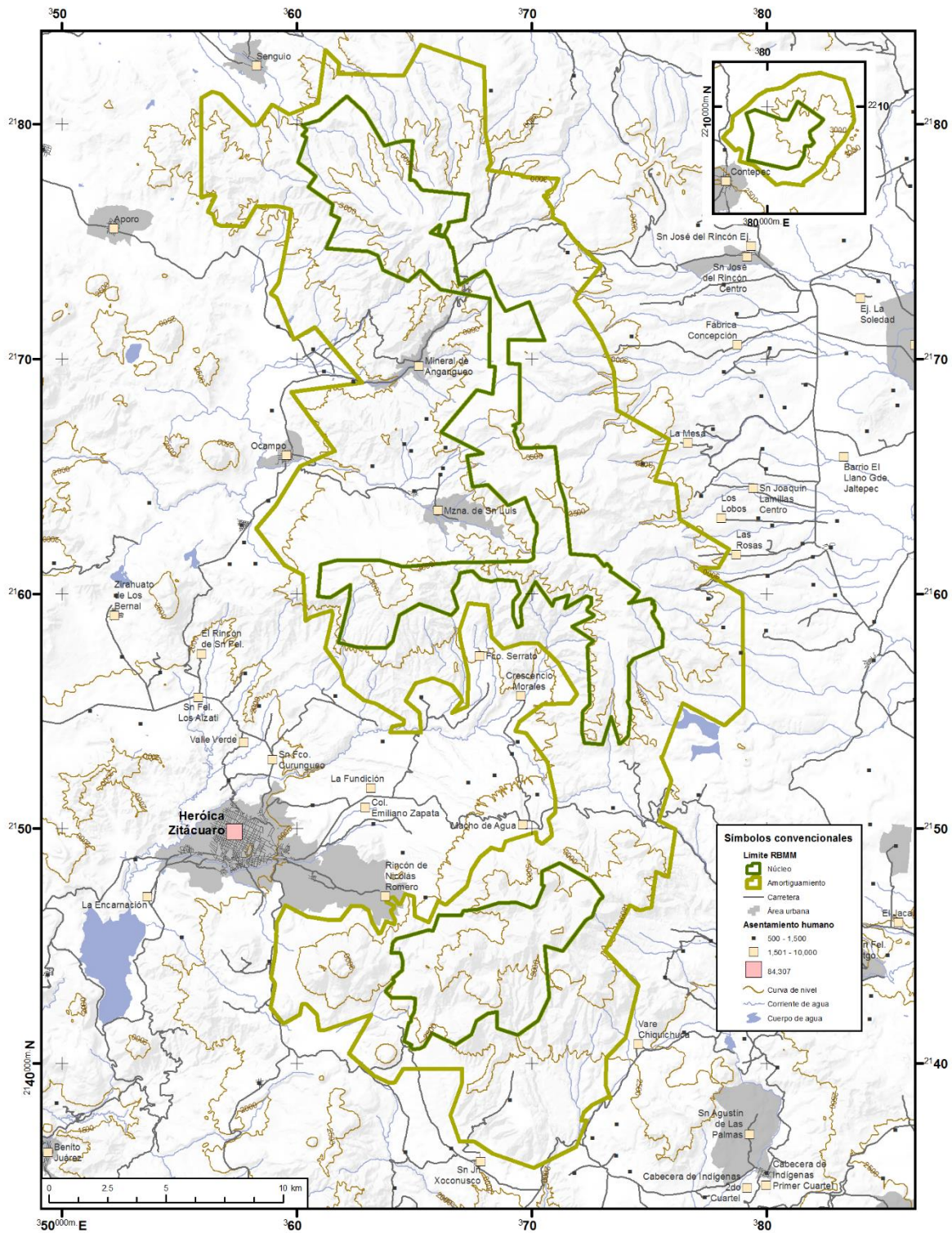


Fig. 2 La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, en su delimitación de 2009.

2.1.1 Componentes morfoestructurales

Las unidades geológicas más antiguas presentes en la RBMM corresponden al Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Después de una fase de quietud durante el Cretácico Medio al Eoceno, la historia volcánica comienza de nuevo en el Oligoceno. El origen del Eje Neo-volcánico es del Terciario-Cuaternario, formado por una zona de fallas de tensión diagonales con orientación NE-SW, que afectaron las áreas de vulcanismo preexistente. (López-García, 2012)

La disposición, concentración y edad de las diferentes estructuras del Eje Neo-volcánico sugieren que el vulcanismo en la zona ha sufrido migraciones a lo largo del tiempo geológico. Así, la estructura geológica aflorante en la Sierra Campanario ha sido originada por tres fases de vulcanismo, la primera corresponde al Oligoceno-Mioceno inferior, la segunda al Mioceno medio y superior, y la tercera al Plio-Cuaternario (Demant, 1982).

De esta manera, gran parte de la superficie de la zona en estudio presenta rocas de origen volcánico del Cenozoico (rocas ígneas recientes), seguidas por las de la era Mesozoica. Un grupo de rocas con significativa expresión son las sedimentarias y volcano-sedimentarias del Terciario, de las que se encuentran dos tipos: brecha sedimentaria y volcanoclastos. Finalmente, la unidad correspondiente al Cuaternario, en la que destacan el material aluvial, está conformada por depósitos de matriz arcillosa que representan el proceso acumulativo reciente, sus afloramientos son escasos y de poca extensión dada la juventud geológica de la zona (López-García, 2012).

2.1.2 Componentes climáticos

La RBMM se caracteriza por el predominio de elementos de paisaje templado de altura debido a un dominio climático, en general, templado subhúmedo, con temperaturas medias anuales entre 8 y 22 °C, y precipitaciones promedio desde 700 hasta 1,250 mm anuales, siendo los meses de verano los más

lluviosos. Este tipo de clima cambia en distancias relativamente cortas debido a importantes diferencias de altitud, exposición o pendiente, y producen significativas variantes microclimáticas, muy sensibles, sobre todo en lo que se refiere a grados de humedad e índices de precipitación, aunque también en función de las temperaturas (Ibíd.)

2.1.3 Componentes morfoesculturales

La Reserva se ubica en el centro del Eje Neo-volcánico, donde el terreno es bastante accidentado, por lo que las altitudes y pendientes son muy variadas. En la RBMM se localizan las mayores altitudes entre 2,200 y 3,600 m, cuya elevación máxima es la Sierra de Campanario. Esta complejidad de altitudes y pendientes fruto del modelado sobre diferente litología, ha dado lugar a unidades geomorfológicas que definen los cuatro principales tipos de relieve presentes: montañas, piedemontes, lomeríos y planicies (Ibíd.).

El relieve morfoestructural de rocas intrusivas, extrusivas y metamórficas, se expresa por la presencia de laderas de lomeríos y montañas con disección fluvial, que a su vez tienen un arreglo en bloques, inferidos por los lineamientos con orientación este-oeste y norte-sur. Todo el territorio se caracteriza por presentar un sistema montañoso con orientación NW-SE, que divide las cuencas de los ríos Lerma y Balsas. Algunas sierras que lo forman son: Las Verduras, Tsitzió, Campanario, Chincua, Zinacantepec, San Andrés, Monte Alto, y Monte Bajo. Este sistema no es continuo, la actividad tectónica y la erosión han dado como resultado una división en sectores, por lo cual es posible encontrar dentro de un sistema montañoso: lomeríos, colinas, piedemontes, valles y planicies (Ibíd.).

2.1.4 Componentes hidrológicos

En función de los principales escurrimientos, la RBMM se ubica en la vertiente del Pacífico, particularmente al norte se encuentra la cuenca del río Lerma-Toluca, perteneciente a la región hidrológica Lerma-Santiago. El relieve

montañoso que caracteriza gran parte de la zona de estudio, presenta una intensa disección fluvial que origina fuertes pendientes y escasez de depósitos aluviales, condiciones que producen una alta permeabilidad, por lo que las corrientes superficiales se encuentran poco desarrolladas, aunque se presentan en gran cantidad. De ahí que se desarrolle un drenaje dendrítico debido a que los cursos de los ríos son pequeños, cortos e irregulares, y drenan en todas direcciones, cubren áreas amplias y llegan al río principal formando cualquier ángulo (Ibid.)

Así mismo, dentro de la demarcación de la RBMM se delimitaron 108 microcuencas a las cuales se les asignó un nombre correspondiendo al elemento más relevante contenido en la microcuenca. Este elemento puede ser un río o arroyo, cañada, cuerpo de agua, cerro o loma, o incluso un asentamiento humano.

2.2 SUBSISTEMA BIÓTICO

Comprende los componentes derivados de la actividad biológica, que dinamizados por el potencial abiótico del geosistema, conducen a procesos de adaptación, diseminación, y competencia entre los organismos y formaciones vivas, con su prolongación al nivel de los suelos, todos ellos necesarios para la adaptación de la vida al ambiente cambiante del geosistema.

2.2.1 Cubierta vegetal

La vegetación presente en la RBMM es el resultado de la convergencia de elementos florísticos del Reino Holártico y Neotropical que forman parte de la Región Mesoamericana de Montaña, lo cual se ve reflejado en la gran diversidad de la zona (Cornejo-Tenorio & Ibarra-Manríquez, 2008). Las principales comunidades vegetales situadas dentro de la reserva son:

Bosque de oyamel. Comunidades de *Abies religiosa* que se distribuye a partir de los 2,900 y 3,000 m de altitud, constituye el hábitat típico de la mariposa monarca. Se desarrolla sobre los sistemas montañosos que integran la

Sierra Chincua, Campanario–Rancho Grande y Chivati-Huacal, que presentan un meso clima frío-subhúmedo. Los bosques de oyamel con vegetación secundaria corresponden a zonas perturbadas en los que se favorece el desarrollo de vegetación arbustiva representada por los géneros *Sencio*, *Eupatorium*, *Archibaccharis*, entre otros.

Bosque de encino con vegetación secundaria. Las áreas que actualmente en la reserva se encuentran cubiertas por bosque de encino con vegetación secundaria. Son consecuencia de la sucesión del bosque de oyamel, que por acción de diversos factores de perturbación ha desaparecido, dando lugar al desarrollo de encinares en los que predominan *Quercus laurina*, *Clethra mexicana*, *Alnus firfolia*, *Salix paradoxa*, *Buddleia cordata* y *B. parvifolia*, entre otras.

Bosque de pino–encino. En la reserva esta comunidad se distribuye en el piso altitudinal comprendido entre los 2,400 y 3,000 m de altitud. Se desarrollan generalmente sobre relieves montañosos con pendientes suaves y moderadas. Las especies dominantes son *Pinus pseudoestrobis*, *P. rudis*, *Quercus laurina* y *Q. rugosa*.

Pastizal. Son aquellos pastizales, naturales de praderas subalpinas o secundarios originados a partir del deterioro de pequeñas áreas ocupadas por el bosque de oyamel, que se desarrollan en superficies por encima de los 2,900 metros de altitud. Los géneros representativos de este tipo de vegetación son *Muhlenbergia*, *Bidens*, *Stipa*, *Potentilla*, *Trifolium*, *Gnaphalium* y *Viola*.

Zonas agrícolas. Las áreas agrícolas existentes dentro de la reserva corresponden a las superficies antes cubiertas por bosques de pino y encino. Su cercanía con las zonas urbanas favorece el desarrollo de una agricultura de subsistencia temporal, que provoca la erosión de los suelos forestales.

2.2.2 Cubierta edáfica

Los tipos de suelo que se encuentran en esta zona se derivan de cenizas volcánicas. En los sitios ocupados por el bosque el suelo tiene colores oscuros

debido a una abundante materia orgánica, en tanto que los suelos sin cubierta vegetal son de colores claros por haber perdido la capa superficial orgánica, lo que les confiere una alta susceptibilidad a la degradación cuando son desmontados. Por otra parte, las fuertes pendientes que existen en la zona y la capacidad de permeabilidad o absorción de humedad que tienen los suelos, convierten a la región en una importante área de recarga de acuíferos, con lo cual es posible alimentar un total de 23 cuerpos de agua, que abastecen diversos centros urbanos, así como las ciudades de México y Toluca (Cornejo-Tenorio & Ibarra-Manríquez, 2008).

2.3 SUBSISTEMA ANTRÓPICO

Abarca las modalidades de ocupación y aprovechamiento del suelo por parte del hombre, que pueden ser en mayor o menor medida acordes con los subsistemas anteriores.

2.3.1 Demografía

En esta sección se presentan algunas características demográficas de los 601 asentamientos humanos presentes en los municipios donde se extiende la RBMM.

2.3.1.1 *Dinámica de población 1999-2010*

Esta fuera de los objetivos de esta investigación el describir la dinámica poblacional de cada una de las localidades, por eso es que se presentan los valores promedios por municipio y estado en la tabla 1. En donde se puede apreciar que para el año 2010 habitaban 468,428 personas en los municipios de la RBMM, es decir un 11.8% más que en 1999, cuando había 418,819 habitantes. También se puede notar una mayor población en el estado de Michoacán con respecto al estado de México durante los tres años analizados.

Para analizar la dinámica poblacional se calculó la tasa de cambio anual (TCA)⁴ en unidades porcentuales, para cada una de las localidades presentes en la zona de estudio. Los valores de TCA promedio para los municipios y estados también se pueden observar en la tabla 1, donde notamos que la TCA 1999-2010 promedio de toda la zona analizada es de 1.13, es decir por cada año que pasa la población de todos los municipios de la RBMM incrementa a un 101.13%. Algunos municipios presentan una tasa de crecimiento mayor, como lo son: Donato Guerra en el estado de México, así como Aporo, Ocampo, Tlalpujahua, y Zitácuaro en el estado de Michoacán.

Tabla 1 Población total y Tasa de Cambio Anual (TCA) por municipio y estado.

Estado	Municipio	Población 1999	Población 2003	Población 2010	TCA en % 1999-2003	TCA en % 2003-2010	TCA en % 1999-2010
Estado de México	Donato Guerra	26,836	28,941	33,026	1.91	1.90	<u>2.10</u>
	San José del Rincón	63,837	66,067	70,103	0.86	0.85	0.94
	Temascalcingo	59,120	59,356	61,073	0.10	0.41	0.33
	Villa de Allende	37,756	38,170	40,039	0.27	0.69	0.59
<i>Subtotal México</i>		<i>187,549</i>	<i>192,534</i>	<i>204,241</i>	<i>0.66</i>	<i>0.85</i>	<i>0.86</i>
Michoacán de Ocampo	Angangueo	9,893	10,037	10,386	0.36	0.49	0.49
	Aporo	2,638	2,773	3,114	1.26	1.67	<u>1.67</u>
	Contepec	28,772	29,770	31,841	0.86	0.97	1.02
	Ocampo	18,475	19,951	22,597	1.94	1.80	<u>2.03</u>
	Senguio	16,100	16,450	17,840	0.54	1.17	1.03
	Tlalpujahua	21,920	23,885	26,324	2.17	1.40	<u>1.85</u>
	Zitácuaro	133,472	138,673	152,085	0.96	1.33	<u>1.31</u>
<i>Subtotal Michoacán</i>		<i>231,270</i>	<i>241,539</i>	<i>264,187</i>	<i>1.09</i>	<i>1.29</i>	<i>1.34</i>
Total		418,819	434,073	468,428	0.90	1.09	1.13

Cabe resaltar que todas las tasas promedio obtenidas para los municipios son positivas, es decir, de crecimiento poblacional. Sin embargo, hay algunos asentamientos donde la TCA presenta valores negativos, en otras palabras, la población disminuyó durante el periodo estudiado. Ejemplo de estas localidades son: Mineral de Angangueo, Crescencio Morales, San José del Rincón, San Juan Palo Seco, Los Hoyos, entre otras. En la figura 3 se presenta un mapa con la distribución de asentamientos humanos simbolizados según su valor de TCA.

⁴ Dicha tasa fue calculada conforme a la siguiente ecuación: $TCA = ((Población\ T2 / Población\ T1)^{1/n} - 1) \cdot 100$, donde n equivale al número de años transcurridos entre T1 y T2.

2.3.1.2 *Índice de masculinidad en la RBMM*

El índice de masculinidad (IM), también llamado razón de sexo es un índice demográfico que expresa la razón de hombres frente a mujeres en un determinado territorio, expresada en tanto por ciento. Se calcula usando la fórmula:

$$IM = \frac{\text{Población masculina}}{\text{Población femenina}} \cdot 100$$

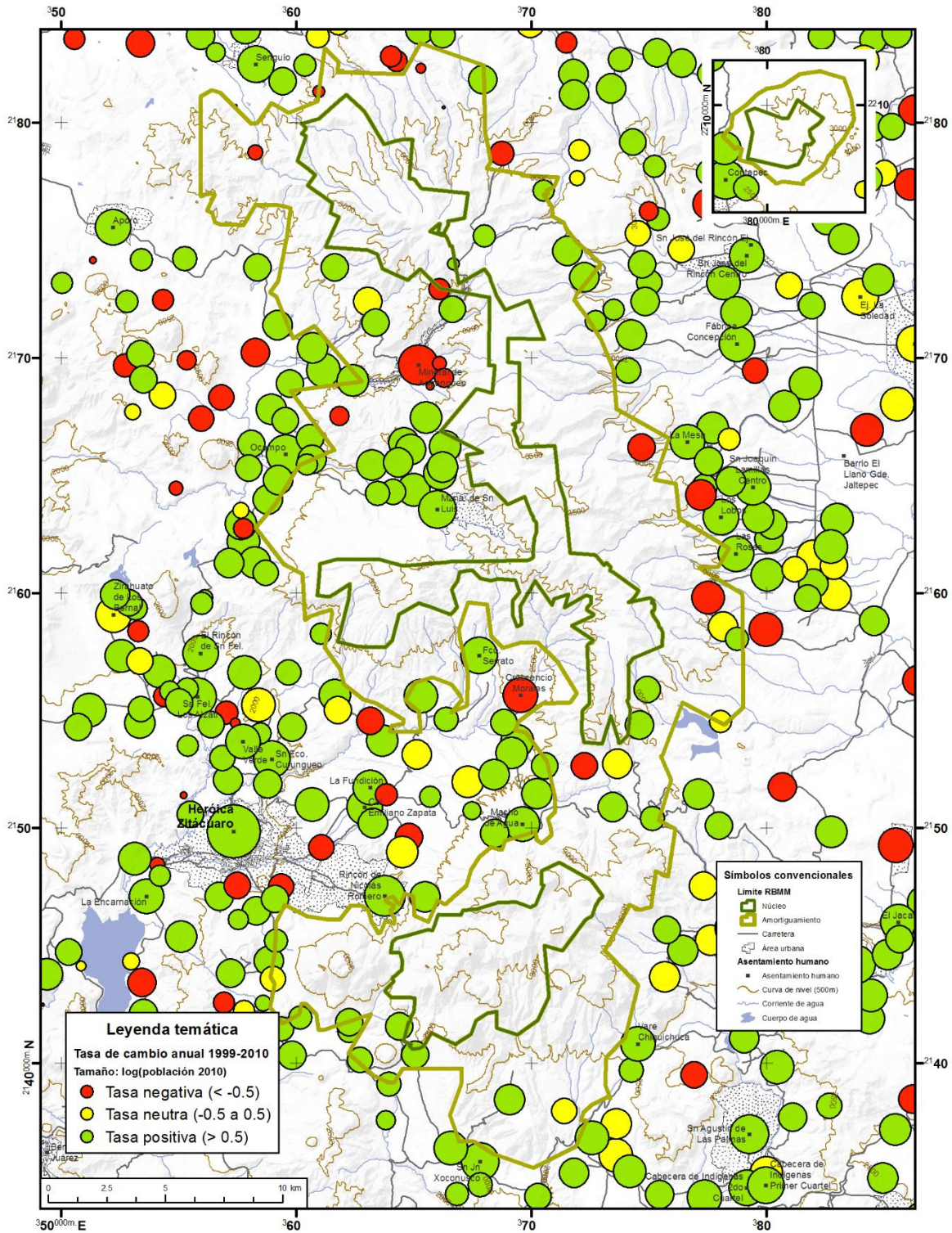


Fig. 3 Tasa de cambio por localidad en el periodo 1999 a 2010.

Se afirma que una población mantiene una relación natural de 97 varones por cada 100 mujeres. Este es el índice de masculinidad natural de una población, no obstante por razones sociales puede ser superior o inferior por regiones mundiales, nacionales o subnacionales. En México la migración en los varones es el factor más importante en la configuración de la estructura por sexo (INEGI, 2010).

En la tabla 2 se muestran los promedios del IM por cada municipio y estado donde se localiza la RBMM, en la tabla podemos notar que el estado de México presenta mayores índices de masculinidad pero con una tendencia a la baja, mientras que Michoacán ostenta menores valores de IM, sin embargo estos tienden a un incremento. En la misma tabla también se observan los promedios de cambio entre los periodos analizados, es evidente que prácticamente todos los municipios y ambos estados presentan un decremento en el IM, destacan por la intensidad de disminución los municipios de Donato Guerra en el estado de México y el municipio de Angangueo en Michoacán.

Tabla 2 Índice de masculinidad y su cambio, por municipio y estado.

Estado	Municipio	Masculinidad 1999	Masculinidad 2003	Masculinidad 2010	Cambio 1999-2003	Cambio 2003-2010	Cambio 1999-2010
Estado de México	Donato Guerra	103.2	101.2	98.1	-2.0	-3.1	-5.1
	San José del Rincón	99.8	99.0	97.6	-0.8	-1.4	-2.1
	Temascalcingo	96.6	94.9	93.6	-1.7	-1.3	-3.0
	Villa de Allende	96.9	96.3	96.1	-0.5	-0.8	-1.3
<i>Subtotal México</i>		98.7	97.6	96.4	-1.1	-1.4	-2.5
Michoacán de Ocampo	Angangueo	93.7	90.5	85.8	-3.2	-4.8	-7.9
	Aporo	82.0	80.3	78.5	-1.7	-1.7	-3.4
	Contepec	93.4	92.1	98.3	-1.4	0.0	-1.4
	Ocampo	100.4	99.5	104.5	-0.9	0.1	-0.8
	Senguio	81.7	80.2	89.9	-1.5	-0.7	-2.2
	Tlalpujahuá	91.4	90.5	90.3	-0.9	-0.1	-1.1
	Zitácuaro	88.7	87.3	91.6	-1.4	-1.1	-2.4
<i>Subtotal Michoacán</i>		90.4	89.0	93.2	-1.4	-0.7	-2.1
Total		93.9	92.6	94.5	-1.2	-1.0	-2.3

Una distribución espacial de los valores de IM por localidad se muestra en la figura 4, en donde se simboliza por la intensidad de cambio de la masculinidad entre 1999 y 2010. La disminución fuerte implica un decremento de entre -10 y -83, la disminución representa un decremento de -2 a -10, la categoría sin cambio aparente tiene valores de 2 a -2, un incremento simboliza aumentos de entre 2 y 10, mientras que incremento fuerte implica aumentos de 10 y hasta 60.

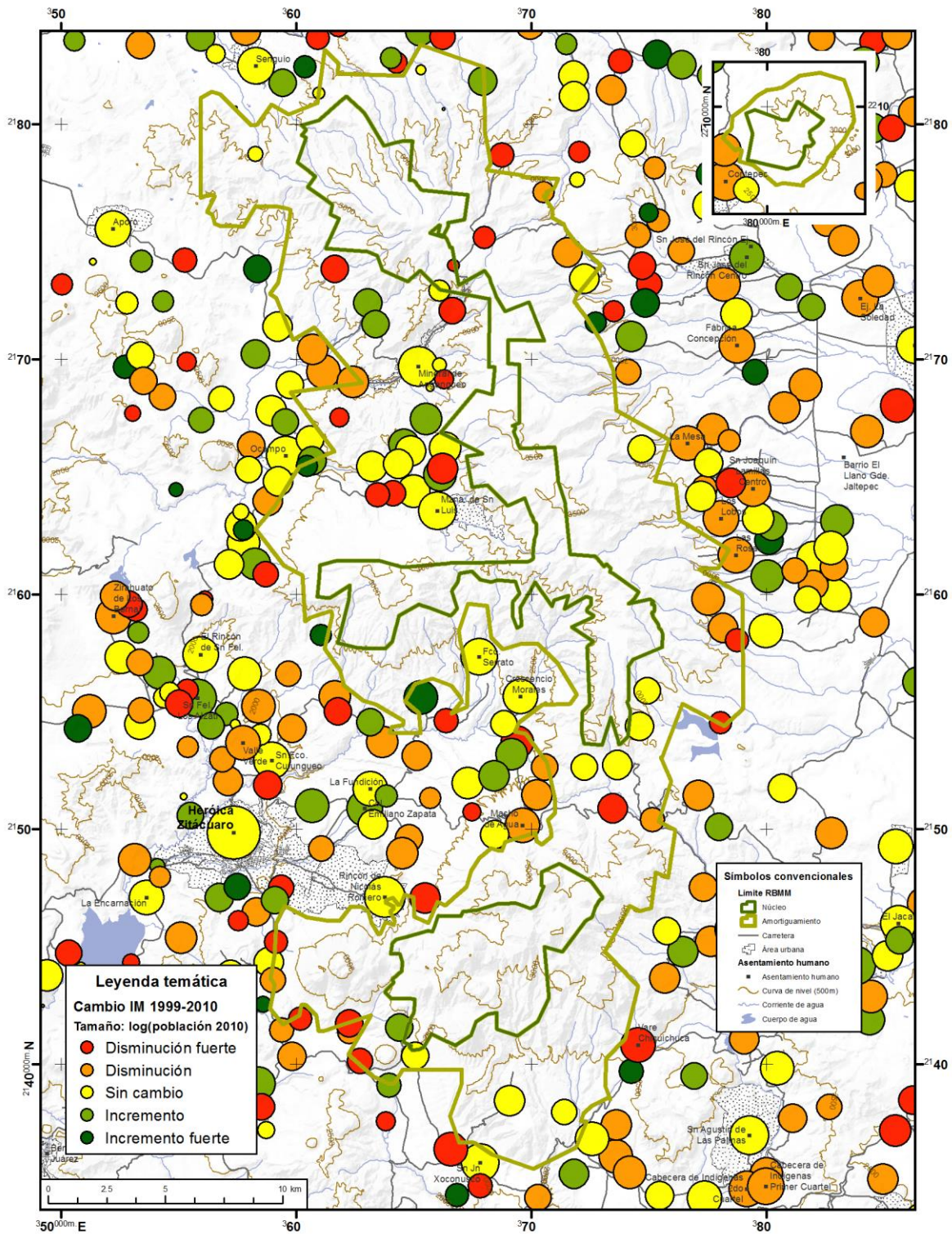


Fig. 4 Intensidad en el cambio del Índice de Masculinidad en el periodo 1999 a 2010.

2.3.1.3 *Vulnerabilidad social en la RBMM*

La vulnerabilidad social es consecuencia directa del empobrecimiento, el incremento demográfico y de la urbanización acelerada sin planeación. Como la define CENAPRED (2006): “El conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad”. La vulnerabilidad es un concepto ampliamente utilizado en la evaluación y gestión de riesgos naturales, sin embargo en esta investigación se plantea la hipótesis que una mayor vulnerabilidad social implica también una mayor susceptibilidad de la población a la influencia de poderes (sociopolíticos) externos sobre su territorio, y que esto a su vez atente a la integridad de sus recursos naturales, en este caso, los recursos forestales.

Para el cálculo de la vulnerabilidad social en la RBMM se tomaron en cuenta indicadores sobre educación, vivienda, y situación económica, con base en los datos correspondientes al censo del 2010. Para más información sobre estos indicadores se invita al lector a consultar la guía de “Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social” del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2006).

Resultaría impráctico describir el nivel de vulnerabilidad por cada una de las localidades, por lo que en la tabla 3 se presentan los porcentajes de población por nivel de vulnerabilidad social, en cada uno de los municipios y estados en los que se ubica la reserva. En dicha tabla se indica que en el estado de México, la vulnerabilidad se reparte casi equitativamente entre los primeros tres niveles: muy baja, baja, y media. Mientras que en Michoacán predomina la vulnerabilidad baja, sin embargo este estado presenta mayor población con vulnerabilidad alta y muy alta. Los municipios más vulnerables son: San José del Rincón en el estado de México, donde más de la mitad de su población presenta una vulnerabilidad social media. Así como el municipio de Ocampo, en Michoacán, donde casi la mitad de su población se encuentra en vulnerabilidad alta, y otro 13% con muy alta. En la figura 5 se presenta la distribución espacial

de todas las localidades, simbolizadas con su respectivo nivel de vulnerabilidad social.

Tabla 3 Proporción de población por nivel de vulnerabilidad en cada municipio y estado.

Estado	Municipio	Vulnerabilidad social				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Estado de México	Donato Guerra	34	42	21	1.8	0.0
	San José del Rincón	7	19	51	21.3	1.5
	Temascalcingo	52	23	21	3.2	0.1
	Villa de Allende	35	38	24	3.7	0.0
<i>Subtotal México</i>		<i>29</i>	<i>27</i>	<i>33</i>	<i>10.2</i>	<i>0.6</i>
Michoacán de Ocampo	Angangueo	11	50	31	7.0	2.1
	Aporo	66	4	21	8.3	0.0
	Contepec	32	50	12	5.2	0.8
	Ocampo	5	2	30	49.2	13.4
	Senguio	26	20	33	20.9	0.3
	Tlalpujahuá	36	30	21	12.5	0.1
	Zitácuaro	3	67	16	10.7	2.9
<i>Subtotal Michoacán</i>		<i>13</i>	<i>51</i>	<i>19</i>	<i>13.9</i>	<i>3.0</i>
Total		20	40	26	12.2	1.9

2.3.2 Tenencia de la tierra

La RBMM en el año 2000 estaba compuesta por 107 predios de los cuales 89 están en el estado de Michoacán y 58 en el estado de México, distribuidos en 53 ejidos, 13 comunidades indígenas, 18 pequeñas propiedades, una propiedad federal, una propiedad estatal y tres predios en litigio. Hay 21 predios que tienen un carácter especial, como son algunos ejidos con más de un predio y de estos, 17 han recibido ampliaciones, nueve dotaciones, y una de las ampliaciones esta en litigio (López-García, 2013).

Hay tres zonas en litigio, una de ellas es una disputa por un terreno de 33 ha, que lo reclaman Santa María y sus Barrios, ejido Mesas Altas de Xoconusco, y la comunidad indígena de San Pablo Malacatepec, ubicado en zona de amortiguamiento. El otro es un predio de 219 ha que lo reclaman la comunidad de Crescencio Morales, Santa María y sus Barrios, la comunidad indígena Nicolás Romero, y la comunidad indígena de San Pablo Malacatepec, dentro de la zona núcleo. Por último, un predio de 169 ha lo reclamaban el ejido Rancho

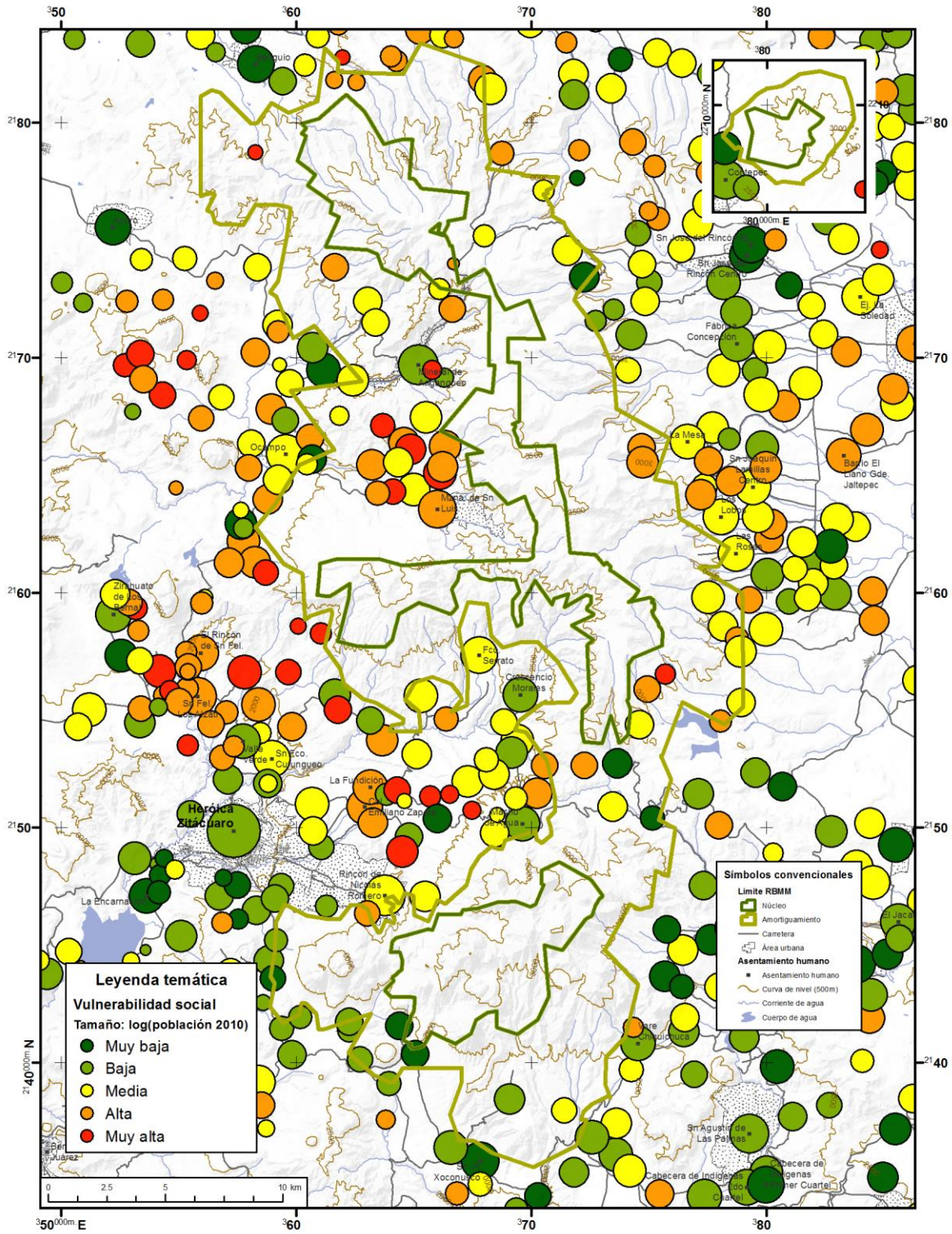


Fig. 5 Nivel de vulnerabilidad social por localidad.

Verde y el ejido El Rosario, ambos colindantes con este predio y en zona núcleo, en el 2003 se resolvió este conflicto dividiendo el predio por la mitad (Ibíd.)

Por otro lado, la comunidad indígena de Crescencio Morales, la cual registra la mayor superficie dentro de la reserva con 6,175 ha y una población de más de 5,000 habitantes, motivo a que se formaran dos grupos sociales y en el 2004 solicitaron el reconocimiento del ejido Crescencio Morales, que fue autorizado en el 2009. En noviembre del mismo año se modificaron los límites de la tenencia entre el ejido y la comunidad de Crescencio Morales, para terminar el conflicto agrario entre esos grupos y se firmaron acuerdos para proteger el bosque (Ibíd.).

A partir de 2009 la reserva presenta 109 predios, de los cuales 87 son considerados como propietarios, pero 15 de ellos tienen más de un predio y hasta cuatro como el caso de El Rosario, otros tienen ampliaciones, y dotaciones debido a posteriores asignaciones (Fig. 6). Todavía hay dos predios en litigio. Aumentó un nuevo ejido salido de la comunidad indígena Crescencio Morales y se crearon dos ampliaciones a expensas de una zona de litigio entre El Rosario y Rancho Verde (Ibíd.)

2.3.3 Delimitación del área natural protegida

En 1976 se reportó la existencia de colonias de mariposas Monarca en el bosque de oyamel del estado de Michoacán, pero fue hasta el 25 de mayo de 1980 cuando se emite el primer decreto que la protege en todo el territorio nacional. Se establece por causa de utilidad pública, como zona de reserva y refugio de la fauna silvestre, a los lugares donde la Monarca hiberna y se reproduce (DOF, 1980).

Este decreto era improcedente y denotaba un desconocimiento de la biología de estas mariposas y de su proceso migratorio, a medida que se tuvo más información sobre su migración y su hábitat en los bosques de los estados de México y Michoacán, se delimitaron cinco zonas de protección y en 1986 se emite

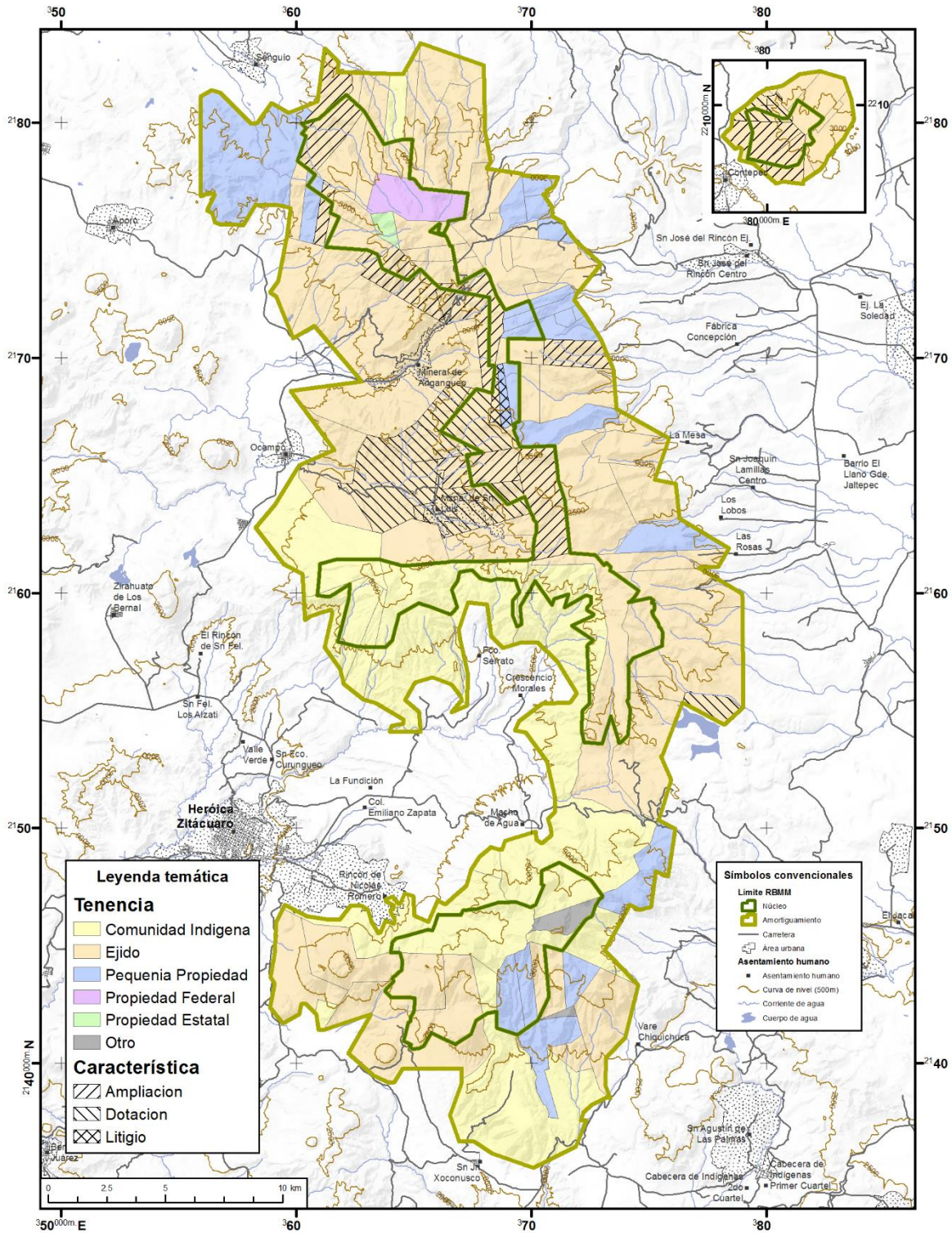


Fig. 6 Categoría de tenencia y sus características para los predios delimitados en 2009.

un segundo decreto para proteger estos santuarios, restringiendo las actividades de aprovechamiento en la temporadas de hibernación y se decretan como Áreas Naturales Protegidas a cinco santuarios entre los estados de México y Michoacán, con una superficie de 16,110 ha, bajo el carácter de Reserva Especial de la Biosfera Mariposa Monarca o “REBMM” (DOF, 1986).

Posteriormente en 1996, la REBMM fue categorizada como Área Natural Protegida de la Mariposa Monarca y se inicia la propuesta de ampliación, para lo cual se realizaron varios estudios, de los cuales en 1999 se realiza un levantamiento aerofotográfico, para definir hasta donde se debería ampliar esta ANP. Los resultados fueron presentados en Brower *et al.* (2002) y sirvieron de base para la ampliación de la reserva en el 2000 (López-García, 2013).

EL 10 de noviembre del 2000 se replantea la denominación de Área Natural y se amplía la superficie de protección. Se establece la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), ampliando la zona protegida de 16,100 ha a 56,259 ha (DOF, 2000). Por último, el 3 de noviembre de 2009 se modifica nuevamente el decreto (DOF, 2009), para excluir la zona de venta de alimentos y artesanías del ejido Cerro Prieto, culminando en una ampliación de 26.13 ha de la zona de amortiguamiento a costa de la zona núcleo. Los límites externos de la zona de amortiguamiento no fueron modificados.

2.3.3.1 Programas de apoyo a la conservación

Desde la creación de la RBMM diversos programas ambientales se han implementado. La inversión anual para asegurar la conservación del bosque, así como para mejorar las condiciones socioeconómicas de la población varía entre 120 mil y 22 millones de pesos mexicanos (Reyes & Contreras, 2005).

Entre estos programas destacan, de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR): Pago por Servicios Ambientales, Programa Nacional de Reforestación, y ProÁrbol; del Fondo Monarca: Pago por Uso No Forestal, y Pago por Servicios de Conservación; de la Comisión Nacional de Áreas Naturales

Protegidas (CONANP): Programa de Vigilancia Comunitaria, y Programa de Desarrollo Regional Sustentable (Manzo-Delgado *et al.*, 2014).

2.4 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

La deforestación es la principal causa del deterioro ecológico en la RBMM (Brower *et al.* 2002; Ramírez *et al.* 2003; Honey-Rosés *et al.* 2004). Existen diversos trabajos donde se evalúa el cambio en cobertura forestal para diferentes periodos de tiempo, destaca el trabajo de López-García (2005; 2009; 2010; 2011; 2011b; 2013) por sus análisis de cambio en periodos cortos (bianuales) y largos (décadas).

Como señala Merino (2004), la deforestación (en México) responde a una gama de factores locales, nacionales y regionales, que en su conjunto afectan los incentivos y la conducta de los usuarios, las cuales derivan en mejores o peores condiciones de los bosques. Otra característica de los bosques mexicanos es el carácter social de la tenencia de los terrenos forestales, en contraste con lo que sucede en el resto de América Latina donde entre el 70 y 80% de los bosques son propiedad nacional, en México, ejidos y comunidades poseen cerca del 80% de las tierras forestales, situación que se ve reflejada en el patrón de tenencia de la RBMM.

Los bosques en el paisaje de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, históricamente han sido sometidos a intensas presiones: el claudestinidad forestal y la conservación de áreas forestales en parcelas agrícolas (Merino & Hernández, 2004). Estas condiciones aunadas al fenómeno de hibernación de la mariposa monarca, promueven la implementación y transformación del área natural protegida (ANP), sin embargo la implementación de políticas de conservación ha llegado a tener efectos negativos sobre las instituciones de organización local, que derivan en un deterioro del hábitat forestal, como ejemplo:

A partir de 1986 la zona en donde la mariposas hibernan en los diferentes santuarios fue objeto de alteraciones originadas por una falta de consulta pública

a los ejidos y comunidades, que al verse agredidos en sus derechos de propiedad y sin la debida concertación, resulta en una de las más devastadoras agresiones al medio forestal. Bajo la misma tesitura, en el ejido Francisco Serrato con la ampliación del ANP en el 2000, se inició una serie de cambios de cobertura sin un cambio de uso de suelo, y una sucesión de procesos de degradación de suelos y bosques (López-García, 2013).

También es importante notar la situación del ejido Cuesta del Carmen y la propiedad Las Dalias, las cuales se encuentran bajo el decreto de tres ANP federales: la RBMM, el Parque Nacional Bosencheve y el Área de Protección de los Recursos Naturales Cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tiloscoc y Temazcaltepec. Contiguos a estos predios también se localiza la parte sur del ejido y comunidad indígena Crescencio Morales los cuales se localizan en la delimitación de la RBMM y el PN Bosencheve. Autoridades de las comunidades afectadas por la triple declaratoria han expresado su malestar ante esta situación, la cual ha mermado su capacidad de organización y uso de su territorio. Cabe mencionar que esta es una de las zonas de la RBMM con mayor degradación en el hábitat forestal.

La RBMM ha sufrido muchas transformaciones tanto en su componente socio-político como en su aspecto fisonómico, al verse afectada durante más de treinta años en su masa boscosa; para evidenciar parte de esta transformación, se presentan los cambios en la cobertura forestal durante el periodo analizado, y de esta manera también poseer un marco de referencia para comparar la dinámica de cambio en cobertura contra la de fragmentación forestal.

2.4.1 Cambios de la cobertura forestal 1999-2010

Esta descripción de los cambios en la cubierta de bosque utiliza las capas de densidad de cobertura transformadas a valores de presencia y ausencia de bosque, por tanto consiste en un análisis de la deforestación exclusivamente, se puede consultar un análisis más detallado y que integra los procesos de degradación forestal en López-García (2013).

En la figura 7 se muestran los resultados de la dinámica del bosque en el periodo 1999 a 2010, la categoría de permanencia implica que esa superficie de bosque perduró durante los tres periodos sin cambio alguno, el bosque recuperado significa que zonas sin bosque en 1999 y/o 2003 presentan una cubierta forestal para el año 2010. Debido a que se presentan las recuperaciones finales en el análisis, la suma de las categorías de pérdida (1999-2003 y 2003-2010) representan la deforestación neta para el periodo total (1999-2010).

Tenemos pues, que para el 2010, se perdieron 3,738 ha de bosque con relación a 1999, sin embargo hubo una recuperación de 6,876 ha (casi el doble de la superficie de pérdida neta), a lo que hay que sumar más de 33 mil ha de permanencia. Por lo que, al menos desde el punto de la cubierta forestal (deforestación), se percibe mejoría en el hábitat forestal durante el periodo analizado.

En los capítulos subsecuentes veremos cómo se refleja esta dinámica, ahora desde el punto de la fragmentación forestal, y sus repercusiones sobre el estado de conservación de los bosques de la RBMM.

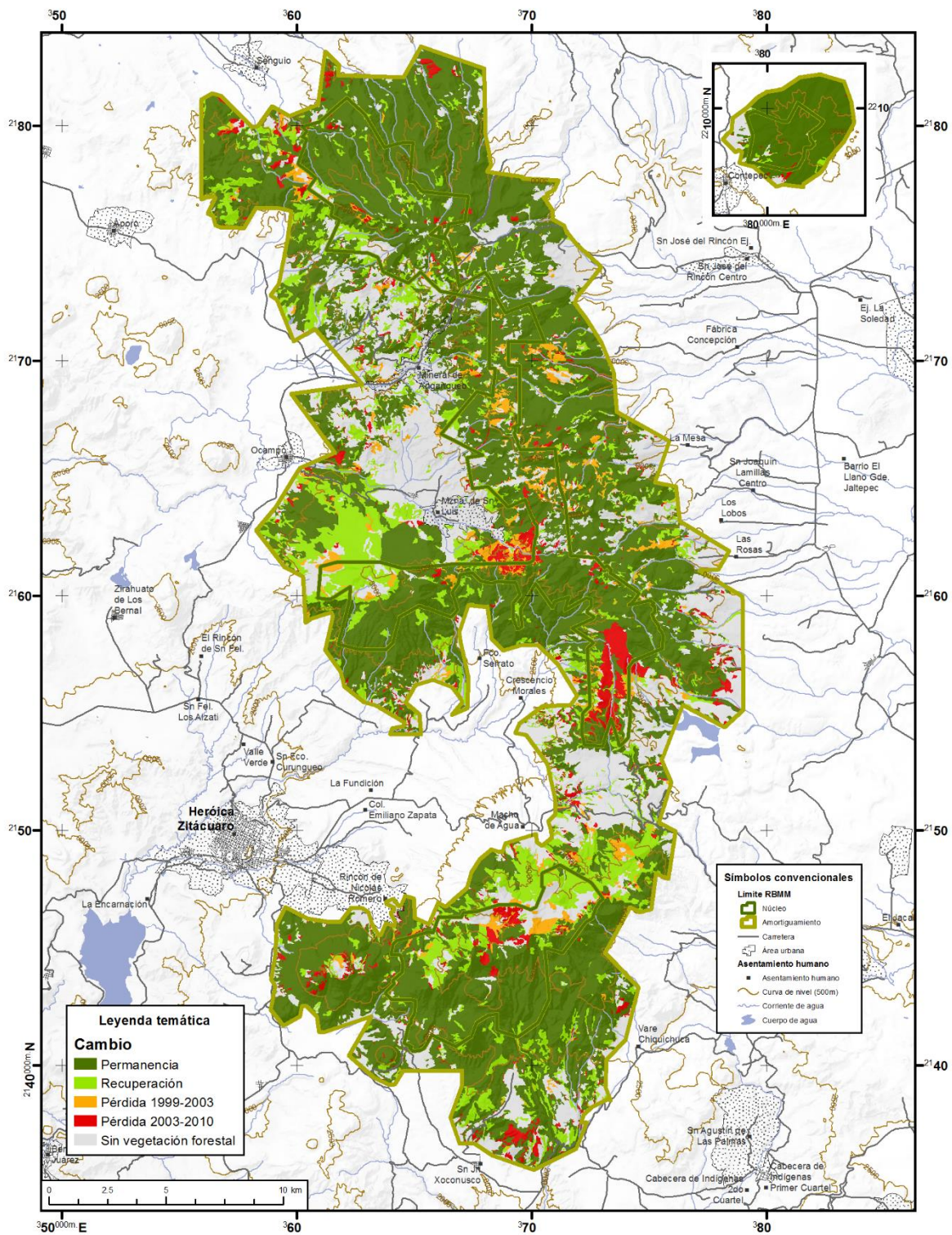


Fig. 7 Cambios de la cobertura forestal en el periodo 1999 a 2010.

3 CAPÍTULO III: CUANTIFICACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL

Para el estudio de los efectos de la estructura del paisaje sobre procesos ecológicos, es necesario el desarrollo de métodos para cuantificar el patrón espacial en variables medibles las cuales se pueden ligar a estos procesos (Frohn, 1998). Las métricas o índices de paisaje, han sido desarrollados para satisfacer esta necesidad (Díaz, 1996). En estudios del paisaje tempranos se presentaban sólo algunas medidas, típicamente la “dominancia” (el grado en que una clase predomina en el paisaje), “contagio” (el nivel en que parches similares se agrupan dentro del paisaje), y “forma” (configuración de un área o parche determinada por la variación de su borde) (Forman, 1995). En la actualidad, existe una amplia gama de índices de paisaje (Elkie *et al.*, 1999; Abdullah & Nakagoshi, 2007), que pueden incluir diferentes medidas basadas en: área, borde, forma, área interior, vecindad, diversidad, configuración, y conectividad (Wulder & Franklin, 2007).

Una solución que ha sido propuesta para confrontar al dilema de elección entre múltiples índices y medidas de paisaje, es el cálculo de un único índice que combine diferentes medidas representantes de los componentes clave de la fragmentación. Dicho índice nos permitiría comparaciones a través del área de estudio, y resulta más ameno a futuros análisis (Bogaert *et al.*, 2000). Como ejemplo podemos citar al trabajo de Butler *et al.* (2004), en el cual proponen un índice de fragmentación que hace uso de las medidas: porcentaje de cobertura no forestal, porcentaje de borde, y el esparcimiento (*interspersion*, en inglés).

Entre las investigaciones recientes sobre la fragmentación y la cuantificación mediante índices de paisaje destacan: Newman *et al.* (2013); Gasparri & Grau (2009); Abdullah & Nakagoshi (2007); Cayuela, *et al.* (2006); Kupfer (2006); García *et al.* (2005); Butler *et al.* (2004), entre otros.

3.1 Método para la cuantificación de la fragmentación en la RBMM

Para el caso de la cuantificación, en este estudio se decidió tomar dos aproximaciones metodológicas las cuales están en función de la unidad espacial analizada. Por un lado se realizó un cálculo del nivel de fragmentación en cada uno de los parches remanentes de bosque, mediante un “Índice de Fragmentación Poligonal” (IFP). Así mismo, la fragmentación fue cuantificada en cada una de las celdas resultantes de dividir el paisaje de la RBMM por medio de gradillas hexagonales, dando como resultado un “índice de fragmentación reticular” (IFR).

En ambos casos de los métodos de cuantificación se optó por integrar distintas métricas del paisaje en un sólo índice, tomando como referencia los trabajos de Butler *et al.* (2004) y Abdullah & Nakagoshi (2007), lo cual facilitó la interpretación y comparación de los resultados obtenidos. El procedimiento que se siguió para calcular ambos índices se explica a continuación.

3.1.1 Índice de fragmentación poligonal

La cuantificación por polígono se llevó a cabo separando los polígonos correspondientes a presencia de bosque en cada uno de los años estudiados, en dichos polígonos fueron computadas todas las métricas disponibles en el paquete Patch Analyst v5.1 (Rempel *et al.*, 2012).

Para seleccionar cuales de estas medidas se utilizarían en el IFP, se llevó a cabo una prospección estadística para determinar la codependencia entre las variables, la cual consistió en: (1) una matriz de correlaciones, y (2) un análisis de componentes principales.

Las métricas seleccionadas presentan coeficientes de correlación (R) de entre 0.02 y 0.6, y corresponden a las variables con mayor valor de “Eigenvector” por cada uno de los primeros tres componentes principales, los cuales en su conjunto explican el 97% de la variación total de los datos.

Las variables seleccionadas son:

- Densidad de borde (DB): Cantidad de borde en relación al área total del parche.
- Dimensión fractal (DF): Mide la complejidad de forma del fragmento.
- Relación Perímetro - Área (RPA): La división del perímetro entre el área del polígono.

Los valores de estas métricas difieren mucho entre si, para que estas pudieran ser integradas al IFP, se procedió a estandarizarlas de manera en que estuvieran representadas por su proporción (porcentaje) con relación al valor máximo obtenido para cada métrica, tomando en cuenta los tres periodos temporales analizados.

Una vez estandarizados estos valores, se calculó el Índice de Fragmentación Poligonal utilizando la siguiente ecuación:

$$IFP = \frac{DB + DF + RPA}{3}$$

3.1.2 Índice de Fragmentación Reticular

La cuantificación por retícula utilizó redes hexagonales con tamaños de celda de diez hectáreas, con las cuales se dividió al paisaje de la RBMM de manera homogénea. En cada una de las celdas se calcularon todas las métricas disponibles en el paquete Patch Analyst v5.1 (Rempel *et al.*, 2012).

Sin embargo, dado el tamaño relativamente pequeño de las celdas, no fue posible utilizar las medidas basadas en forma y número de parches, ya que los remanentes de bosque suelen presentar superficies mayores al área del hexágono.

Dada la condición anterior, para el caso del IFR fueron seleccionadas las siguientes variables:

- Densidad de borde (DB): Cantidad de borde en relación al área total de la celda (hexágono).
- Porcentaje de área sin bosque (PSB): Proporción de área cubierta con bosque, en relación al área total de la celda.

En este caso sólo fue necesario estandarizar los valores de DB, los cuales fueron transformados a la proporción (porcentaje) con relación al valor máximo obtenido en los tres años analizados, siendo así compatibles con los valores de PSB.

Una vez estandarizados estos valores, se calculó el Índice de Fragmentación Reticular utilizando la siguiente ecuación:

$$IFR = \frac{DB + PSB}{2}$$

3.2 CUANTIFICACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN EN LA RBMM

A continuación se presentan y discuten los resultados de la cuantificación de los índices de fragmentación poligonal y reticular en la RBMM, los resultados se exhiben por cada uno de los años caracterizados.

3.2.1 Fragmentación forestal en 1999

En el año de 1999 la reserva⁵ presentaba una cubierta de vegetación forestal de 39,997 hectáreas, distribuidas en 221 parches de bosque, lo cual corresponde al 71% de la superficie total del área en estudio.

3.2.1.1 Índice de fragmentación poligonal para el año 1999

Los resultados del IFP 1999 se pueden apreciar en la figura 8, donde es evidente el predominio (espacial) de niveles de fragmentación alta y muy alta, sin embargo, en este caso dichos valores son resultado de la influencia del tamaño de parche sobre el cálculo de los índices de paisaje. Como mencionan

⁵ Considerando la delimitación de la RBMM establecida en el año 2009.

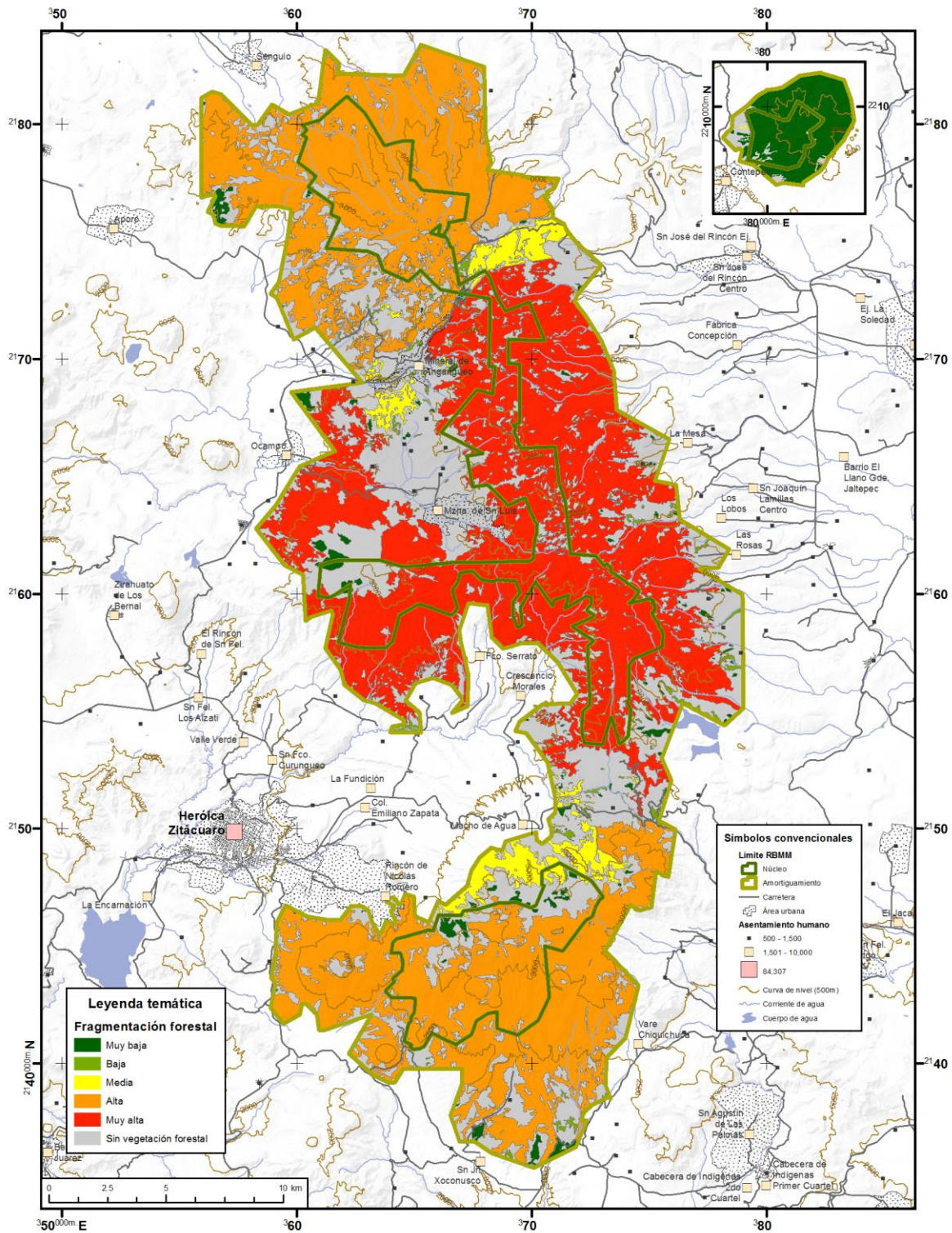


Fig. 8 Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) para el año 1999.

McGarigal *et al.* (1994; 2012), las métricas de paisaje cuantificadas en términos de parches individuales, son influenciadas por su vecindario inmediato, y la magnitud de esta influencia depende del tamaño y forma del parche en medición.

Para el caso de 1999, la distribución de tamaños de parche es muy asimétrica, coeficiente de asimetría: 9.71 (EE: 0.33)⁶, así como heterogénea; \bar{X} = 180.98 ha, σ = 1,451.17 ha. Evidencia de esto es que 90% de los parches presentan superficies de 25 hectáreas o menos, mientras que sólo tres parches (1.4%) cuentan con un área superior a las 8,000 ha, siendo estos últimos los que presentan un mayor IFP, y que en su conjunto circunscriben el 89% (35,633 ha) de la superficie forestal de 1999.

En lo que respecta al IFP, el patrón de distribución es parecido al de tamaño de parche (asimétrico y heterogéneo), el índice presenta valores de entre 20.9 y 54.6, con un promedio de 23.66 (σ = 3.72). Para una mejor interpretación se aplicó una segmentación de Jenks ⁷ a dichos valores, utilizando cinco categorías las cuales representan valores muy bajos, bajos, medios, altos y muy altos de fragmentación. En la tabla 4 se presenta un resumen de los valores del IFP para 1999, respecto a las categorías mencionadas.

Tabla 4 Valores del Índice de Fragmentación Poligonal para el año 1999.

Fragmentación	Promedio IFP	Mínimo IFP	Máximo IFP	Numero de parches	Tamaño de parche promedio (ha)	Superficie total (ha)	% de superficie forestal
Muy baja	22.1	21.0	22.6	86	26.6	2,286.9	5.7
Baja	23.2	22.6	23.8	93	4.4	405.3	1.0
Media	24.5	23.9	26.9	32	52.3	1,672.0	4.2
Alta	35.2	30.6	39.8	7	2,619.0	18,332.8	45.8
Muy alta	47.1	40.3	54.6	3	5,766.6	17,299.9	43.3

⁶ El error estándar (EE) del coeficiente de asimetría se calcula como $EE = \sqrt{6/n}$, donde n es el tamaño de muestra. Se considera una distribución asimétrica cuando el coeficiente de asimetría es mayor al EE de este (Tabachnick & Fidell, 1996).

⁷ El método de optimización de Jenks, es un método de agrupamiento de datos diseñado para determinar el mejor arreglo de los valores en diferentes clases, minimizando la desviación estándar de las medias de cada clase. En otras palabras, reduce la varianza entre clases, maximizando la varianza entre ellas (Jenks, 1967).

3.2.1.2 Índice de fragmentación reticular para el año 1999

Los resultados del IFR 1999 se pueden observar en la figura 9 y mapa II, donde se aprecia una clara diferencia en el patrón espacial respecto al IFP, debida en gran parte a que en este caso no hay una influencia del tamaño de parche sobre el cálculo de las métricas de paisaje. El hecho de haber dividido el paisaje de la RBMM en unidades discretas con tamaño homogéneo mitiga ese efecto, además que provee otras ventajas como la posibilidad de hacer comparaciones espacio-temporales entre hexágonos o conjuntos de hexágonos.

La distribución de los valores del IFR 1999 también es asimétrica, coeficiente de asimetría: 0.09 (EE: 0.03), pero de una menor magnitud con respecto a la distribución de los valores del IFP. El índice presenta valores de entre 0 y 65.5, con un promedio de 23.95 ($\sigma = 20.03$). En este caso también se recurre a la segmentación de Jenks para establecer los rangos correspondientes a cada nivel de fragmentación, en la tabla 5 se presenta un resumen de los valores del IFR para 1999. Para complementar la interpretación también se realizó un análisis de “puntos calientes” (Getis-Ord G_i^*), el cual delimita conjuntos de hexágonos contiguos cuyos valores de IFR son significativamente altos o bajos respecto a sus vecinos. El resultado de este análisis se puede observar en la figura 10.

Tabla 5 Valores del Índice de Fragmentación Reticular (IFR) para el año 1999.

Fragmentación	Promedio IFR	Mínimo IFR	Máximo IFR	Numero de hexagono	% de superficie forestal
Muy baja	0.0	0.0	9.3	1871	33.3
Baja	19.4	10.2	24.6	1003	17.9
Media	29.8	24.6	35.2	846	15.1
Alta	40.8	35.3	46.5	805	14.3
Muy alta	52.1	46.5	65.5	1093	19.5

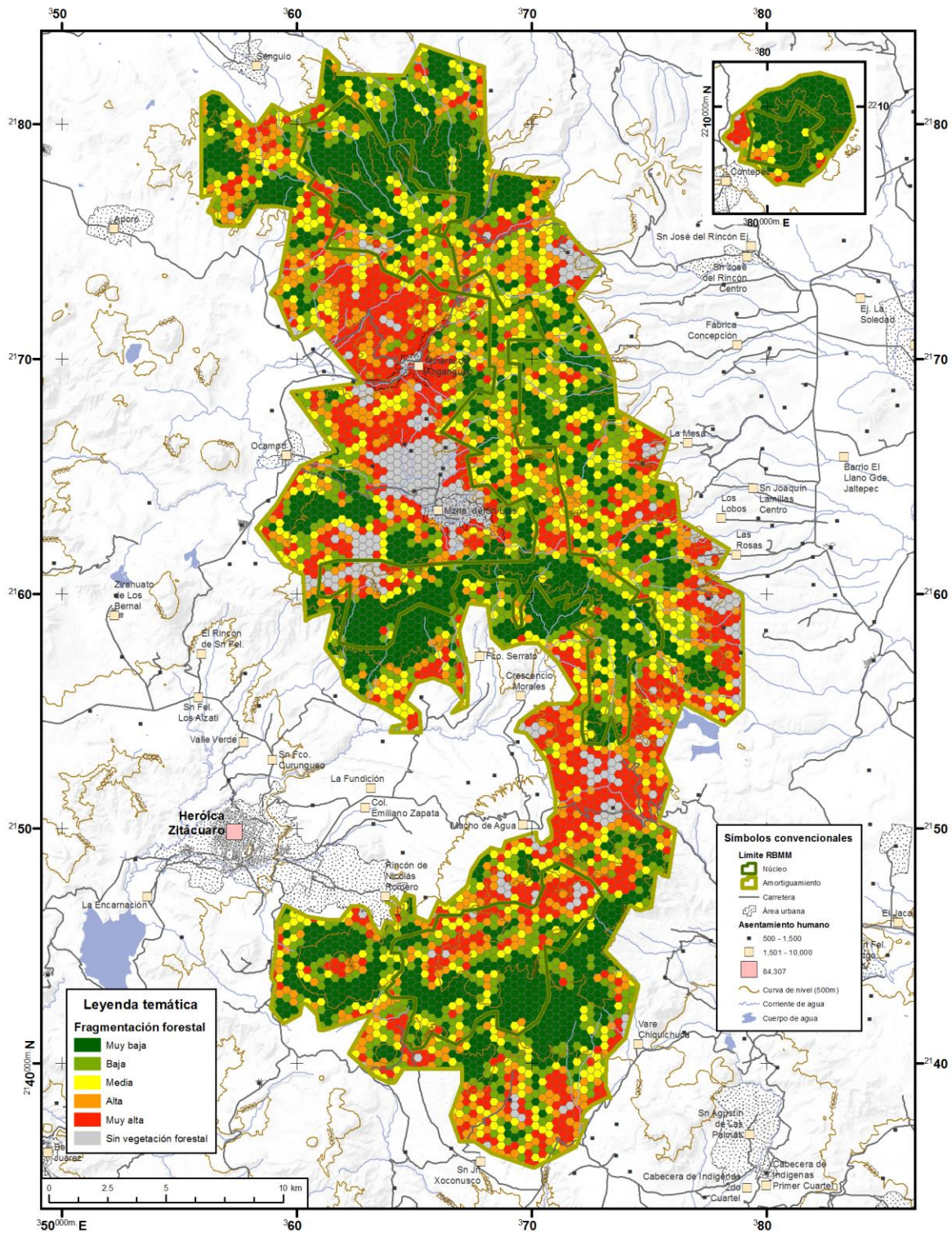


Fig. 9 Índice de Fragmentación Reticular para el año 1999.

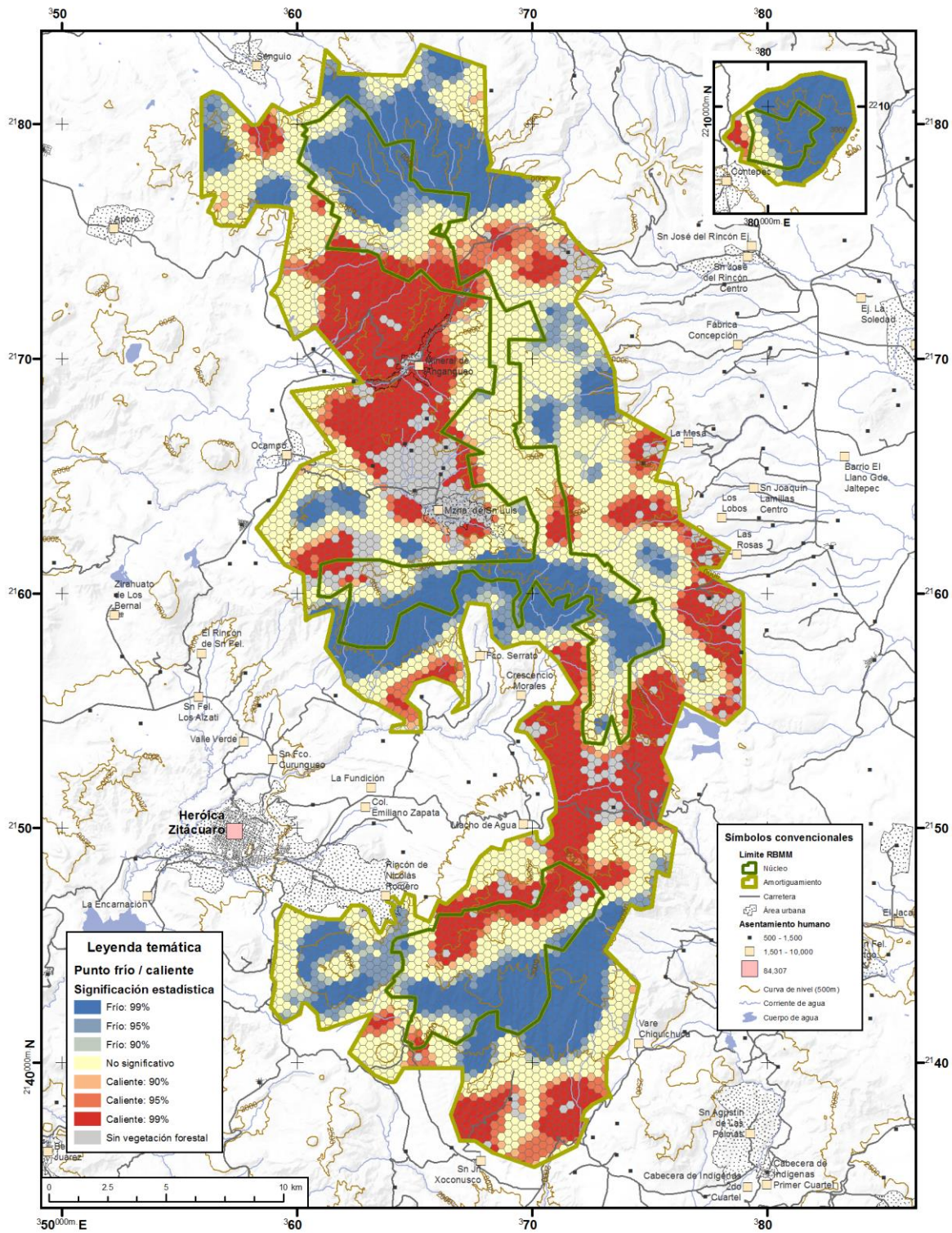


Fig. 10 Análisis G_i^* de Getis-Ord para el IFR de 1999.

Tomando en cuenta los resultados presentados en las figuras 9 y 10, se observa un patrón generalizado en los valores del IFR; el polígono norte de la RBMM localizado en Contepec, presentan en casi su totalidad valores bajos de fragmentación, exceptuando el extremo oeste que se encuentra más próximo al camino hacia Tepuxtepec, donde el bosque se encuentra más fragmentado.

En el polígono sur y más grande de la RBMM, se reconocen tres zonas con valores bajos separadas por dos zonas con niveles altos de fragmentación. Al norte tenemos un área de baja fragmentación correspondiente a los bosques asociados a las peñas Colorada y Blanca, cerca del Santuario Sierra Chincua. Inmediatamente al sur comienza la región de alta fragmentación asociada a las zonas urbanas de Anganguero, Ocampo y la Manzana de San Luis. Conservando la misma dirección sigue la zona de baja fragmentación presente en la ladera sur de los cerros: Chivati, Huacal, Agostadero y Boludo. Le sigue un área de alta fragmentación localizada al sur de Crescencio Morales, por donde cruzan la carretera y autopista Zitácuaro-Toluca. Y en el extremo sur una zona más con valores bajos, correspondiente a los bosques de los cerros Pelón y Cacique.

3.2.2 Fragmentación forestal en 2003

En el año 2003 la reserva presenta una cubierta de vegetación forestal de 36,351 hectáreas, distribuidas en 255 parches de bosque, lo cual corresponde al 65% de la superficie total del área de estudio.

3.2.2.1 Índice de fragmentación poligonal para el año 2003

De manera similar al año 1999, y como se puede apreciar en la figura 11, el IFP para el 2003 se vio afectado por tamaño de parche al momento de calcular las métricas de paisaje.

En el 2003, la distribución de tamaños de parche es muy asimétrica, coeficiente de asimetría: 9.92 (EE: 0.15), así como heterogénea; $\bar{X} = 142.55$ ha, $\sigma = 1,143.72$ ha. Evidencia de esto es que 90% de los parches presentan superficies de 29 hectáreas o menos, mientras que sólo tres parches cuentan con un área

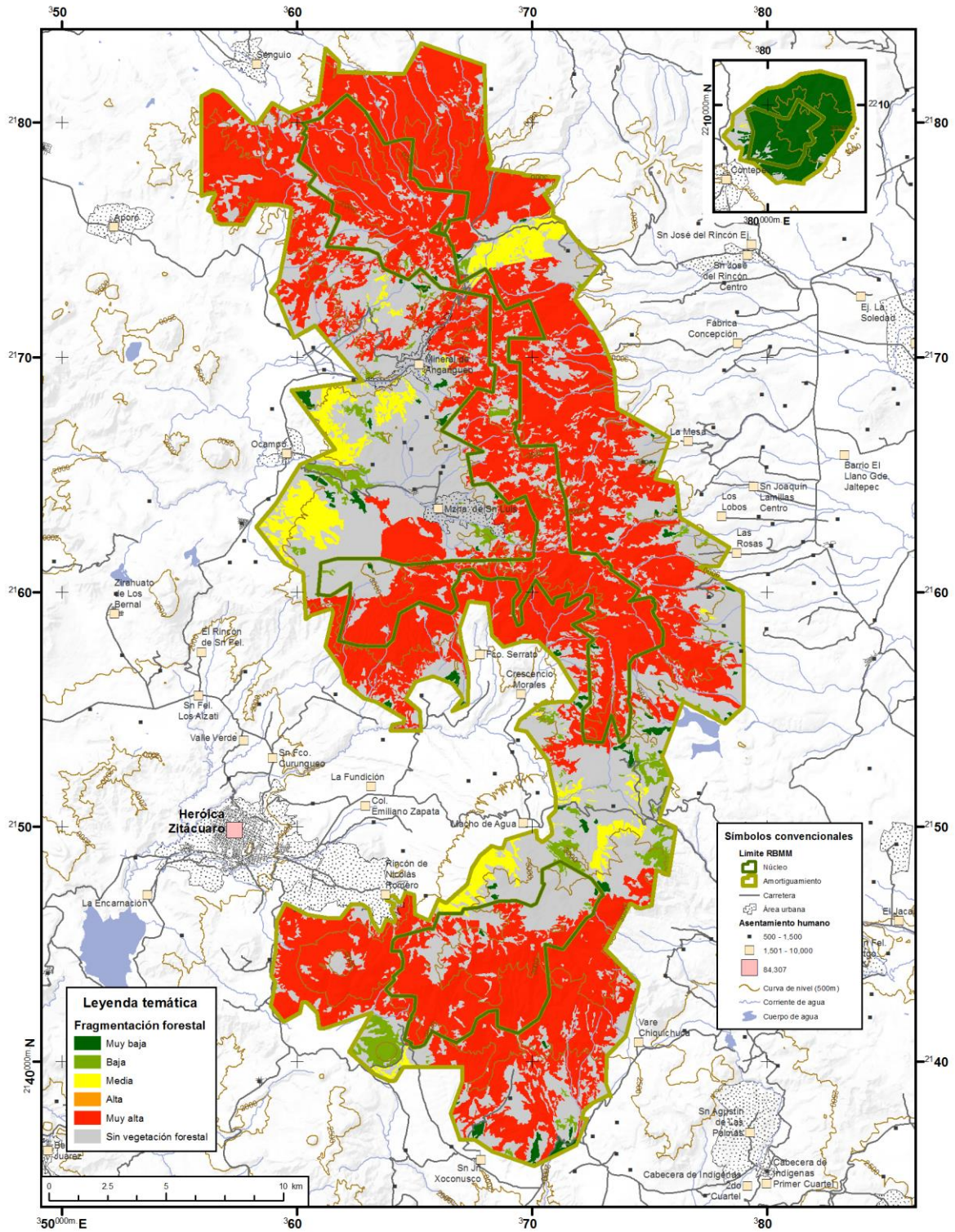


Fig. 11 Índice de Fragmentación Poligonal para el año 2003.

superior a las 8,000 ha, siendo estos últimos los que presentan un mayor IFP, y que en su conjunto circunscriben el 84% (30,648 ha) de la superficie forestal de 2003.

Concerniendo al IFP, el patrón de distribución es parecido al de tamaño de parche (asimétrico y heterogéneo), el índice presenta valores de entre 21.2 y 57.6, con un promedio de 23.96 ($\sigma = 4.07$). En la tabla 6 se presenta un resumen de los valores del IFP para 2003, respecto a las categorías de intensidad de fragmentación.

Tabla 6 Valores del Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) para el año 2003.

Fragmentación	Promedio IFP	Mínimo IFP	Máximo IFP	Numero de parches	Tamaño de parche promedio (ha)	Superficie total (ha)	% de superficie forestal
Muy baja	22.0	21.2	22.5	65	32.9	2,137.4	5.9
Baja	23.0	22.5	23.7	115	11.2	1,289.4	3.5
Media	24.5	23.8	27.8	61	37.3	2,276.3	6.3
Alta	31.2	29.4	33.2	5	0.0	0.1	0.0
Muy alta	42.7	34.2	57.7	9	3,405.4	30,648.2	84.3

3.2.2.2 Índice de fragmentación reticular para el año 2003

Los resultados del IFR 2003 se pueden apreciar en la figura 12 y mapa III, la distribución de los valores del IFR 2003 nuevamente es asimétrica, coeficiente de asimetría: 0.13 (EE: 0.01), pero de una menor magnitud con respecto a la distribución de los valores del IFP. El índice presenta valores de entre 0 y 65.5, con un promedio de 26.91 ($\sigma = 19.93$), en la tabla 7 se presenta un resumen de los valores del IFR para 2003. Los resultados del análisis de “puntos calientes” (Getis-Ord G_i^*) se pueden observar en la figura 13.

Tabla 7 Valores del Índice de Fragmentación Reticular (IFR) para el año 2003.

Fragmentación	Promedio IFR	Mínimo IFR	Máximo IFR	Numero de hexagono	% de superficie forestal
Muy baja	0.0	0.0	9.3	1504	27.8
Baja	20.1	10.3	25.7	973	18.0
Media	31.3	25.7	36.7	890	16.5
Alta	42.2	36.8	47.2	860	15.9
Muy alta	52.3	47.2	65.5	1183	21.9

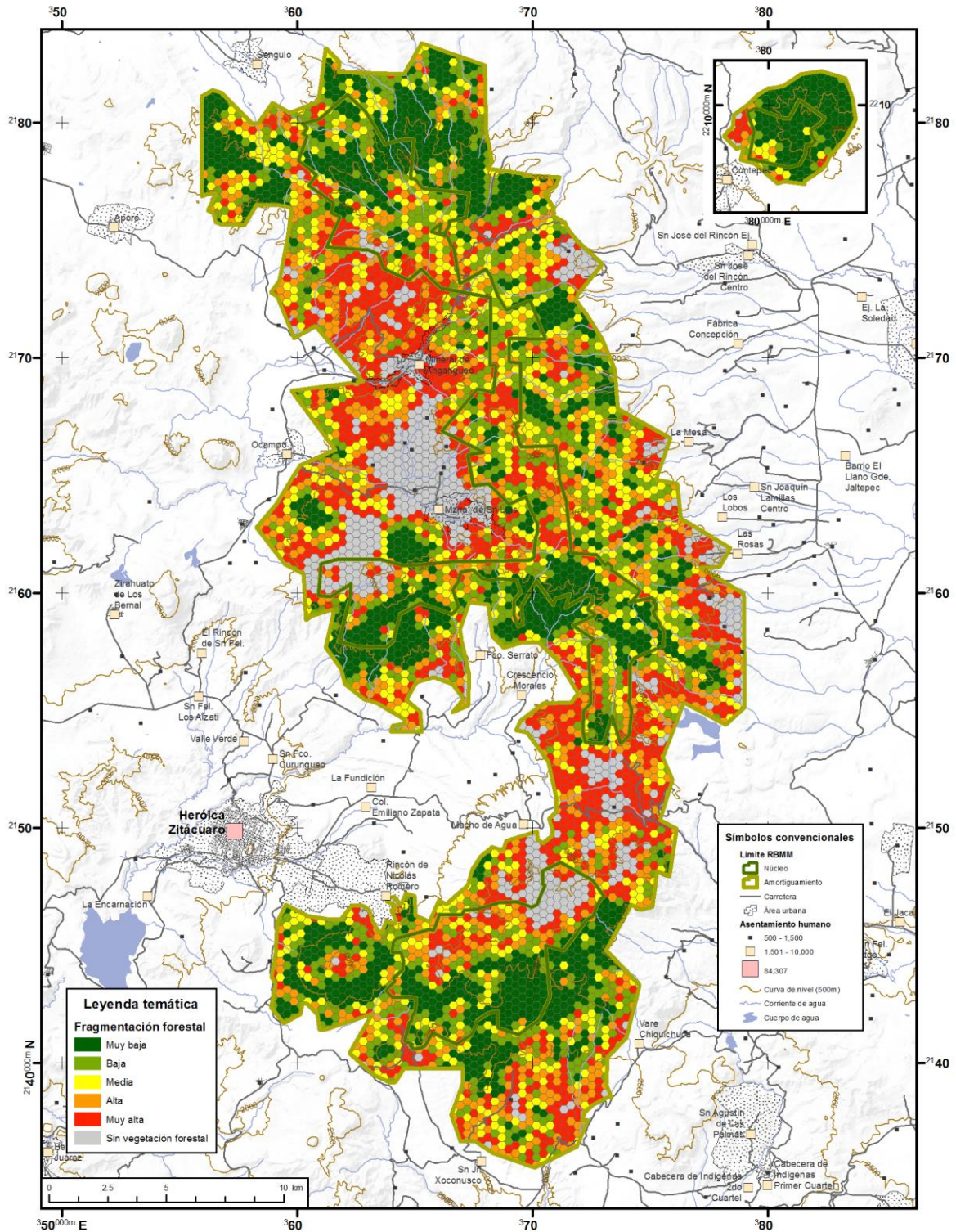


Fig. 12 Índice de Fragmentación Reticular (IFR) para el año 2003.

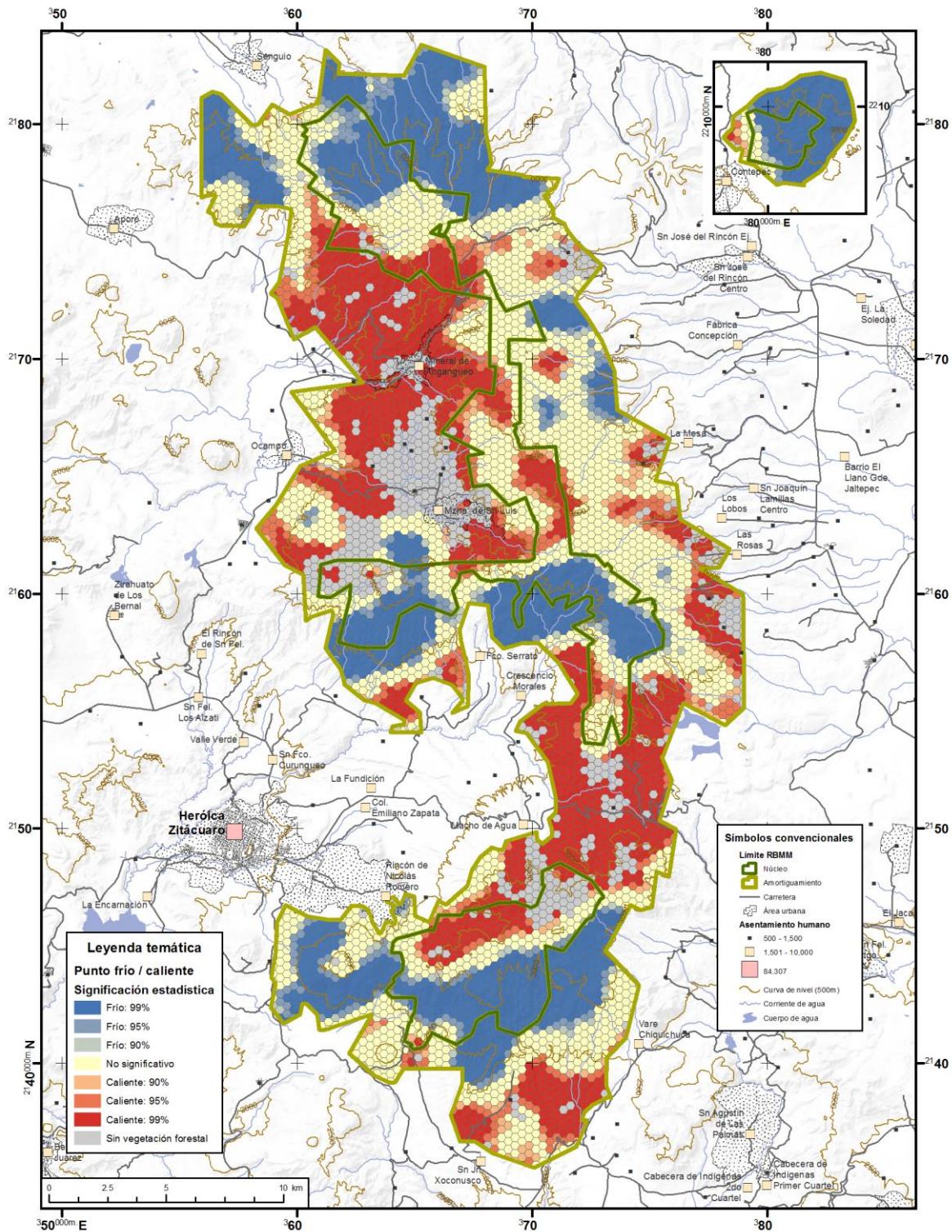


Fig. 13 Análisis G_i^* de Getis-Ord para el IFR de 2003.

Considerando los resultados presentados en las figuras 12 y 13, se observa el mismo patrón generalizado en los valores del IFR, que el obtenido en 1999. Sin embargo, en este año es evidente una dilatación de las zonas de alta fragmentación, y una contracción de las zonas de baja fragmentación forestal. Resultado de los procesos de deforestación ocurridos durante este periodo, una descripción más detallada de esta dinámica se presenta en el capítulo subsecuente.

3.2.3 Fragmentación forestal en 2010

En el año 2010 la reserva presenta una cubierta de vegetación forestal de 40,206 hectáreas, distribuidas en 317 parches de bosque, lo cual corresponde al 71% de la superficie total del área en estudio.

3.2.3.1 Índice de fragmentación poligonal para el año 2010

Repitiéndose el patrón de los años 1999 y 2003, y como se puede observar en la figura 14, el IFP para el 2010 se vio afectado por tamaño de parche al momento de calcular las métricas de paisaje.

En el 2010, la distribución de tamaños de parche es asimétrica, coeficiente de asimetría: 10.98 (EE: 0.14), así como heterogénea; $\bar{X} = 126.83$ ha, $\sigma = 1,184.24$ ha. Evidencia de esto es que 90% de los parches presentan superficies de 17 hectáreas o menos, mientras que sólo tres parches cuentan con un área superior a las 8,000 ha, siendo estos últimos los que presentan un mayor IFP, y que en su conjunto circunscriben el 88% (35,503 ha) de la superficie forestal de 2010.

Respecto al IFP, el patrón de distribución es parecido al de tamaño de parche (asimétrico y heterogéneo), el índice presenta valores de entre 21.1 y 66.7, con un promedio de 25.01 ($\sigma = 5.55$). En la tabla 8 se presenta un resumen de los valores del IFP para 2010, respecto a las categorías de intensidad de fragmentación.

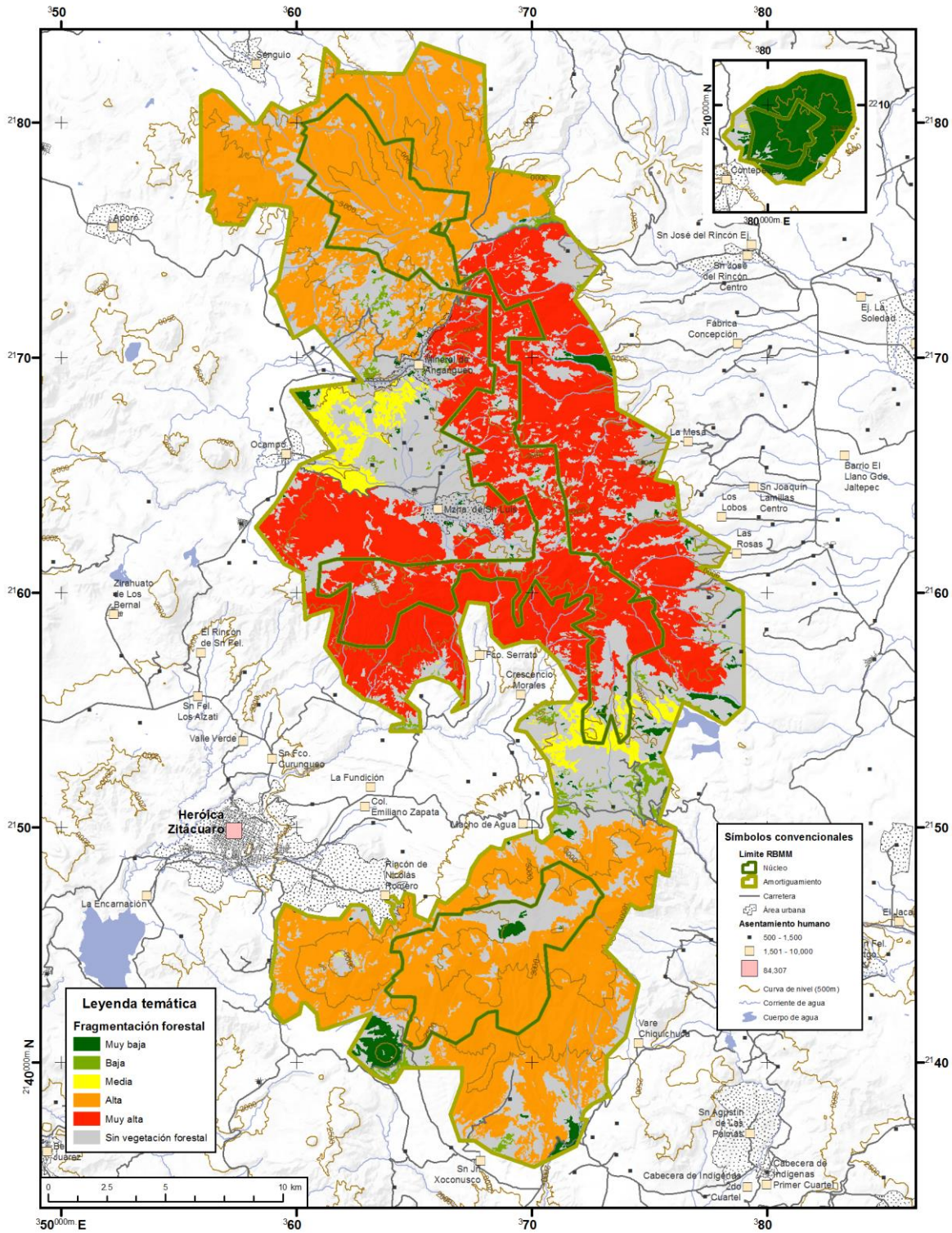


Fig. 14 Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) para el año 2010.

Tabla 8 Valores del Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) para el año 2010.

Fragmentación	Promedio IFP	Mínimo IFP	Máximo IFP	Numero de parches	Tamaño de parche promedio (ha)	Superficie total (ha)	% de superficie forestal
Muy baja	22.5	21.1	23.2	110	22.7	2,492.0	6.2
Baja	23.9	23.2	24.8	153	5.0	764.9	1.9
Media	26.1	25.1	30.7	30	48.2	1,446.2	3.6
Alta	38.2	32.9	43.0	18	1,092.4	19,663.7	48.9
Muy alta	54.3	44.4	66.7	6	2,639.9	15,839.6	39.4

3.2.3.2 Índice de fragmentación reticular para el año 2010

Los resultados del IFR 2010 se pueden examinar en la figura 15 y mapa IV, la distribución de los valores del IFR 2010 se presenta asimétrica, coeficiente de asimetría: 0.11 (EE: 0.03), pero de una menor magnitud respecto a la distribución de los valores del IFP. El índice presenta valores de entre 0 y 77.35, con un promedio de 24.5 ($\sigma = 20.6$), en la tabla 9 se presenta un resumen de los valores del IFR para 2010. Los resultados del análisis de “puntos calientes” (Getis-Ord G_i^*) se pueden observar en la figura 16.

Tabla 9 Valores del Índice de Fragmentación Reticular (IFR) para el año 2010.

Fragmentación	Promedio IFR	Mínimo IFR	Máximo IFR	Numero de hexagono	% de superficie forestal
Muy baja	0.0	0.0	9.6	1884	33.3
Baja	19.5	9.9	24.8	1005	17.8
Media	30.3	24.9	35.9	846	15.0
Alta	41.5	35.9	47.3	757	13.4
Muy alta	53.1	47.3	77.4	1166	20.6

Considerando los resultados presentados en las figuras 15 y 16, se observa el mismo patrón generalizado en los valores del IFR, que el obtenido en 1999 y 2003. No obstante, en este año se distingue una recuperación que se aproxima a los niveles de fragmentación presentes en 1999. Aun así, habiendo en 2010 una superficie forestal ligeramente mayor, el IFR también indica una fragmentación un poco mayor a la de 1999, una descripción más detallada de esta dinámica se presenta en el capítulo siguiente.

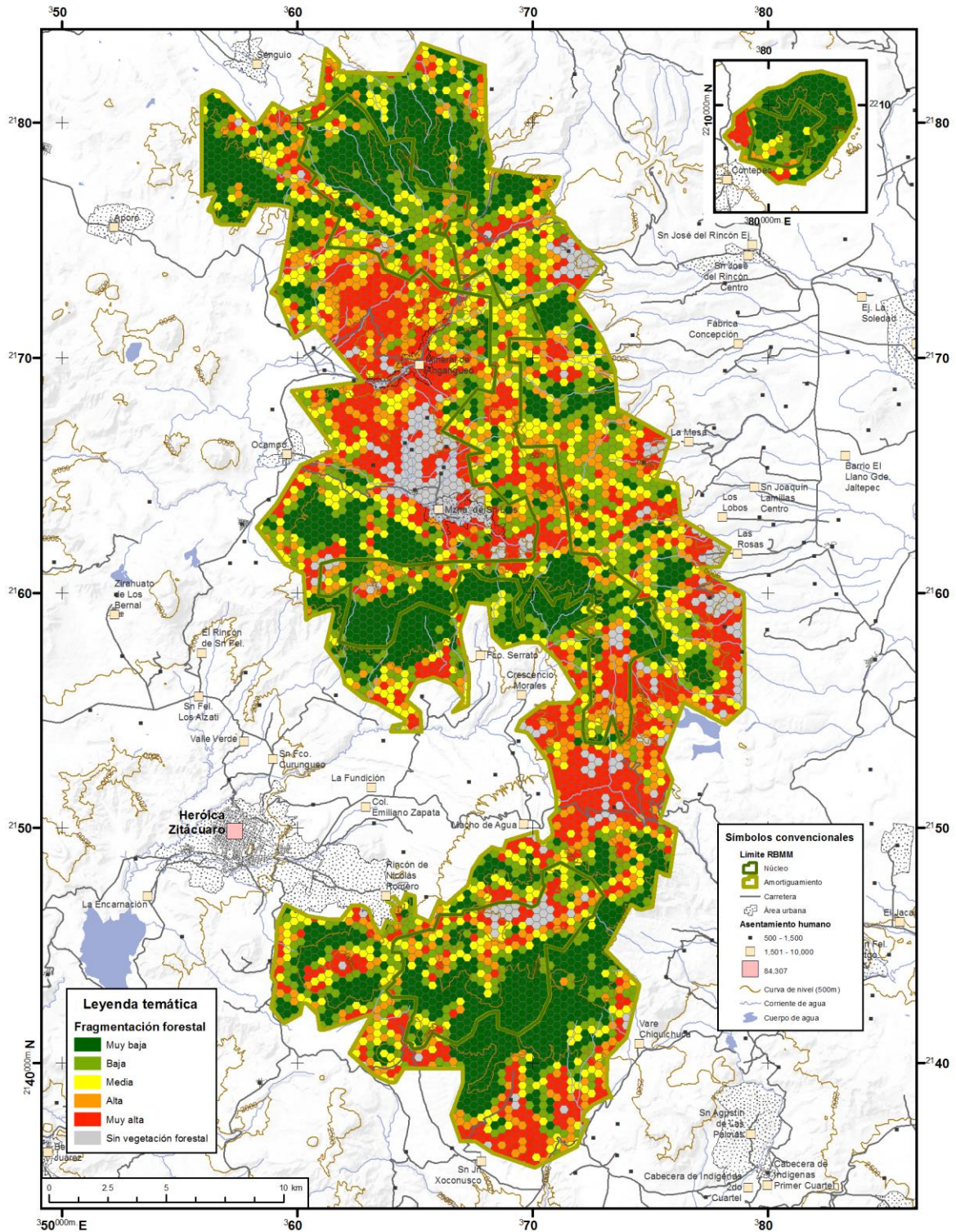


Fig. 15 Índice de Fragmentación Reticular (IFR) en el año 2010.

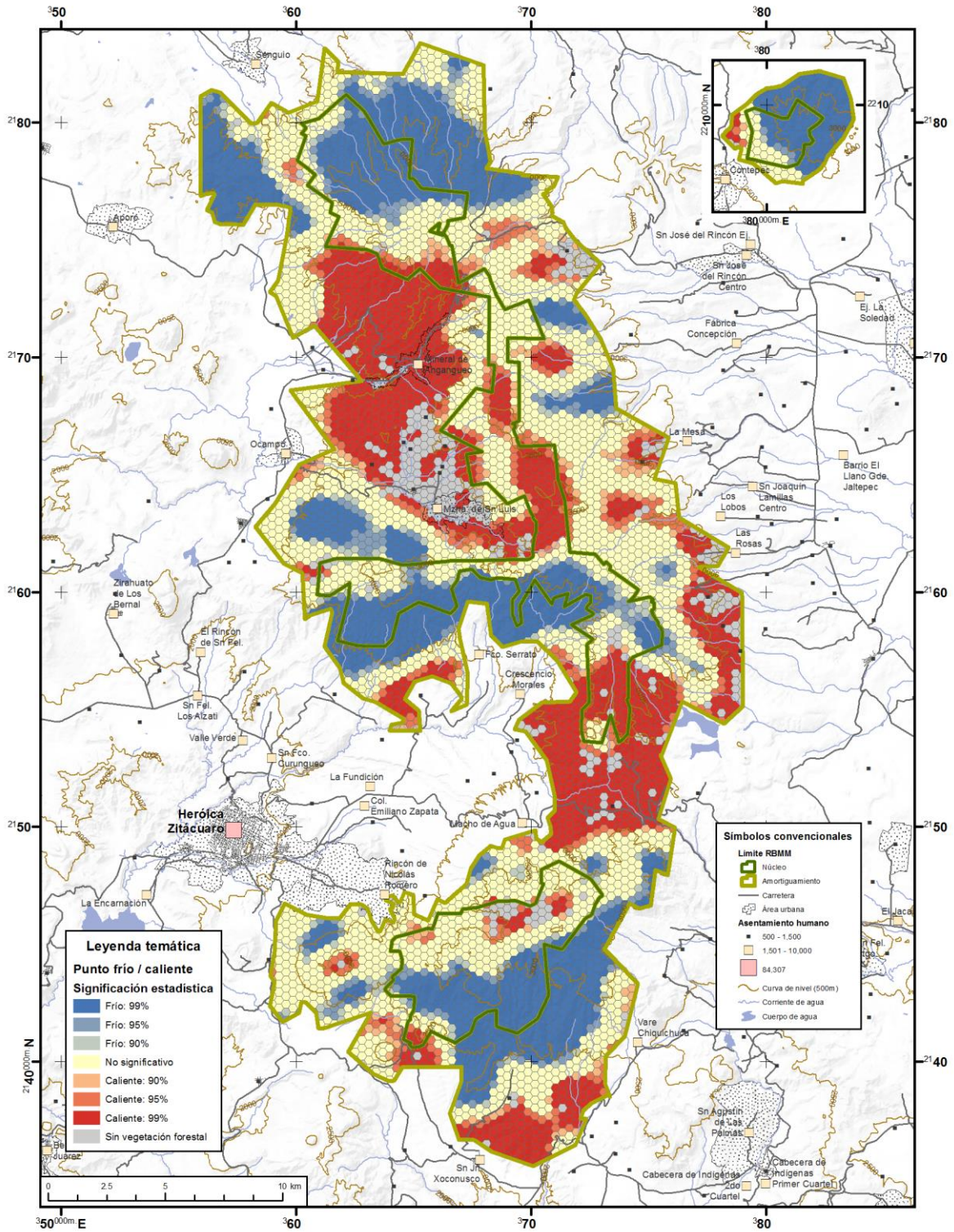


Fig. 16 Análisis G_i^* de Getis-Ord para el IFR de 2010.

3.3 OBSERVACIONES SOBRE LA CUANTIFICACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL

Durante la elaboración y presentación de la cuantificación fue evidente el gran efecto que tuvo el tamaño de parche sobre el cálculo de los índices poligonales (IFP 1999, 20003 y 2010). Esto dificulta una interpretación de dicho análisis con respecto a la fragmentación, pero es un indicativo de un nivel considerable de conectividad dentro del paisaje de la RBMM.

Sin embargo, los efectos de tamaño de fragmento sobre el IFP fueron contrarrestados al momento de dividir el paisaje en estudio en una retícula de hexágonos (IFR). Como ya se había mencionado esto también facilitó los cálculos y comparaciones realizados en los capítulos siguientes.

Otra de las particularidades resultantes de la cuantificación es la falta de normalidad en la distribución de los datos numéricos (asimetría en los IFP e IFR), esto aunado a la falta de homocedasticidad en algunos casos (ver capítulo V), y una baja independencia espacial (evidenciada por el nivel de autocorrelación espacial), implican que en ciertas ocasiones se haya optado por utilizar estadística no paramétrica (capítulos siguientes). Sin embargo la presencia de autocorrelación espacial, que recordemos es algo que no se puede evitar al estudiar procesos ecológicos (Dale, 1999), permitió utilizar el estadístico Getis-Ord G_i^* para identificar zonas con valores significativamente altos y bajos de fragmentación dentro del paisaje de la reserva.

De esta manera se concluye la cuantificación de la fragmentación, la cual sirve de base a los dos capítulos consecuentes, en los cuales se caracteriza la dinámica temporal de esta (capítulo IV), así como su relación con factores explicativos (capítulo V). En su conjunto estos tres apartados describen el patrón de fragmentación forestal en la RBMM (Capítulo VI).

4 CAPÍTULO IV: DINÁMICA Y CARACTERIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL

Los bosques son inherentemente dinámicos en el espacio y tiempo. Su composición y distribución puede no sólo cambiar a través de un continuo, sutil y lento desarrollo forestal, sino también pasando por discontinuos, ocasionales y súbitos disturbios naturales. Adicionalmente a los procesos naturales, actividades y perturbaciones humanas son el origen de gran parte del cambio forestal actual (Linke *et al.*, 2007).

Aunque es esta mecánica forestal en sí, que da origen a la fragmentación, es evidente que los parámetros con los que se cuantifica la desintegración del bosque también cambiarán con el tiempo. Esta dinámica de la fragmentación, es la temática que se aborda en el presente capítulo.

Para realizar una apropiada descripción de este cambio hay que tener en cuenta que la fragmentación forestal puede ser considerada como dos componentes: 1) el cambio composicional que representa la pérdida del bosque, y 2) el cambio de la configuración o arreglo de la cobertura forestal. La pérdida forestal y el cambio de configuración ocurren simultáneamente, dificultando la identificación de los impactos de cada componente. Las respuestas ecológicas son diferentes para cada uno de los componentes, por ello es importante caracterizar en el patrón de fragmentación qué papel juegan estos elementos (Long *et al.*, 2010).

Es por esto, que también en este capítulo se caracteriza la dinámica de fragmentación para determinar cuál de estos dos componentes predomina en las diferentes zonas de la RBMM.

4.1 MÉTODO PARA CUANTIFICAR Y CARACTERIZAR LA DINÁMICA DE FRAGMENTACIÓN

Para medir el cambio en los niveles de fragmentación en los periodos 1999-2003, 2003-2010, y 1999-2010, se toman como base los resultados obtenidos en el capítulo anterior (cuantificación de la fragmentación). En el caso del índice de fragmentación poligonal (IFP) no es posible hacer comparaciones polígono a polígono, por lo que se contrastan los resultados obtenidos para todo el paisaje de la RBMM.

Por otro lado, el índice de fragmentación reticular (IFR) si permite hacer comparaciones celda a celda, así que para este índice en cada uno de los hexágonos se calcula la tasa de cambio anual (TCA) del valor IFR correspondiente, utilizando la siguiente ecuación:

$$TCA = \frac{IFR_2 - IFR_1}{n}$$

Donde IFR_2 es el valor del índice en el segundo tiempo, IFR_1 es el valor del índice en el primer tiempo, y n es igual a la diferencia en años entre el primer y segundo tiempo analizados.

Para determinar si la fragmentación en la RBMM es causada por pérdida forestal, cambio configuracional, o una combinación de los dos, se hará uso del índice de proporción de destitución (Py) propuesto por Long *et al.* (2010). Como un subrogado de la configuración espacial del bosque, el índice de paisaje que se evalúa es la densidad de borde, utilizado como base en el cálculo del IFR. Para el cálculo de Py primero es necesario calcular la destitución (Di) que mide la distancia ente T1 y T2 de un índice de paisaje específico (configuración), con relación al cambio de cobertura forestal (composición), entonces tenemos:

$$D_i = \sqrt{d_x^2 + d_y^2}$$

Donde D_i es la destitución del índice i , d_x es el cambio de composición entre los dos periodos de tiempo y d_y es el cambio en el índice i entre los dos tiempos. De esta fórmula se deriva la proporción de destitución la cual se calcula como sigue:

$$P_y = \frac{d_y^2}{D_1^2}$$

P_y mide la cantidad relativa de cambio configuracional con relación a la destitución. Valores bajos de P_y indican que el cambio fue principalmente por pérdida forestal, valores altos de P_y sugieren que el cambio fue primariamente configuracional, mientras que los valores medios apuntan a que la pérdida forestal y cambio en configuración contribuyen a la par. Para delimitar estos valores se utilizó el umbral propuesto por Long *et al.* (2010), en cual indica como un cambio en composición al 5% de los valores P_y más bajos, y como un cambio en configuración al 5% de los valores de P_y más altos.

4.2 DINÁMICA DE FRAGMENTACIÓN FORESTAL EN LA RBMM

Los resultados de la dinámica de fragmentación se presentan por periodo de cambio, es decir cada subsección presenta y discute los resultados del cambio en el IFP, IFR y P_y .

4.2.1 Dinámica de fragmentación en el periodo 1999-2003

Como se mencionó en el capítulo anterior el cálculo del IFP se vio muy influenciado por el tamaño de parche, lo que dificulta la comparación polígono a polígono en los diferentes tiempos. Sin embargo, se puede hacer una comparación de los resultados del IFP de la totalidad del paisaje de la RBMM.

Dicha comparación se presenta en la tabla 10, donde se observa la distribución del número de polígonos (y superficie) por intensidad de fragmentación para los años 1999 y 2003. En ambos años se presenta una distribución similar respecto al número de parches, teniendo la mayoría valores

de IFP bajos y muy bajos, sin embargo se observa que gran parte de la superficie se localiza en valores IFP altos y muy altos, como ya se había discutido en el capítulo anterior. No obstante, es importante resaltar el número total de fragmentos de bosque que pasan de 221 en 1999, a 255 en 2003, es decir un aumento de 34 (15.4%) parches, evidencia directa de un proceso de fragmentación del hábitat forestal, con una tasa de aumento de 8.5 parches por año.

Tabla 10 Cambio en el Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) durante el periodo 1999 a 2003.

Fragmentación	Numero de parches				Superficie (ha)			
	1999	2003	Diferencia	Diferencia (%)	1999	2003	Diferencia	Diferencia (%)
Muy baja	86	65	-21	-24.4	2,286.9	2,137.4	-149.5	-6.5
Baja	93	115	22	23.7	405.3	1,289.4	884.1	218.1
Media	32	61	29	90.6	1,672.0	2,276.3	604.3	36.1
Alta	7	5	-2	-28.6	18,332.8	0.1	-18,332.8	-100.0
Muy alta	3	9	6	200.0	17,299.9	30,648.2	13,348.3	77.2
Total	221	255	34	15.4	39,997.0	36,351.4	-3,645.6	-9.1

Abordando ahora los cambios en el IFR, las zonas con variación se clasificaron en disminuciones y aumentos fuertes y leves del IFR, se consideran cambios leves los que implican variaciones menores a dos unidades del índice, cuando el IFR aumenta o disminuye más de dos unidades entonces se califica como cambio fuerte.

En la tabla 11 se presentan los valores de cambio en este índice. Donde se aprecia que casi el 40% de la superficie forestal presentó variaciones en sus niveles de fragmentación. Se tiene que las disminuciones abarcan un 10% de la superficie forestal, y se distribuyen más o menos equitativamente con respecto a su intensidad, con un pequeño sesgo hacia las disminuciones leves. Por otro lado, aproximadamente el 30% de la superficie forestal presenta un incremento en su IFR, y casi la mitad de este cambio es de intensidad fuerte.

Observando la figura 17, es evidente el predominio de las zonas con incremento del IFR, y tomando de referencia los mapas del capítulo anterior, se aprecia que este aumento está asociado a zonas de transición entre regiones con

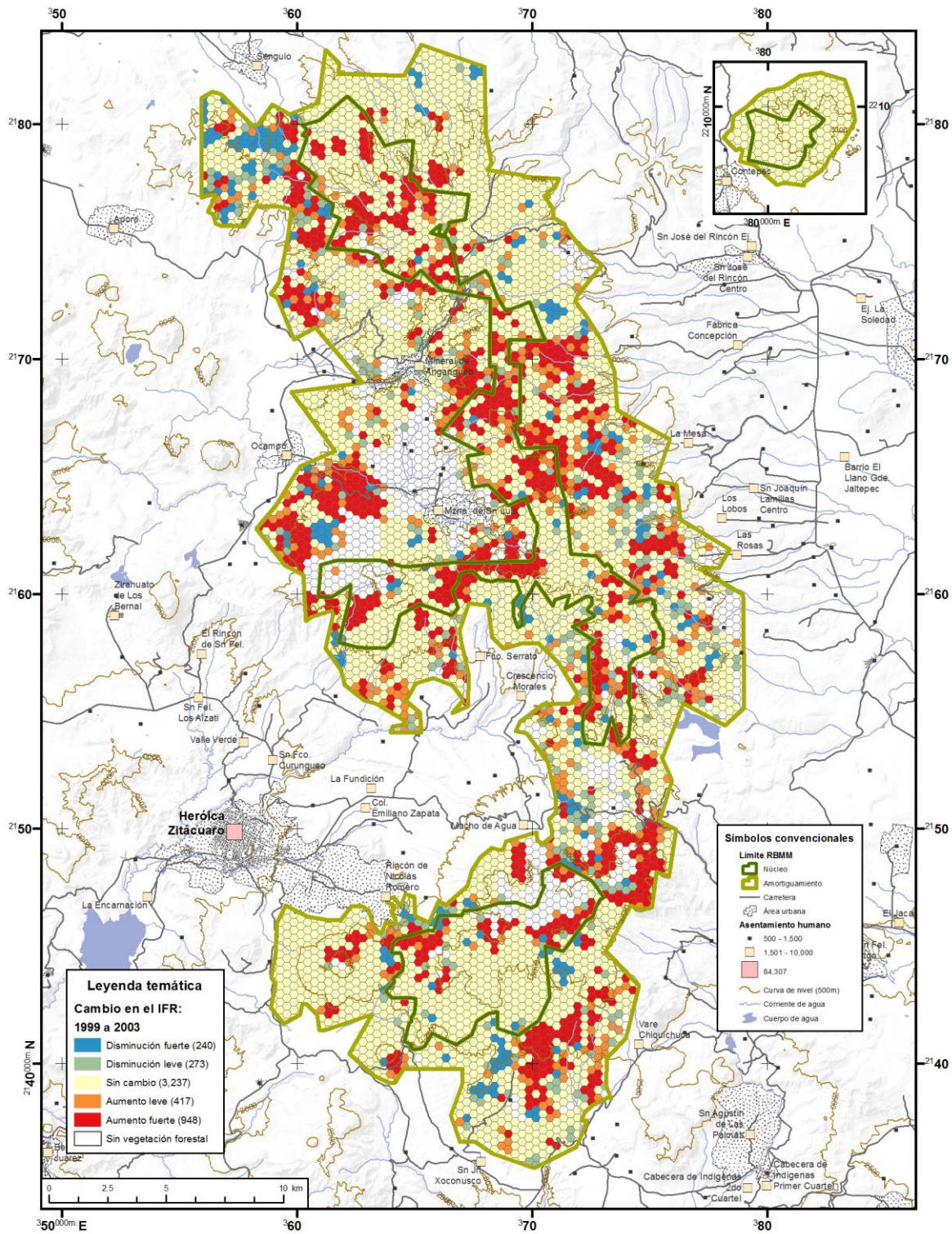


Fig. 17 Cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 1999 a 2003.

valores bajos y altos de fragmentación (en 1999). En el capítulo V se explora más a fondo la asociación del cambio en IFR con factores explicativos.

Tabla 11 Valores del cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 1999 a 2003.

Intensidad de cambio	Numero de hexagono	% de superficie forestal	Subtotal	Subtotal en %
Disminución fuerte	240	4.7	513	10.0
Disminución leve	273	5.3		
Sin cambio	3,237	63.3	3,237	63.3
Aumento leve	417	8.2	1,365	26.7
Aumento fuerte	948	18.5		

A modo de caracterizar esta dinámica en el IFR, en la tabla 12 se presentan los resultados de la proporción de destitución correspondiente a este periodo. Donde se ve que el 19.8% de la superficie de cambio de IFR presenta una mayor influencia composicional, es decir donde la cobertura forestal aumenta o disminuye, mientras que 13.6% de esta misma superficie se caracteriza por un cambio configuracional, o en donde la cobertura forestal sufre una translocación espacial. En el 66.7% restante ambos procesos están contribuyendo al cambio en los valores de fragmentación. La distribución espacial de estos valores se presenta en la figura 18.

Tabla 12 Caracterización del cambio en la fragmentación forestal del periodo 1999 a 2003.

Predominio de cambio en:	Numero de hexágonos	% superficie de cambio
Composición	506	19.8
Configuración	347	13.6
Ambos	1,705	66.7

4.2.2 Dinámica de fragmentación en el periodo 2003-2010

En este periodo el IFP presenta los cambios registrados en la tabla 13, donde destacan los valores totales que indican un incremento del 24.3% en el número de polígonos, de 255 a 317 (62 polígonos más), indicando que el proceso de fragmentación continua en este tiempo, con una tasa de incremento de 8.9 parches por año.

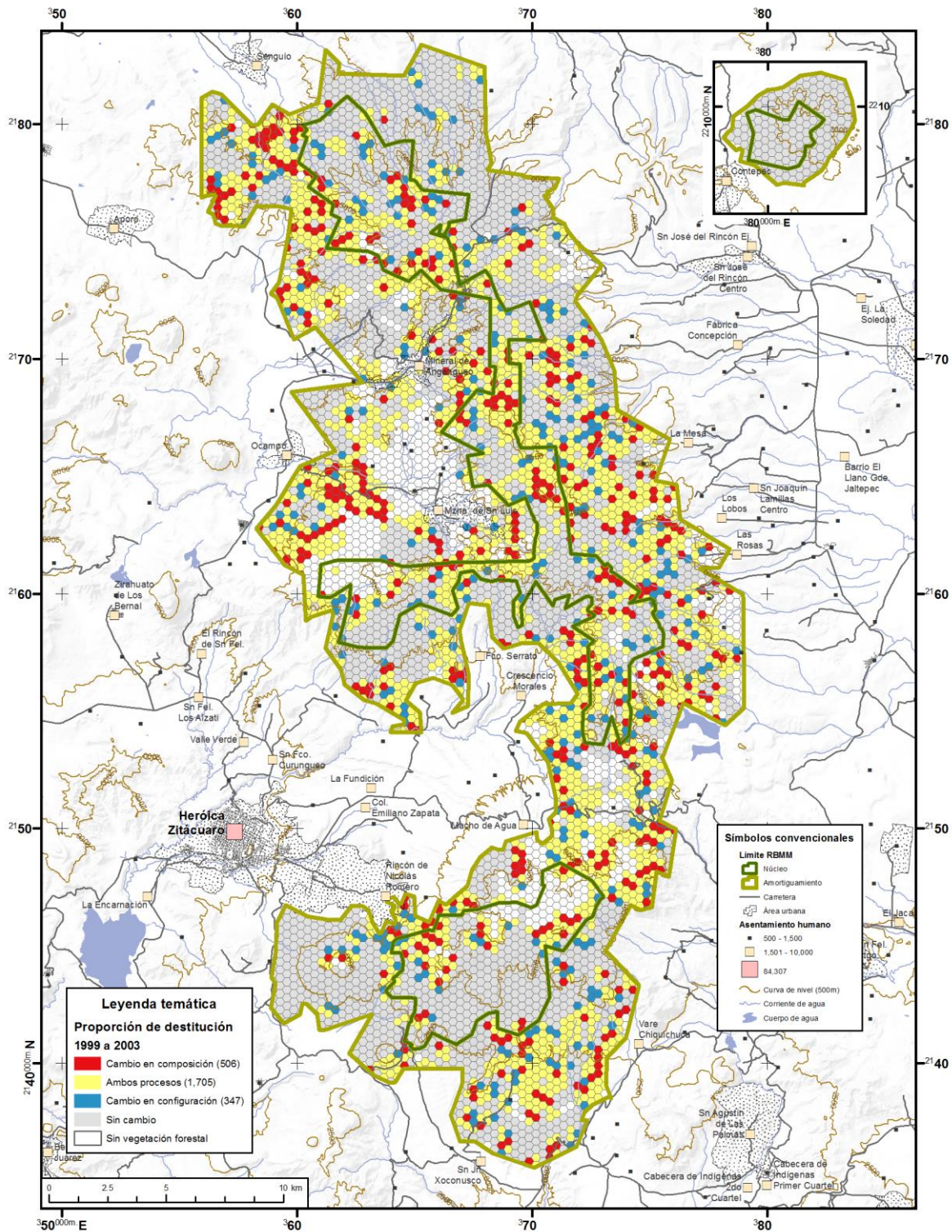


Fig. 18 Caracterización por proporción de destrucción en el periodo 1999 a 2003.

Tabla 13 Cambio en el Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) durante el periodo 2003 a 2010.

Fragmentación	Numero de parches				Superficie (ha)			
	2003	2010	Diferencia	Diferencia (%)	2003	2010	Diferencia	Diferencia (%)
Muy baja	65	110	45	69.2	2,137.4	2,492.0	354.7	16.6
Baja	115	153	38	33.0	1,289.4	764.9	-524.5	-40.7
Media	61	30	-31	-50.8	2,276.3	1,446.2	-830.1	-36.5
Alta	5	18	13	260.0	0.1	19,663.7	19,663.7	32,184,251.5
Muy alta	9	6	-3	-33.3	30,648.2	15,839.6	-14,808.6	-48.3
Total	255	317	62	24.3	36,351.4	40,206.5	3,855.1	10.6

Sin embargo, al analizar los cambios en el IFR se observa una tendencia diferente, pues en este caso como se aprecia en la tabla 14, el 26.4% de la superficie forestal disminuye sus valores de fragmentación, siendo un poco más de la mitad de estas disminuciones de intensidad fuerte. También hay algunas zonas donde incrementa el valor de IFR, correspondiendo al 14.4% de la superficie con bosque, en este caso con un pequeño sesgo hacia los cambios leves. Mientras que un 59.2% de bosque mantiene su valor de fragmentación.

Tabla 14 Valores del cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 2003 a 2010.

Intensidad de cambio	Numero de hexagono	% de superficie forestal	Subtotal	Subtotal en %
Disminución fuerte	835	16.3	1,349	26.4
Disminución leve	514	10.0		
Sin cambio	3,029	59.2	3,029	59.2
Aumento leve	406	7.9	737	14.4
Aumento fuerte	331	6.5		

En la figura 19 y mapa VI, se distingue que las zonas donde disminuye el valor de IFR corresponde en gran medida a los lugares donde la fragmentación aumento durante el primer periodo (1999-2003), apuntando a una recuperación de la cobertura forestal en dichas áreas. Sin embargo todavía existen sitios con deforestación y que por tanto incrementa el nivel de fragmentación.

Respecto a la caracterización del proceso de fragmentación en este periodo, la proporción de destitución presentó los valores anexados en la tabla 15, similares a lo obtenido en el primer periodo. Ahora, el 17.7% de la superficie de cambio de IFR presenta una mayor influencia composicional, es decir donde la

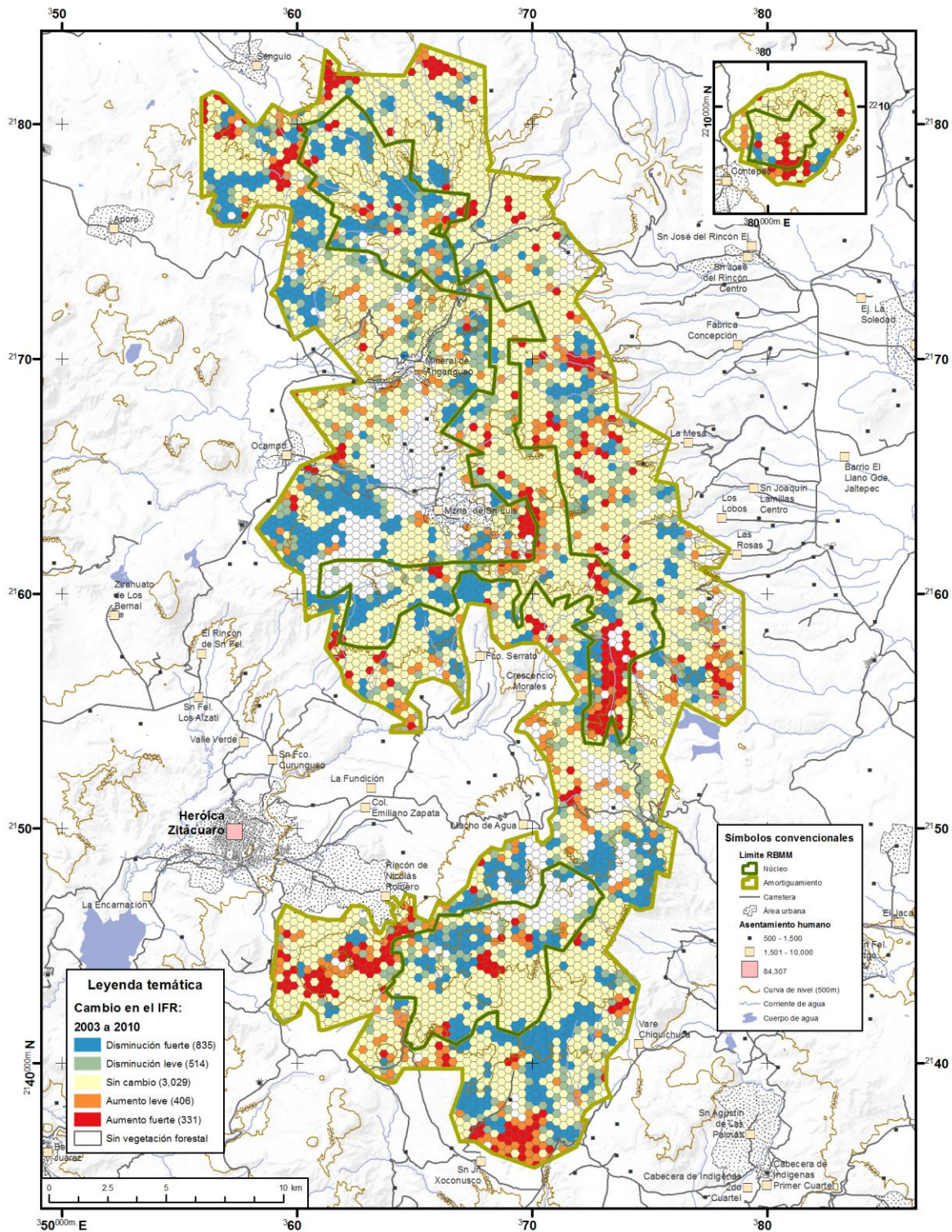


Fig. 19 Cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 2003 a 2010.

cobertura forestal aumenta o disminuye, mientras que 14.4% de esta misma superficie se caracteriza por un cambio configuracional, o en donde la cobertura forestal sufre una translocación espacial. En el 67.9% restante ambos procesos están contribuyendo al cambio en los valores de fragmentación. La distribución espacial de estos valores se presenta en la figura 20.

Tabla 15 Caracterización del cambio en la fragmentación forestal del periodo 2003 a 2010.

Predominio de cambio en:	Numero de hexágonos	% superficie de cambio
Composición	616	17.7
Configuración	501	14.4
Ambos	2,366	67.9

4.2.3 Dinámica de fragmentación en el periodo 1999-2010

Este lapso describe la el cambio en la totalidad del periodo analizado, y por tanto contextualiza la magnitud de variación en los periodos anteriores.

En este transcurso el IFP presenta los cambios registrados en la tabla 16, donde destacan los valores totales que indican un incremento del 43.4% en el número de polígonos (221 a 317, o 96 polígonos más). Indicando un incremento en la fragmentación con una tasa de 8.7 parches por año.

Tabla 16 Cambio en el Índice de Fragmentación Poligonal (IFP) durante el periodo 1999 a 2010.

Fragmentación	Numero de parches				Superficie (ha)			
	1999	2010	Diferencia	Diferencia (%)	1999	2010	Diferencia	Diferencia (%)
Muy baja	86	110	24	27.9	2,286.9	2,492.0	205.2	9.0
Baja	93	153	60	64.5	405.3	764.9	359.6	88.7
Media	32	30	-2	-6.3	1,672.0	1,446.2	-225.8	-13.5
Alta	7	18	11	157.1	18,332.8	19,663.7	1,330.9	7.3
Muy alta	3	6	3	100.0	17,299.9	15,839.6	-1,460.3	-8.4
Total	221	317	96	43.4	39,997.0	40,206.5	209.5	0.5

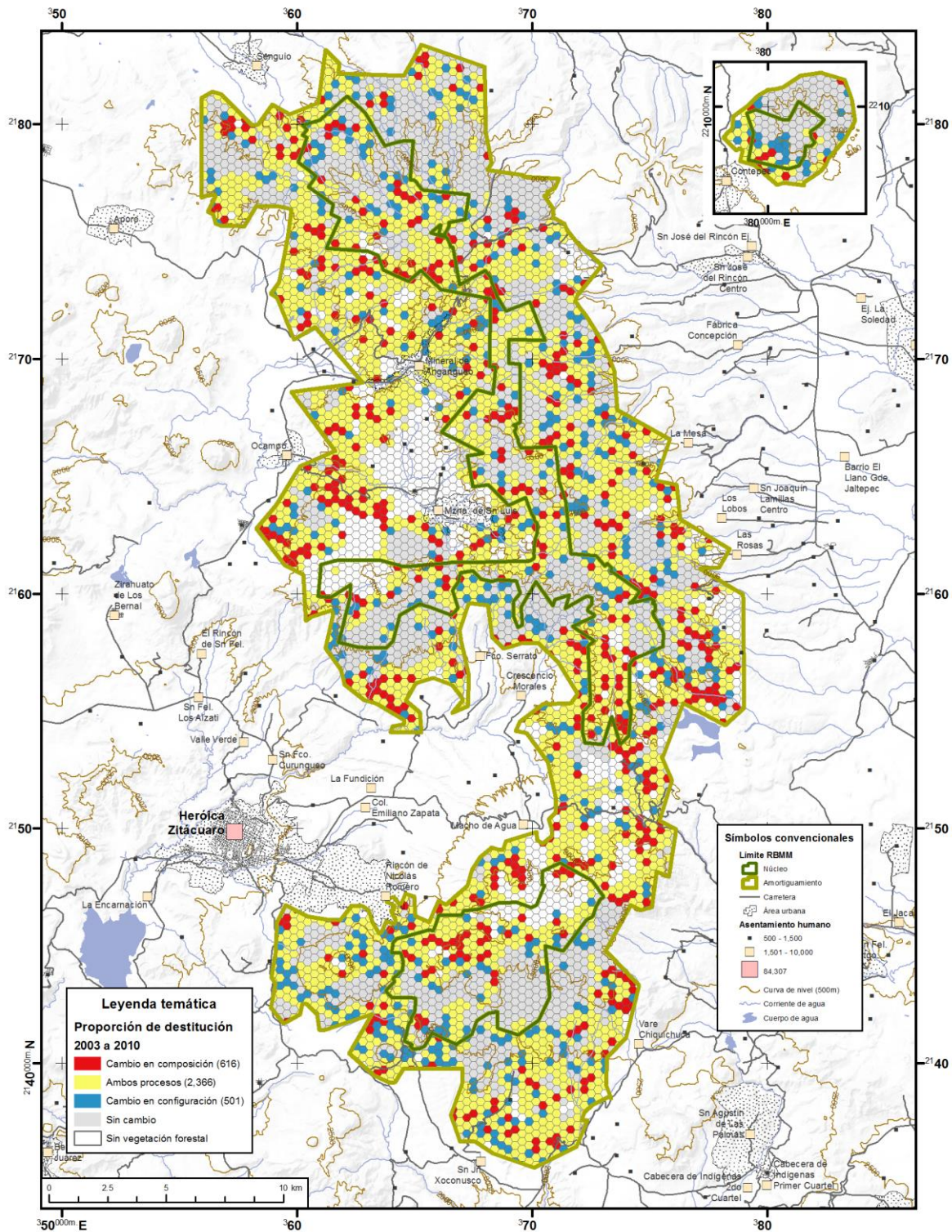


Fig. 20 Caracterización por proporción de destrucción en el periodo 2003 a 2010.

Retomando en cambio en el IFR, tenemos los resultados expuestos en la tabla 17, donde se observa que considerando el periodo completo, hay un relativo equilibrio entre zonas donde incrementa y disminuye la fragmentación, con un sesgo hacia el aumento. En ambos casos los cambios suelen ser de intensidad ligera. Y aproximadamente 65% de la superficie forestal mantiene sus niveles de fragmentación.

Tabla 17 Valores del cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 1999 a 2010.

Intensidad de cambio	Numero de hexagono	% de superficie forestal	Subtotal	Subtotal en %
Disminución fuerte	313	6.1	808	15.8
Disminución leve	495	9.7		
Sin cambio	3,343	65.4	3,343	65.4
Aumento leve	608	11.9	964	18.8
Aumento fuerte	356	7.0		

Como se muestra en la figura 21 y mapa VII, las zonas que presentaron una disminución en el IFR durante el lapso 2003-2010, no incrementaron su conectividad lo suficiente como para retornar al estado de fragmentación en 1999, ejemplo de esto son los bosques en las cercanías de los poblados de Anganguero, Manzana de San Luis, Crescencio Morales y San Juan Xoconusco. No obstante, hay zonas donde sí se reduce la fragmentación considerablemente, como los son terrenos forestales localizados entre Senguio y Aporo, así como algunos bosques asociados al Cerro Pelón.

Respecto a la proporción de destitución, presentó los valores anexados en la tabla 18, similares a lo obtenido en los otros periodos. Teniendo que, el 17.5% de la superficie de cambio de IFR presenta una mayor influencia composicional, es decir donde la cobertura forestal aumenta o disminuye, mientras que 15.6% de esta misma superficie se caracteriza por un cambio configuracional, o en donde la cobertura forestal sufre una translocación espacial. En el 66.8% restante ambos procesos están contribuyendo al cambio en los valores de fragmentación. La distribución espacial de estos valores se presenta en la figura 22.

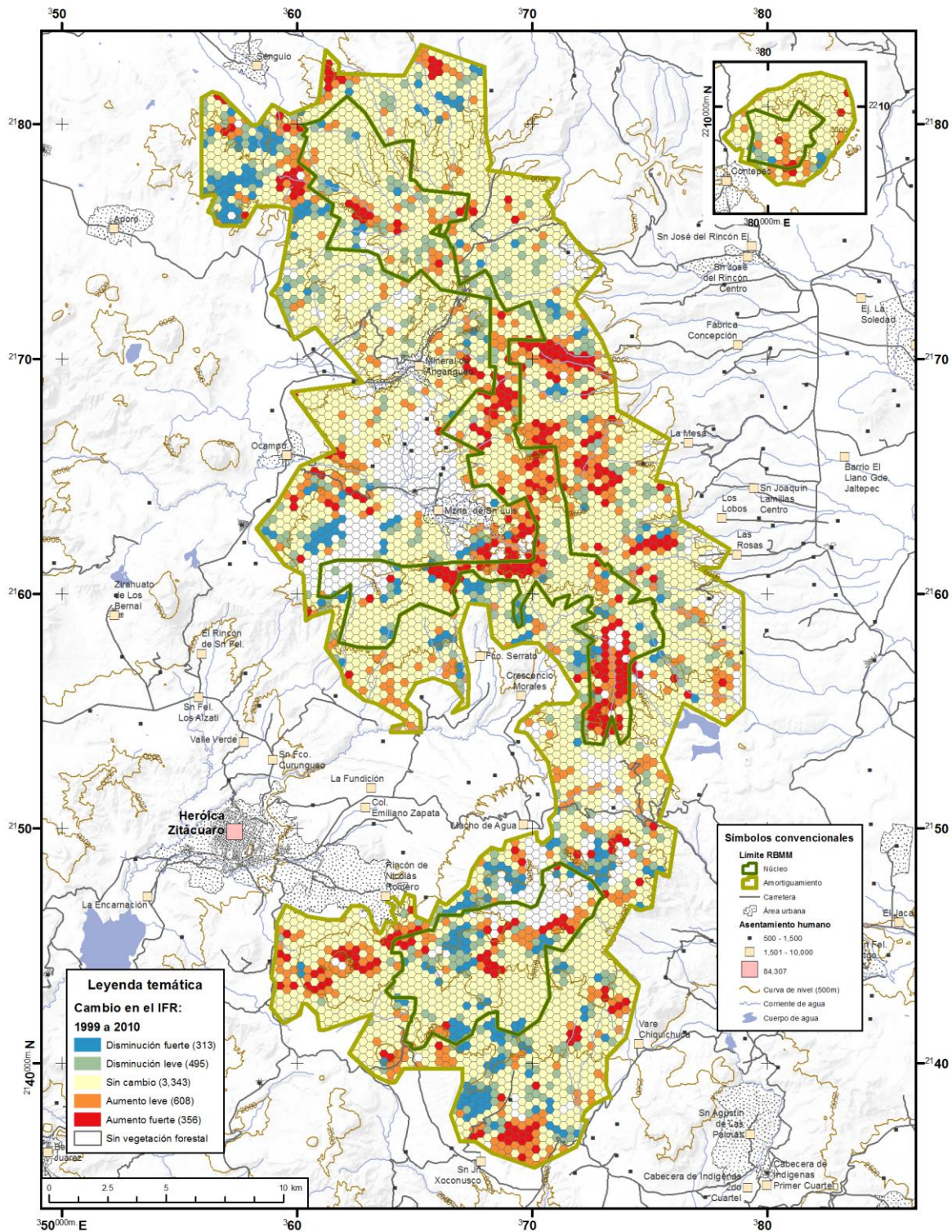


Fig. 21 Cambio en el Índice de Fragmentación Reticular (IFR) de 1999 a 2010

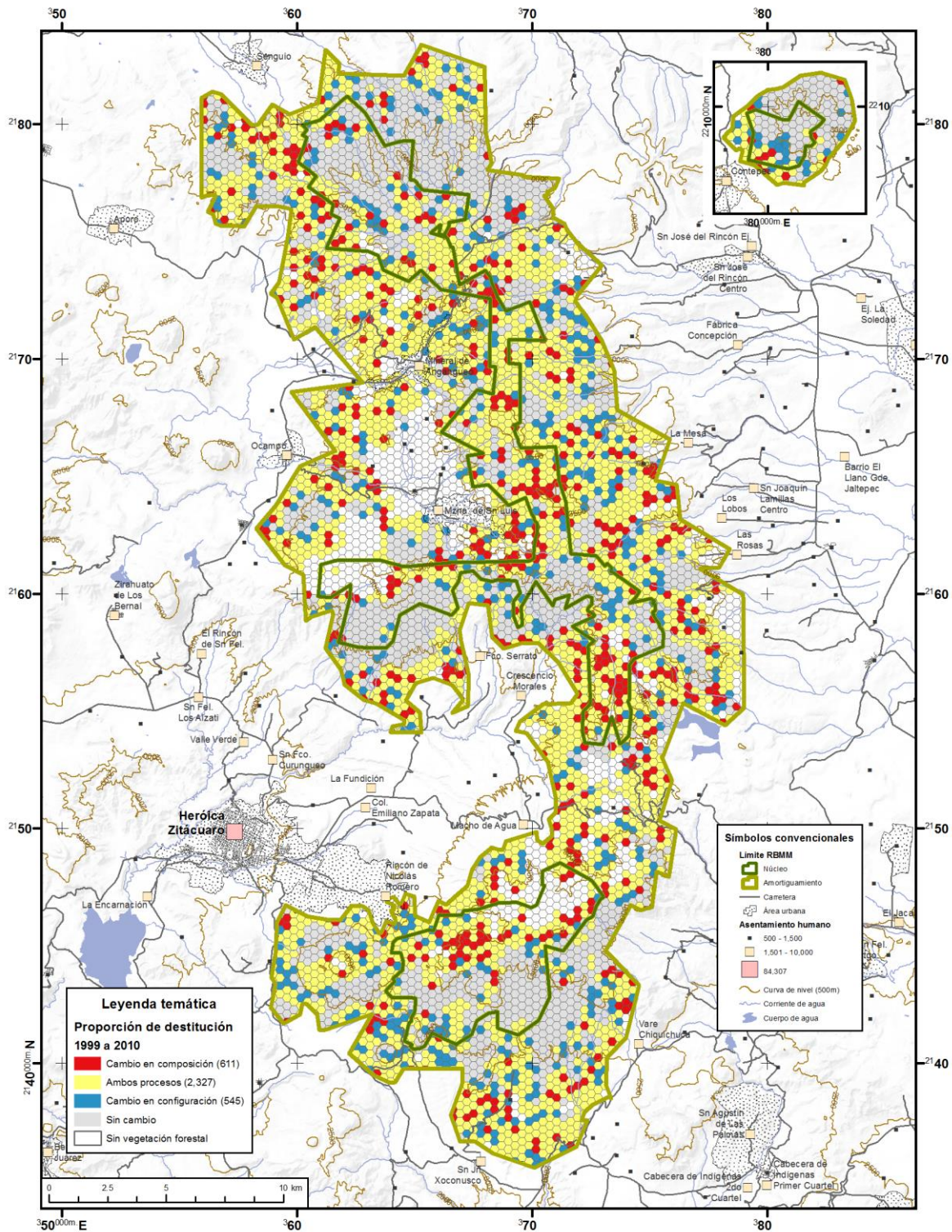


Fig. 22 Caracterización por proporción de destrucción en el periodo 1999 a 2010.

Tabla 18 Caracterización del cambio en la fragmentación forestal del periodo 1999 a 2010.

Predominio de cambio en:	Numero de hexágonos	% superficie de cambio
Composición	611	17.5
Configuración	545	15.6
Ambos	2,327	66.8

4.2.4 Delimitación del tipo de dinámica temporal en la variación relativa del IFR.

Durante la lectura de los cambios en los valores del IFR en cada uno de los tres años considerados, fue evidente un patrón generalizado en el que la fragmentación incrementa considerablemente de 1999 a 2003, para luego disminuir o aumentar en cierta medida en 2010. Sin embargo, hay zonas donde la dinámica es diferente, es por eso que se delimitó un árbol de decisiones que permitió el distinguir siete tipos de variación temporal, los cuales se definieron de la siguiente manera:

- *Tipo 0-0:* Sin cambio, los niveles de fragmentación presentes en los tres años no presentaron variaciones superiores a 1 unidad del IFR.
- *Tipo 1-A:* Valor IFR máximo presente en 2003, la fragmentación en 2010 fue igual o mayor que en 1999.
- *Tipo 1-B:* Valor IFR máximo presente en 2003, la fragmentación en 2010 fue menor a la presente en 1999.
- *Tipo 2-A:* Valor IFR máximo en 2010, la fragmentación en 2003 fue igual o mayor que en 1999.
- *Tipo 2-B:* Valor IFR máximo en 2010, la fragmentación en 2003 fue menor a la presente en 1999.
- *Tipo 3-A:* Valor IFR máximo en 1999, la fragmentación en 2003 fue igual o mayor que en 2010.
- *Tipo 3-B:* Valor IFR máximo en 1999, la fragmentación en 2003 fue menor que la presente en 2010.

Es importante tener en cuenta que esta delimitación sólo determina el tipo de cambio temporal en los valores del IFR, no representa la intensidad de estos

valores, y por tanto no indica que zonas están más o menos fragmentadas. Los resultados de esta clasificación aplicada a la retícula hexagonal se presentan en la tabla 19 y figura 23 (Mapa VIII), donde se aprecia que el tipo de dinámica dominante es el 0-0, es decir, el 27.7% de la superficie forestal de la RBMM no presento variaciones considerables en su nivel de fragmentación, ya sea alto o bajo.

Tabla 19 Superficie de área forestal correspondiente al tipo de cambio delimitado.

Tipo de cambio	Numero de hexágonos	% de superficie forestal	Subtotal	Subtotal en %
0-0	1,466	27.7	1,466	27.7
1-A	864	16.3	1,307	24.7
1-B	443	8.4		
2-A	1,103	20.8	1,312	24.8
2-B	209	3.9		
3-A	1,027	19.4	1,214	22.9
3-B	187	3.5		

El segundo grupo con mayor dominancia es el tipo 2, donde los valores de fragmentación alcanzan su máximo valor en el año 2010. Con dos posibles escenarios, el tipo 2-A que implica por lo general un incremento constante en la fragmentación durante los tres años estudiados, desde un punto de vista ecológico esta es la situación menos deseable, sin embargo es el tipo de cambio más frecuente en la reserva, afectando el 20.8% de la superficie forestal. El otro escenario, 2-B, es menos frecuente y significa una recuperación en la conectividad durante el periodo 1999-2003 seguida de una fragmentación de intensidad suficiente para superar el nivel presente en 1999, este tipo de cambio afecta el 3.9% de los bosques de la RBMM.

Los cambios de tipo 1 son prácticamente igual de dominantes que los de tipo 2, en este caso la fragmentación forestal alcanza su máximo en el año 2003. Dentro de este grupo la situación más frecuente es el cambio 1-A, implicando un incremento en la fragmentación en el periodo 1999-2003 para eventualmente

mantener o disminuir los valores del IFR al 2010, considerando que esta disminución no es suficiente para recuperar la conectividad presente en 1999,

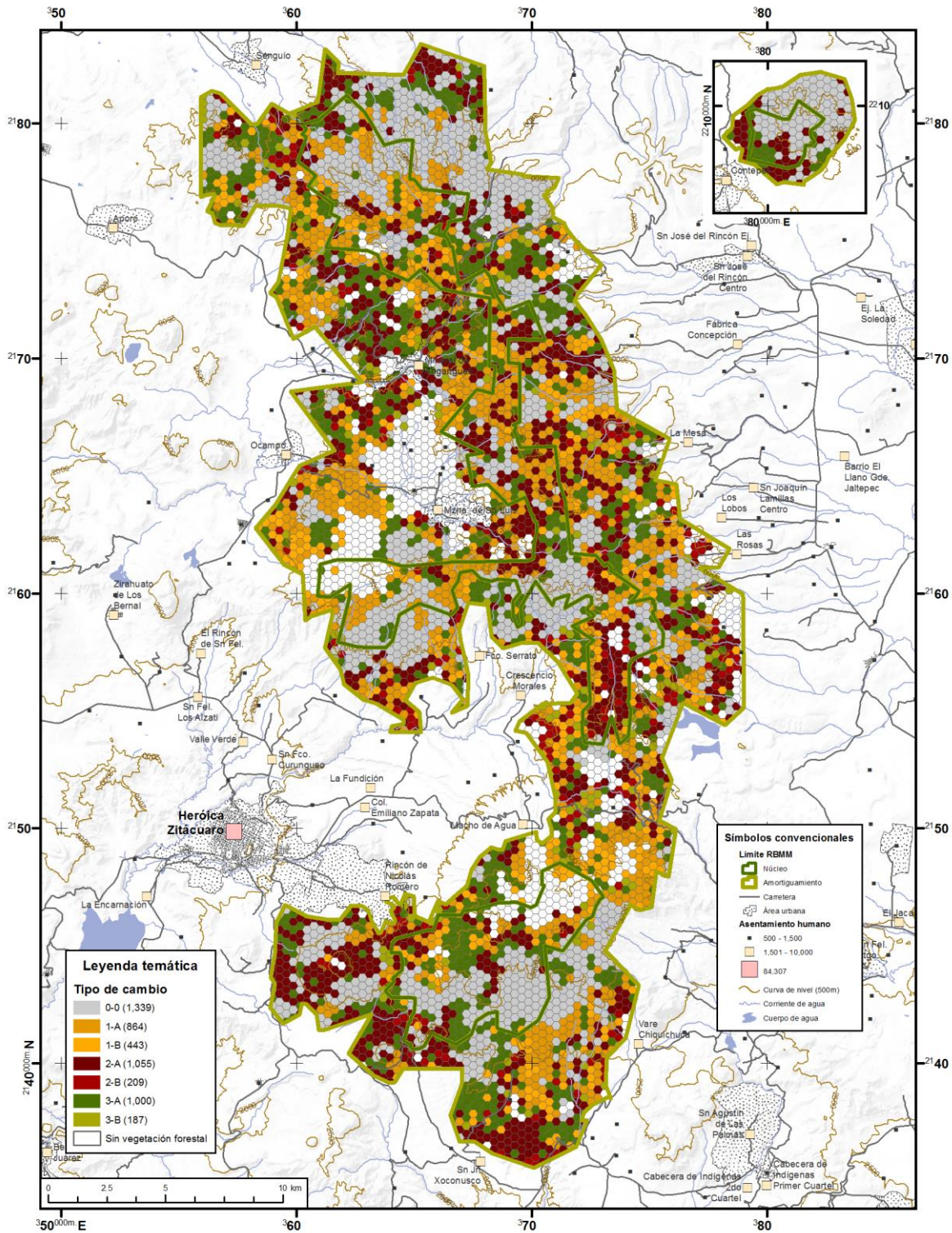


Fig. 23 Tipos de cambio delimitados; dinámica trianual.

este tipo de cambio se presenta en el 16.3% de la superficie forestal. El otro escenario, 1-B, significa que la fragmentación al culminar en 2003 presenta una reducción de manera que para el 2010 sus niveles son inferiores a los presentes en 1999, es decir una recuperación (incluso mejoría) de la conectividad, esta dinámica se presenta en el 8.4% del bosque analizado.

Finalmente, los cambios de tipo 3 resultaron los menos comunes en la RBMM, donde los valores del IFR presentan su máximo en el año 1999. El escenario más frecuente fue el tipo de cambio 3-A, que por lo general representa una disminución continua en los valores de fragmentación durante los tres años mencionados, o un decremento en el periodo 1999-2003 manteniendo el valor alcanzado en 2003 hasta el 2010, procesos de recuperación de conectividad que se presentan en el 19.4% de la superficie forestal. La dinámica de cambio menos frecuente en la RBMM es la 3-B que implica una disminución en la fragmentación en el periodo 1999-2003, para luego aumentar al 2010 sin alcanzar el valor máximo presente en 1999, cambios que se dan en sólo 3.5% de los bosques de la reserva.

4.3 OBSERVACIONES SOBRE LA DINÁMICA DE LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL

Al igual que en el proceso de cuantificación, al medir los cambios en el nivel de fragmentación para los diferentes años, se presentaron situaciones particulares. Por un lado la variación del IFP, aunque no fue posible interpretarla de manera local (polígono por polígono), nos da una idea de la dinámica general del paisaje en la RBMM, que en el caso del número de parches totales muestra una tendencia al aumento de la fragmentación, con la peculiaridad de que este incremento es más intenso en el periodo 2003 a 2010.

Sin embargo, esta tendencia puede que no represente de manera acertada la magnitud del incremento, ya que no considera otras propiedades de los fragmentos, como pueden ser el tamaño y forma del parche, indicadores

importantes de la fragmentación. Debido a esto, es que nuevamente resulta más apropiado hacer los cálculos utilizando las gradillas hexagonales, las cuales dividen el paisaje de manera homogénea y el índice calculado en ellas incorpora métricas tanto de composición como de configuración, dando información más detallada sobre la fragmentación.

De esa manera es que se utilizan los valores del IFR calculando sus tasas de cambio anual, un cómputo requerido debido a la diferencia en años que conforman a los periodos analizados; cuatro años (1999-2003), siete años (2003-2010), y once años (1999-2010).

En lo que atañe a la dinámica del IFR, se observan algunas situaciones interesantes, por un lado en el periodo 1999-2003 es evidente un incremento considerable de la fragmentación, relacionado con la deforestación que se dio en ese tiempo, y que a su vez fue respuesta (en gran medida) al descontento (y desconcierto) social propiciado por el incremento a la superficie de la RBMM, como indica López-García (2013), implicando un súbito cambio en el modo en que la población se apropiaba de sus bosques.

Al contrario de lo que indica la dinámica del IFP en el lapso 2003-2010, el cambio en los valores del IFR apuntan a una reducción de la fragmentación, asociada por supuesto a la recuperación de áreas deforestadas, de manera que para el 2010 se había recobrado (incluso superado por poco) la extensión de bosque a como se encontraba en 1999. Una situación probablemente causada por la asimilación de este nuevo paradigma de ANP, así como la implementación de programas institucionales de apoyo a la población en el marco de la conservación.

A pesar de esta recuperación en la superficie de cobertura forestal, cuando se analiza el cambio del IFR en el periodo total 1999-2010, tenemos que desde el punto de vista de la fragmentación, la recuperación no es tan evidente. Sí, un 65% de la superficie forestal no presenta un cambio neto evidente en sus valores de fragmentación y un 15% disminuye su valor IFR, pero un 20% de los bosques

se encuentran más fragmentados a como estaban en 1999. Esto es más claro cuando se analizan los tipos de cambio en los valores del IFR, que determinan que la verdadera ausencia de cambio en niveles de fragmentación sólo ocurre en el 28% de la superficie forestal, mientras que 41% del bosque presenta tipos de cambio correspondientes al incremento de la fragmentación, y solamente el 31% de área forestal cambia sus valores de IFR con tendencia a la baja.

La proporción de destitución refleja de una manera esta dinámica, ya que en los tres periodos analizados, los cambios en la fragmentación se deben casi siempre a una interacción de la variación en composición y configuración del bosque, e incluso en los casos donde es posible distinguir entre ambos procesos, la proporción de ambos es muy similar. Lo que indica, que este nuevo arreglo espacial presente en 2010 con más parches de bosque, los cuales por su tamaño y forma propicia una mayor cantidad de borde, derivan en un mayor nivel de fragmentación, incluso si se mantiene (o recupera) la cantidad de cobertura forestal presente en 1999.

En el capítulo siguiente se retoman estos valores de cambio en el IFR, para determinar que tanta de esta variación en la fragmentación se asocia a factores explicativos, y de esa manera elucidar el patrón de fragmentación forestal en el paisaje de la RBMM.

5 CAPÍTULO V: ELEMENTOS DEL PAISAJE Y SU INFLUENCIA EN LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL

La fragmentación forestal a nivel global ocurre en niveles alarmantes (Sanchez-Azofeida *et al.*, 2001; Abdullah & Nakagoshi, 2007). Desde las últimas décadas, el cambio espacial y temporal del uso de suelo para actividades humanas ha sido prominente, convirtiéndose en el principal catalizador de la fragmentación forestal (McMorrow & Talip, 2001; Ochoa-Gaona, 2001). El veloz crecimiento económico, así como la presión por el desarrollo de poblaciones humanas en aumento, son los principales factores que llevaron a estas circunstancias (Koop & Tole, 2001; Uusivuori *et al.* 2002). Del mismo modo, los caminos y otras vías de comunicación terrestre, componentes importantes del crecimiento económico, causan impactos complejos sobre la ecología y sociedad (Forman *et al.* 2003), por lo que también han sido objeto de estudio respecto a su impacto en la fragmentación forestal (Hawbaker *et al.* 2006; Freitas *et al.* 2010).

Aunado a lo anterior, existen factores naturales que también afectan de manera considerable la distribución y dinámica de la fragmentación forestal, destacando características topográficas como la altitud, pendiente y orientación de ladera. Por lo que algunos estudios también las incorporan a sus análisis de fragmentación de hábitats forestales, como por ejemplos los trabajos de Butler *et al.* (2004), y Freitas *et al.* (2010).

Es por eso que en este capítulo se analiza la relación de la fragmentación forestal y su dinámica, con variables independientes (factores) que se consideran como subrogados de algunos elementos de los subsistemas natural (abiótico) y antrópico, del paisaje presente en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM). De esta manera, y en conjunto con lo que se ha expuesto hasta ahora, se podrá entender de un mejor modo el patrón de fragmentación del hábitat forestal presente en esta Área Natural Protegida (ANP).

5.1 MÉTODO PARA DETERMINAR EL EFECTO DE LOS ELEMENTOS DEL PAISAJE SOBRE LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL

Para determinar si existe una influencia significativa de factores ambientales (elementos del paisaje) sobre la distribución y dinámica de la fragmentación forestal, se emplearon distintos análisis estadísticos cuya naturaleza corresponde al tipo de variable independiente; ya sea continua o discreta. En la tabla 20 se presentan los factores (variables independientes) analizados, y sus características.

Tabla 20 Variables independientes empleadas como factores explicativos de la fragmentación.

	Variable independiente (Factor)	Descripción	Tipo de variable	Unidades	Subsistema de paisaje
Topografía	Altitud	Altura sobre el nivel del mar	Continua	Metros	Natural
	Curvatura	Curvatura de ladera	Continua	Adimensional	Natural
	Orientación	Orientación de ladera	Continua	Grados	Natural
	Pendiente	Pendiente de ladera	Continua	Grados	Natural
Distancias	Caminos	Distancia a caminos y veredas	Continua	Metros	Antrópico
	Carreteras	Distancia a carreteras y terracerías	Continua	Metros	Antrópico
	Localidades	Distancia a localidades	Continua	Metros	Antrópico
	Loc. Urbanas	Distancia a localidades urbanas	Continua	Metros	Antrópico
Población	1999	Población total en 1999	Continua	Habitantes	Antrópico
	2003	Población total en 2003	Continua	Habitantes	Antrópico
	2010	Población total en 2010	Continua	Habitantes	Antrópico
	Δ 1999 a 2003	Cambio población 1999-2003	Continua	Habitantes	Antrópico
	Δ 2003 a 2010	Cambio población 2003-2010	Continua	Habitantes	Antrópico
	Δ 1999 a 2010	Cambio población 1999-2010	Continua	Habitantes	Antrópico
	Δ 1999 a 2010 (%)	Cambio relativo población 1999-2010	Continua	Porcentaje	Antrópico
	Δ 1999 a 2010 (m)	Pendiente cambio población 1999-2010	Continua	Habitantes/Año	Antrópico
	Vulnerabilidad	Vulnerabilidad social	Continua	Adimensional	Antrópico
Masculinidad	1999	Masculinidad 1999	Continua	Hombres	Antrópico
	2003	Masculinidad 2003	Continua	Hombres	Antrópico
	2010	Masculinidad 2010	Continua	Hombres	Antrópico
	Δ 1999 a 2003	Cambio masculinidad 1999-2003	Continua	Hombres	Antrópico
	Δ 2003 a 2010	Cambio masculinidad 2003-2010	Continua	Hombres	Antrópico
	Δ 1999 a 2010	Cambio masculinidad 1999-2010	Continua	Hombres	Antrópico
	Δ 1999 a 2010 (%)	Cambio relativo masculinidad 1999-2010	Continua	Porcentaje	Antrópico
	Δ 1999 a 2010 (m)	Pendiente cambio masculinidad 1999-2010	Continua	Hombres/Año	Antrópico
Delimitación	Zona RBMM	Tipo zona de reserva (Núcleo / Amortiguamiento)	Nominal	Categoría	Antrópico
	Predio	Predio	Nominal	Categoría	Antrópico
	Tenencia	Tipo de tenencia (Ejido, comunidad indígena, etc.)	Nominal	Categoría	Antrópico
	Estado	Estado	Nominal	Categoría	Antrópico
	Municipio	Municipio	Nominal	Categoría	Antrópico
	Cuenca	Microcuenca hidrológica	Nominal	Categoría	Natural
	Paisaje	Unidades de paisaje	Nominal	Categoría	Integración

5.1.1 Integración a la retícula hexagonal

La incorporación de estas variables a la red de hexágonos se realizó de maneras diferentes, por un lado están los factores constituidos por superficies continuas, tal es el caso de las métricas topográficas como la altitud, pendiente, curvatura y orientación de ladera. Similares a estos son las variables basadas en distancias, las cuales su cálculo deriva igualmente en un gradiente continuo,

como lo son las distancias a: caminos y veredas, carreteras y terracerías, localidades, y localidades urbanas. O las variables que requirieron la creación de este tipo de superficies, como los factores asociados a la población, los cuales fueron interpolados con el método de ponderación por distancia o IDW (Inverse Distance Weighting, por sus siglas en inglés).

Las variables previamente mencionadas, se almacenan en archivos raster que representan sus respectivos valores continuos, a partir de estas superficies se extrae la media aritmética correspondiente a cada una de las zonas delimitadas por las celdas hexagonales, haciendo posible la relación de estas variables con los valores del índice de fragmentación reticular (IFR) y su dinámica.

Por otro lado tenemos a los factores explicativos categóricos, como los son: las zonas de la RBMM, predios, tipo de tenencia, delimitación estatal y municipal, y microcuencas. A diferencia de las variables anteriores, en este caso la información se encuentra representada en archivos vectoriales (polígonos), por lo que fue necesario tomar otra aproximación para transferir esta información a la retícula hexagonal. El proceso consistió en realizar una intersección entre la retícula y las variables categóricas, de esta manera concatenando ambas delimitaciones, posteriormente se determinó en cada una de las celdas hexagonales que subdivisión (proveniente de los factores categóricos) presenta una mayor extensión dentro de la celda, para asignar el nombre de esta categoría al resto del hexágono.

5.1.2 Análisis estadístico

Como ya se había mencionado, el tamaño de los hexágonos en la retícula utilizada fue seleccionado con base en la mayor reducción de la autocorrelación espacial y la escala de trabajo fina. Sin embargo la autocorrelación espacial sigue estando presente, ocasionando una redundancia en información, por lo que algunos autores (Carsten *et al.* 2007; Griffith, 2005) sugieren la reducción de la n a emplear en los estadísticos por medio de un muestreo aleatorio.

Por lo anterior se decidió elaborar los estadísticos con los datos completos (4,874 hexágonos), y con una muestra seleccionada al azar correspondiente al 10% de los datos completos (487 hexágonos).

Para determinar el efecto sobre la fragmentación ocasionado por las variables explicativas continuas, se realizó una matriz de correlaciones de Pearson (r), para establecer si hay alguna relación lineal entre los factores y la fragmentación forestal. Los factores que resultaron con una correlación más intensa fueron empleados en una regresión múltiple y de esa manera delimitar que tanto de la variación en la fragmentación se puede deber a dichos factores.

En el caso de las variables de tipo categóricas, se utilizaron las pruebas no paramétricas de Wilcoxon y Kruskal-Wallis, para determinar la significancia estadística de estos factores sobre los valores de IFR y sus cambios temporales. Complementando con un análisis de varianza (ANDEVA), para calificar el ajuste de los factores sobre la varianza de los valores de fragmentación.

5.1.2.1 Estadística y unidades de paisaje

A manera de obtener una visión integrada al explicar el patrón espacio-temporal de la fragmentación, se decidió concatenar de una manera estadística a las variables explicativas ya mencionadas, derivando en una delimitación única de la RBMM. La cual, al contemplar estos elementos de los distintos subsistemas del paisaje, se considera una aproximación cuantitativa a las unidades de paisaje.

Este proceso comenzó por agrupar la retícula de hexágonos con base en los valores de la variable continuas, utilizando el método de Árbol de Extensión Mínima o MST (Minimum Spanning Tree, siglas en ingles). El cual se basa en la generación de un árbol de tendido mínimo (espacial) entre las celdas hexagonales, las ramas de ese árbol son seccionadas mediante el método SKATER (Assuncao *et al.*, 2006) que utiliza los valores promedio de las variables

de entrada, de esa manera generando aglomerados espacialmente continuas que agrupan hexágonos cuyos atributos son estadísticamente similares.

Una vez obtenida esta agrupación, se procedió a integrarla con el resto de los factores explicativos de carácter nominal o categórico. Un algoritmo clasificador que permite el análisis de este tipo de variables es el K-Modas (Huang, 1997), una ampliación del método K-Medias (MacQueen, 1967). En este caso se utilizó a K-Modas como parte del paquete *klaR*, el cual es una implementación dentro del lenguaje *R*.

5.2 EFECTO DE LOS ELEMENTOS DEL PAISAJE SOBRE LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL

En esta sección se presentan y discuten los resultados obtenidos de los análisis estadísticos ya descritos, primeramente se exponen los efectos de los factores continuos sobre la fragmentación, seguido de la interacción con los factores categóricos, y finalmente la relación entre la fragmentación y las unidades de paisaje delimitadas.

5.2.1 Elementos del paisaje cuantificados como variables continuas

En la tabla 21 se presentan los coeficientes de correlación r entre los valores de fragmentación y los factores explicativos continuos, este coeficiente puede presentar valores en el intervalo -1 a 1 y el cual se puede interpretar como:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si $r = 0$, no existe relación lineal.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación

inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

En la tabla 22 se muestran estas mismas correlaciones pero ahora calculadas sobre el 10% de los hexágonos seleccionados al azar, como se puede observar el patrón de relaciones es muy similar, sin embargo las correlaciones suelen ser más fuertes en la tabla correspondiente al muestreo aleatorio. Y aunque todas las correlaciones son relativamente débiles, ninguna sobrepasa el valor absoluto de 0.5, se aprecian algunos efectos interesantes:

5.2.1.1 Efectos sobre la fragmentación

Considerando los efectos sobre el IFR, tenemos que para todos los años el factor con más influencia sobre la fragmentación es la distancia a localidades, seguido por la distancia a carreteras, todas estas relaciones con valores de r superiores a 0.3, y con símbolo negativo indicando una relación inversa. Es decir, mientras la distancia a localidades y carreteras es mayor, el bosque tiende a encontrarse menos fragmentado.

Las variables topográficas también tienen un efecto leve sobre la fragmentación, por ejemplo la altura para el caso del IFR en 1999, o la pendiente que resulta la variable continua natural con mayor influencia sobre la fragmentación. Nuevamente la relación es inversa, lo que indica que mientras mayor sea la altitud o la pendiente de ladera, el hábitat forestal presentara una menor fragmentación.

Los efectos de la población sobre el IFR no son perceptibles desde esta perspectiva, ya que los valores de r no superan a 0.1 en ninguna ocasión. Sin embargo, si existe una influencia leve de los cambios en el índice de masculinidad sobre la fragmentación. Esta relación es inversa, indicando que en zonas donde la masculinidad incrementa entonces la fragmentación disminuye, mientras que zonas donde el índice de masculinidad disminuye la fragmentación suele ser mayor. Esto último puede que se deba a la dinámica de migración y su

Tabla 21 Matriz de correlaciones para el universo de celdas hexagonales. Tonos rojos indican correlaciones positivas, y los tonos azules relaciones inversas.

		Índice Fragmentación Reticular (IFR)			Tasa Cambio Anual (TCA)			Proporción de destitución		
		1999	2003	2010	1999-2003	2003-2010	1999-2010	1999-2003	2003-2010	1999-2010
Topografía	Altitud	-0.12	-0.07	-0.03	0.09	0.04	0.11	-0.04	0.12	0.05
	Curvatura	-0.03	-0.01	-0.02	0.03	-0.02	0.01	-0.01	0.00	0.00
	Orientación	0.04	0.06	0.00	0.03	-0.07	-0.04	-0.03	-0.08	-0.03
	Pendiente	-0.15	-0.15	-0.17	0.01	-0.03	-0.03	0.08	0.04	0.05
Distancias	Camino	-0.16	-0.15	-0.21	0.02	-0.09	-0.08	0.03	0.06	0.10
	Carreteras	-0.34	-0.31	-0.30	0.04	0.00	0.04	0.05	0.21	0.19
	Localidades	-0.36	-0.30	-0.32	0.08	-0.04	0.03	0.05	0.23	0.21
	Loc. Urbanas	-0.01	-0.02	0.00	-0.01	0.03	0.01	-0.08	0.05	0.04
Población	1999	0.05	0.08	0.08	0.04	0.00	0.04	-0.09	-0.06	-0.08
	2003	0.04	0.07	0.07	0.05	0.00	0.04	-0.09	-0.06	-0.08
	2010	0.04	0.07	0.06	0.05	-0.01	0.03	-0.08	-0.06	-0.08
	Δ 1999 a 2003	-0.04	-0.01	-0.03	0.05	-0.03	0.02	-0.02	-0.04	-0.03
	Δ 2003 a 2010	-0.02	0.01	-0.02	0.05	-0.03	0.01	-0.03	-0.06	-0.05
	Δ 1999 a 2010	-0.03	0.00	-0.02	0.05	-0.03	0.01	-0.03	-0.05	-0.04
	Δ 1999 a 2010 (%)	0.01	0.04	0.00	0.04	-0.05	-0.02	0.01	-0.08	-0.04
	Δ 1999 a 2010 (m)	-0.04	-0.01	-0.03	0.05	-0.03	0.02	-0.02	-0.04	-0.03
Vulnerabilidad	-0.01	0.02	0.00	0.05	-0.03	0.02	-0.12	0.01	0.00	
Masculinidad	1999	0.07	0.12	0.10	0.07	-0.02	0.04	-0.03	-0.09	-0.06
	2003	0.07	0.11	0.10	0.07	-0.02	0.04	-0.04	-0.09	-0.06
	2010	0.03	0.07	0.04	0.06	-0.04	0.02	-0.07	-0.07	-0.05
	Δ 1999 a 2003	-0.07	-0.07	-0.05	0.00	0.02	0.01	-0.05	0.03	0.01
	Δ 2003 a 2010	-0.11	-0.10	-0.10	0.01	0.00	0.01	0.00	0.07	0.08
	Δ 1999 a 2010	-0.10	-0.09	-0.08	0.01	0.01	0.01	-0.02	0.06	0.06
	Δ 1999 a 2010 (%)	-0.11	-0.10	-0.09	0.00	0.01	0.01	-0.02	0.06	0.05
	Δ 1999 a 2010 (m)	-0.07	-0.07	-0.05	0.00	0.02	0.01	-0.05	0.03	0.01

Tabla 22 Matriz de correlaciones para el muestreo del 10% de celdas hexagonales. Tonos rojos indican correlaciones positivas, y los tonos azules relaciones inversas.

		Índice Fragmentación Reticular (IFR)			Tasa Cambio Anual (TCA)			Proporción de destitución		
		1999	2003	2010	1999-2003	2003-2010	1999-2010	1999-2003	2003-2010	1999-2010
Topografía	Altitud	-0.10	-0.01	0.02	0.15	0.04	0.16	-0.08	0.07	0.02
	Curvatura	-0.07	-0.03	-0.07	0.07	-0.06	0.00	-0.06	0.00	0.03
	Orientación	0.01	0.07	-0.03	0.10	-0.14	-0.05	0.01	-0.11	-0.04
	Pendiente	-0.15	-0.14	-0.18	0.01	-0.06	-0.05	0.07	0.02	0.05
Distancias	Camino	-0.15	-0.16	-0.25	-0.01	-0.13	-0.13	0.04	0.09	0.10
	Carreteras	-0.38	-0.32	-0.34	0.09	-0.04	0.04	0.04	0.17	0.19
	Localidades	-0.40	-0.35	-0.36	0.08	-0.02	0.04	0.07	0.25	0.23
	Loc. Urbanas	0.05	0.01	0.01	-0.06	0.01	-0.04	-0.11	0.06	0.04
Población	1999	0.03	0.05	0.07	0.02	0.03	0.04	-0.10	-0.08	-0.10
	2003	0.03	0.05	0.07	0.02	0.03	0.05	-0.11	-0.08	-0.10
	2010	0.03	0.04	0.06	0.02	0.03	0.05	-0.11	-0.08	-0.11
	Δ 1999 a 2003	-0.02	0.01	0.04	0.03	0.04	0.07	-0.08	-0.06	-0.07
	Δ 2003 a 2010	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	-0.11	-0.08	-0.10
	Δ 1999 a 2010	0.00	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04	-0.10	-0.07	-0.09
	Δ 1999 a 2010 (%)	0.03	-0.02	-0.03	-0.08	-0.02	-0.08	0.02	0.04	0.02
	Δ 1999 a 2010 (m)	-0.02	0.01	0.04	0.03	0.04	0.07	-0.08	-0.06	-0.07
Vulnerabilidad	-0.04	0.08	0.03	0.19	-0.06	0.10	-0.17	-0.09	-0.04	
Masculinidad	1999	0.08	0.07	0.07	-0.02	0.00	-0.02	-0.04	0.01	-0.01
	2003	0.08	0.06	0.06	-0.03	0.00	-0.02	-0.04	0.02	-0.01
	2010	0.02	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.04	-0.06	0.02	0.01
	Δ 1999 a 2003	-0.08	-0.10	-0.11	-0.03	-0.01	-0.04	-0.02	0.03	0.02
	Δ 2003 a 2010	-0.15	-0.15	-0.16	-0.01	-0.01	-0.02	0.04	0.07	0.10
	Δ 1999 a 2010	-0.13	-0.14	-0.14	-0.02	-0.01	-0.03	0.02	0.06	0.07
	Δ 1999 a 2010 (%)	-0.14	-0.15	-0.16	-0.02	-0.01	-0.03	0.00	0.05	0.06
	Δ 1999 a 2010 (m)	-0.08	-0.10	-0.11	-0.03	-0.01	-0.04	-0.02	0.03	0.02

relación con la situación económica del asentamiento, ya que un incremento en la migración (decremento en índice de masculinidad) suele ser indicador de condiciones económicas adversas, derivando en una mayor presión sobre los recursos naturales locales.

Considerando los tres factores con valores de correlación más alto (distancia a localidades y carreteras, y pendiente), se aprecia que esa relación es más fuerte con el IFR de 1999, situación que se replica al realizar el análisis de correlación múltiple. Tomando el índice de fragmentación para 1999, los valores de R^2 para las regresiones lineales simples de los factores mencionados son 0.16, 0.14, y 0.02 respectivamente, una comparación con la R^2 de la regresión múltiple con un valor de 0.23, indica que estos elementos del paisaje interactúan de manera complementaria y en su conjunto explican el 23% de las variaciones en la fragmentación forestal. Todos los valores de ajuste de regresión lineal simple y múltiple son estadísticamente significativos con un valor de p menor a 0.01.

5.2.1.2 Efectos sobre la dinámica de fragmentación

Retomando ahora la dinámica de la fragmentación por medio de las Tasas de Cambio Anual (TCA), observamos que los mayores valores de correlación suelen presentarse durante el periodo 1999 a 2003, que corresponde a los mayores procesos de deforestación en la RBMM y por tanto se registran más cambios en el índice de fragmentación.

En todas las tasas de cambio los valores de correlación son muy leves, ninguno alcanza el valor r absoluto de 0.2, aun así hay patrones discernibles, tal es el caso de las variables topográficas y en particular la altitud, de nuevo destacando el periodo 1999-2003 donde este factor presenta una correlación de 0.15, una relación positiva indicando una mayor fragmentación asociada a mayores alturas. Situación debida probablemente a que las especies de árboles con importancia económica (pino y oyamel) se localizan en los estratos altitudinales mayores.

La influencia de las variables de población sobre la dinámica de fragmentación es muy baja, ninguna supera el valor absoluto de $r = 0.1$, a excepción de la vulnerabilidad social que presenta una correlación de 0.19 en el periodo 1999-2003. Una relación positiva, que indica una mayor fragmentación del bosque donde la vulnerabilidad también es mayor, escenario que podría estar acompañado de condiciones económicas adversas, haciendo susceptible esta población a ser influenciada por poderes socio-políticos externos en caso de un debilitamiento de su estructura organizativa, como fue el caso de algunos predios durante la expansión de la RBMM en el año 2000 (Merino, 2004).

La baja intensidad de relación entre los valores de TCA y los factores explicativos también se ve reflejada en los análisis de regresión múltiple, que para este caso sólo considero la interacción de dos variables: altitud y vulnerabilidad social. Sin embargo, el valor de ajuste R^2 resulto de 0.05, aunque con significancia estadística ($p < 0.01$), indicando que estos factores en su conjunto solamente explican el 5% de la variación en las tasas de cambio anual.

En lo que respecta a la proporción de destitución, para el periodo 1999-2003 las correlaciones son muy bajas, únicamente destaca la relación con la vulnerabilidad con una r de -0.17, evidenciando que en los lugares con mayor vulnerabilidad los cambios de cobertura forestal suelen ser dominados por la pérdida de esta.

Para los otros dos periodos (2003-2010 y 1999-2010), las relaciones más importantes ocurren con las distancias a carreteras y localidades, cuya relación es positiva, por lo que se puede decir que los cambios que ocurren más alejados de estos elementos, suelen ser reconfiguraciones espaciales de la cobertura del bosque.

Retomando los tres factores explicativos con mayor influencia en la proporción de destitución (distancia a carreteras y localidades, y vulnerabilidad social), la regresión múltiple presenta una R^2 de 0.1 ($p < 0.1$), indicando que estas

variables en conjunto explican aproximadamente el 10% en la variación de la proporción de destitución.

5.2.2 Elementos del paisaje cuantificados como variables discretas

5.2.2.1 Efectos sobre la fragmentación

En la tabla 23 se reportan los resultados de las pruebas Wilcoxon y Kruskal-Wallis, así como el valor de ajuste de los ANDEVAs que determinan los efectos de las variables explicativas categóricas sobre los valores del IFR. En dicha tabla se puede notar que prácticamente todos los factores tienen efectos significativos, con excepción de los estados, sin embargo sólo las delimitaciones de predios y microcuencas presentan valores de ajuste considerables, a continuación se describen los efectos de estos dos factores sobre los valores extremos de fragmentación:

Tabla 23 Valor p de las pruebas Wilcoxon y Kruskal-Wallis, y valor de ajuste de los análisis de varianza (ANDEVA), para los IFR de cada año. Asteriscos () indican diferencias significativas.*

Factor	IFR 1999		IFR 2003		IFR 2010	
	Valor p	R ²	Valor p	R ²	Valor p	R ²
Zona RBMM	< 0.001*	0.03	< 0.001*	0.01	< 0.001*	0.01
Predio	< 0.001*	0.26	< 0.001*	0.29	< 0.001*	0.28
Tenencia	< 0.001*	0.01	< 0.001*	0.01	< 0.001*	0.03
Estado	0.5	0.00	0.29	0.00	0.02*	0.00
Municipio	< 0.001*	0.09	< 0.001*	0.14	< 0.001*	0.11
Cuenca	< 0.001*	0.29	< 0.001*	0.32	< 0.001*	0.34

Durante 1999 se presentan nueve predios con categoría de fragmentación muy alta, con valores IFR de mayor a menor: Pueblo de Angangueo, Angangueo (Ampliación), Cuesta del Carmen, Hervidero y Plancha (Ampliación), Villa de Allende (Dotación), El Gavilán, Hervidero y Plancha, San Jerónimo Pilitas, y La Mesa (Dotación y Ampliación). Así como 26 predios con fragmentación muy baja, de los cuales destacan por tener valores promedio IFR de seis o menores, y con orden ascendente: San José Ixtapa, Pueblo Nuevo Solís, Cañada Seca, San José Corrales, La Palma, Tupataro, Cerritos Cárdenas, Jesús de Nazareno, y

Curungueo. En la figura 24 se muestran los niveles de fragmentación por cada uno de los predios de la RBMM en el año 1999.

En ese mismo año hay 11 microcuencas con valores IFR muy altos, por valores de fragmentación descendente: La Cañada, El Paso, Palo Seco, Crescencio Morales 3, Laguna Seca, Crescencio Morales 5 y 2, Rameje, Crescencio Morales 4, Palo Amarillo, y El Cardaro. Por otro lado se presentan 20 microcuencas con fragmentación muy baja, de los cuales destacan diez por tener valores IFR de nueve o menores, índice de fragmentación ascendente: La Suerte, Pancho Maya, San Jerónimo, Los Ailes, El Chivati 3, La Palma, Agua Caliente, Rosa Azul, San Bartolomé, y Los Saucos. En la figura 25 se ilustran los niveles de IFR por microcuenca para el año 1999.

Para el año 2003 los predios con fragmentación muy alta incrementan a 14, por valores IFR descendente son: Hervidero y Plancha (Ampliación), Anganguero (Ampliación), Francisco Serrato, Rancho Verde (Ampliación - Litigio), Emiliano Zapata, Pueblo de Anganguero, El Asoleadero (Dotación), Litigio 1, Santa Ana, Cuesta del Carmen, El Rosario (Ampliación - Litigio), Hervidero y Plancha, Anganguero (Dotación), y Villa de Allende (Dotación). El número de predios con fragmentación muy baja disminuye a 16, destacando los diez menos fragmentados y con valores IFR ascendente: San Jose Ixtapa, Pueblo Nuevo Solís, Cañada Seca, Mesas Altas Xoconusco, Tupataro, Cerritos Cárdenas, San Jerónimo Pilitas, La Palma, Los Saucos, y Chincua. En la figura 26 se exponen los grados de fragmentación por cada predio.

Considerando el mismo año, se registran 20 microcuencas con fragmentación muy alta, nueve más que en 1999, destacamos las diez cuencas más fragmentadas, y en orden IFR descendente: La Cañada, Crescencio Morales 8, El Paso, Palo Seco, Crescencio Morales 3 y 4, Laguna Seca, y Crescencio Morales, 5, 6, y 7. Así como 18 microcuencas con muy baja fragmentación, dos menos que en 1999, resaltamos las diez menos fragmentadas, con valores IFR ascendente: Pancho Maya, La Suerte, San Jerónimo, Rosa Azul, Los Ailes, Santa

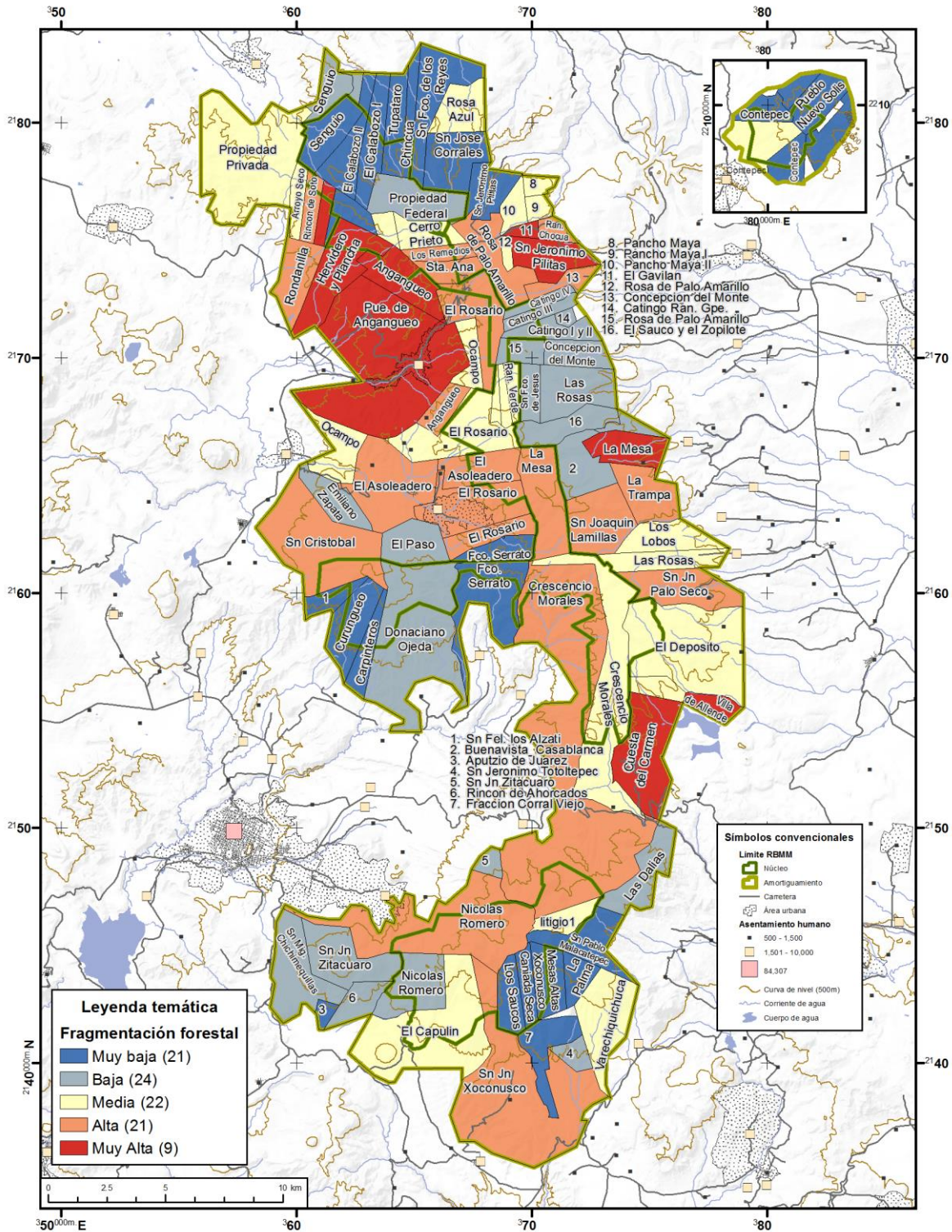


Fig. 24 Intensidad de fragmentación forestal por predio durante el año 1999.

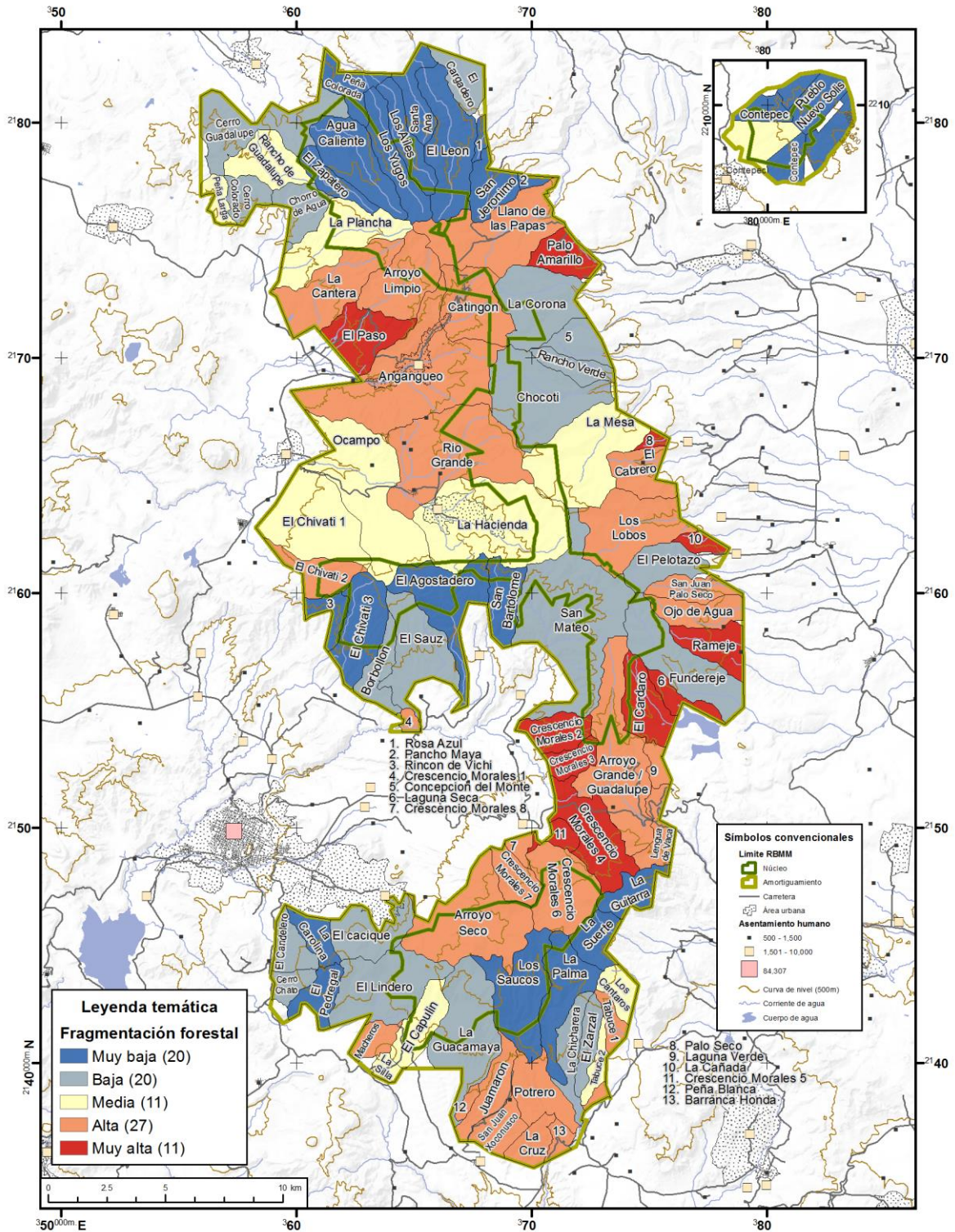


Fig. 25 Intensidad de fragmentación forestal por microcuenca durante el año 1999.

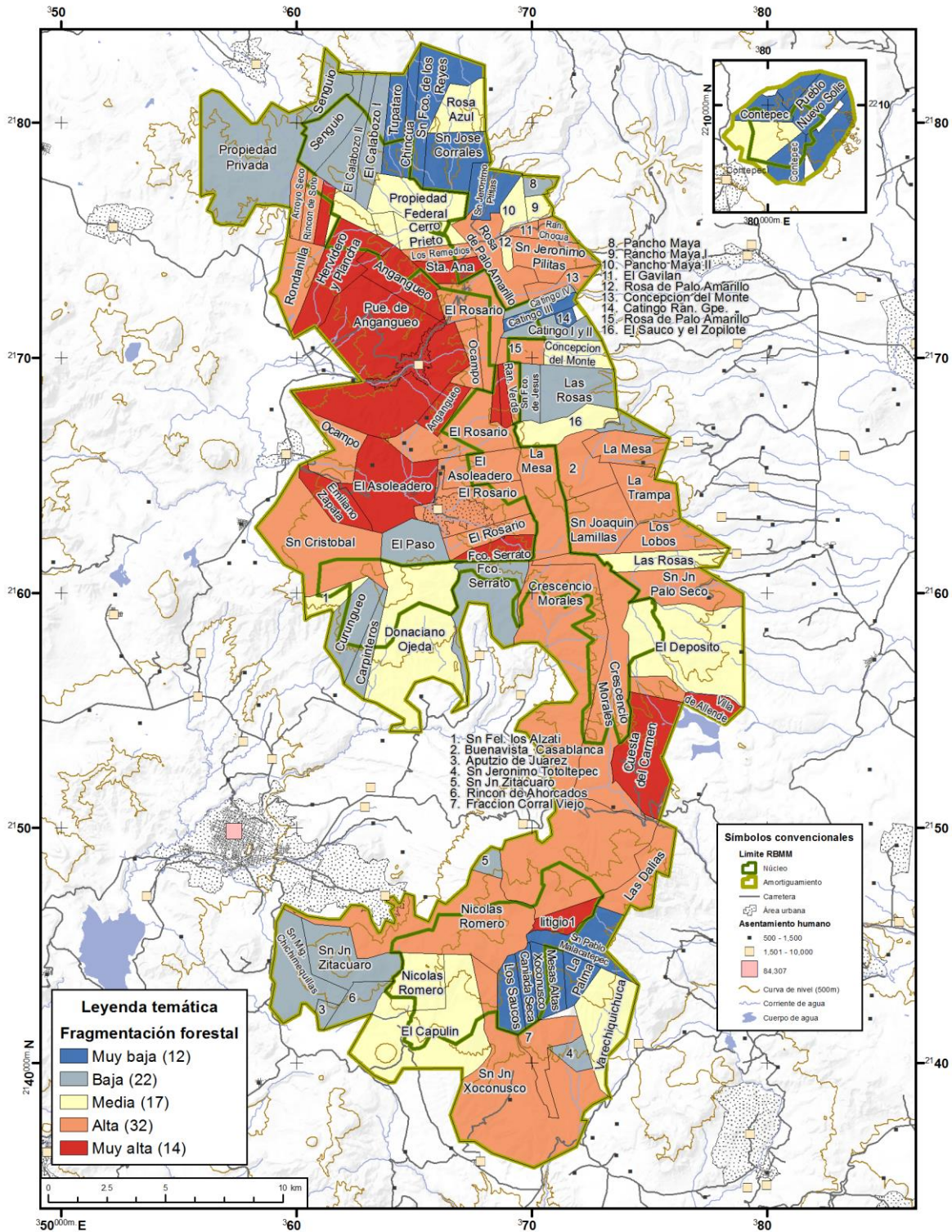


Fig. 26 Intensidad de fragmentación forestal por predio durante el año 2003.

Ana, La Palma, Los Saucos, El Chivati 3, y San Bartolomé. En la figura 27 se presentan los niveles de fragmentación por cada microcuenca en el año 2003.

Pasando ahora al año 2010, se siguen teniendo 14 predios con muy alta fragmentación, por valores IFR descendente son: Francisco Serrato, Rancho Verde (Ampliación – Litigio), Pueblo de Angangueo, El Rosario (Ampliación – Litigio), Angangueo (Ampliación), Cuesta del Carmen, Hervidero y Plancha (Ampliación), Litigio 1, Villa de Allende (Dotación), La Mesa (Ampliación), Crescencio Morales, La Mesa (Dotación y Ampliación), El Gavilán, y Santa Ana. El número de predios con muy baja fragmentación incrementa a 17, sin embargo siguen siendo nueve menos que en 1999, destacando los diez menos fragmentados y por valores IFR ascendentes son: San José Ixtapa, Cañada Seca, Los Saucos, Pueblo Nuevo Solís, Mesas Altas Xoconusco, Cerrito Cárdenas, La Palma, Tupataro, San José Corrales, y San Pablo Malacatepec. En la figura 28 se muestran los niveles de fragmentación por cada uno de los predios de la RBMM en el año 2010.

Durante este mismo año, el número de cuencas con fragmentación muy alta disminuye a 13, aunque siguen siendo dos más que en 1999, se enlistan por valor IFR descendente: La Cañada, El Paso, Crescencio Morales 3, Palo Seco, La Cruz, Laguna Seca, San Juan Xoconusco, Arroyo Grande / Guadalupe, El Cardaro, Crescencio Morales 2, Rameje, Crescencio Morales 8, y Arroyo Limpio. Por otro lado, las microcuencas muy poco fragmentadas incrementan a 19, una menos que en 1999, siendo las diez menos fragmentadas y con valores IFR ascendentes: La Suerte, La Palma, Pancho Maya, Los Saucos, El Chivati 3, Los Ailes, Peña Larga, Cerro Colorado, Agua Caliente, y San Jerónimo. En la figura 29 se ilustran los niveles de IFR por microcuenca para el año 2010.

Dada la importancia de la delimitación de predios como un factor explicativo de la fragmentación, y su naturaleza de unidad para la gestión de políticas de conservación, en la tabla 24 se presentan para cada año los predios con nivel de fragmentación muy alto, los cuales están ordenados de manera

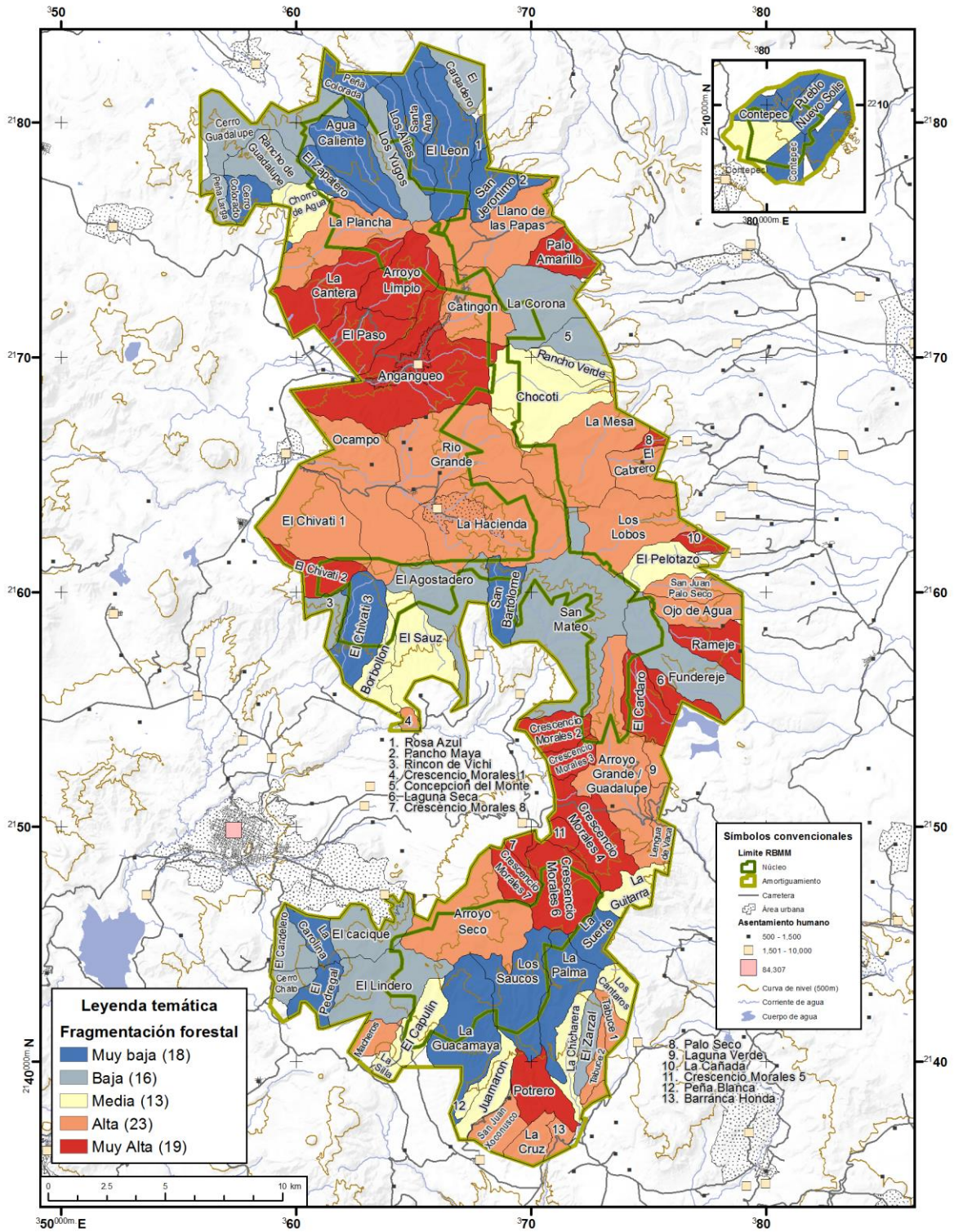


Fig. 27 Intensidad de fragmentación forestal por microcuenca durante el año 2003.

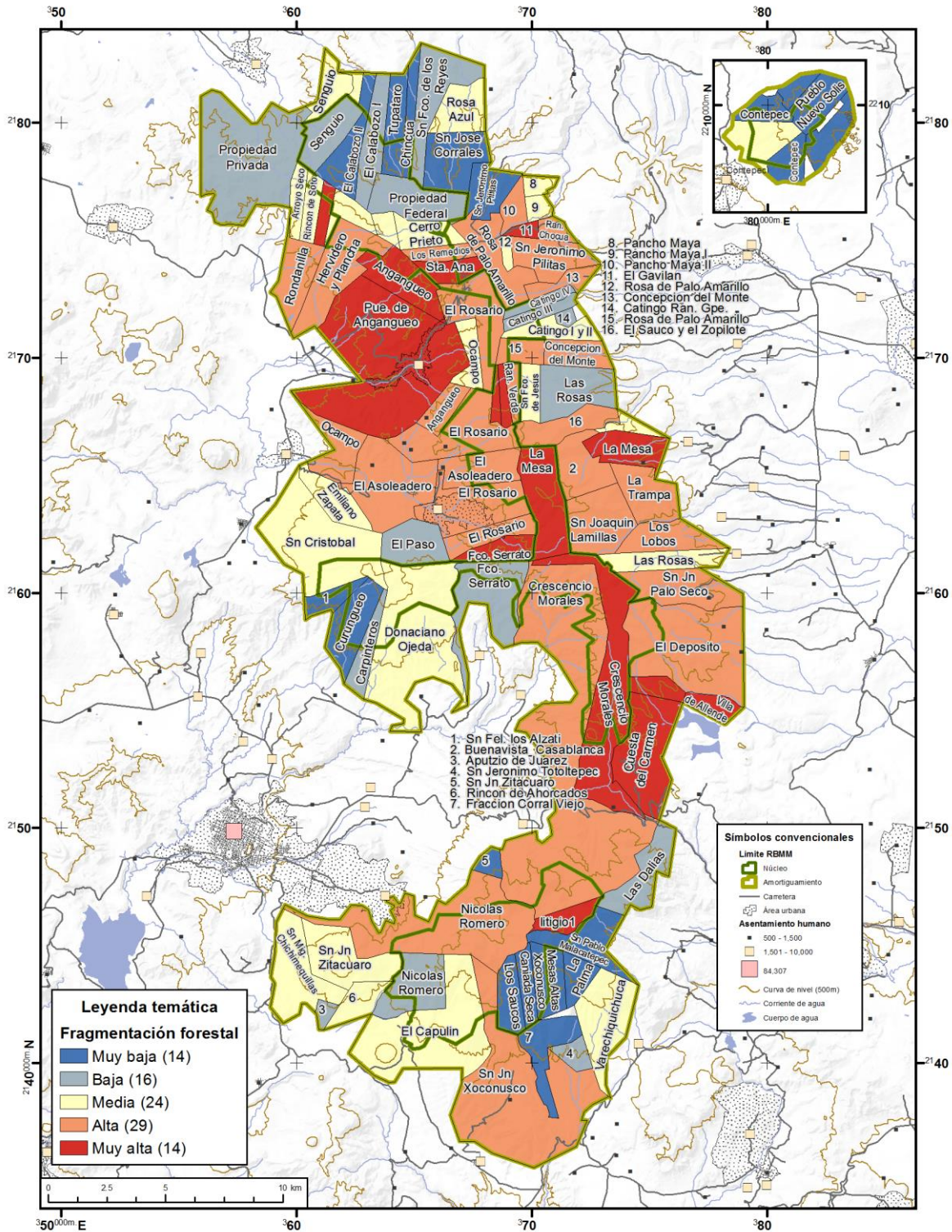


Fig. 28 Intensidad de fragmentación forestal por predio durante el año 2010.

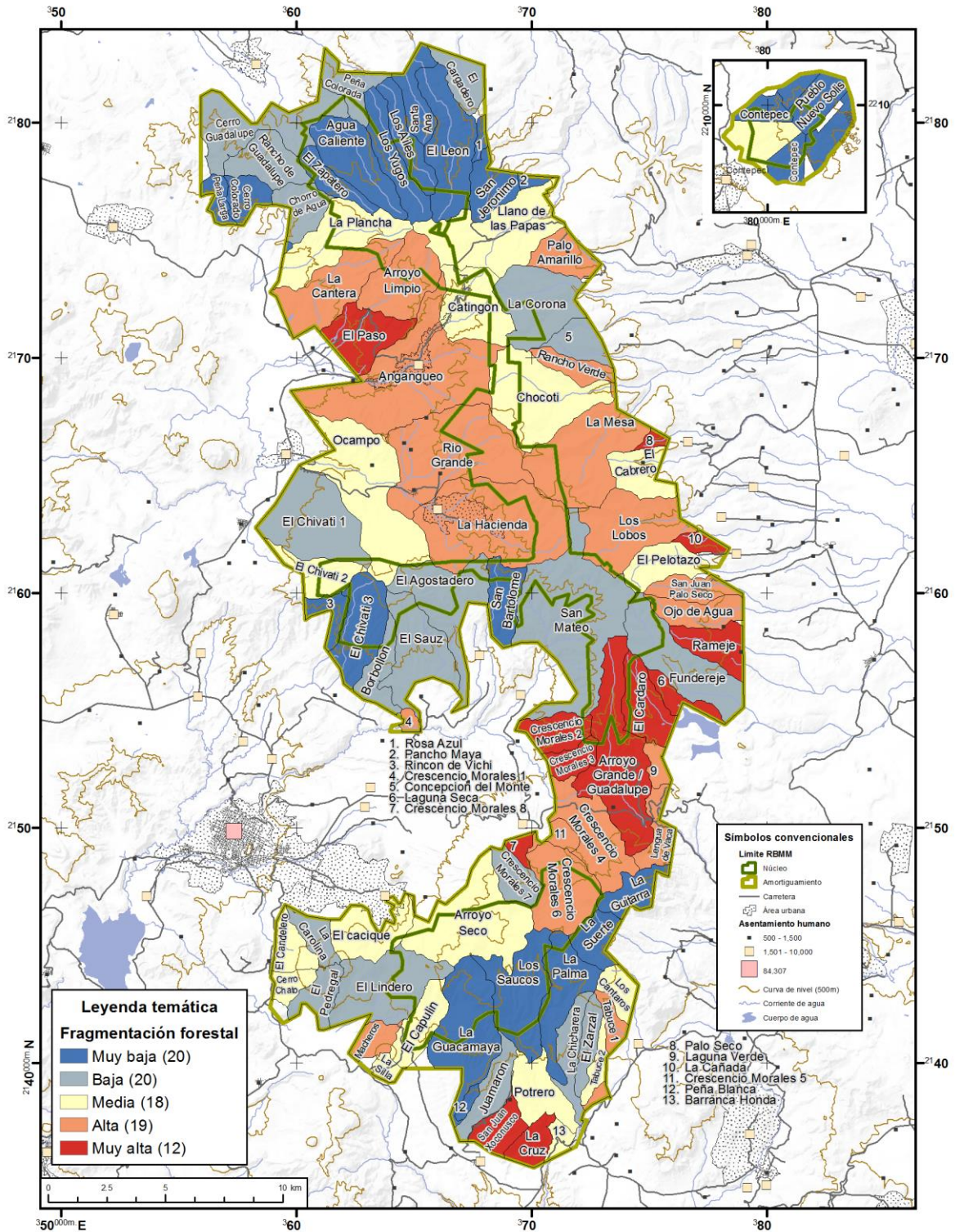


Fig. 29 Intensidad de fragmentación forestal por microcuenca durante el año 2010.

descendente en cuanto sus valores del IFR, lo que permite apreciar las tendencias de dichos predios en cuanto a disminuir o aumentar su grado de fragmentación. Y en el apéndice 1, se pueden consultar los valores promedio del IFR de cada año para cada uno de los predios, así como las medias por tipo de tenencia, municipio, y estado.

Tabla 24 Predios con mayor nivel de fragmentación para cada año.

Posición	Predios con fragmentación muy alta (IFR descendente)		
	1999	2003	2010
1	Pueblo de Angangueo	Hervidero y Plancha (Ampliación)	Francisco Serrato
2	Angangueo (Ampliación)	Angangueo (Ampliación)	Rancho Verde (Ampliación – Litigio)
3	Cuesta del Carmen	Francisco Serrato	Pueblo de Angangueo
4	Hervidero y Plancha (Ampliación)	Rancho Verde (Ampliación - Litigio)	El Rosario (Ampliación – Litigio)
5	Villa de Allende (Dotación)	Emiliano Zapata	Angangueo (Ampliación)
6	El Gavilán	Pueblo de Angangueo	Cuesta del Carmen
7	Hervidero y Plancha	El Asoleadero (Dotación)	Hervidero y Plancha (Ampliación)
8	San Jerónimo Pilitas	Litigio 1	Litigio 1
9	La Mesa (Dotación y Ampliación)	Santa Ana	Villa de Allende (Dotación)
10	-	Cuesta del Carmen	La Mesa (Ampliación)
11	-	El Rosario (Ampliación -Litigio)	Crescencio Morales
12	-	Hervidero y Plancha	La Mesa (Dotación y Ampliación)
13	-	Angangueo (Dotación)	El Gavilán
14	-	Villa de Allende (Dotación)	Santa Ana

5.2.2.2 Efectos sobre la intensidad de cambio en la fragmentación

En la tabla 25 se presentan los resultados de las pruebas Wilcoxon y Kruskal-Wallis, así como el valor de ajuste de los ANDEVAs que determinan los efectos de las variables explicativas categóricas sobre las tasas de cambio anual (TCA). En dicha tabla se puede notar que nuevamente todos los factores tienen efectos estadísticamente significativos, con excepción de los estados durante el periodo 1999-2003, sin embargo sólo las delimitaciones de predios y microcuencas presentan valores de ajuste mayores al resto, aunque nunca rebasando el valor de R^2 de 0.15, a continuación se describen los efectos de estos dos factores sobre los valores extremos de cambio en la fragmentación.

De manera similar al capítulo anterior, se establecen las intensidades de cambio según el valor de las TCA. Para estas delimitaciones territoriales se establecieron como cambios fuertes los que involucran una variación mayor a una unidad de IFR por año, los cambios leves consisten en variaciones de entre

0.2 y 0.99 unidades del índice de fragmentación por año, y las transiciones menores a 0.2 se consideran como no cambio.

*Tabla 25 Valor p de las pruebas Wilcoxon y Kruskal-Wallis, y valor de ajuste de los análisis de varianza (ANDEVA), para las tasas de cambio anual (TCA) de cada periodo. * Diferencia significativa*

Factor	TCA 1999-2003		TCA 2003-2010		TCA 1999-2010	
	Valor p	R ²	Valor p	R ²	Valor p	R ²
Zona RBMM	< 0.001*	0.01	0.052	0.00	0.006*	0.00
Predio	< 0.001*	0.15	< 0.001*	0.11	< 0.001*	0.08
Tenencia	< 0.001*	0.01	< 0.001*	0.02	< 0.001*	0.02
Estado	0.47	0.00	0.002*	0.00	0.01*	0.00
Municipio	< 0.001*	0.03	< 0.001*	0.03	< 0.001*	0.02
Cuenca	< 0.001*	0.11	< 0.001*	0.14	< 0.001*	0.12

Durante el periodo 1999 a 2003, 71 predios de la RBMM aumentan su nivel de fragmentación de los cuales, 42 presentan un incremento fuerte, y sólo diez predios disminuyen su grado de fragmentación (Fig. 30). Se destacan a los diez predios con mayor incremento en sus valores de IFR, en orden descendente: Francisco Serrato, Emiliano Zapata, Litigio 1, Fracción Corral Viejo, Rancho Verde (Ampliación – Litigio), El Rosario (Ampliación – Litigio), San Felipe los Alzati, Jesús de Nazareno, El Asoleadero (Dotación), y Las Dalias. De la misma manera, en este periodo 55 microcuencas incrementaron su fragmentación, de los cuales 35 lo hicieron de manera fuerte, mientras que solamente 10 microcuencas disminuyeron su grado fragmentado (Fig. 31). Destacando a las diez microcuencas con mayor aumento, y en orden descendente: Crescencio Morales 8, La Guitarra, Crescencio Morales 6, El Chivati 2, La Chicharera, Rincón de Vichi, El Agostadero, Rancho Verde, El Chivati y Ocampo.

Para el lapso 2003 a 2010 son 14 los predios que incrementan sus valores IFR, de los cuales sólo uno lo hace con una intensidad fuerte. Y 52 predios disminuyen su fragmentación, 18 de estos presentando un decremento fuerte (Fig. 32). Se subrayan a los diez predios con mayor intensidad de incremento en su índice de fragmentación, y en orden descendente: Contepec (Ampliación), Senguio (Ampliación), Crescencio Morales, San Miguel Chichimequillas, San Juan Zitácuaro, Pancho Maya II, Catingo Rancho Guadalupe, Concepción del

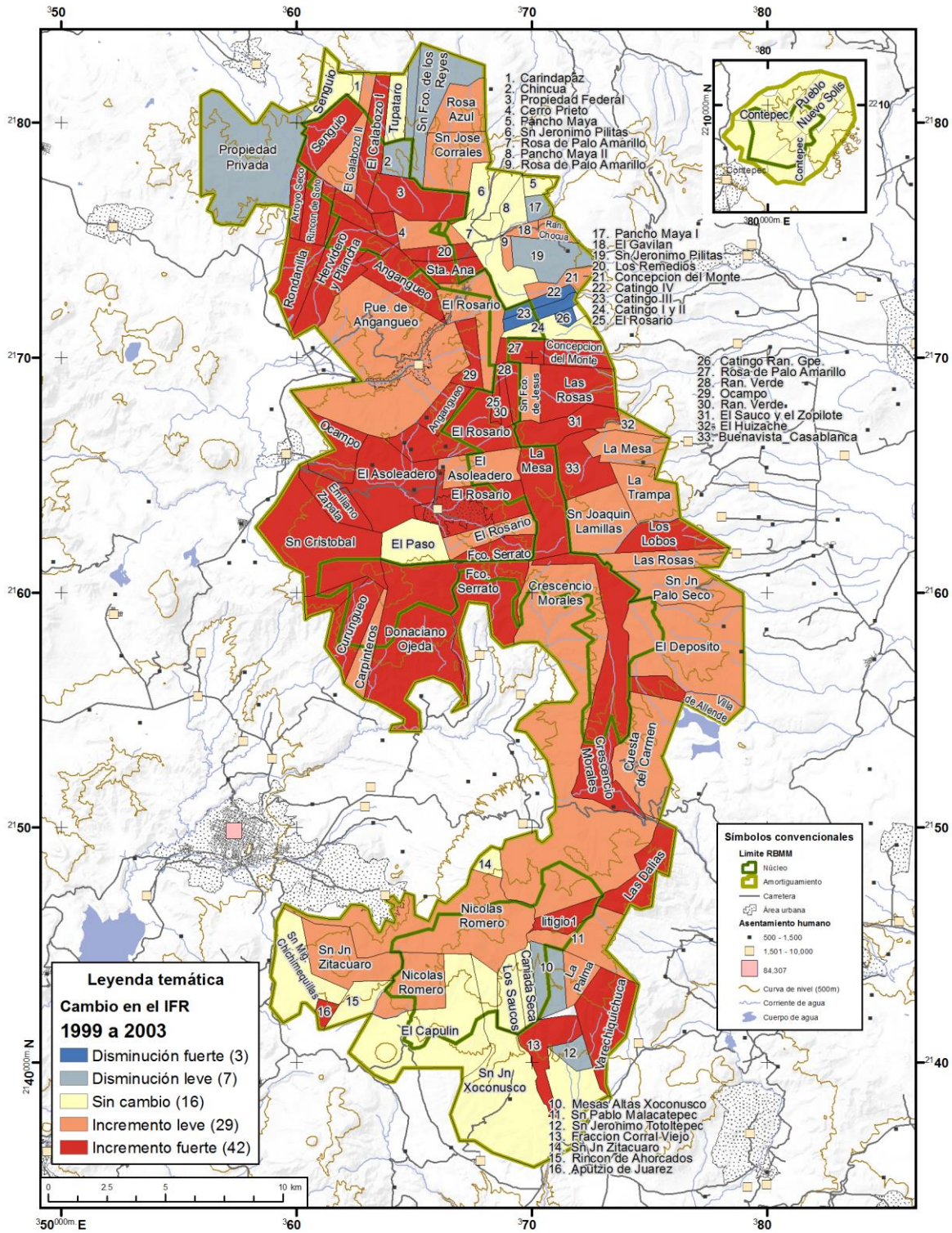


Fig. 30 Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por predio para el periodo 1999 a 2003.

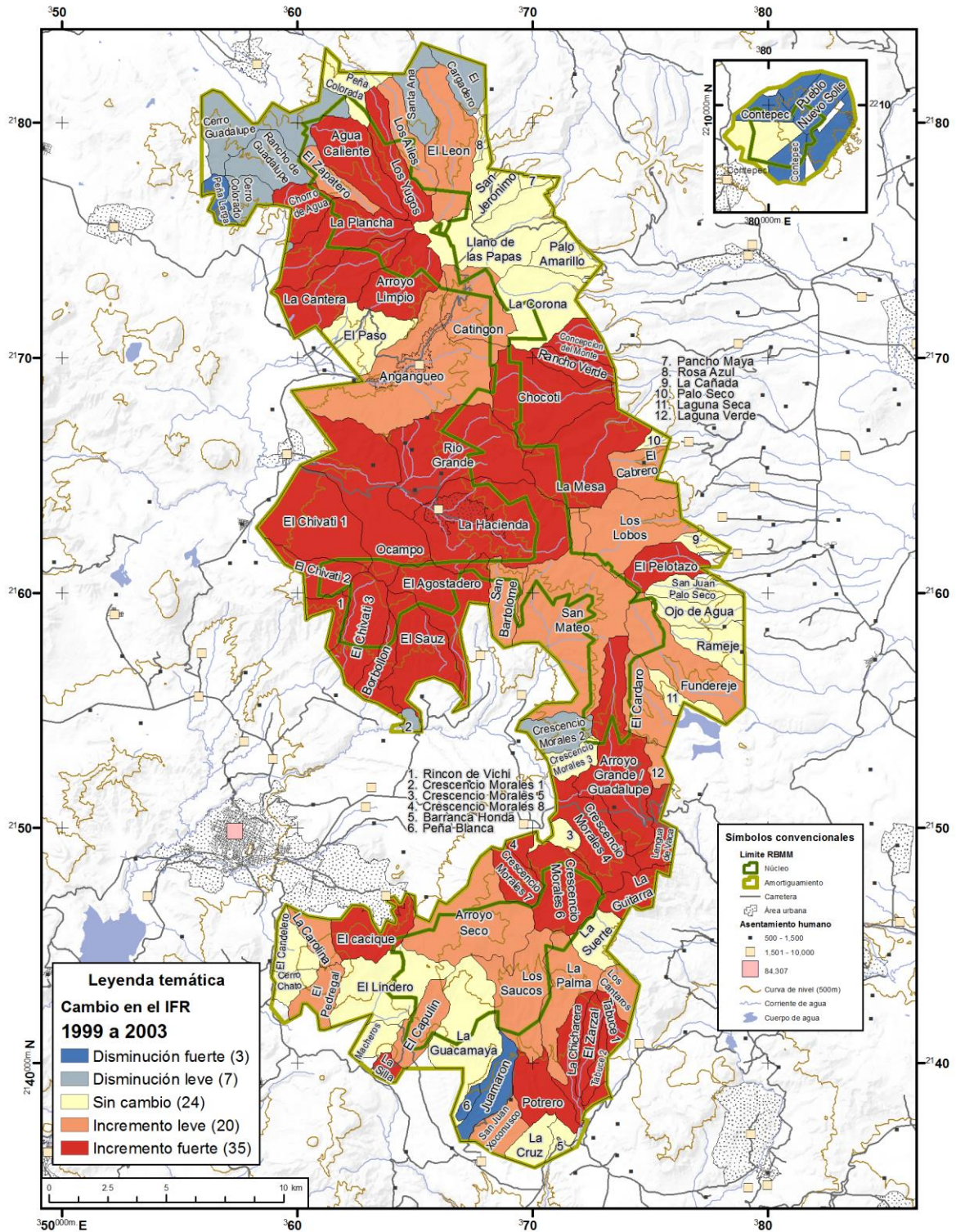


Fig. 31 Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por microcuencas para el periodo 1999 a 2003.

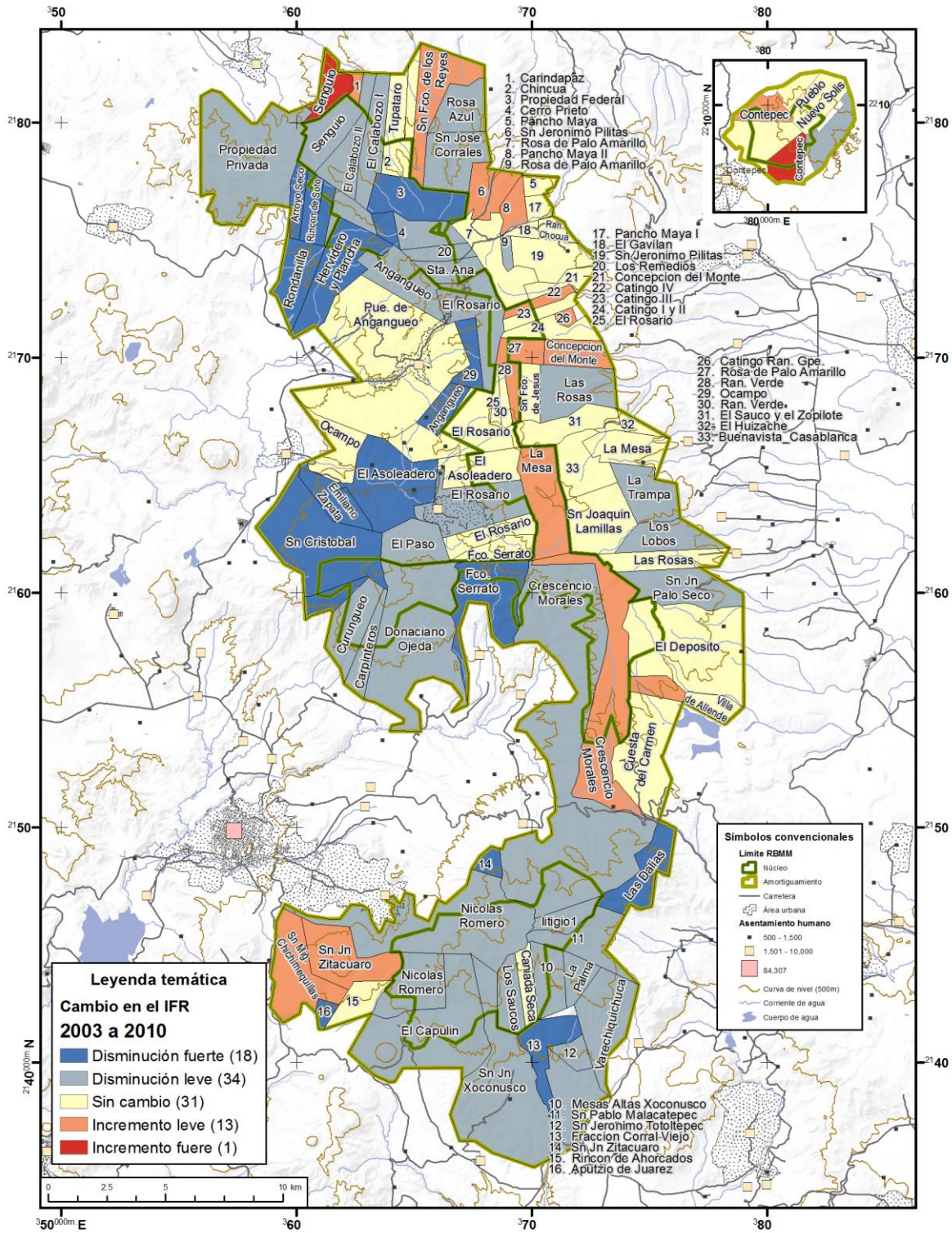


Fig. 32 Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por predio para el periodo 2003 a 2010.

Monte (Ampliación), Carindapaz, y La Mesa (Ampliación). Así mismo, son 15 las microcuencas que aumentan su IFR, dos de estas con un incremento fuerte, y 45 microcuencas disminuyen su nivel de fragmentación de las cuales 23 lo hace de manera fuerte (Fig. 33). Las diez microcuencas con mayor incremento en el IFR, y en orden descendiente, son: San Juan Xoconusco, La Cruz, El Pedregal, Peña Colorada, Cerro Chato, Arroyo Grande / Guadalupe, El Cacique, Rancho Verde, Santa Ana, y El Candelero.

Considerando el periodo completo, 1999 a 2010, tenemos que 26 predios incrementan su grado de fragmentación, y de estos, 8 la aumentan de manera fuerte. Mientras que 19 predios son los que disminuyen su nivel de fragmentación, y sólo uno de modo intenso (Fig. 34). Destacando a los diez predios con mayor aumento, y en orden descendente: Francisco Serrato, Rancho Verde (Ampliación – Litigio), El Rosario (Ampliación – Litigio), Litigio 1, Concepción del Monte (Ampliación), Rosa de Palo Amarillo, Buenavista Casablanca, Crescencio Morales, Jesús de Nazareno, y Rancho Verde. De este modo, 23 cuencas aumentan sus valores de IFR, de las cuales tres lo hacen de manera fuerte. Por otro lado 17 microcuencas son las que disminuyen su grado de fragmentación, cinco de modo intenso (Fig. 35). Las diez microcuencas con mayor intensidad de cambio, y en orden descendente son: Rancho Verde, San Juan Xoconusco, Arroyo Grande / Guadalupe, La Cruz, Crescencio Morales 8, El Cacique, El Pedregal, La Mesa, La Hacienda, y Chocoti.

En el apéndice 1, se pueden consultar los valores promedio de las tasas anuales de cambio para cada uno de los predios por periodo analizado, así como las medias por tipo de tenencia, municipio, y estado.

5.2.2.3 Efecto sobre las características del cambio en la fragmentación

Como se explica en el capítulo anterior, para caracterizar el cambio en los niveles de fragmentación se empleó el índice de proporción de destitución (P_y), y se delimitaron los tipos de cambio según el año correspondiente al valor máximo del IFR. Considerando que la métrica P_y resulta más relevante al analizar

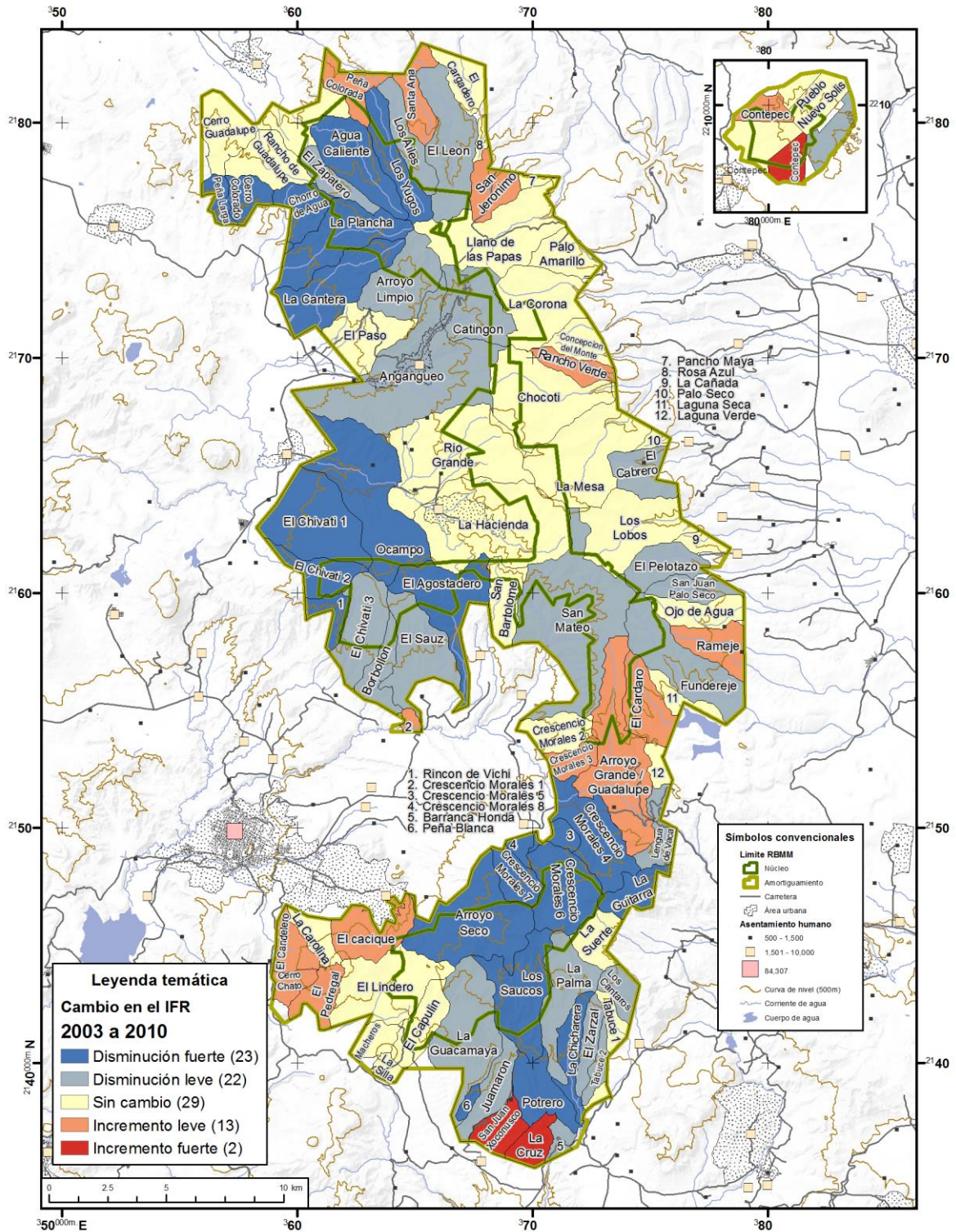


Fig. 33 Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por microcuenca para el periodo 2003 a 2010.

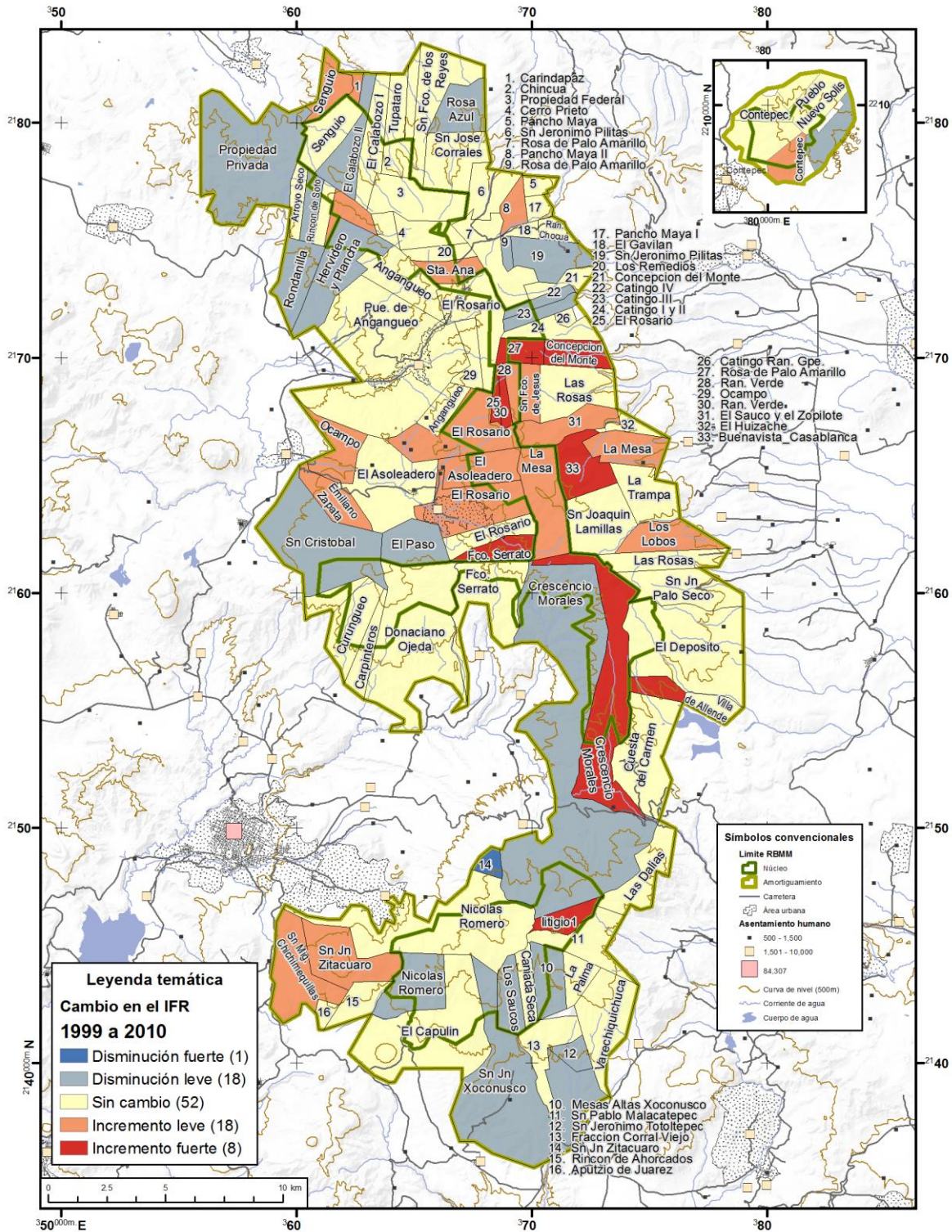


Fig. 34 Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por predio para el periodo 1999 a 2010.

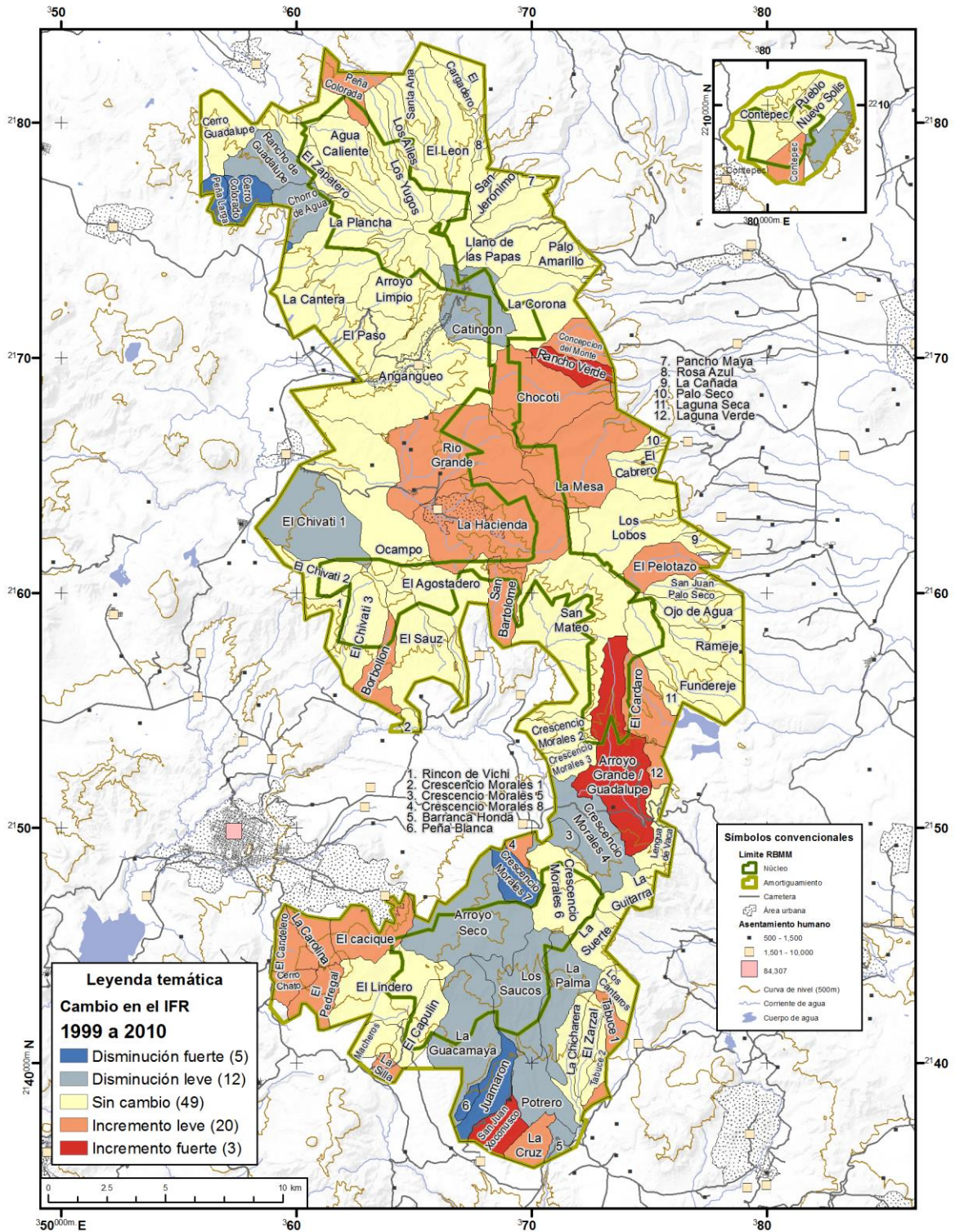


Fig. 35 Intensidad de cambio en el nivel de fragmentación por microcuenca para el periodo 1999 a 2010.

periodos de cambio largos, y que los tipos de cambio delimitados toman en cuenta los tres años en que se cuantifica el índice de fragmentación, resulto conveniente en esta sección enfocar la caracterización del cambio al periodo total 1999 a 2010.

Tomando como referencia la tabla 26, que muestra los efectos de las variables discretas sobre los valores de P_y , observamos que las únicas delimitaciones con valores de ajuste considerables son las de Predio y Microcuenca, con valores R^2 de 0.25 y 0.34 respectivamente.

Tabla 26 Valor p de las pruebas Wilcoxon y Kruskal-Wallis, y valor de ajuste de los análisis de varianza (ANDEVA), para las proporciones de destitución (P_y) de cada periodo.

Factor	P_y 1999-2003		P_y 2003-2010		P_y 1999-2010	
	Valor p	R^2	Valor p	R^2	Valor p	R^2
Zona RBMM	0.001*	0.00	0.001*	0.01	< 0.001*	0.01
Predio	< 0.001*	0.22	< 0.001*	0.18	< 0.001*	0.25
Tenencia	< 0.001*	0.02	< 0.001*	0.01	< 0.001*	0.01
Estado	0.24	0.00	< 0.001*	0.00	0.86	0.00
Municipio	< 0.001*	0.08	< 0.001*	0.07	< 0.001*	0.06
Cuenca	< 0.001*	0.24	< 0.001*	0.18	< 0.001*	0.34

Al momento de caracterizar el cambio por predio, desde la perspectiva de la proporción de destitución (Fig. 36), tenemos que durante el periodo cuantificado hubo 17 predios donde la dinámica fue predominantemente composicional, es decir el cambio en el nivel de fragmentación se debe principalmente a la disminución o aumento de la cobertura forestal. También se identificaron 16 predios con dinámica de cambio configuracional, en otras palabras, predios donde la variación del IFR está dada mayormente por un reacomodo de la superficie de bosque, ocasionando un incremento o decremento en la densidad de borde sin perder o ganar cobertura forestal de manera considerable. Sin embargo, en 63 predios no fue posible distinguir entre estas dinámicas de variación en la fragmentación.

Considerando los tipos de cambio delimitados en el capítulo anterior, tenemos que son tres los que dominan al considerar una delimitación por predio (Fig. 37). En primer lugar destaca el cambio 1-B que implica un nivel de

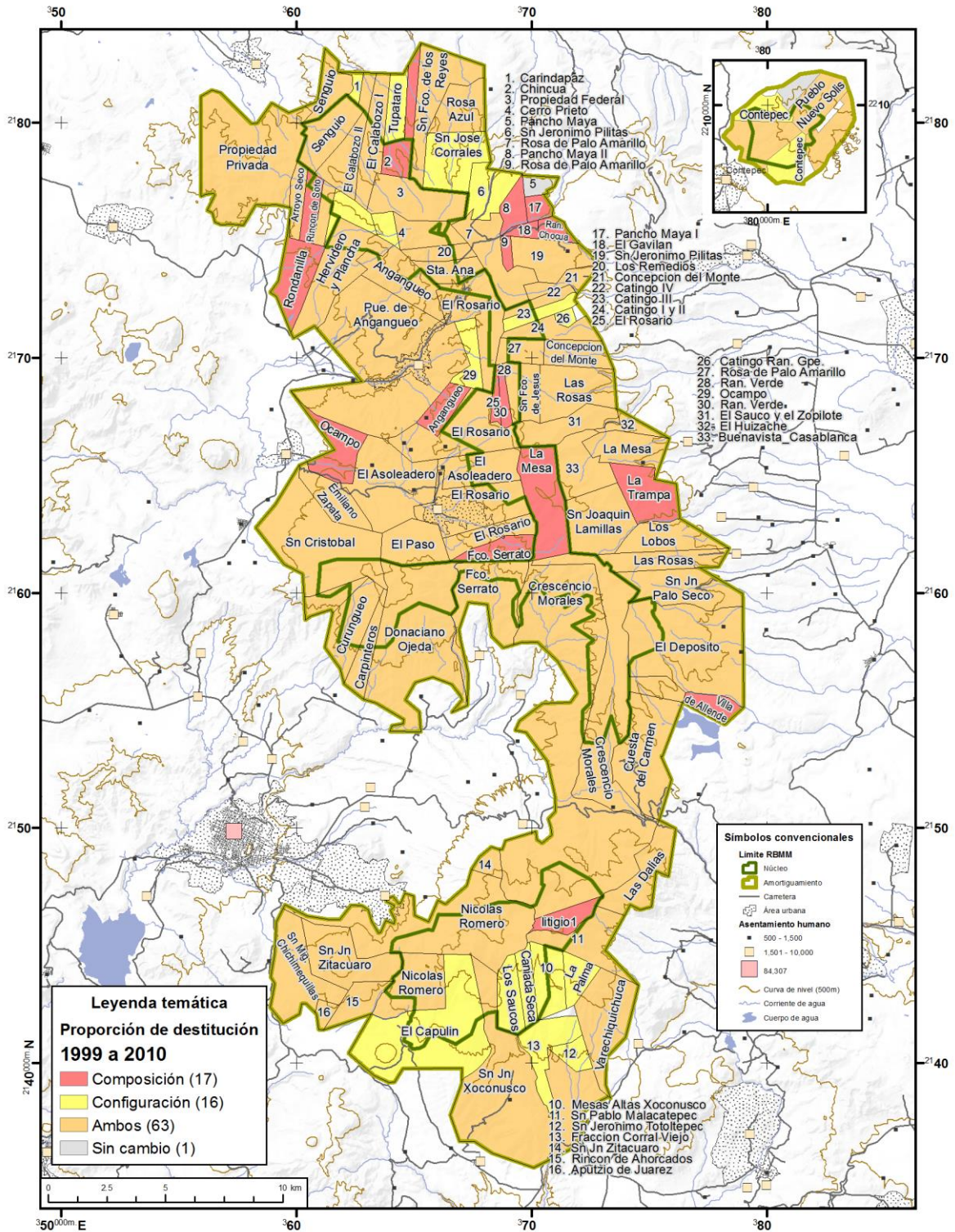


Fig. 36 Caracterización del cambio en la fragmentación mediante la proporción de destrucción (P_y) para cada predio en el periodo 1999 a 2010.

fragmentación máximo en 2003 se reduce de manera que para el 2010 sus niveles son inferiores a los presentes en 1999. A este le sigue el tipo de cambio 1-A, que de manera similar al anterior el IFR alcanza su valor mayor en 2003, sin embargo mantiene su nivel, o lo reduce de manera ligera sin recuperar la conectividad presente en 1999. El tercer tipo de cambio con mayor dominancia es el 2-A, que se define como un incremento constante en la fragmentación durante los tres años estudiados, alcanzando su máximo en 2010. Estas tres dinámicas de cambio se presentan en más del 80% de los predios de la RBMM, en el apéndice 1 se puede consultar el tipo cambio correspondiente a cada predio, categoría de tenencia, municipio y estado.

Pasando ahora a las características de cambio al delimitar la fragmentación por microcuencas, el índice de proporción por destitución nos indica que sólo en una microcuenca la variación del IFR se da principalmente en composición (predominio de ganancia o pérdida de cobertura forestal), y en 37 microcuencas la variación del grado de fragmentación se da mayormente por un reacomodo espacial del bosque (configuración), mientras que en 50 microcuencas ambos procesos de composición y configuración interactúan de manera relativamente equitativa (Fig. 38).

Bajo esta misma delimitación por microcuencas, el predominio de los tipos de cambio es muy similar al presente en los predios, donde el 79% de las microcuencas presentan dinámicas de tipo 1-B, 1-A, y 2-A, como se puede apreciar en la figura 39.

5.2.3 Delimitación cuantitativa de unidades de paisaje y su relación con la fragmentación

Como se mencionó al inicio de este capítulo, el primer paso en la delimitación cuantitativa de las unidades de paisaje consistió en concatenar los factores explicativos continuos. Durante el proceso de este método se incorpora el estadístico Pseudo-F, cuyos mayores valores indican soluciones que

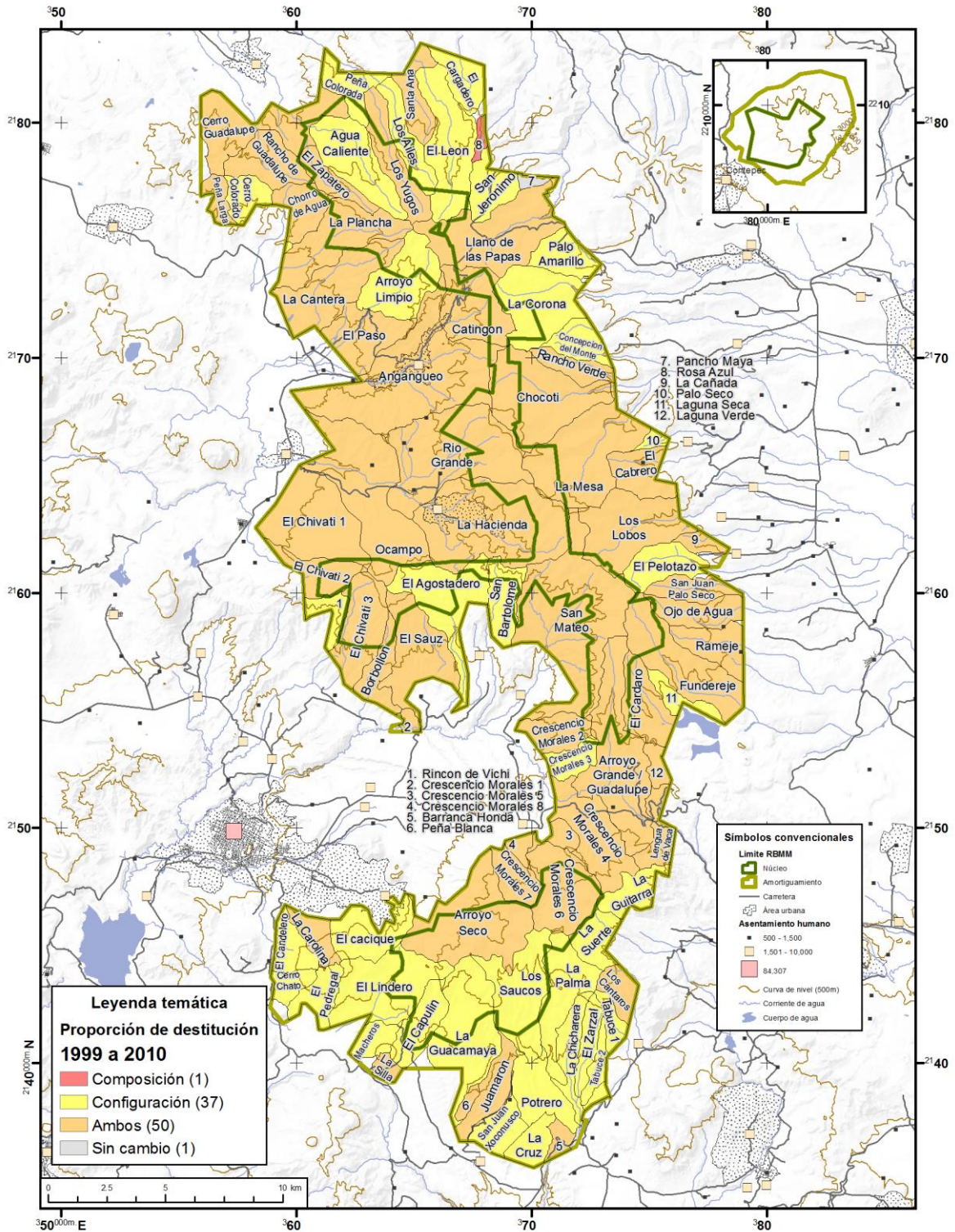


Fig. 38 Caracterización del cambio en la fragmentación mediante la proporción de destrucción (P_y) para cada microcuenca en el periodo 1999 a 2010.

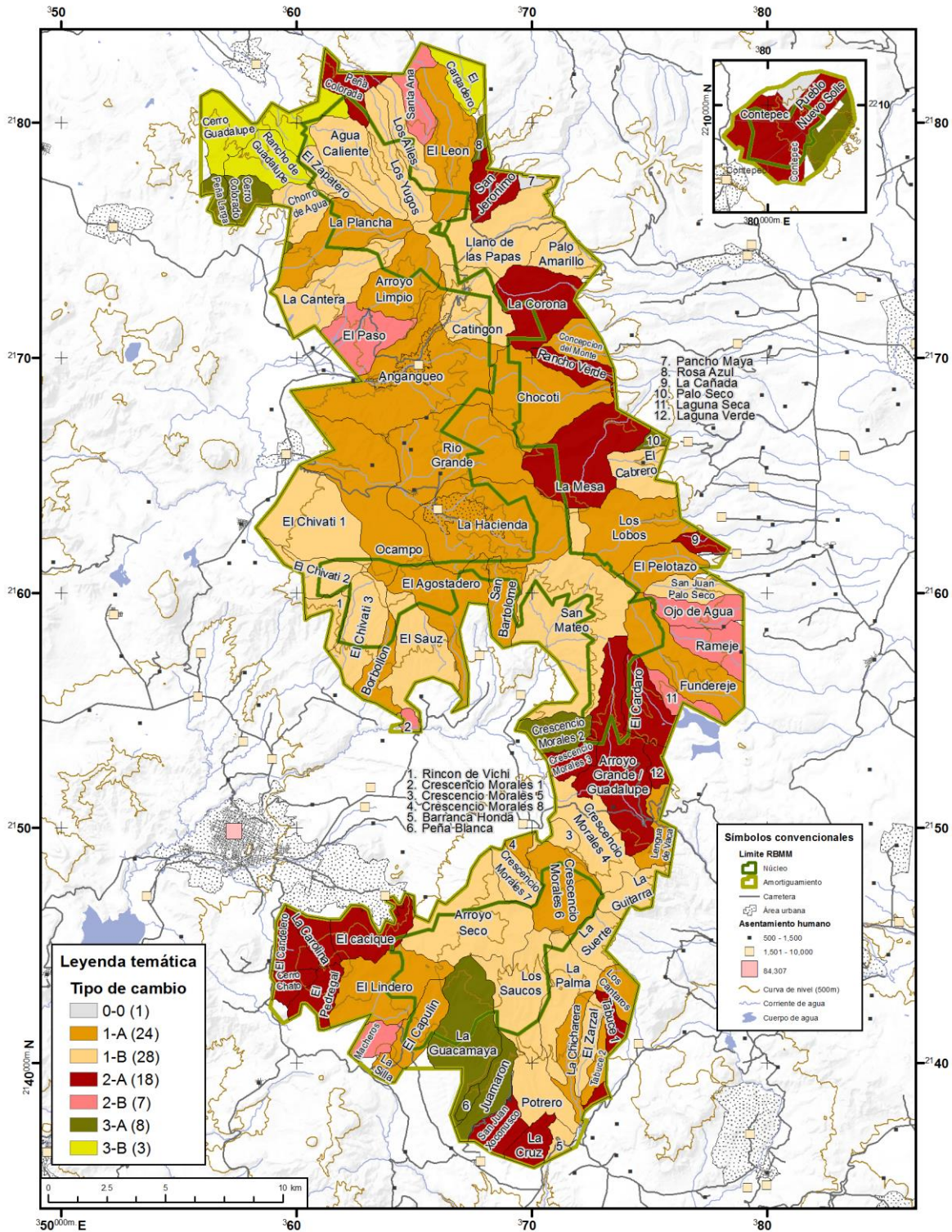


Fig. 39 Tipo de cambio (Dinámica trianual) de la fragmentación a nivel microcuenca.

maximizan la similitud intragrupal, así como la diferencia intergrupala. Para los factores considerado fue la agrupación en 12 unidades la que mostro el mayor valor de Pseudo-F.

Una vez incorporadas estas variables independientes continuas a una agrupación nominal, se integró con el resto de los factores discretos por medio de las K-Modas. En este caso el número máximo de categorías a definir estuvo limitado por la capacidad computacional disponible, ya que este algoritmo requiere una capacidad de procesamiento muy alta, por lo que sólo se generaron delimitaciones de 20, 25, 30, y hasta 40 unidades. Para determinar cuál de estas segmentaciones resultaba más significativa, se compararon los valores de ajuste (R^2) al aplicarlas como factores de un análisis de varianza sobre los índices de fragmentación reticular de 1999, 2003, y 2010. Como se reporta en la tabla 27, es la agrupación de 40 unidades la que presenta valores R^2 mayores.

Tabla 27 Nivel de ajuste por año y para cada delimitación de K-Modas.

Numero de unidades	Ajuste (R^2)		
	1999	2003	2010
20	0.15	0.18	0.17
25	0.18	0.2	0.17
30	0.19	0.22	0.18
40	0.23	0.24	0.24

Considerando entonces esta delimitación de 40 unidades de paisaje como factor independiente, se realizaron las pruebas estadísticas correspondientes para determinar los efectos sobre los valores de fragmentación y su dinámica. En la tabla 28 se anotan los valores p correspondientes a la prueba Kruskal-Wallis, y los valores R^2 del análisis de varianza.

Los resultados indican que todos los efectos sobre las variables dependientes son estadísticamente significativos, sin embargo los valores de ajuste son bajos, especialmente los correspondientes a las tasas de cambio anual (TCA) y proporción de destitución (P_y). Solamente los efectos sobre el IFR son

relativamente considerables, explicando entre el 23 y 24% de la varianza en el índice de fragmentación.

Tabla 28 Valor p de la prueba Kruskal-Wallis, y valor de ajuste de los análisis de varianza (ANDEVA), para las variables de respuesta IFR, TCA, y P_y .

Respuesta		Valor p	Valor R^2
IFR	1999	<0.0001	0.23
	2003	<0.0001	0.24
	2010	<0.0001	0.24
TCA	1999-2003	<0.0001	0.08
	2003-2010	<0.0001	0.08
	1999-2010	<0.0001	0.06
P_y	1999-2003	<0.0001	0.05
	2003-2010	<0.0001	0.06
	1999-2010	<0.0001	0.04

En la figura 40 se muestra el grado de fragmentación correspondiente al año 2010, estado final del periodo analizado y variable dependiente con mayor valor de ajuste estadístico. En este año se presentaron cinco unidades de paisaje con fragmentación muy alta, asociadas a los alrededores de Mineral de Angangueo, y a las localidades Crescencio Morales y Macho de Agua donde también cruza la autopista Toluca-Zitácuaro. Las unidades donde la fragmentación forestal es muy baja son seis y corresponden a los bosques localizados en las laderas de Peña Colorada y Peña Blanca, ladera sur del Cerro Huacal, y sierras asociadas al Cerro Pelón, especialmente al este y fuera de la zona núcleo.

5.3 OBSERVACIONES SOBRE LOS ELEMENTOS DEL PAISAJE Y SU INFLUENCIA SOBRE LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL

El proceso de fragmentación forestal es un fenómeno geográfico complejo, que responde a diferentes factores tanto de carácter natural como social, por lo que su estudio requiere de una aproximación metodológica integral que permita abordar todos estos elementos espacio-temporales, y así obtener una visión lo más completa posible. La Geoecología de los Paisajes provee esta visión holística

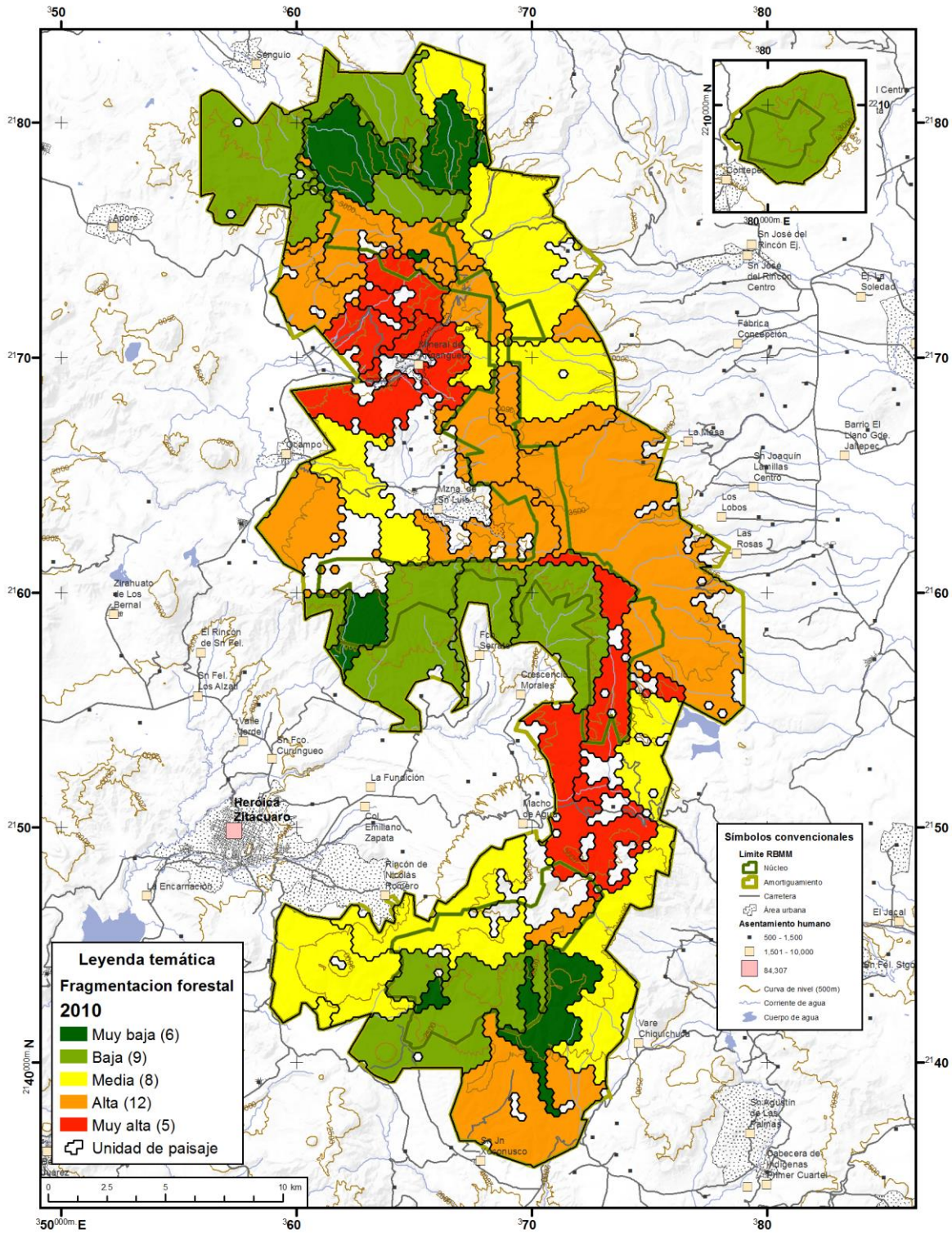


Fig. 40 Nivel de fragmentación forestal en 2010 por unidad de paisaje.

del espacio geográfico, sistematizando sus elementos de manera que pueden ser analizados con referencia al fenómeno de interés, en este caso la fragmentación del bosque presente en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

En este capítulo se determinó la influencia de estos componentes de los subsistemas del paisaje, sobre la fragmentación forestal, su distribución espacial y dinámica temporal. Se observó que no hay un sólo elemento que de manera individual explique de manera considerable la expresión en el espacio-tiempo de la fragmentación, más bien es una interacción de todos estos elementos que determina como se manifiesta esta perturbación del hábitat forestal. Tal es el caso de elementos del medio físico, que de una u otra manera delimita el costo de oportunidad al recurso bosque, tanto a la población local como a la externa al ámbito de la RBMM. Por otro lado los elementos del subsistema antrópico de la reserva también tienen un efecto sobre la fragmentación, ya que fue evidente que la presencia *per se* de la población no influye de manera considerable a la dinámica temporal, sin embargo sus condiciones socio-económicas si conlleva un efecto notable sobre el aumento o decremento del nivel de fragmentación.

En la siguiente y última parte de este trabajo escrito, se recapitulan los resultados ya presentados para exponer una discusión y conclusión integral sobre el patrón de fragmentación de los bosques de la reserva Mariposa Monarca.

6 CAPÍTULO VI: EL PATRÓN DE FRAGMENTACIÓN FORESTAL EN LA RBMM 1999-2010

La fragmentación del hábitat forestal es un fenómeno complejo derivado de una pérdida en la cobertura del bosque, ambos procesos de alteración ecosistémica responden a la interacción de una serie de factores de carácter natural y social, es por eso que resulta conveniente abordar su estudio desde una perspectiva geográfica. Y en particular mediante una visión de Geoecología de los Paisajes, que provee de un marco teórico así como herramientas metodológicas para estudiar este fenómeno y su relación con los factores geográficos de una manera integral.

Una de estas herramientas metodológicas que resultaron de mayor utilidad al presente trabajo, fueron los índices de paisaje los cuales, como el caso de la densidad de borde, están íntimamente relacionados con los procesos de fragmentación. Estos métodos, por su naturaleza cuantitativa, facilitan la comparación espacio-temporal así como la integración de análisis estadísticos a la caracterización de este fenómeno. Esto resulto particularmente cierto al realizar la cuantificación de manera reticular (IFR), ya que dada la escala de trabajo, al emplear un método de medición por polígono (IFP) las propiedades morfológicas de los parches de bosque introducían un sesgo considerable que imposibilitó la realización de comparaciones temporales, salvo aquellas realizadas empleando la totalidad del paisaje de la RBMM.

Al emplear una malla hexagonal para cuantificar la fragmentación, permitió hacer estas comparaciones en el tiempo. Del mismo modo, hizo posible la integración de factores explicativos cuantitativos y cualitativos, así como una evaluación del nivel de autocorrelación espacial en los datos cuantificados, la cual es fundamental para llegar a una correcta interpretación de los análisis estadísticos realizados.

En la tabla 29 se retoman algunos de los resultados presentados en el capítulo III, en la matriz se reportan el número de parches y el número de hexágonos por nivel de fragmentación presentes en cada año. Donde es notoria una tendencia al incremento de la fragmentación; al final del periodo tenemos mayor número de parches de bosque, y ligeramente mayor número de hexágonos con niveles IFR alto y muy alto.

Tabla 29 Numero de polígonos y hexágonos por nivel de fragmentación para cada año cuantificado.

Nivel de fragmentación		Año		
		1999	2003	2010
Numero de parches		221	255	317
# Hexágonos por valor IFR	Muy bajo	1,871	1,504	1,884
	Bajo	1,003	973	1,005
	Medio	846	890	846
	Alto	805	860	757
	Muy alto	1,093	1,183	1,166

Cuando se analizó el cambio en los valores de IFR (celda a celda) en cada uno de los periodos, se confirmó esta tendencia, ya que en la transición 1999 a 2003 se presenta un incremento fuerte en el grado de fragmentación del bosque, correspondiendo con los mayores procesos de deforestación, como lo evidencia la proporción de destitución de ese periodo la cual indica (en los casos en que es posible caracterizar la dinámica) un predominio en cambios composicionales. Aunque en la etapa 2003 a 2010 se registra una disminución en los valores del IFR, no es suficiente para recuperar en nivel de conectividad promedio observado en 1999. Por lo que al analizar el cambio en el periodo completo 1999 a 2010, se obtuvo que para el último año contemplado un 20% de la superficie forestal se encuentra más fragmentada que en 1999.

Lo anterior queda remarcado cuando se examina la dinámica entre los tres estados temporales, esto se realizó con la definición del tipo de cambio según la ubicación en el tiempo del valor máximo y mínimo del IFR. Resultando para los 11 años analizados, que el 28% de los bosques conserva su nivel de fragmentación, 31% de la superficie forestal presentó un decremento en el IFR,

y un 41% de los bosques de la RBMM observó tipos de cambio asociados a un incremento en la fragmentación.

La variación en la fragmentación forestal no sólo mostró patrones temporales, también en el espacio se percibieron algunas tendencias las cuales corresponden en parte a la expresión de los diferentes elementos del paisaje que conforman al área de estudio, como se explicó a detalle en el capítulo anterior. Tomándolo con una perspectiva de costo de oportunidad; por un lado el medio físico determina el nivel de acceso al recurso bosque, y por otro el medio social puede generar condiciones que faciliten la explotación de los bienes maderables, con o sin el consentimiento del grupo social propietario.

Recapitulando, a pesar de una recuperación y aumento en la cobertura forestal, durante el periodo 1999 a 2010 la fragmentación del bosque presenta una tendencia a incrementar. El periodo con mayor crecimiento en los niveles de IFR, corresponden a grandes eventos de deforestación, que a su vez están asociados a las condiciones generadas por la expansión de la Reserva de la Biosfera. Por tanto, las zonas más afligidas por altos niveles de fragmentación son aquellas donde las características de acceso físico (cercanía localidades o carreteras, baja pendiente, etc.) y social (migración, vulnerabilidad social, conflicto agrario, etc.) resultaron favorables al proceso de tala.

6.1 INTEGRACIÓN DEL PATRÓN DE FRAGMENTACIÓN

A manera de presentar una conclusión cartográfica del patrón de fragmentación 1999-2010 se concatenaron los cinco elementos que lo describen en un único mapa, los factores considerados son:

- El índice de fragmentación reticular (IFR) de 1999 y 2010.
- Los puntos fríos y calientes del IFR 2010.
- La tasa anual de cambio 1999 a 2010.
- La proporción de destitución del periodo 1999-2010.
- Los tipos de cambio, como se definen en el capítulo IV.

La integración se realizó de manera aritmética, asignando valores numéricos a cada nivel de fragmentación de manera ascendente (mayor fragmentación mayor número) y calculando el promedio del IFR 1999 y 2010, al cual se le suman pesos correspondientes a los niveles o categorías del resto de los factores, estos pesos pueden ser consultados en la tabla 30, el mapa resultante se observa en la figura 41 y mapa IX.

Tabla 30 Pesos asignados a los elementos que conforman la integración del patrón de fragmentación.

Factor	Nivel o categoría	Peso
Punto frío/caliente 2010	Punto caliente	1
	Punto frío	-1
	No aglomerado	0
TCA 1999-2010	Aumento fuerte	2
	Aumento leve	1
	Sin cambio	0
	Disminución leve	-1
	Disminución fuerte	-2
Py 1999-2010	Composición	3
	Configuración	1
	Ambos	2
	Sin cambio	0
Tipo de cambio	0-0	0
	1-A	1
	1-B	-1
	2-A	3
	2-B	2
	3-A	-3
	3-B	-1

Este análisis permite expresar de manera cartográfica, no sólo el nivel de fragmentación resultante en el periodo considerado, también incorpora la historia de su dinámica espacio-temporal que hace más relevante su interpretación desde una perspectiva del estado de conservación. Y para facilitar esta interpretación es que se aplica el geoadadístico G_i^* de Getis-Ord para identificar zonas de agrupación estadísticamente significativa de valores altos y bajos de la integración del patrón de fragmentación (IPF), cuyo resultado puede apreciarse en la figura 42.

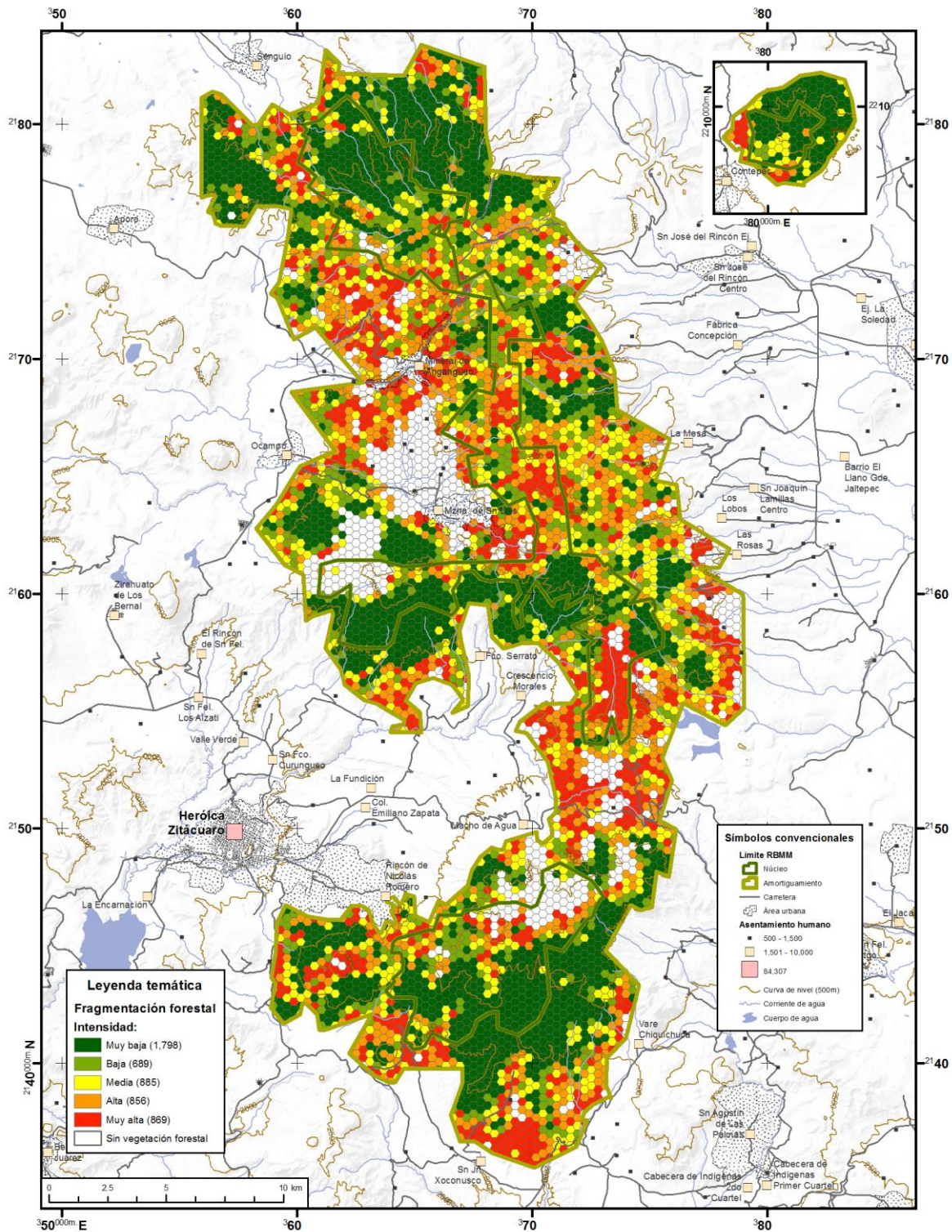


Fig. 41 Integración del Patrón de Fragmentación 1999-2003-2010.

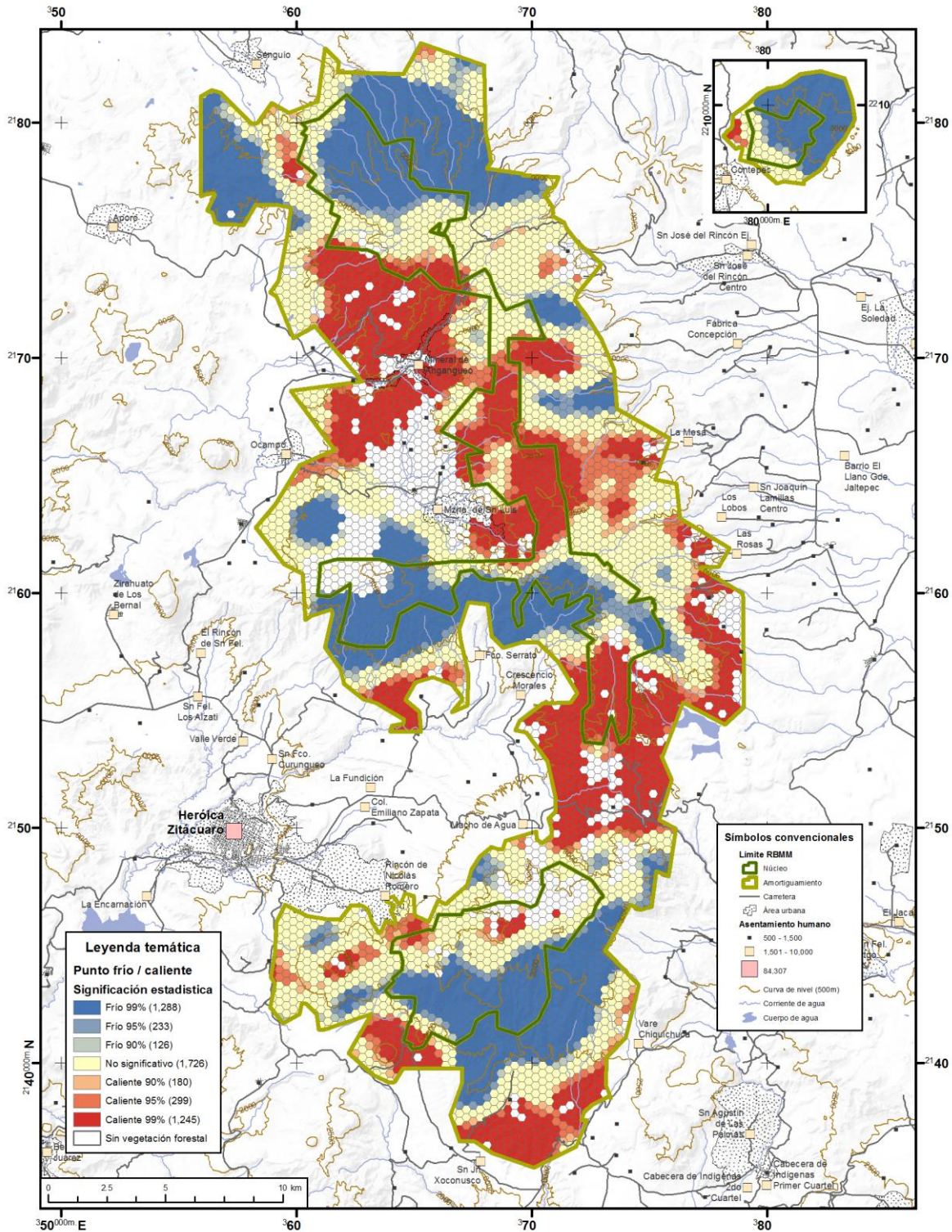


Fig. 42 Análisis G_i^* de Getis-Ord del Integración del Patrón de Fragmentación RBMM 1999-2003-2010.

Considerando una significación estadística de 90% se distinguen cuatro grandes regiones con valores bajos de IPF, separadas por zonas de alta fragmentación cuya distribución se percibe más heterogénea. En la zona más norteña en el polígono de la RBMM correspondiente al cerro Altamirano más de la mitad de su extensión presenta baja fragmentación, exceptuando el área más cercana a la ciudad de Contepec, y en particular al exterior de la zona núcleo: en las inmediaciones de la carretera a Tepuxtepec la fragmentación se presenta con mayor intensidad.

En el polígono sur y de mayor extensión del área natural protegida, y en su extremo norte, se localizan dos islas con valores bajos de fragmentación correspondiendo a los bosques de Peña Colorada y Peña Blanca al este, y al Cerro Pelón al oeste. Estas zonas de alta conectividad están prácticamente separadas por un área fragmentada en la pequeña propiedad (P.P) “Propiedad Privada”, aunque hay un estrecho corredor que conecta a ambas a través de los predios: Ejido (E.) Arroyo Seco, Pequeña Propiedad Rincón de Soto, Ejido Hervidero y Plancha (ampliación), y el Ejido Jesús de Nazareno.

Inmediatamente al sur se encuentra una gran extensión altamente fragmentada, asociada principalmente a las localidades urbanas de Mineral de Angangueo, Ocampo, y Manzana de San Luis. Aquí destaca la fragmentación de los Ejidos El Rosario y Francisco Serrato por estar asociada a un proceso de tala de gran extensión durante todo el periodo analizado. También importante es la pérdida de conectividad en las ampliaciones de la P.P. Rancho Verde y E. El Rosario correspondientes a una zona de conflicto agrario donde la fragmentación presentó una de las mayores tasas de cambio anual registradas. Sin embargo, prácticamente inmersas en esta región de baja conectividad y en el lado este de la zona de amortiguamiento se aprecian dos parches con valores bajos de fragmentación, los cuales se ubican en los predios de: las Pequeñas Propiedades Catingo I y II, III, IV, y Catingo Rancho Guadalupe, así como los Ejidos de San Francisco de Jesús y Las Rosas.

Al sur de Ocampo y la Manzana de San Luis, se distribuye otra región con baja fragmentación, correspondiendo principalmente a los bosques presentes en las faldas de los cerros Chivati y Boludo, en particular las laderas con orientación sur. Destacan también los bosques del Ejido El Paso que se conservan durante los tres periodos analizados, así como la cobertura forestal del norte de la Comunidad Indígena (C.I.) San Cristóbal que presenta una importante recuperación en el periodo 2003 a 2010.

Continúa una zona de alta fragmentación que se extiende desde las laderas bajas (con orientación este) en los Ejidos San Juan Palo Seco, y El Deposito. Y hasta el lado oeste de la RBMM en la parte más baja de las Comunidades Indígenas Donaciano Ojeda, y Carpinteros. En esta región destaca el alto grado de fragmentación del Ejido Crescencio Morales, en particular en su terreno correspondiente a la zona núcleo de la reserva, derivada de un fuerte evento de tala ocurrido en algún punto del periodo 2003-2010. También importante es la situación del ejido Cuesta del Carmen y la propiedad Las Dalias, las cuales se encuentran bajo el decreto de tres ANP federales: la RBMM, el Parque Nacional Bosencheve y el Área de Protección de los Recursos Naturales Cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tiloscoc y Temazcaltepec. Contiguos a estos predios también se localiza la parte sur del ejido y comunidad indígena Crescencio Morales los cuales se localizan en la delimitación de la RBMM y el PN Bosencheve. Autoridades de las comunidades afectadas por la triple declaratoria han expresado su malestar ante esta situación, la cual ha mermado su capacidad de organización y uso de su territorio. A lo anterior hay que sumar al alto grado de tránsito en esta zona, debido principalmente al cruce de la carretera y autopista Toluca-Zitácuaro, lo cual facilita el acceso al bosque por parte de grupos externos a los grupos sociales propietarios.

La última región con alto grado de conectividad son los bosques presentes en las laderas y sierras asociadas al Cerro Pelón, en particular la zona de mayor altitud y con orientación sureste. Donde destacan por su bajo nivel de

fragmentación la C.I. San Pablo Malacatepec, P.P. La Palma, E. Mesas Altas Xoconusco, P.P. Cañada Seca, P.P. Los Saucos, y P.P. Fracción Corral Viejo. Sin embargo, también existen dos áreas con alta fragmentación en la parte más sur de la RBMM, en particular la sección oeste del Ejido El Capulín por donde pasan vialidades que conectan a la ciudad de Zitácuaro, y la parte sur de la Comunidad Indígena San Juan Xoconusco que también se encuentra cerca a estas vialidades y a la localidad (pre-urbana) de San Juan Xoconusco.

Se describe así el patrón de fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca durante el periodo 1999 a 2010. Identificando zonas importantes de alta y baja conectividad, relevantes al proceso de gestión de los bosques en esta área natural protegida, de manera que se asignen prioridades a manera de preservar los bosques menos fragmentados y de esa manera promover su estado de conservación. Y también auxiliando las políticas correctivas (como la reforestación) ya que es importante considerar los procesos ecológicos que favorecen una recuperación del hábitat forestal, de esta manera además de recuperar la cobertura de bosque, también se restaura la conectividad necesaria para el flujo de los elementos del ecosistema, promoviendo una mejoría del estado general de conservación y en la provisión de servicios ecosistémicos de los cuales dependemos como sociedad humana.

6.2 CONCLUSIONES GENERALES

La cuantificación de la fragmentación mediante un índice reticular resultó más apropiada para la escala fina del presente trabajo. En particular usando celdas hexagonales las cuales son más sensibles a procesos de flujo y conectividad, debido a su alta vecindad.

Se hizo una caracterización detallada de la dinámica de fragmentación identificando una fuerte pérdida en conectividad durante el periodo 1999 a 2003, coincidiendo con eventos de tala asociados a las condiciones sociales derivadas de la ampliación de la RBMM. En el periodo 2003 a 2010 se observa de manera generalizada una reducción de la fragmentación sin embargo no resulta suficiente para recuperar la conectividad presente en 1999, a pesar de que la evaluación de cambio en densidad de cobertura para este periodo 1999 a 2010 indica una recuperación en la superficie ocupada por bosque.

El grado y dinámica de fragmentación tiene una estrecha relación con los elementos que conforman el paisaje de la RBMM, en particular con los relacionados al nivel de acceso (distancia a caminos y localidades), y a condiciones sociales que generan una mayor presión sobre el recurso bosque (migración, pobreza, y marginación).

La principal contribución de este trabajo es contextualizar la actual evaluación forestal en la RBMM en un marco geoecológico, ya que no es suficiente con determinar la pérdida o recuperación de la extensión de bosque, sino que es necesario considerar procesos ecológicos implicados en el estado de conservación, tal es el caso de la conectividad-fragmentación. Y de esa manera obtener una visión más completa que permita una mejor gestión de los recursos naturales, contribuyendo a la conservación y mejoría de los servicios ecosistémicos de los cuales nuestra sociedad es dependiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah S.A. & N. Nakagoshi. **2007**. *Forest fragmentation and its correlation to human land use change in the state of Selangor, peninsular Malaysia*. Forest Ecology and Management. (241), 39-48.
- Antrop, M. **2001**. *The language of landscape ecologists and planners. A comparative content analysis of concepts used in landscape ecology*. Landscape and Urban Planning (55) 163–173.
- Assuncao, R. M., M. C. Neves, G. Camara, & C. Da Costa Freitas. **2006**. *Efficient Regionalisation Techniques for Socio-economic Geographical Units using Minimum Spanning Trees*. International Journal of Geographical Information Science 20 (7) 797–811.
- Barthram, G. T., D. A. Elston, C. P. D. Birch, & G. R. Bolton. **2002**. *Defoliation and site differences influence vegetative spread in grassland*. New Phytol. (155) 257-254.
- von Bertalanffy, L. **1969**. *General System Theory*. Braziller. E. U. A.
- Bertrand, G. **1968**. *Paysage et géographie physique globales, Esquisse méthodologique*. Rev. Geograph. des Pyren. et du Sud-Ouest. Francia.
- Bertrand, G. **1972**. *Les structures naturelles de l'espace géographique. L'exemple des Montagnes Cantabriques Centrales (Nord-Ouest de l'Espagne)*. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Francia.
- Birch, C. P. D., S. P. Oom, & J. A. Beecham. **2007**. *Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology*. Ecological Modelling (206) 347-359.
- Bogaert, J., Y. S. S. Barima, L. I. W. Mongo, I. Bamba, A. Mama, M. Toyi & R. Laforteza **2011**. *Forest Fragmentation: Causes, Ecological Impacts and Implications for Landscape Management*. En: Li Ch., R. Laforteza & J. Chen (Eds.) Landscape Ecology in Forest Management and Conservation. Springer.
- Bogaert J., P. Van Hecke, D.S. Van Eysenrode & I. Impens. **2000**. *Landscape fragmentation assessment using a single measure*. Wildl. Soc. Bull. 28 (4), 875-881.
- Broadbent E.N., G.P. Asner, M. Keller, D.E. Knapp, P.J.C. Oliveira & J.N. Silva. **2008**. *Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon*. Biological Conservation. (141) 1745-1757.
- Brower, L. P., G. Castilleja, A. Peralta, J. López, T. L. Bojórquez, S. Díaz, D. Melgarejo, & M. Missrie. **2002**. *Quantitative changes in forest quality in a principal*

- overwintering area of the monarch butterfly in Mexico: 1971-199*. Conservation Biology. 16 (2), 346-359.
- Butler B.J., J.J. Swenson & R.J. Alig. **2004**. *Forest Fragmentation in the Pacific Northwest: quantification and correlations*. Forest Ecology and Management. 189 (2004), 363-373.
- Carsten F. D., J. M. McPherson, M. B. Araujo, R. Bivand, J. Bolliger, G. Carl, R. G. Davies, A. Hirzel, W. Jetz, W. D. Kissling, I. Kühn, R. Ohlenmüller, P. R. Peres-Neto, B. Reineking, B. Schröder, F. M. Schurr, & R. Wilson. **2007**. *Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distribution data: a review*. Ecography (30) 609-628.
- Cayuela L., J.M.R. Benayas & C. Echeverría. **2006**. *Clearance and fragmentation of tropical montane forest in the Highlands of Chiapas, Mexico (1975-2000)*. Forest Ecology and Management. (226) 208-218.
- CENAPRED. **2006**. *Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social*. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México.
- Chen, J., K. D. Brososke & R. Laforteza **2008**. *Ecology and management of forest landscapes*. En: Laforteza R, Chen J, Sanesi G *et al.* (eds) Patterns and Processes in Forest Landscapes. Springer.
- Coops N.C., S.N. Gillanders, M.A. Wulder, S.E. Gergel, T. Nelson & N.R. Goodwin. **2010**. *Assessing changes in forest fragmentation following infestation using time series Landsat imagery*. Forest Ecology and Management. (259) 2355-2365.
- Cornejo-Tenorio G., & G. Ibarra-Manríquez. **2008**. *Flora ilustrada de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México.
- Correa-Ayram, C. A. **2012**. *Análisis del Cambio en la Conectividad del Paisaje (1975-2008) de la Cuenca del Lago Cuitzeo, Michoacán como Marco para la Identificación de escenarios de Conservación*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Dale, M. R. T. **1999**. *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology*. Cambridge University Press. Reino Unido.
- Demant, A. **1982**. Interpretación Geodinámica del Vulcanismo del Eje Neovolcánico Transversal. Revista del Instituto de Geología, UNAM. (5) 2.
- Diaz, N. M. **1996**. *Landscape metrics. A new tool for forest ecologists*. Journal of Forestry 94(12) 12-16.

- DOF. **1980**. *Decreto que declara zonas de reserva y refugio silvestre, lugares donde la mariposa inverna y se reproduce*. Diario Oficial de la Federación, Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. México.
- DOF. **1986**. *Decreto de la Reserva Especial de la Biosfera Mariposa Monarca*. Diario Oficial de la Federación, Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. México.
- DOF. **2000**. *Decreto de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM)*. Diario Oficial de la Federación, Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. México.
- DOF. **2009**. *Decreto por el que se amplía y modifica exclusivamente la superficie de la zona núcleo denominada Chincua-Campanario-Chivati, del área natural protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera*. Diario Oficial de la Federación, Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. México.
- Echeverria C., D.A. Coomes, M. Hall & A.C. Newton. **2008**. *Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile*. Ecological Modelling. (212) 439-449.
- Echeverria C., D.A. Coomes, J. Salas, J.M. Rey-Benayas, A. Lara & A. Newton. **2006**. *Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests*. Biological Conservation. (130) 481-494.
- Elkie, P. C., R. S. Rempel, & A. P. Carr. **1999**. *Patch Analyst User's Manual: A tool for quantifying landscape structure*. Ministry of Natural Resources, Northwest Science and Technology, Thunder Bay, ON, Canada.
- FAO. **2010**. *Global Forest Resources Assessment 2010, Terms and Definitions*. Forestry Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italia.
- Farina, A. **1993**. *L'ecologia dei sistemi ambientali*. CLEUP, Padova. Italia.
- Farina, A. **1998**. *Principles and methods in landscape ecology*. Chapman & Hall. Reino Unido.
- Farina, A. **2000**. *Landscape ecology in action*. Kluwer Academic Publishers. Alemania.
- Farina, A. **2000b**. *Principles and Methods in Landscape Ecology*. Kluwer Academic Publishers. Alemania.
- Farina, A. **2004**. *Verso una scienza del paesaggio*. Perdisa Editore. Italia.
- Farina, A. **2006**. *Principles and Methods in Landscape Ecology Toward a Science of Landscape*. Springer. Holanda

- Forman, R. T. T. **1990**. *The beginnings of landscape ecology in America*. En: Zonneveld, I.S. & R.T.T. Forman (eds.), *Changing landscapes: An ecological perspective*. Springer-Verlag. E. U. A.
- Forman, R. T. T., K. Heanue, J. Jones, F. Swanson, T. Turrentine, T. C. Winter, D. Sperling, J. Bissonette, A. P. Vlevenger, C. D. Cutshall, V. H. Dale, L. Fahtig, R. France, & C. R. Goldman. **2003**. *Road ecology*. Island Press, Washington. D.C., E. U. A.
- Forman, R. T. T. **1995**. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press. Reino Unido.
- Forman, R. T. T. & M. Godron. **1986**. *Landscape ecology*. Wiley & Sons. E. U. A.
- Fortin M. J. & M. R. T. Dale. **2005**. *Spatial Analysis A Guide for Ecologists*. Cambridge University Press. Reino Unido.
- Freitas S.R., T.J. Hawbaker & J.P Metzger. **2010**. *Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest*. *Forest Ecology and Management*. (259) 410-417.
- Frohn, R. C. **1998**. *Remote sensing for landscape ecology: New Metric Indicators for Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems*. Lewis Publishers. E. U. A.
- García D., M. Quevedo, J. R. Obeso & A. Abajo. **2005**. *Fragmentation patterns and protection of montane forest in the Cantabrian range (NW Spain)*. *Forest Ecology and Management*. 208 (2005), 29-43.
- García-Romero, A. & J. Muñoz-Jiménez. **2002**. *El Paisaje en el Ámbito de la Geografía*. Temas Selectos de Geografía de México, Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Gasparri N.I. & H.R. Grau. **2009**. *Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina*. *Forest Ecology and Management*. (258) 913-921.
- Griffith, D. A. **2005**. *Effective geographic sample size in the presence of spatial autocorrelation*. *Annals of the Association of American Geographers*. (95) 740-760.
- Guevara S., D. Laborde, & G. Sánchez-Ríos. **2004**. *La Fragmentación*. En S. Guevara, D. Laborde, y G. Sánchez-Ríos. (Eds.), *Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra*. Instituto de Ecología, A. C. México.
- Haber, W. **2004**. *Landscape ecology as a bridge from ecosystems to human ecology*. *Ecological Research* (19) 99–106.
- Hawbaker T.J., V.C. Radeloff, M.K. Clayton, R.B. Hammer & C.E. Gonzales-Abraham. **2006**. *Road development, housing growth, and landscape fragmentation in northern Wisconsin: 1937-1999*. *Ecological Applications*. 16 (3) 1222-1237.

- Higuera, A. M. **2003**. *Teoría y método de la Geografía: introducción al análisis geográfico regional*. Prensas Universitarias de Zaragoza. España.
- Honey-Rosés, J., E. Rendón, J. López, A. Peralta, P. Ángeles, I. Contreras C., & Galindo-Leal **2004**. *Monitoreo Forestal del Fondo Monarca 2003*. WWF – Programa México.
- Huang, Z. **1997**. *A Fast Clustering Algorithm to Cluster Very Large Categorical Data Sets in Data Mining*. En: KDD: Techniques and Applications (H. Lu, H. Motoda and H. Luu, Eds.). World Scientific. Singapur.
- I.G.U. **1983**. *Terminology and concepts in Landscape Synthesis*. International Geographical Union – Working Group of Landscape Synthesis. Helsinki.
- INEGI. **2010**. *Mujeres y Hombres en México 2010*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- Jenks, G. F. **1967**. *The Data Model Concept in Statistical Mapping*. International Yearbook of Cartography. (7) 186-190.
- Kolasa, J. & M. Zalewski **1995**. *Notes on ecotone attributes and functions*. Hydrobiologia (303) 1-7.
- Koop, G., & L. Tole. **2001**. *Deforestation, distribution and development*. Global Environ. Change 11, 193–202.
- Kupfer J.A. **2006**. *National assessments of forest fragmentation in the US*. Global Environmental Change. (16), 73-82.
- Legendre, P. **1993**. *Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm?* Ecology. (74) 1659-1673.
- Lindenmayer D.B. & J. Fisher. **2006**. *Habitat Fragmentation and Landscape Change*. Washington: Island Press.
- Linke J., M.G. Betts, M.B. Lavigne, & S.E. Franklin. **2007**. *Introduction: Structure, Function, and Change of Forest Landscapes*. En M. A. Wulder & S. E. Franklin. (Eds.), Understanding Forest Disturbance and Spatial Pattern. Boca Raton: CRC Press. E. U. A.
- Long J.A., T. A. Nelson & M.A. Wulder. **2010**. *Characterizing forest fragmentation: Distinguishing change in composition from configuration*. Applied Geography. 30 (2010).
- López-García, J. **2005**. *Reporte técnico del mapa de coberturas forestales 2003-2005*. Informe Técnico para el Fondo Monarca. México.
- López-García, J. **2009**. *Análisis de cambio en la cobertura forestal en la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: 2003-2006*. En Aguirre, R. (Ed.),

- Conceptos de Geomática y estudios de caso en México. Geografía para el siglo XXI, Serie Libros de Investigación, Instituto de Geografía, UNAM. México.
- López-García, J. **2010**. *Cambio de la cobertura forestal en la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, 2009-2010*. Informe Técnico para WWF. México.
- López-García, J. **2011**. *Cambio de cobertura forestal 2010-2011 en zona núcleo de la RBMM*. WWF. México.
- López-García, J. **2011b**. *Deforestation and forest degradation in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico, 2003-2009*. Journal of Maps. (2011) 626-633.
- López-García, J. **2012**. *Capítulo 1: Medio Físico*. En: La Región y la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca México, Análisis e Intervención Territorial para el Desarrollo Sostenible. R. Machado (Editor). Universidad de Granada. España.
- López-García, J. **2013**. *Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: aportes para su conocimiento y conservación*. Geografía para el siglo XXI, Serie Textos Universitarios, Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Manzo-Delgado, L., J. López-García, & I. Alcántara-Ayala. **2014**. *Role of forest conservaton in lessening land degradation in a temperate región: The Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico*. Journal of Environmental Managemnet. (138) 55-66.
- Mateo-Rodriguez, J.M. **2002**. *Geografía de los Paisajes Primera Parte Paisajes Naturales*. Universidad de la Habana, Facultad de Geografía. Habana.
- McGarigal, K., S. A. Cushman, & E. Ene. **2012**. *FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
- McGarigal, K., & B. J. Marks. **1994**. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifyin Landscape Structure*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
- McMorrow, J., & M. A. Talip. **2001**. *Decline of forest area in Sabah, Malaysia: relationship to state policies, land code and land capability*. Global Environ. Change (11) 217–230.
- MacQueen, J. **1967**. *Some methods for classification and analysis of multivariate observations*. En: Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, eds L. M. Le Cam & J. Neyman. University of California Press. E.U.A.

- Merino, L. **2004**. *Conservación o deterioro, El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en las prácticas de uso de los recursos forestales*. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Merino, L. & M. Hernández. **2004**. *Dstrucción de instituciones comunitarias y deterioro de los bosques en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Michoacán, México*. Revista Mexicana de Sociología. 66 (2) 261-309.
- Milbau, A., I. Nijs, L. Van Peer, D. Reheul, & B. De Cauwer. **2003**. *Disentangling invasiveness and invasibility during invasion in synthesized grassland communities*. New Phytol. (159) 657-667.
- Moss, M. R. **2000**. *Interdisciplinarity, landscape ecology and the "Transformation of Agricultural Landscapes"*. Landscape Ecology (15) 303–311.
- Naveh, Z. & Lieberman, A. S. **1984**. *Landscape ecology. Theory and application*. Springer-Verlag. E. U. A.
- Naveh, Z. & Lieberman, A. S. **1994**. *Landscape Ecology. Theory and application (2nd ed.)*. Springer-Verlag, Alemania.
- Newman B. J., P. Lad, M. Brundrett & K. W. Dixon. **2013**. *Effects of habitat fragmentation on plant reproductive success and population viability at the landscape habitat scale*. Biological Conservation (159) 16-23.
- Ochoa-Gaona, S. **2001**. *Traditional land-use systems and patterns of forest fragmentation in the highlands of Chiapas, Mexico*. Environ. Manage. (27) 571–586.
- Passarges, S. **1919**. *Fundamentos de la Geografía de los Paisajes*. L. Friederunchen & Co.
- Passos, M. **2000**. *A construcao da Paisagem no Mato Grosso, Brasil*. UNESP – UEM. Brasil.
- Ramirez, M. I., J. Azcárate & L. Luna. **2003**. *Effects of human activities on monarch butterfly habitat in protected mountain forest, Mexico*. The Forestry Chronicle 79(2):242-246.
- Rempel, R. S., D. Kaukinen., & A. P. Carr. **2012**. *Patch Analyst and Patch Grid*. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.
- Reyes, J. A. & I. Contreras. **2005**. *Uso de los recursos entregados por el Fondo Monarca y su impacto en las labores de vigilancia forestal y beneficio colectivo*. Reporte WWF. México.

- Risser, P. G., Karr, J. R., Forman, R. T. T. **1984**. *Landscape ecology. Directions and approaches*. Illinois Natural History Survey Special Publication number 2. E. U. A.
- Sánchez-Azofeifa, G. A. Daily, G. C. Pfaff, A. S. P. & Busch, C., **2003**. *Integrity and isolation of Costa Rica's national parks and biological reserves: examining the dynamics of land-cover change*. Biol. Conserv. (109) 123–135.
- Schreiber, K. F. **1990**. *The history of landscape ecology in Europe*. En: Zonneveld, I.S. & R.T.T. Forman (eds.), *Changing landscapes: An ecological perspective*. Springer-Verlag, E. U. A.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. **1996**. *Using multivariate statistics (3rd Ed)*. Harper Collins, E. U. A.
- Thomson, J. D., G. Weible, B. A. Thomson, S. Alfaro, & P. Legendre. **1996**. *Untangling multiple factors in spatial distribution: lilies, gophers, and rocks*. Ecology. (77) 1698-1715.
- Thorhallsdottir, T. E. **1990**. *The dynamics of five grasses and white clover in a simulated mosaic sward*. J. Ecol. (78) 909-923.
- Tobler, W. F. **1970**. *A computer movie simulating urban growth in the Detroit region*. Economic Geography. (46) 234-240.
- Tress, B. & G. Tress. **2001**. *Capitalising on multiplicity: a transdisciplinary systems approach to landscape research*. Landscape and Urban Planning (57) 143–157.
- Troll, C. **1950**. *Die geografische landschaft und ihre erforschung*. Studium Generale 3. Springer. Alemania.
- Turner, M. G. **1989**. *Landscape ecology: the effect of pattern on process*. Annu. Rev. Ecol. Syst. (20) 171–197.
- Turner, M. G., R. H. Gardner, & R. V. O'Neill. **2001**. *Landscape Ecology in theory and practice*. Pattern and process. Springer. E. U. A.
- Uusivuori, J., E. Lehto, & M. Palo. **2002**. *Population, income and ecological conditions as determinants of forest area variation in the tropics*. Global Environ. Change (12) 313–323.
- Wiens, J. A. **1992**. *Ecology 2000: An essay on future directions in ecology*. Ecological Society of America Bulletin (73) 165–170.
- Wiens, J. A., N. C. Stenseth, B. van Horne, & R. A. Ims. **1993**. *Ecological mechanisms and landscape ecology*. Oikos (66) 369–380.
- Wulder M. A. & S. E. Franklin. **2007**. *Understanding Forest Disturbance and Spatial Pattern: Remote Sensing and GIS Approaches*. CRC Press. E. U. A.

Zeng H., H. Peltola, H. Väisänen & S. Kellomäki. **2009**. *The effects of fragmentation on the susceptibility of a boreal forest ecosystem to wind damage*. Forest Ecology and Management. (257) 1165-1173.

7 APÉNDICES

7.1 VALORES PROMEDIO DEL ÍNDICE DE FRAGMENTACIÓN RETICULAR (IFR) Y DE LA TASA DE CAMBIO ANUAL DEL IFR PARA CADA PREDIO, MUNICIPIO Y ESTADO.

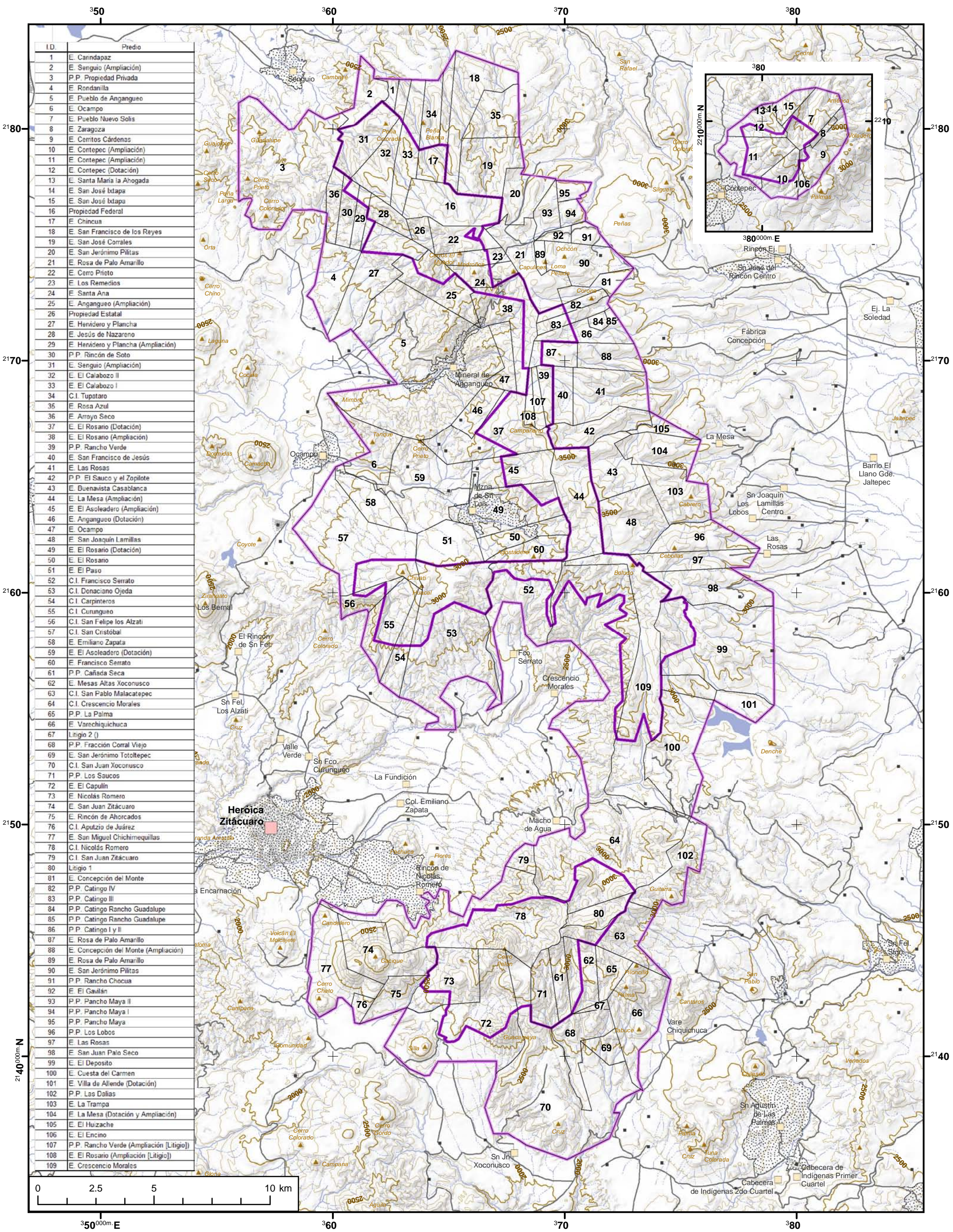
Delimitación	IFR				TCA			Py 1999-2010	Tipo de cambio
	1999	2003	2010	Tendencia	1999-2003	2003-2010	1999-2010		
Estado de Mexico	23.5	26.9	24.7		0.9	-0.3	0.1	-	1-A
Donato Guerra	21.7	23.6	19.1		0.5	-0.6	-0.2	-	1-B
<i>Comunidad Indigena</i>	31.7	31.9	28.9		0.0	-0.4	-0.3	-	1-B
San Juan Xoconusco	31.7	31.9	28.9		0.0	-0.4	-0.3	Ambos	1-B
<i>Ejido</i>	19.3	19.0	17.1		-0.1	-0.3	-0.2	-	3-A
El Capulin	22.2	22.7	20.9		0.1	-0.3	-0.1	Configuración	1-B
Mesas Altas Xoconusco	8.0	4.8	2.3		-0.8	-0.4	-0.5	Configuración	3-A
<i>Pequena Propiedad</i>	6.7	15.4	4.2		2.2	-1.6	-0.2	-	1-B
Caniada Seca	1.9	1.9	1.4		0.0	-0.1	0.0	Configuración	0-0
Fraccion Corral Viejo	10.0	33.1	7.8		5.8	-3.6	-0.2	Configuración	1-B
La Palma	4.8	6.0	3.1		0.3	-0.4	-0.2	Configuración	1-B
Los Saucos	6.7	6.4	1.9		-0.1	-0.6	-0.4	Configuración	3-A
San Jose del Rincon	24.6	28.2	27.9		0.9	0.0	0.3	-	1-A
<i>Ejido</i>	25.3	28.7	28.4		0.9	0.0	0.3	-	1-A
Buenavista_Casablanca	18.7	30.1	31.4		2.8	0.2	1.2	Ambos	2-A
Concepcion del Monte	31.8	32.1	32.3		0.1	0.0	0.0	Ambos	0-0
Concepcion del Monte (Ampliacion)	12.3	26.9	31.1		3.6	0.6	1.7	Ambos	2-A
El Deposito	25.0	26.4	26.1		0.4	0.0	0.1	Ambos	1-A
El Gavilan	37.1	38.3	37.4		0.3	-0.1	0.0	Composición	1-A
El Huizache	25.0	26.9	27.0		0.5	0.0	0.2	Ambos	2-A
La Mesa (Ampliacion)	30.1	37.3	39.8		1.8	0.4	0.9	Composición	2-A
La Mesa (Dotacion y Ampliacion)	35.3	36.8	38.0		0.4	0.2	0.2	Ambos	2-A
La Trampa	32.0	33.6	30.4		0.4	-0.5	-0.2	Composición	1-B
Las Rosas	17.3	22.6	19.0		1.3	-0.5	0.2	Ambos	1-A
Rosa de Palo Amarillo	27.3	30.2	29.9		0.7	-0.1	0.2	Composición	1-A
San Francisco de Jesus	16.9	19.6	19.4		0.7	0.0	0.2	Ambos	1-A
San Jeronimo Pilitas	20.8	20.1	20.6		-0.2	0.1	0.0	Configuración	0-0
San Joaquin Lamillas	31.0	32.0	32.2		0.3	0.0	0.1	Ambos	2-A
San Juan Palo Seco	31.6	32.9	30.5		0.3	-0.3	-0.1	Ambos	1-B
<i>Pequena Propiedad</i>	21.8	26.0	25.8		1.1	0.0	0.4	-	1-A
Catingo I y II	19.9	20.2	19.3		0.1	-0.1	-0.1	Ambos	1-B
Catingo III	13.2	5.0	4.9		-2.0	0.0	-0.8	Configuración	3-A
Catingo IV	18.3	12.4	13.9		-1.5	0.2	-0.4	Ambos	3-B
Catingo Rancho Guadalupe	17.9	12.1	15.0		-1.5	0.4	-0.3	Configuración	3-B

Delimitación	IFR			Tendencia	TCA			Py 1999-2010	Tipo de cambio
	1999	2003	2010		1999-2003	2003-2010	1999-2010		
El Sauco y el Zopilote	19.7	27.7	28.1		2.0	0.0	0.8	Ambos	2-A
Los Lobos	23.8	33.1	28.7		2.3	-0.6	0.5	Ambos	1-A
Pancho Maya	23.9	23.9	23.9		0.0	0.0	0.0	Sin cambio	0-0
Pancho Maya I	29.0	27.6	27.6		-0.3	0.0	-0.1	Composición	3-B
Pancho Maya II	22.6	22.8	27.7		0.1	0.7	0.5	Composición	2-A
Rancho Chocua	33.4	34.4	34.5		0.3	0.0	0.1	Composición	2-A
Rancho Verde	23.4	31.5	33.9		2.0	0.3	0.9	Ambos	2-A
Rancho Verde (Ampliacion (litigio))	24.0	45.2	45.5		5.3	0.0	2.0	Composición	2-A
Temascalcingo	1.2	1.2	1.3		0.0	0.0	0.0	-	0-0
<i>Ejido</i>	1.2	1.2	1.3		0.0	0.0	0.0	-	0-0
Pueblo Nuevo Solis	1.2	1.2	1.3		0.0	0.0	0.0	Ambos	0-0
Villa de Allende	25.6	31.8	27.0		1.5	-0.7	0.1	-	1-A
<i>CM, SM y SB, NR, SPM</i>	20.8	44.2	40.5		5.9	-0.5	1.8	-	1-A
<i>litigio1</i>	20.8	44.2	40.5		5.9	-0.5	1.8	Composición	1-A
<i>Comunidad Indigena</i>	7.6	9.2	5.7		0.4	-0.5	-0.2	-	1-B
San Pablo Malacatepec	7.6	9.2	5.7		0.4	-0.5	-0.2	Ambos	1-B
<i>Ejido</i>	32.8	36.3	33.6		0.9	-0.4	0.1	-	1-A
Cuesta del Carmen	43.5	45.9	44.8		0.6	-0.2	0.1	Ambos	1-A
San Jeronimo Totoltepec	16.7	15.4	11.4		-0.3	-0.6	-0.5	Configuración	3-A
Varechiquichuca	21.1	27.1	22.3		1.5	-0.7	0.1	Ambos	1-A
Villa de Allende (Dotacion)	40.8	43.9	43.3		0.8	-0.1	0.2	Composición	1-A
<i>Pequenia Propiedad</i>	15.7	30.8	15.8		3.8	-2.1	0.0	-	1-A
Las Dalias	15.7	30.8	15.8		3.8	-2.1	0.0	Ambos	1-A
Michoacan	23.0	27.2	23.4		1.0	-0.5	0.0	-	1-A
Anganguero	35.8	40.2	36.1		1.1	-0.6	0.0	-	1-A
<i>Ejido</i>	39.3	43.3	39.7		1.0	-0.5	0.0	-	1-A
Anganguero (Ampliacion)	42.8	47.3	42.8		1.1	-0.6	0.0	Ambos	1-A
Anganguero (Dotacion)	29.6	40.3	29.2		2.7	-1.6	0.0	Composición	1-B
Hervidero y Plancha	36.5	42.6	34.2		1.5	-1.2	-0.2	Ambos	1-B
Hervidero y Plancha (Ampliacion)	39.3	47.9	40.6		2.1	-1.0	0.1	Ambos	1-A
Jesus de Nazareno	6.1	23.3	16.9		4.3	-0.9	1.0	Configuración	1-A
Pueblo de Anganguero	44.5	45.4	45.3		0.2	0.0	0.1	Ambos	1-A
Rondanilla	29.7	35.2	26.4		1.4	-1.3	-0.3	Composición	1-B
Santa Ana	33.1	43.7	37.3		2.7	-0.9	0.4	Ambos	1-A

Delimitación	IFR				TCA			Py 1999-2010	Tipo de cambio
	1999	2003	2010	Tendencia	1999-2003	2003-2010	1999-2010		
<i>Propiedad Estatal</i>	21.0	26.9	19.3		1.5	-1.1	-0.2	-	1-B
Propiedad Estatal	21.0	26.9	19.3		1.5	-1.1	-0.2	Configuración	1-B
<i>Propiedad Federal</i>	13.7	21.3	13.8		1.9	-1.1	0.0	-	1-A
Propiedad Federal	13.7	21.3	13.8		1.9	-1.1	0.0	Ambos	1-A
Aporo	25.6	34.7	21.4		2.3	-1.9	-0.4	-	1-B
<i>Ejido</i>	22.5	36.1	24.2		3.4	-1.7	0.1	-	1-A
Arroyo Seco	22.5	36.1	24.2		3.4	-1.7	0.1	Ambos	1-A
<i>Pequeña Propiedad</i>	28.8	33.3	18.4		1.1	-2.1	-0.9	-	1-B
Rincon de Soto	28.8	33.3	18.4		1.1	-2.1	-0.9	Composición	1-B
Contepec	10.9	10.9	12.4		0.0	0.2	0.1	-	2-B
<i>Ejido</i>	10.9	10.9	12.4		0.0	0.2	0.1	-	2-B
Cerritos Cardenas	5.0	5.0	2.7		0.0	-0.3	-0.2	Ambos	3-A
Contepec (Ampliacion)	16.4	16.4	20.7		0.0	0.6	0.4	Configuración	2-B
Contepec (Dotacion)	9.5	9.5	9.8		0.0	0.0	0.0	Configuración	0-0
San Jose Ixtapa	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	Sin cambio	0-0
Ocampo	26.5	33.3	26.3		1.7	-1.0	0.0	-	1-B
<i>Comunidad Indigena</i>	26.5	32.8	17.9		1.6	-2.1	-0.8	-	1-B
San Cristobal	26.5	32.8	17.9		1.6	-2.1	-0.8	Ambos	1-B
<i>Ejido</i>	26.4	33.4	27.8		1.7	-0.8	0.1	-	1-A
Cerro Prieto	23.9	27.7	24.4		1.0	-0.5	0.0	Ambos	1-A
El Asoleadero (Ampliacion)	32.6	34.0	35.2		0.3	0.2	0.2	Ambos	2-A
El Asoleadero (Dotacion)	29.0	44.3	30.1		3.8	-2.0	0.1	Ambos	1-A
El Paso	14.8	14.9	9.9		0.0	-0.7	-0.4	Ambos	1-B
El Rosario	32.6	33.9	34.6		0.3	0.1	0.2	Ambos	2-A
El Rosario (Ampliacion (litigio))	21.8	43.0	43.1		5.3	0.0	1.9	Composición	2-A
El Rosario (Ampliacion)	30.8	33.5	29.3		0.7	-0.6	-0.1	Ambos	1-B
El Rosario (Dotacion)	26.7	34.1	31.5		1.9	-0.4	0.4	Ambos	1-A
Emiliano Zapata	19.5	44.8	21.1		6.3	-3.4	0.2	Ambos	1-A
Los Remedios	32.2	36.6	31.0		1.1	-0.8	-0.1	Ambos	1-B
Ocampo	24.6	34.0	28.0		2.3	-0.9	0.3	Composición	1-A
Senguio	13.6	14.0	11.6		0.1	-0.3	-0.2	-	1-B
<i>Comunidad Indigena</i>	5.3	5.3	4.2		0.0	-0.2	-0.1	-	3-A
Tupataro	5.3	5.3	4.2		0.0	-0.2	-0.1	Configuración	3-A
<i>Ejido</i>	10.4	12.8	10.8		0.6	-0.3	0.0	-	1-A

Delimitación	IFR				TCA			Py 1999-2010	Tipo de cambio
	1999	2003	2010	Tendencia	1999-2003	2003-2010	1999-2010		
Carindapaz	19.5	19.5	24.6		0.0	0.7	0.5	Configuración	2-B
Chincua	7.4	5.6	6.4		-0.5	0.1	-0.1	Composición	3-B
El Calabozo I	6.2	13.4	6.7		1.8	-0.9	0.0	Ambos	1-A
El Calabozo II	9.8	12.2	6.6		0.6	-0.8	-0.3	Ambos	1-B
Rosa Azul	22.7	24.3	19.2		0.4	-0.7	-0.3	Ambos	1-B
San Francisco de los Reyes	10.1	9.3	11.9		-0.2	0.4	0.2	Ambos	2-B
San Jose Corrales	3.8	7.9	4.4		1.0	-0.5	0.1	Configuración	1-A
Senguio (Ampliacion)	13.3	16.4	17.7		0.8	0.2	0.4	Ambos	2-A
Pequeña Propiedad	21.4	17.8	14.4		-0.9	-0.5	-0.6	-	3-A
Propiedad Privada	21.4	17.8	14.4		-0.9	-0.5	-0.6	Ambos	3-A
Zitacuaro	21.5	26.3	23.1		1.2	-0.5	0.1	-	1-A
Comunidad Indigena	22.3	27.4	20.9		1.3	-0.9	-0.1	-	1-B
Aputzio de Juarez	9.2	19.2	8.5		2.5	-1.5	-0.1	Ambos	1-B
Carpinteros	7.8	11.0	6.9		0.8	-0.6	-0.1	Ambos	1-B
Crescencio Morales	28.6	32.1	25.5		0.9	-0.9	-0.3	Ambos	1-B
Curungueo	5.3	13.7	5.5		2.1	-1.2	0.0	Ambos	1-A
Donaciano Ojeda	16.9	22.9	17.6		1.5	-0.8	0.1	Ambos	1-A
Francisco Serrato	10.7	19.4	11.4		2.2	-1.1	0.1	Ambos	1-A
Nicolas Romero	28.7	33.0	28.3		1.1	-0.7	0.0	Ambos	1-B
San Felipe los Alzati	13.3	31.1	4.9		4.5	-3.7	-0.8	Ambos	1-B
San Juan Zitacuaro	20.2	20.2	4.6		0.0	-2.2	-1.4	Ambos	3-A
Ejido	19.8	24.1	28.1		1.1	0.6	0.8	-	2-A
Crescencio Morales	26.5	31.3	38.1		1.2	1.0	1.1	Ambos	2-A
Francisco Serrato	11.2	46.2	46.7		8.7	0.1	3.2	Composición	2-A
Nicolas Romero	19.8	21.9	16.0		0.5	-0.8	-0.3	Ambos	1-B
Rincon de Ahorcados	17.0	16.3	16.7		-0.2	0.1	0.0	Ambos	0-0
San Juan Zitacuaro	13.2	15.5	21.7		0.6	0.9	0.8	Ambos	2-A
San Miguel Chichimequillas	16.9	16.9	24.2		0.0	1.0	0.7	Ambos	2-B
Media global	23.2	27.1	23.9		1.0	-0.5	0.1	-	1-A

7.2 CARTOGRAFÍA



ID.	Predio
1	E. Canndapaz
2	E. Senguio (Ampliación)
3	P.P. Propiedad Privada
4	E. Rondanilla
5	E. Pueblo de Anganguo
6	E. Ocampo
7	E. Pueblo Nuevo Solis
8	E. Zaragoza
9	E. Cerros Cárdenas
10	E. Contepec (Ampliación)
11	E. Contepec (Ampliación)
12	E. Contepec (Dotación)
13	E. Santa María la Ahogada
14	E. San José Ixtapa
15	E. San José Ixtapa
16	Propiedad Federal
17	E. Chincua
18	E. San Francisco de los Reyes
19	E. San José Corrales
20	E. San Jerónimo Pilitas
21	E. Rosa de Palo Amarillo
22	E. Cerro Prieto
23	E. Los Remedios
24	E. Santa Ana
25	E. Anganguo (Ampliación)
26	Propiedad Estatal
27	E. Hervidero y Plancha
28	E. Jesús de Nazareno
29	E. Hervidero y Plancha (Ampliación)
30	P.P. Rincón de Soto
31	E. Senguio (Ampliación)
32	E. El Calabozo II
33	E. El Calabozo I
34	C.I. Tupaturo
35	E. Rosa Azul
36	E. Arroyo Seco
37	E. El Rosario (Dotación)
38	E. El Rosario (Ampliación)
39	P.P. Rancho Verde
40	E. San Francisco de Jesús
41	E. Las Rosas
42	P.P. El Sauco y el Zopilote
43	E. Buenavista Casablanca
44	E. La Mesa (Ampliación)
45	E. El Asoleadero (Ampliación)
46	E. Anganguo (Dotación)
47	E. Ocampo
48	E. San Joaquín Lamillas
49	E. El Rosario (Dotación)
50	E. El Rosano
51	E. El Paso
52	C.I. Francisco Serrato
53	C.I. Donaciano Ojeda
54	C.I. Carpinteros
55	C.I. Curungueo
56	C.I. San Felipe los Alzati
57	C.I. San Cristóbal
58	E. Emiliano Zapata
59	E. El Asoleadero (Dotación)
60	E. Francisco Serrato
61	P.P. Cañada Seca
62	E. Mesas Altas Xoconusco
63	C.I. San Pablo Malacatepec
64	C.I. Crescencio Morales
65	P.P. La Palma
66	E. Varchiquichuca
67	Litigio 2 ()
68	P.P. Fracción Corral Viejo
69	E. San Jerónimo Totoltepec
70	C.I. San Juan Xoconusco
71	P.P. Los Saucos
72	E. El Capulín
73	E. Nicolás Romero
74	E. San Juan Zitácuaro
75	E. Rincón de Ahorcados
76	C.I. Aputzco de Juárez
77	E. San Miguel Chichimequillas
78	C.I. Nicolás Romero
79	C.I. San Juan Zitácuaro
80	Litigio 1
81	E. Concepción del Monte
82	P.P. Catingo IV
83	P.P. Catingo III
84	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
85	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
86	P.P. Catingo I y II
87	E. Rosa de Palo Amarillo
88	E. Concepción del Monte (Ampliación)
89	E. Rosa de Palo Amarillo
90	E. San Jerónimo Pilitas
91	P.P. Rancho Chocua
92	E. El Gavilán
93	P.P. Pancho Maya II
94	P.P. Pancho Maya I
95	P.P. Pancho Maya
96	P.P. Los Lobos
97	E. Las Rosas
98	E. San Juan Palo Seco
99	E. El Deposito
100	E. Cuesta del Carmen
101	E. Villa de Aliende (Dotación)
102	P.P. Las Dalias
103	E. La Trampa
104	E. La Mesa (Dotación y Ampliación)
105	E. El Huizache
106	E. El Encino
107	P.P. Rancho Verde (Ampliación [Litigio])
108	E. El Rosario (Ampliación [Litigio])
109	E. Crescencio Morales

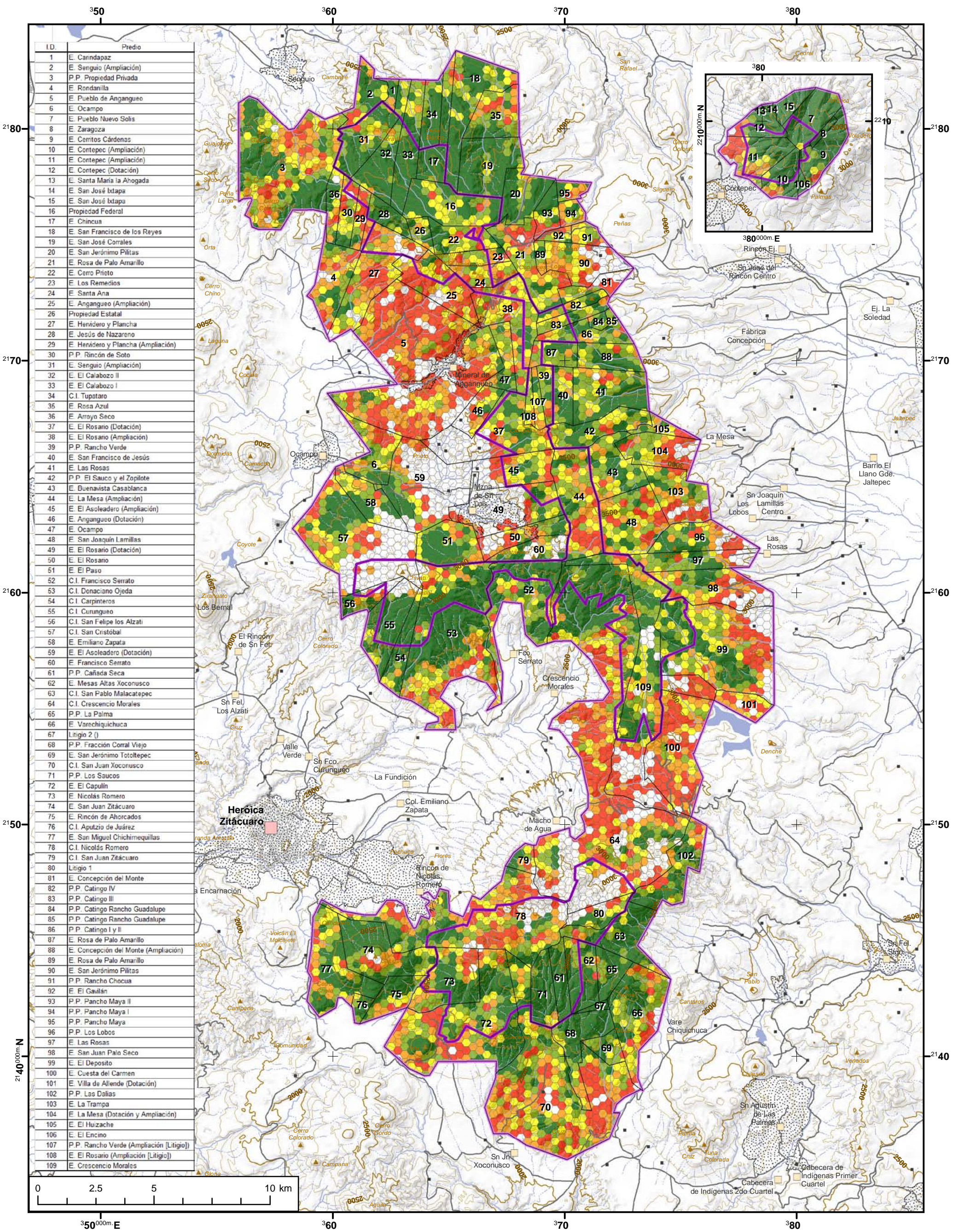
Fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Cuantificación, Caracterización y Correlaciones (1999-2010)

Mapa I. Topografía

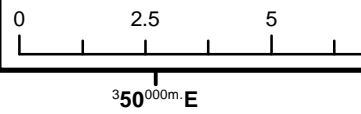
- Símbolos convencionales**
- Límite RBMM**
 - Núcleo
 - Amortiguamiento
 - Predio**
 - Área urbana**
 - Asentamiento humano**
 - 500 - 1,500
 - 1,501 - 10,000
 - 84,307
 - Carretera**
 - Cerro**
 - Curva de nivel**
 - Maestra
 - Auxiliar
 - Corriente de agua**
 - Perenne
 - Intermitente
 - Cuerpo de agua

Elipsóide: WGS 84
 Datum: WGS 84
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Equidistancia entre curvas: 100 m
 Fuentes: INEGI, CONANP, WWF, UNAM, Elab. Propia
 Edición cartográfica: Pablo Leautaud Valenzuela





ID.	Predio
1	E. Canndapaz
2	E. Senguio (Ampliación)
3	P.P. Propiedad Privada
4	E. Rondanilla
5	E. Pueblo de Anganguo
6	E. Ocampo
7	E. Pueblo Nuevo Solis
8	E. Zaragoza
9	E. Cerritos Cárdenas
10	E. Contepec (Ampliación)
11	E. Contepec (Ampliación)
12	E. Contepec (Dotación)
13	E. Santa María la Ahogada
14	E. San José Ixtapa
15	E. San José Ixtapa
16	Propiedad Federal
17	E. Chincua
18	E. San Francisco de los Reyes
19	E. San José Corrales
20	E. San Jerónimo Pilitas
21	E. Rosa de Palo Amarillo
22	E. Cerro Prieto
23	E. Los Remedios
24	E. Santa Ana
25	E. Anganguo (Ampliación)
26	Propiedad Estatal
27	E. Hervidero y Plancha
28	E. Jesús de Nazareno
29	E. Hervidero y Plancha (Ampliación)
30	P.P. Rincón de Soto
31	E. Senguio (Ampliación)
32	E. El Calabozo II
33	E. El Calabozo I
34	C.I. Tupaturo
35	E. Rosa Azul
36	E. Arroyo Seco
37	E. El Rosario (Dotación)
38	E. El Rosario (Ampliación)
39	P.P. Rancho Verde
40	E. San Francisco de Jesús
41	E. Las Rosas
42	P.P. El Sauco y el Zopilote
43	E. Buenavista Casablanca
44	E. La Mesa (Ampliación)
45	E. El Asoleadero (Ampliación)
46	E. Anganguo (Dotación)
47	E. Ocampo
48	E. San Joaquín Lamillas
49	E. El Rosario (Dotación)
50	E. El Rosano
51	E. El Paso
52	C.I. Francisco Serrato
53	C.I. Donaciano Ojeda
54	C.I. Carpinteros
55	C.I. Curungueo
56	C.I. San Felipe los Alzati
57	C.I. San Cristóbal
58	E. Emiliano Zapata
59	E. El Asoleadero (Dotación)
60	E. Francisco Serrato
61	P.P. Cañada Seca
62	E. Mesas Altas Xoconusco
63	C.I. San Pablo Malacatepec
64	C.I. Crescencio Morales
65	P.P. La Palma
66	E. Varechiquichuca
67	Litigio 2 ()
68	P.P. Fracción Corral Viejo
69	E. San Jerónimo Totoltepec
70	C.I. San Juan Xoconusco
71	P.P. Los Saucos
72	E. El Capulín
73	E. Nicolás Romero
74	E. San Juan Zitácuaro
75	E. Rincón de Ahorcados
76	C.I. Aputzío de Juárez
77	E. San Miguel Chichimequillas
78	C.I. Nicolás Romero
79	C.I. San Juan Zitácuaro
80	Litigio 1 ()
81	E. Concepción del Monte
82	P.P. Catingo IV
83	P.P. Catingo III
84	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
85	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
86	P.P. Catingo I y II
87	E. Rosa de Palo Amarillo
88	E. Concepción del Monte (Ampliación)
89	E. Rosa de Palo Amarillo
90	E. San Jerónimo Pilitas
91	P.P. Rancho Chocua
92	E. El Gavilán
93	P.P. Pancho Maya II
94	P.P. Pancho Maya I
95	P.P. Pancho Maya
96	P.P. Los Lobos
97	E. Las Rosas
98	E. San Juan Palo Seco
99	E. El Deposito
100	E. Cuesta del Carmen
101	E. Villa de Aliende (Dotación)
102	P.P. Las Dalias
103	E. La Trampa
104	E. La Mesa (Dotación y Ampliación)
105	E. El Huizache
106	E. El Encino
107	P.P. Rancho Verde (Ampliación [Litigio])
108	E. El Rosario (Ampliación [Litigio])
109	E. Crescencio Morales



Fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Cuantificación, Caracterización y Correlaciones (1999-2010)

Mapa II. Índice de Fragmentación Reticular (IFR) 1999

Leyenda temática

Fragmentación forestal

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta
- Sin vegetación forestal

Símbolos convencionales

Límite RBMM

- Núcleo
- Amortiguamiento

Predio

- Predio
- Área urbana

Asentamiento humano

- 500 - 1,500
- 1,501 - 10,000
- 84,307

Carretera

- Carretera

Cerro

- Cerro

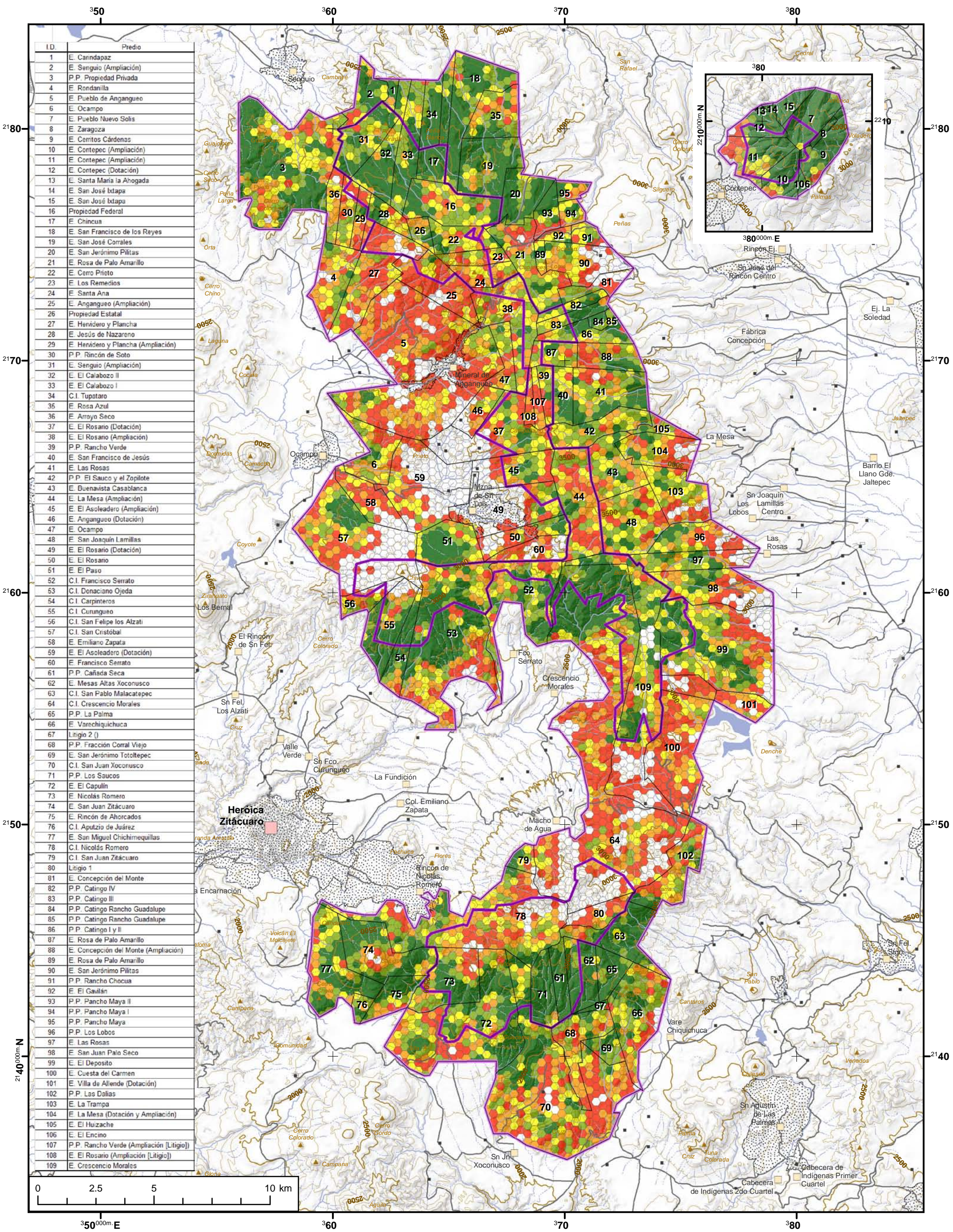
Curva de nivel

- Maestra
- Auxiliar

Corriente de agua

- Perenne
- Intermitente
- Cuerpo de agua

Elipsóide: WGS 84
 Datum: WGS 84
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Equidistancia entre curvas: 100 m
 Fuentes: INEGI, CONANP, WWF, UNAM, Elab. Propia
 Edición cartográfica: Pablo Leautaud Valenzuela



ID.	Predio
1	E. Canndapaz
2	E. Senguio (Ampliación)
3	P.P. Propiedad Privada
4	E. Rondanilla
5	E. Pueblo de Angangué
6	E. Ocampo
7	E. Pueblo Nuevo Solís
8	E. Zaragoza
9	E. Cerritos Cárdenas
10	E. Contepec (Ampliación)
11	E. Contepec (Ampliación)
12	E. Contepec (Dotación)
13	E. Santa María la Ahogada
14	E. San José Ixtapa
15	E. San José Ixtapa
16	Propiedad Federal
17	E. Chincua
18	E. San Francisco de los Reyes
19	E. San José Corrales
20	E. San Jerónimo Pilitas
21	E. Rosa de Palo Amarillo
22	E. Cerro Prieto
23	E. Los Remedios
24	E. Santa Ana
25	E. Angangué (Ampliación)
26	Propiedad Estatal
27	E. Hervidero y Plancha
28	E. Jesús de Nazareno
29	E. Hervidero y Plancha (Ampliación)
30	P.P. Rincón de Soto
31	E. Senguio (Ampliación)
32	E. El Calabozo II
33	E. El Calabozo I
34	C.I. Tupaturo
35	E. Rosa Azul
36	E. Arroyo Seco
37	E. El Rosario (Dotación)
38	E. El Rosario (Ampliación)
39	P.P. Rancho Verde
40	E. San Francisco de Jesús
41	E. Las Rosas
42	P.P. El Sauco y el Zopilote
43	E. Buenavista Casablanca
44	E. La Mesa (Ampliación)
45	E. El Asoleadero (Ampliación)
46	E. Angangué (Dotación)
47	E. Ocampo
48	E. San Joaquín Lamillas
49	E. El Rosario (Dotación)
50	E. El Rosano
51	E. El Paso
52	C.I. Francisco Serrato
53	C.I. Donaciano Ojeda
54	C.I. Carpinteros
55	C.I. Curungueo
56	C.I. San Felipe los Alzati
57	C.I. San Cristóbal
58	E. Emiliano Zapata
59	E. El Asoleadero (Dotación)
60	E. Francisco Serrato
61	P.P. Cañada Seca
62	E. Mesas Altas Xoconusco
63	C.I. San Pablo Malacatepec
64	C.I. Crescencio Morales
65	P.P. La Palma
66	E. Varchiquichuca
67	Litigio 2 ()
68	P.P. Fracción Corral Viejo
69	E. San Jerónimo Totoltepec
70	C.I. San Juan Xoconusco
71	P.P. Los Saucos
72	E. El Capulín
73	E. Nicolás Romero
74	E. San Juan Zitácuaro
75	E. Rincón de Ahorcados
76	C.I. Aputzitz de Juárez
77	E. San Miguel Chichimequillas
78	C.I. Nicolás Romero
79	C.I. San Juan Zitácuaro
80	Litigio 1 ()
81	E. Concepción del Monte
82	P.P. Catingo IV
83	P.P. Catingo III
84	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
85	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
86	P.P. Catingo I y II
87	E. Rosa de Palo Amarillo
88	E. Concepción del Monte (Ampliación)
89	E. Rosa de Palo Amarillo
90	E. San Jerónimo Pilitas
91	P.P. Rancho Chocua
92	E. El Gavilán
93	P.P. Pancho Maya II
94	P.P. Pancho Maya I
95	P.P. Pancho Maya
96	P.P. Los Lobos
97	E. Las Rosas
98	E. San Juan Palo Seco
99	E. El Depósito
100	E. Cuesta del Carmen
101	E. Villa de Aliende (Dotación)
102	P.P. Las Dalias
103	E. La Trampa
104	E. La Mesa (Dotación y Ampliación)
105	E. El Huizache
106	E. El Encino
107	P.P. Rancho Verde (Ampliación [Litigio])
108	E. El Rosario (Ampliación [Litigio])
109	E. Crescencio Morales

Legenda temática

Fragmentación forestal

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta
- Sin vegetación forestal

Símbolos convencionales

Límite RBMM

- Núcleo
- Amortiguamiento

Predio

- Predio
- Área urbana

Asentamiento humano

- 500 - 1,500
- 1,501 - 10,000
- 84,307

Carretera

- Carretera

Cerro

- Cerro

Curva de nivel

- Maestra
- Auxiliar

Corriente de agua

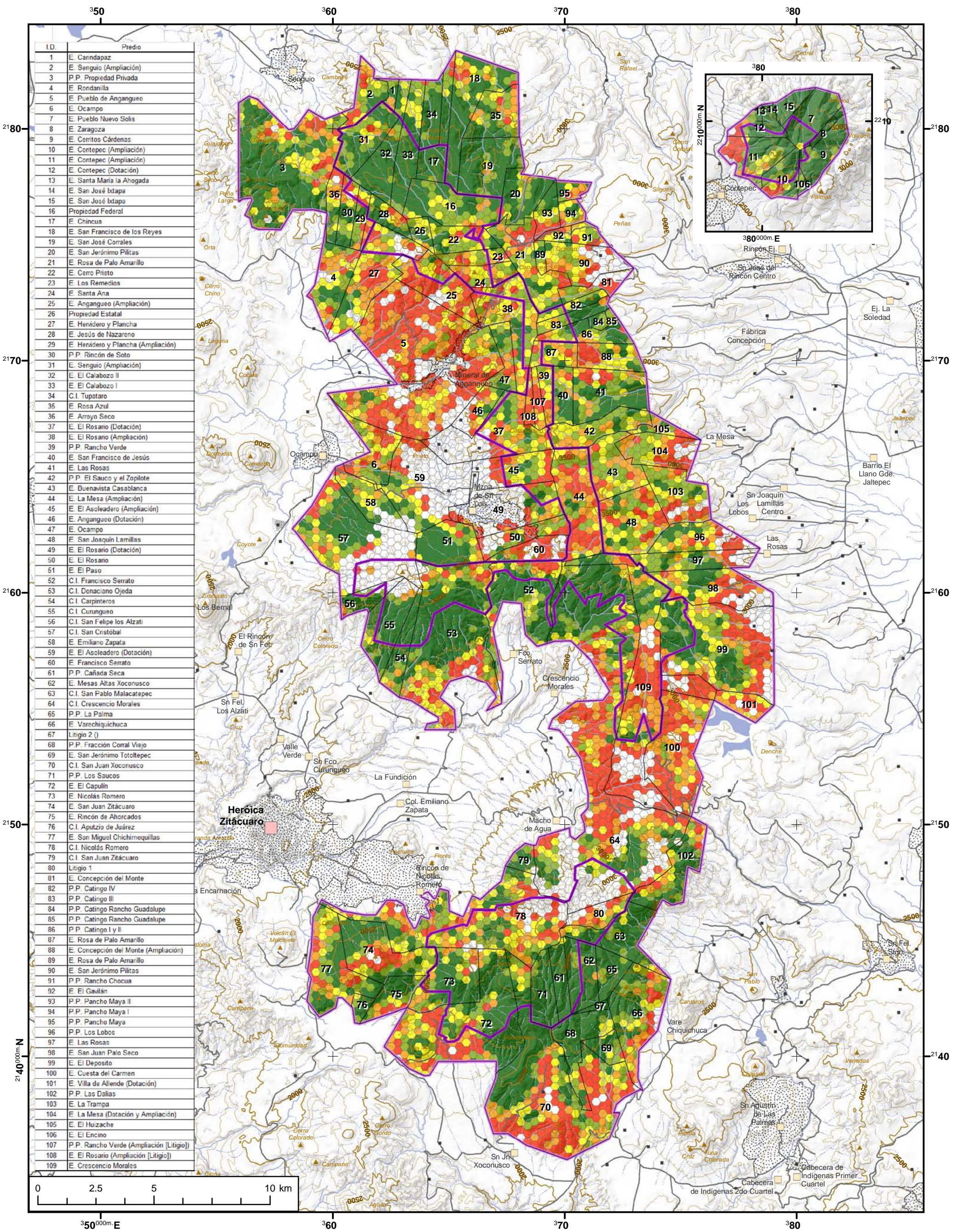
- Perenne
- Intermitente
- Cuerpo de agua

Elipsoide: WGS 84
 Datum: WGS 84
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Equidistancia entre curvas: 100 m
 Fuentes: INEGI, CONANP, WWF, UNAM, Elab. Propia
 Edición cartográfica: Pablo Leautaud Valenzuela



Fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Cuantificación, Caracterización y Correlaciones (1999-2010)

Mapa III. Índice de Fragmentación Reticular (IFR) 2003



Fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Cuantificación, Caracterización y Correlaciones (1999-2010)

Mapa IV. Índice de Fragmentación Reticular (IFR) 2010

Legenda temática

Fragmentación forestal

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta
- Sin vegetación forestal

Símbolos convencionales

Límite RBMM

- Núcleo
- Amortiguamiento
- Predio
- Área urbana

Asentamiento humano

- 500 - 1,500
- 1,501 - 10,000
- 84,307

Carretera

- Carretera

Cerro

- Cerro

Curva de nivel

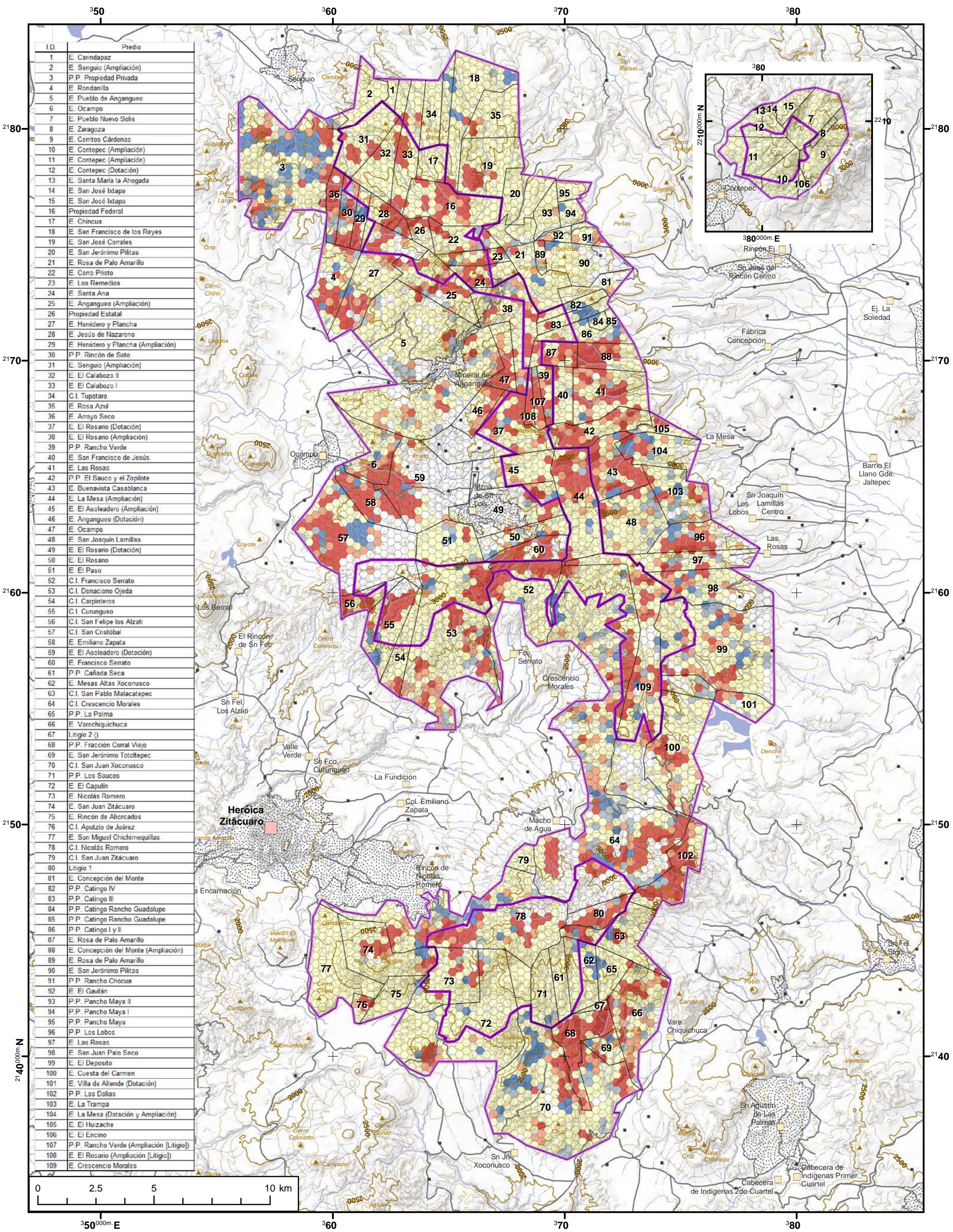
- Maestra
- Auxiliar

Corriente de agua

- Perenne
- Intermitente
- Cuerpo de agua

Elipsoide: WGS 84
 Datum: WGS 84
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Equidistancia entre curvas: 100 m
 Fuentes: INEGI, CONANP, WWF, UNAM, Elab. Propia
 Edición cartográfica: Pablo Leautaud Valenzuela

UNAM POSGRADO



ID.	Predio
1	E. Canndapaz
2	E. Senguio (Ampliación)
3	P.P. Propiedad Privada
4	E. Rondanilla
5	E. Pueblo de Angangué
6	E. Ocampo
7	E. Pueblo Nuevo Solís
8	E. Zaragoza
9	E. Cerritos Cárdenas
10	E. Contepec (Ampliación)
11	E. Contepec (Ampliación)
12	E. Contepec (Dotación)
13	E. Santa María la Ahogada
14	E. San José Ixtapa
15	E. San José Ixtapa
16	Propiedad Federal
17	E. Chincua
18	E. San Francisco de los Reyes
19	E. San José Corrales
20	E. San Jerónimo Pilitas
21	E. Rosa de Palo Amarillo
22	E. Cerro Prieto
23	E. Los Remedios
24	E. Santa Ana
25	E. Angangué (Ampliación)
26	Propiedad Estatal
27	E. Hervidero y Plancha
28	E. Jesús de Nazareno
29	E. Hervidero y Plancha (Ampliación)
30	P.P. Rincón de Soto
31	E. Senguio (Ampliación)
32	E. El Calabozo II
33	E. El Calabozo I
34	C.I. Tupaturo
35	E. Rosa Azul
36	E. Arroyo Seco
37	E. El Rosario (Dotación)
38	E. El Rosario (Ampliación)
39	P.P. Rancho Verde
40	E. San Francisco de Jesús
41	E. Las Rosas
42	P.P. El Sauco y el Zopilote
43	E. Buenavista Casablanca
44	E. La Mesa (Ampliación)
45	E. El Asoleadero (Ampliación)
46	E. Angangué (Dotación)
47	E. Ocampo
48	E. San Joaquín Lamillas
49	E. El Rosario (Dotación)
50	E. El Rosano
51	E. El Paso
52	C.I. Francisco Serrato
53	C.I. Donaciano Ojeda
54	C.I. Carpinteros
55	C.I. Curungueo
56	C.I. San Felipe los Alzati
57	C.I. San Cristóbal
58	E. Emiliano Zapata
59	E. El Asoleadero (Dotación)
60	E. Francisco Serrato
61	P.P. Cañada Seca
62	E. Mesas Altas Xococonusco
63	C.I. San Pablo Malacatepec
64	C.I. Crescencio Morales
65	P.P. La Palma
66	E. Varchiquichuca
67	Litigio 2 ()
68	P.P. Fracción Corral Viejo
69	E. San Jerónimo Totoltepec
70	C.I. San Juan Xococonusco
71	P.P. Los Saucos
72	E. El Capulín
73	E. Nicolás Romero
74	E. San Juan Zitácuaro
75	E. Rincón de Ahorcados
76	C.I. Aputzio de Juárez
77	E. San Miguel Chichimequillas
78	C.I. Nicolás Romero
79	C.I. San Juan Zitácuaro
80	Litigio 1 ()
81	E. Concepción del Monte
82	P.P. Catingo IV
83	P.P. Catingo III
84	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
85	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
86	P.P. Catingo I y II
87	E. Rosa de Palo Amarillo
88	E. Concepción del Monte (Ampliación)
89	E. Rosa de Palo Amarillo
90	E. San Jerónimo Pilitas
91	P.P. Rancho Chocua
92	E. El Gavilán
93	P.P. Pancho Maya II
94	P.P. Pancho Maya I
95	P.P. Pancho Maya
96	P.P. Los Lobos
97	E. Las Rosas
98	E. San Juan Palo Seco
99	E. El Depósito
100	E. Cuesta del Carmen
101	E. Villa de Aliende (Dotación)
102	P.P. Las Dalias
103	E. La Trampa
104	E. La Mesa (Dotación y Ampliación)
105	E. El Huizache
106	E. El Encino
107	P.P. Rancho Verde (Ampliación [Litigio])
108	E. El Rosario (Ampliación [Litigio])
109	E. Crescencio Morales

Fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Cuantificación, Caracterización y Correlaciones (1999-2010)

Mapa V. Tasa de cambio anual en el IFR (TCA) 1999-2003

Legenda temática

Cambio anual

- Disminución fuerte
- Disminución leve
- Sin cambio neto
- Aumento leve
- Aumento fuerte
- Sin vegetación forestal

Símbolos convencionales

Límite RBMM

- Núcleo
- Amortiguamiento
- Predio
- Área urbana

Asentamiento humano

- 500 - 1,500
- 1,501 - 10,000
- 84,307

Carretera

- Carretera

Curva de nivel

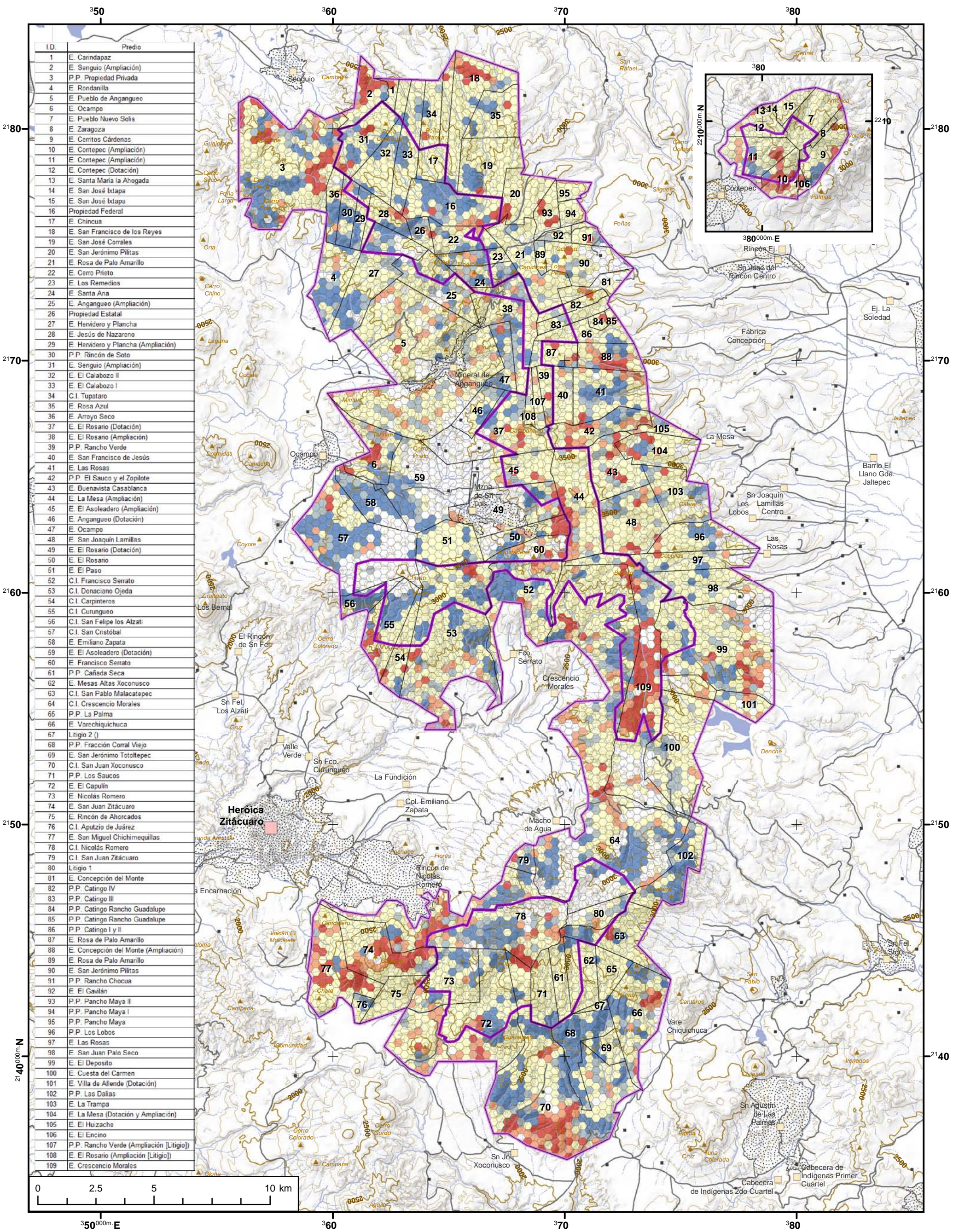
- Maestra
- Auxiliar

Corriente de agua

- Perenne
- Intermitente
- Cuerpo de agua

Elipsóide: WGS 84
 Datum: WGS 84
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Equidistancia entre curvas: 100 m
 Fuentes: INEGI, CONANP, WWF, UNAM, Elab. Propia
 Edición cartográfica: Pablo Leautaud Valenzuela

UNAM POSGRADO



ID.	Predio
1	E. Canndapaz
2	E. Senguio (Ampliación)
3	P.P. Propiedad Privada
4	E. Rondanilla
5	E. Pueblo de Angangué
6	E. Ocampo
7	E. Pueblo Nuevo Solís
8	E. Zaragoza
9	E. Cerritos Cárdenas
10	E. Contepec (Ampliación)
11	E. Contepec (Ampliación)
12	E. Contepec (Dotación)
13	E. Santa María la Ahogada
14	E. San José Ixtapa
15	E. San José Ixtapa
16	Propiedad Federal
17	E. Chincua
18	E. San Francisco de los Reyes
19	E. San José Corrales
20	E. San Jerónimo Pilitas
21	E. Rosa de Palo Amarillo
22	E. Cerro Prieto
23	E. Los Remedios
24	E. Santa Ana
25	E. Angangué (Ampliación)
26	Propiedad Estatal
27	E. Hervidero y Plancha
28	E. Jesús de Nazareno
29	E. Hervidero y Plancha (Ampliación)
30	P.P. Rincón de Soto
31	E. Senguio (Ampliación)
32	E. El Calabozo II
33	E. El Calabozo I
34	C.I. Tupaturo
35	E. Rosa Azul
36	E. Arroyo Seco
37	E. El Rosario (Dotación)
38	E. El Rosario (Ampliación)
39	P.P. Rancho Verde
40	E. San Francisco de Jesús
41	E. Las Rosas
42	P.P. El Sauco y el Zopilote
43	E. Buenavista Casablanca
44	E. La Mesa (Ampliación)
45	E. El Asoleadero (Ampliación)
46	E. Angangué (Dotación)
47	E. Ocampo
48	E. San Joaquín Lamillas
49	E. El Rosario (Dotación)
50	E. El Rosano
51	E. El Paso
52	C.I. Francisco Serrato
53	C.I. Donaciano Ojeda
54	C.I. Carpinteros
55	C.I. Curunguero
56	C.I. San Felipe los Alzati
57	C.I. San Cristóbal
58	E. Emiliano Zapata
59	E. El Asoleadero (Dotación)
60	E. Francisco Serrato
61	P.P. Cañada Seca
62	E. Mesas Altas Xoconusco
63	C.I. San Pablo Malacatepec
64	C.I. Crescencio Morales
65	P.P. La Palma
66	E. Varechiquichuca
67	Litigio 2 ()
68	P.P. Fracción Corral Viejo
69	E. San Jerónimo Totoltepec
70	C.I. San Juan Xoconusco
71	P.P. Los Saucos
72	E. El Capulín
73	E. Nicolás Romero
74	E. San Juan Zitácuaro
75	E. Rincón de Ahorcados
76	C.I. Apuztío de Juárez
77	E. San Miguel Chichimequillas
78	C.I. Nicolás Romero
79	C.I. San Juan Zitácuaro
80	Litigio 1 ()
81	E. Concepción del Monte
82	P.P. Catingo IV
83	P.P. Catingo III
84	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
85	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
86	P.P. Catingo I y II
87	E. Rosa de Palo Amarillo
88	E. Concepción del Monte (Ampliación)
89	E. Rosa de Palo Amarillo
90	E. San Jerónimo Pilitas
91	P.P. Rancho Chocua
92	E. El Gavilán
93	P.P. Pancho Maya II
94	P.P. Pancho Maya I
95	P.P. Pancho Maya
96	P.P. Los Lobos
97	E. Las Rosas
98	E. San Juan Palo Seco
99	E. El Depósito
100	E. Cuesta del Carmen
101	E. Villa de Aliende (Dotación)
102	P.P. Las Dalias
103	E. La Trampa
104	E. La Mesa (Dotación y Ampliación)
105	E. El Huizache
106	E. El Encino
107	P.P. Rancho Verde (Ampliación [Litigio])
108	E. El Rosario (Ampliación [Litigio])
109	E. Crescencio Morales

Fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Cuantificación, Caracterización y Correlaciones (1999-2010)

Mapa VI. Tasa de cambio anual en el IFR (TCA) 2003-2010

Legenda temática

Cambio anual

- Disminución fuerte
- Disminución leve
- Sin cambio neto
- Aumento leve
- Aumento fuerte
- Sin vegetación forestal

Símbolos convencionales

Límite RBMM

- Núcleo
- Amortiguamiento

Predio

- Área urbana

Asentamiento humano

- 500 - 1,500
- 1,501 - 10,000
- 84,307

Carretera

- Carretera

Cerro

- Cerro

Curva de nivel

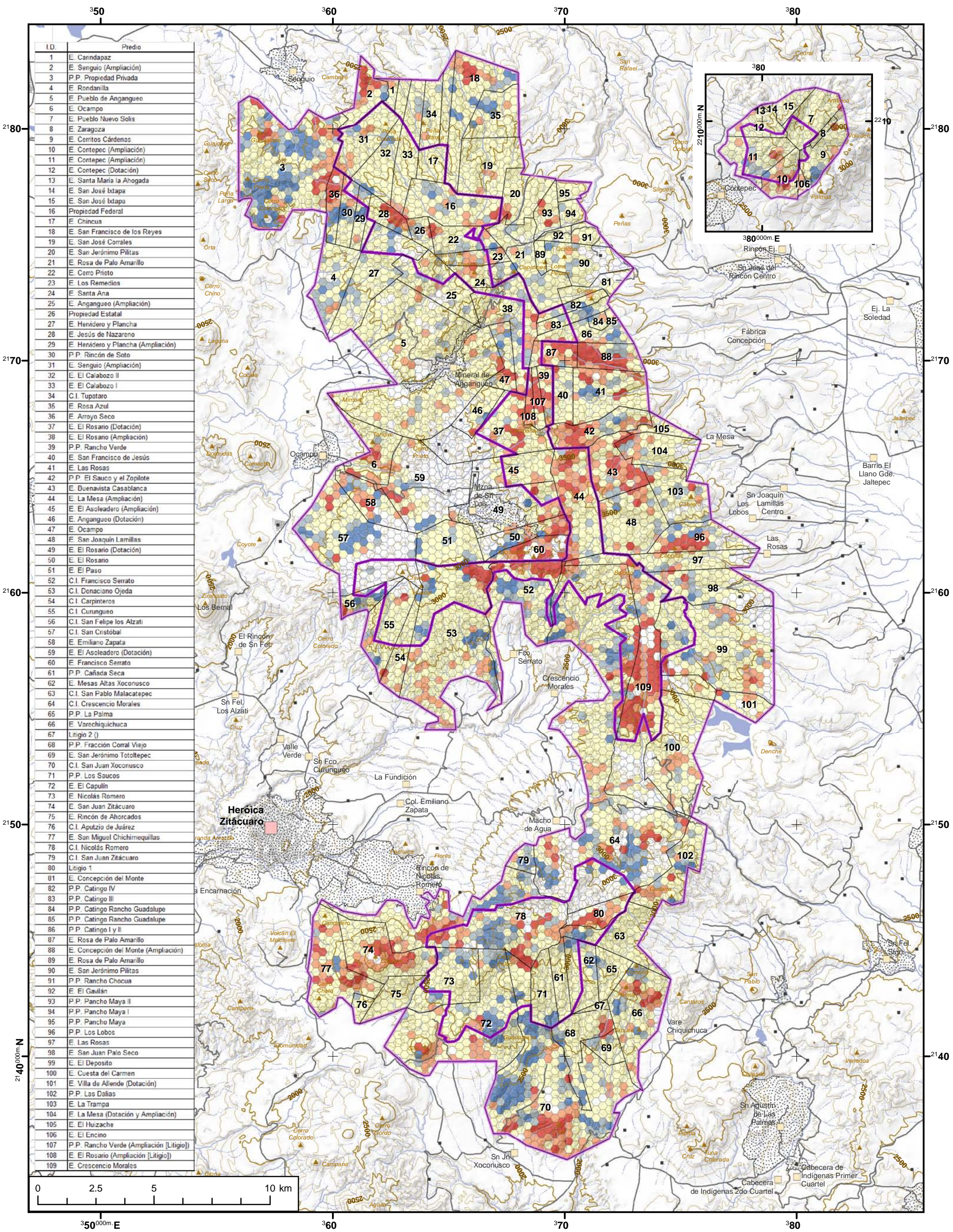
- Maestra
- Auxiliar

Corriente de agua

- Perenne
- Intermitente
- Cuerpo de agua

Elipsóide: WGS 84
 Datum: WGS 84
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Equidistancia entre curvas: 100 m
 Fuentes: INEGI, CONANP, WWF, UNAM, Elab. Propia
 Edición cartográfica: Pablo Leautaud Valenzuela

UNAM POSGRADO



ID.	Predio
1	E. Canndapaz
2	E. Senguio (Ampliación)
3	P.P. Propiedad Privada
4	E. Rondanilla
5	E. Pueblo de Angangué
6	E. Ocampo
7	E. Pueblo Nuevo Solís
8	E. Zaragoza
9	E. Cerros Cárdenas
10	E. Contepec (Ampliación)
11	E. Contepec (Ampliación)
12	E. Contepec (Dotación)
13	E. Santa María la Ahogada
14	E. San José Ixtapa
15	E. San José Ixtapa
16	Propiedad Federal
17	E. Chincua
18	E. San Francisco de los Reyes
19	E. San José Corrales
20	E. San Jerónimo Pilitas
21	E. Rosa de Palo Amarillo
22	E. Cerro Prieto
23	E. Los Remedios
24	E. Santa Ana
25	E. Angangué (Ampliación)
26	Propiedad Estatal
27	E. Hervidero y Plancha
28	E. Jesús de Nazareno
29	E. Hervidero y Plancha (Ampliación)
30	P.P. Rincón de Soto
31	E. Senguio (Ampliación)
32	E. El Calabozo II
33	E. El Calabozo I
34	C.I. Tupaturo
35	E. Rosa Azul
36	E. Arroyo Seco
37	E. El Rosario (Dotación)
38	E. El Rosario (Ampliación)
39	P.P. Rancho Verde
40	E. San Francisco de Jesús
41	E. Las Rosas
42	P.P. El Sauco y el Zopilote
43	E. Buenavista Casablanca
44	E. La Mesa (Ampliación)
45	E. El Asoleadero (Ampliación)
46	E. Angangué (Dotación)
47	E. Ocampo
48	E. San Joaquín Lamillas
49	E. El Rosario (Dotación)
50	E. El Rosano
51	E. El Paso
52	C.I. Francisco Serrato
53	C.I. Donaciano Ojeda
54	C.I. Carpinteros
55	C.I. Curungueo
56	C.I. San Felipe los Alzati
57	C.I. San Cristóbal
58	E. Emiliano Zapata
59	E. El Asoleadero (Dotación)
60	E. Francisco Serrato
61	P.P. Cañada Seca
62	E. Mesas Altas Xococonusco
63	C.I. San Pablo Malacatepec
64	C.I. Crescencio Morales
65	P.P. La Palma
66	E. Varchichichuca
67	Litigio 2 ()
68	P.P. Fracción Corral Viejo
69	E. San Jerónimo Totoltepec
70	C.I. San Juan Xococonusco
71	P.P. Los Saucos
72	E. El Capulín
73	E. Nicolás Romero
74	E. San Juan Zitácuaro
75	E. Rincón de Ahorcados
76	C.I. Apuztío de Juárez
77	E. San Miguel Chichimequillas
78	C.I. Nicolás Romero
79	C.I. San Juan Zitácuaro
80	Litigio 1 ()
81	E. Concepción del Monte
82	P.P. Catingo IV
83	P.P. Catingo III
84	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
85	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
86	P.P. Catingo I y II
87	E. Rosa de Palo Amarillo
88	E. Concepción del Monte (Ampliación)
89	E. Rosa de Palo Amarillo
90	E. San Jerónimo Pilitas
91	P.P. Rancho Chocua
92	E. El Gavilán
93	P.P. Pancho Maya II
94	P.P. Pancho Maya I
95	P.P. Pancho Maya
96	P.P. Los Lobos
97	E. Las Rosas
98	E. San Juan Palo Seco
99	E. El Depósito
100	E. Cuesta del Carmen
101	E. Villa de Aliende (Dotación)
102	P.P. Las Dalias
103	E. La Trampa
104	E. La Mesa (Dotación y Ampliación)
105	E. El Huizache
106	E. El Encino
107	P.P. Rancho Verde (Ampliación [Litigio])
108	E. El Rosario (Ampliación [Litigio])
109	E. Crescencio Morales

Fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Cuantificación, Caracterización y Correlaciones (1999-2010)

Mapa VII. Tasa de cambio anual en el IFR (TCA) 1999-2010

Legenda temática

Cambio anual

- Disminución fuerte
- Disminución leve
- Sin cambio neto
- Aumento leve
- Aumento fuerte
- Sin vegetación forestal

Símbolos convencionales

Límite RBMM

- Núcleo
- Amortiguamiento

Asentamiento humano

- 500 - 1,500
- 1,501 - 10,000
- 84,307

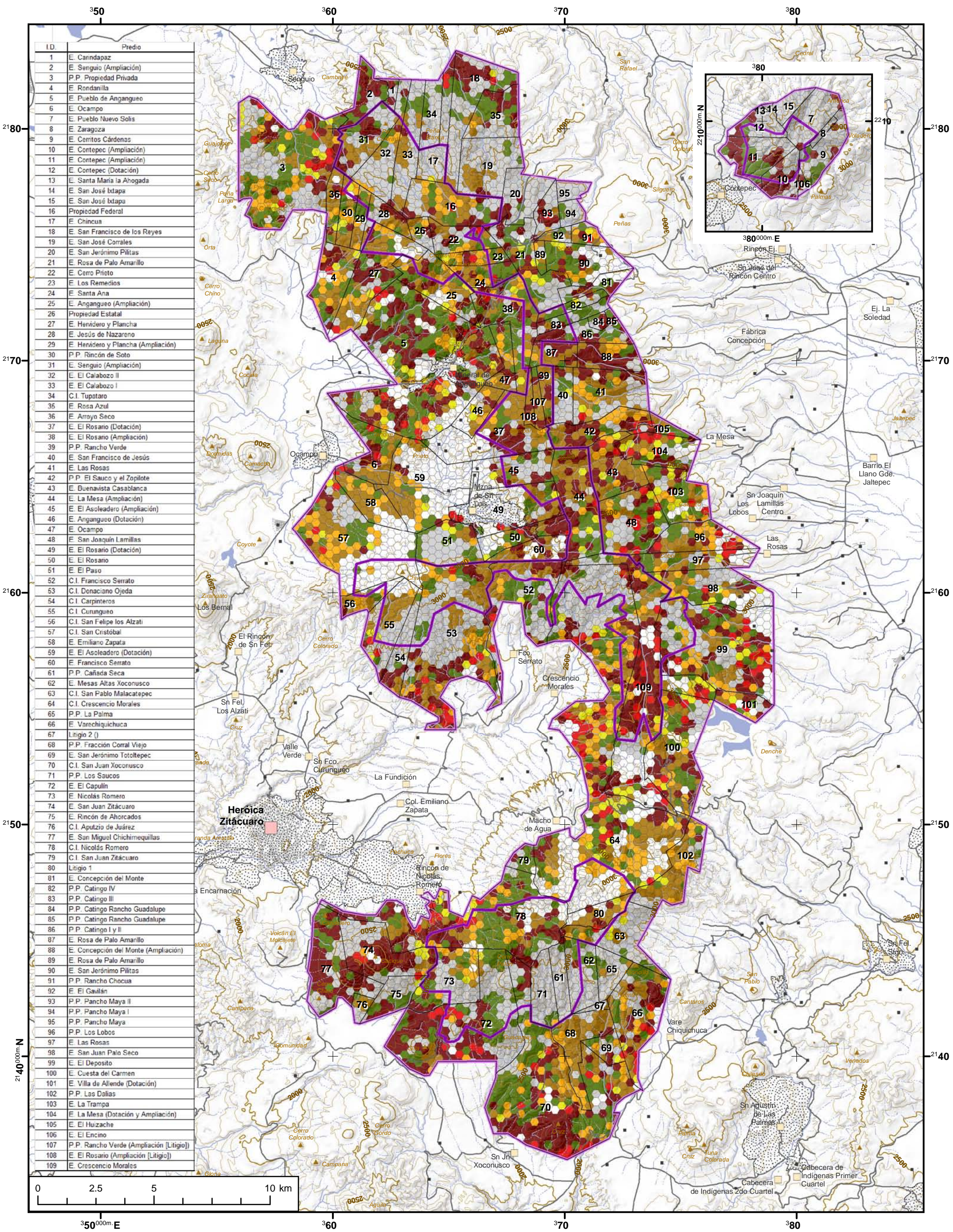
Curva de nivel

- Maestra
- Auxiliar

Corriente de agua

- Perenne
- Intermitente
- Cuerpo de agua

Elipsóide: WGS 84
 Datum: WGS 84
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Equidistancia entre curvas: 100 m
 Fuentes: INEGI, CONANP, WWF, UNAM, Elab. Propia
 Edición cartográfica: Pablo Leautaud Valenzuela



ID.	Predio
1	E. Canndapaz
2	E. Senguio (Ampliación)
3	P.P. Propiedad Privada
4	E. Rondanilla
5	E. Pueblo de Anganguo
6	E. Ocampo
7	E. Pueblo Nuevo Solis
8	E. Zaragoza
9	E. Cerros Cárdenas
10	E. Contepec (Ampliación)
11	E. Contepec (Ampliación)
12	E. Contepec (Dotación)
13	E. Santa María la Ahogada
14	E. San José Ixtapa
15	E. San José Ixtapa
16	Propiedad Federal
17	E. Chincua
18	E. San Francisco de los Reyes
19	E. San José Corrales
20	E. San Jerónimo Pilitas
21	E. Rosa de Palo Amarillo
22	E. Cerro Prieto
23	E. Los Remedios
24	E. Santa Ana
25	E. Anganguo (Ampliación)
26	Propiedad Estatal
27	E. Hervidero y Plancha
28	E. Jesús de Nazareno
29	E. Hervidero y Plancha (Ampliación)
30	P.P. Rincón de Soto
31	E. Senguio (Ampliación)
32	E. El Calabozo II
33	E. El Calabozo I
34	C.I. Tupaturo
35	E. Rosa Azul
36	E. Arroyo Seco
37	E. El Rosario (Dotación)
38	E. El Rosario (Ampliación)
39	P.P. Rancho Verde
40	E. San Francisco de Jesús
41	E. Las Rosas
42	P.P. El Sauco y el Zopilote
43	E. Buenavista Casablanca
44	E. La Mesa (Ampliación)
45	E. El Asoleadero (Ampliación)
46	E. Anganguo (Dotación)
47	E. Ocampo
48	E. San Joaquín Lamillas
49	E. El Rosario (Dotación)
50	E. El Rosano
51	E. El Paso
52	C.I. Francisco Serrato
53	C.I. Donaciano Ojeda
54	C.I. Carpinteros
55	C.I. Curunguero
56	C.I. San Felipe los Alzati
57	C.I. San Cristóbal
58	E. Emiliano Zapata
59	E. El Asoleadero (Dotación)
60	E. Francisco Serrato
61	P.P. Cañada Seca
62	E. Mesas Altas Xoconusco
63	C.I. San Pablo Malacatepec
64	C.I. Crescencio Morales
65	P.P. La Palma
66	E. Varchiquichuca
67	Litigio 2 ()
68	P.P. Fracción Corral Viejo
69	E. San Jerónimo Totoltepec
70	C.I. San Juan Xoconusco
71	P.P. Los Saucos
72	E. El Capulín
73	E. Nicolás Romero
74	E. San Juan Zitácuaro
75	E. Rincón de Ahorcados
76	C.I. Aputzío de Juárez
77	E. San Miguel Chichimequillas
78	C.I. Nicolás Romero
79	C.I. San Juan Zitácuaro
80	Litigio 1
81	E. Concepción del Monte
82	P.P. Catingo IV
83	P.P. Catingo III
84	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
85	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
86	P.P. Catingo I y II
87	E. Rosa de Palo Amarillo
88	E. Concepción del Monte (Ampliación)
89	E. Rosa de Palo Amarillo
90	E. San Jerónimo Pilitas
91	P.P. Rancho Chocua
92	E. El Gavilán
93	P.P. Pancho Maya II
94	P.P. Pancho Maya I
95	P.P. Pancho Maya
96	P.P. Los Lobos
97	E. Las Rosas
98	E. San Juan Palo Seco
99	E. El Deposito
100	E. Cuesta del Carmen
101	E. Villa de Aliende (Dotación)
102	P.P. Las Dalias
103	E. La Trampa
104	E. La Mesa (Dotación y Ampliación)
105	E. El Huizache
106	E. El Encino
107	P.P. Rancho Verde (Ampliación [Litigio])
108	E. El Rosario (Ampliación [Litigio])
109	E. Crescencio Morales

Fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Cuantificación, Caracterización y Correlaciones (1999-2010)

Mapa VIII. Tipo de cambio (Dinámica trianual)

Leyenda temática

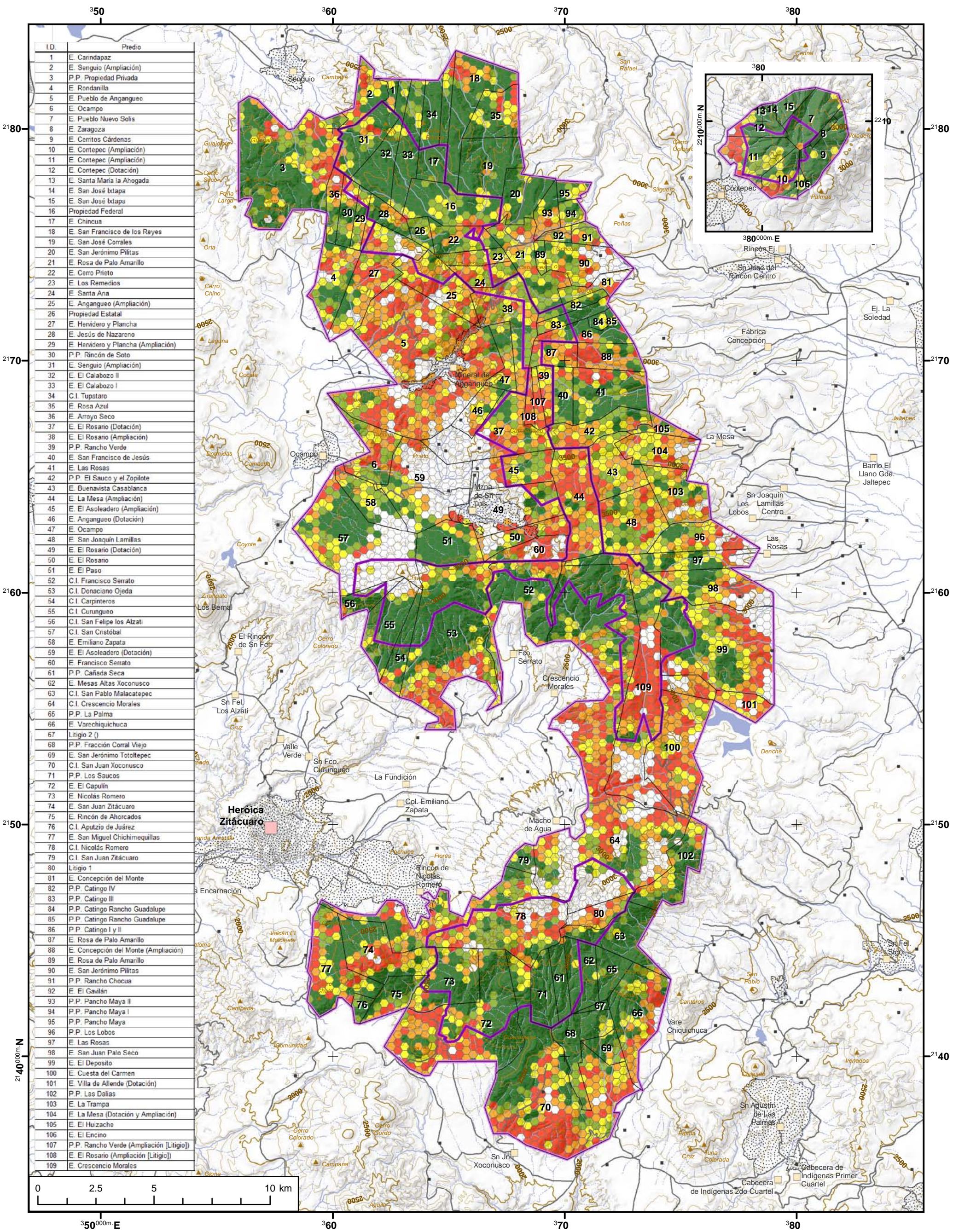
- Tipo de cambio**
- 0-0
 - 1-A
 - 1-B
 - 2-A
 - 2-B
 - 3-A
 - 3-B
 - Sin vegetación forestal

Símbolos convencionales

- Límite RBMM**
- Núcleo
 - Amortiguamiento
- Asentamiento humano**
- 500 - 1,500
 - 1,501 - 10,000
 - 84,307
- Símbolos convencionales**
- Carretera
 - Cerro
 - Curva de nivel
 - Maestra
 - Auxiliar
 - Corriente de agua
 - Perenne
 - Intermitente
 - Cuerpo de agua

Elipsóide: WGS 84
 Datum: WGS 84
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Equidistancia entre curvas: 100 m
 Fuentes: INEGI, CONANP, WWF, UNAM, Elab. Propia
 Edición cartográfica: Pablo Leautaud Valenzuela





ID.	Predio
1	E. Canndapaz
2	E. Senguio (Ampliación)
3	P.P. Propiedad Privada
4	E. Rondanilla
5	E. Pueblo de Anganguo
6	E. Ocampo
7	E. Pueblo Nuevo Solis
8	E. Zaragoza
9	E. Cerritos Cárdenas
10	E. Contepec (Ampliación)
11	E. Contepec (Ampliación)
12	E. Contepec (Dotación)
13	E. Santa María la Ahogada
14	E. San José Ixtapa
15	E. San José Ixtapa
16	Propiedad Federal
17	E. Chincua
18	E. San Francisco de los Reyes
19	E. San José Corrales
20	E. San Jerónimo Pilitas
21	E. Rosa de Palo Amarillo
22	E. Cerro Prieto
23	E. Los Remedios
24	E. Santa Ana
25	E. Anganguo (Ampliación)
26	Propiedad Estatal
27	E. Hervidero y Plancha
28	E. Jesús de Nazareno
29	E. Hervidero y Plancha (Ampliación)
30	P.P. Rincón de Soto
31	E. Senguio (Ampliación)
32	E. El Calabozo II
33	E. El Calabozo I
34	C.I. Tupaturo
35	E. Rosa Azul
36	E. Arroyo Seco
37	E. El Rosario (Dotación)
38	E. El Rosario (Ampliación)
39	P.P. Rancho Verde
40	E. San Francisco de Jesús
41	E. Las Rosas
42	P.P. El Sauco y el Zopilote
43	E. Buenavista Casablanca
44	E. La Mesa (Ampliación)
45	E. El Asoleadero (Ampliación)
46	E. Anganguo (Dotación)
47	E. Ocampo
48	E. San Joaquín Lamillas
49	E. El Rosario (Dotación)
50	E. El Rosano
51	E. El Paso
52	C.I. Francisco Serrato
53	C.I. Donaciano Ojeda
54	C.I. Carpinteros
55	C.I. Curungueo
56	C.I. San Felipe los Alzati
57	C.I. San Cristóbal
58	E. Emiliano Zapata
59	E. El Asoleadero (Dotación)
60	E. Francisco Serrato
61	P.P. Cañada Seca
62	E. Mesas Altas Xoconusco
63	C.I. San Pablo Malacatepec
64	C.I. Crescencio Morales
65	P.P. La Palma
66	E. Varechiquichuca
67	Litigio 2 ()
68	P.P. Fracción Corral Viejo
69	E. San Jerónimo Totoltepec
70	C.I. San Juan Xoconusco
71	P.P. Los Saucos
72	E. El Capulín
73	E. Nicolás Romero
74	E. San Juan Zitácuaro
75	E. Rincón de Ahorcados
76	C.I. Aputzío de Juárez
77	E. San Miguel Chichimequillas
78	C.I. Nicolás Romero
79	C.I. San Juan Zitácuaro
80	Litigio 1 ()
81	E. Concepción del Monte
82	P.P. Catingo IV
83	P.P. Catingo III
84	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
85	P.P. Catingo Rancho Guadalupe
86	P.P. Catingo I y II
87	E. Rosa de Palo Amarillo
88	E. Concepción del Monte (Ampliación)
89	E. Rosa de Palo Amarillo
90	E. San Jerónimo Pilitas
91	P.P. Rancho Chocua
92	E. El Gavilán
93	P.P. Pancho Maya II
94	P.P. Pancho Maya I
95	P.P. Pancho Maya
96	P.P. Los Lobos
97	E. Las Rosas
98	E. San Juan Palo Seco
99	E. El Deposito
100	E. Cuesta del Carmen
101	E. Villa de Aliende (Dotación)
102	P.P. Las Dalias
103	E. La Trampa
104	E. La Mesa (Dotación y Ampliación)
105	E. El Huizache
106	E. El Encino
107	P.P. Rancho Verde (Ampliación [Litigio])
108	E. El Rosario (Ampliación [Litigio])
109	E. Crescencio Morales

Fragmentación forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Cuantificación, Caracterización y Correlaciones (1999-2010)

Mapa IX. Integración del patrón de fragmentación 1999-2003-2010

Leyenda temática

Fragmentación forestal

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy Alta
- Sin vegetación forestal

Símbolos convencionales

Límite RBMM

- Núcleo
- Amortiguamiento

Asentamiento humano

- Predio
- Área urbana
- 500 - 1,500
- 1,501 - 10,000
- 84,307

Corriente de agua

- Carretera
- ▲ Cerro
- Maestra
- Auxiliar
- Perenne
- Intermitente
- Cuerpo de agua

Elipsóide: WGS 84
 Datum: WGS 84
 Proyección: UTM Zona 14 N
 Equidistancia entre curvas: 100 m
 Fuentes: INEGI, CONANP, WWF, UNAM, Elab. Propia
 Edición cartográfica: Pablo Leautaud Valenzuela

