



Universidad Veracruzana

# UNIVERSIDAD VERACRUZANA

---

---

INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y PESQUERÍAS

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS

**Modificación en la provisión de los servicios ambientales  
por efecto del cambio en la heterogeneidad ambiental en la  
Cuenca del Río Jamapa, Veracruz, México.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**Maestro en Ecología y Pesquerías**

P R E S E N T A :

**Jorge Arnulfo Ortiz Lozano**

Boca del Río, Veracruz

Marzo 2013



Universidad Veracruzana

# UNIVERSIDAD VERACRUZANA

---

---

INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y PESQUERÍAS  
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS

**Modificación en la provisión de los servicios ambientales por efecto del cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca del Río Jamapa, Veracruz, México.**

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**Maestro en Ecología y Pesquerías**

P R E S E N T A :

**Jorge Arnulfo Ortiz Lozano**

COMITÉ TUTORAL:

*Director de Tesis:*

Dr. Javier Bello Pineda

*Tutores:*

Dr. José A. Ake Castillo

Dra. Patricia Arceo Briseño

Dr. Alejandro Granados Barba

Dra. Ma. del Socorro Menchaca Dávila

Boca del Río, Veracruz

Marzo 2013



**Universidad Veracruzana**

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías  
Coordinación del Posgrado en Ecología y Pesquerías

**C. BIOL. JORGE ARNULFO ORTIZ LOZANO  
ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS  
UNIVERSIDAD VERACRUZANA  
P R E S E N T E**

Calle  
Independencia  
No. 30  
Pisos 1 y 2  
Colonia Centro  
CP 94290  
Boca del Río,  
Veracruz,  
México

Teléfono  
(229) 202 28 28

Habiendo sido debidamente revisado y aceptado el trabajo escrito de su tesis denominada "Modificación en la provisión de los servicios ambientales por efecto del cambio de la heterogeneidad ambiental en la Cuenca del río Jamapa, Veracruz, México" por los integrantes de su comité tutorial y estando todos ellos de acuerdo que tanto el contenido como el formato de este trabajo es satisfactorio como prueba escrita para sustentar su examen final de posgrado de la MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS se le autoriza a usted proceda a su impresión.

Sin otro particular, me es grato reiterarle la seguridad de mi más distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ"  
Boca del Río, Ver. Febrero 28 del 2012

  
Dra. María de Lourdes Jiménez Badillo  
Directora

A Nina Lozano Montemayor †

A Ramsés y Nefertiti

A Ñaca y Martina

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Veracruzana, al Programa de Posgrado y académicos del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías por abrirme las puertas de su casa de estudios. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por apoyar mi formación profesional por medio de la beca de estudio de maestría.

En especial agradezco al Dr. Javier Bello Pineda por recibirme en su espacio de trabajo y por aceptar dirigir este trabajo. A la Dra. Patricia Arceo Briseño, a la Dra. Ma del Socorro Menchaca Dávila, al Dr. José Antolín Ake Castillo y al Dr. Alejandro Granados Barba, por los valiosos aportes y comentarios como asesores en este trabajo.

Al Dr. José Luis Hernández Stefanoni, por su ayuda en la interpretación de las métricas del paisaje.

Al Dr. Leonardo Arellano Méndez, por sus comentarios y aportaciones al borrador del trabajo.

A la familia Ortiz-Gutiérrez por su apoyo y compañía, Ana, Leo, Mariana y Emiliano.

A Vanezha, que has estado siempre presente.

A todos aquellos que voluntaria e involuntariamente colaboraron en este trabajo.

## Índice General

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes .....</b>	<b>3</b>
2.1 Antecedente Conceptual.....	3
2.1.1 Los sistemas ambientales como sistemas complejos .....	3
2.1.1.1 Las cuencas como sistemas complejos .....	4
2.1.2 Heterogeneidad Ambiental.....	5
2.1.3 Ecología del Paisaje.....	6
2.1.4 Modelos de desarrollo económico y su impacto en los ecosistemas.....	9
2.1.5 Servicios ambientales .....	11
2.2 Antecedentes del área de estudio .....	13
<b>3. Hipótesis.....</b>	<b>15</b>
<b>4. Objetivos .....</b>	<b>15</b>
4.1 Objetivo general .....	15
4.1.1 Objetivos específicos.....	15
<b>5. Materiales y Métodos .....</b>	<b>16</b>
5.1 Análisis de la heterogeneidad ambiental de la Cuenca del Río Jamapa .....	16
5.1.1 Área de estudio.....	16
5.1.2 Definición de las zonas funcionales de la Cuenca del Río Jamapa.....	18
5.1.3 Heterogeneidad ambiental en la Cuenca del Río Jamapa.....	18
5.2 Análisis del cambio de la heterogeneidad ambiental de la Cuenca del Río Jamapa.....	19
5.2.1 Modelación de cambios en la heterogeneidad ambiental.....	19
5.2.2 Análisis de Métricas del Paisaje .....	19
5.3 Análisis de la modificación de la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca del Río Jamapa de acuerdo al cambio en la heterogeneidad ambiental.....	20
5.3.1 Alcance de los servicios ambientales .....	20
5.3.2 Análisis de la modificación en la provisión de los servicios ambientales en las Zonas funcionales de la Cuenca del Río Jamapa .....	21
<b>6. Resultados.....</b>	<b>22</b>
6.1 Análisis de la heterogeneidad ambiental de la Cuenca del Río Jamapa .....	22
6.1.1 Definición de las zonas funcionales de la Cuenca del Río Jamapa.....	22
6.1.2 Heterogeneidad ambiental en la Cuenca del Río Jamapa.....	27
6.1.3 Heterogeneidad ambiental de las zonas funcionales de la Cuenca del Río Jamapa.....	27
6.2 Análisis de los cambios en la heterogeneidad ambiental de la Cuenca del Río Jamapa .....	27

6.2.1 Análisis del cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca Alta.....	27
6.2.1.1 Análisis del Paisaje para la Cuenca Alta .....	31
6.2.2 Análisis del cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca Media .....	35
6.2.2.1 Análisis del Paisaje para la Cuenca Media .....	38
6.2.3 Análisis del cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca Baja .....	40
6.2.3.1 Análisis del Paisaje para la Cuenca Baja.....	43
6.3 Caracterización de los servicios ambientales en la Cuenca del Río Jamapa de acuerdo a la cobertura de vegetación .....	45
6.4 Análisis de la modificación en la provisión de los servicios ambientales la Cuenca del Río Jamapa .....	45
6.4.1 Servicios ambientales en la Cuenca Alta .....	45
6.4.1.1 Análisis del cambio en la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca Alta .....	55
6.4.2 Servicios ambientales en la Cuenca Media .....	57
6.4.2.1 Análisis del cambio en la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca Media .....	64
6.4.3 Servicios ambientales en la Cuenca Baja.....	66
6.4.3.1 Análisis del cambio en la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca Baja.....	73
<b>7. Discusión .....</b>	<b>76</b>
7.1 Heterogeneidad en la Cuenca del Río Jamapa .....	76
7.2 Cambios en la Heterogeneidad de la Cuenca del Río Jamapa .....	77
7.3 Servicios ambientales en la Cuenca del Río Jamapa y su modificación.....	79
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>84</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>85</b>
<b>10. Literatura citada .....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo .....</b>	<b>97</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. Cuenca del Río Jamapa .....	17
Figura 2. Perfiles de los Ríos A) Cotaxtla y B) Jamapa. (Modificado de Reyes-Ramírez & Ubaldo-Rodríguez, 2009). .....	23
Figura 3. Modelo Digital de Elevación de la Cuenca Alta .....	24
Figura 4. Modelo Digital de Elevación de la Cuenca Media.....	25
Figura 5. Modelo Digital de Elevación de la Cuenca Baja .....	26
Figura 6. Coberturas de Vegetación en la Cuenca Alta para los periodos de 1988, 1996, 2003 y 2010. ....	32
Figura 7. Gráficas de las Pérdidas y Ganancias en las Coberturas de Vegetación en la Cuenca Alta. A 1988-1996; B 1996-2003; C 2003-2010 ; D 1988-2010. ....	33
Figura 8. Métricas de Paisaje para la Cuenca Alta. A) Porcentaje de cobertura (PLAND) de las vegetaciones dominantes A') PLAND de las vegetaciones con menos de 3% de cobertura. B) Numero de Parches (NP) por tipo de vegetación. C) Forma de parche (SHAPE_MN) por tipo de vegetación. D) Densidad de Borde (ED) por tipo de vegetación. E) Media del tamaño de parche (AREA_MN) de los tipos de vegetación con valores más altos. E') AREA_MN de los tipos de vegetación con valor menor a 250. F) Media ponderada del índice de forma (AWMSI) por tipo de vegetación. ....	34
Figura 9. Coberturas de vegetación para la Cuenca Media en los periodos de 1988, 1996, 2003 y 2010. ....	36
Figura 10. Gráficas de las Pérdidas y Ganancias en las Coberturas de Vegetación en la Cuenca Media. A 1988-1996; B 1996-2003; C 2003-2010 ; D 1988-2010. ....	37
Figura 11. Métricas de Paisaje para la Cuenca Media. A) Porcentaje de cobertura (PLAND) de las vegetaciones dominantes A') PLAND de las vegetaciones con menos de 1% de cobertura. B) Numero de Parches (NP) por tipo de vegetación con valores más altos. B') NP de las coberturas de vegetación con valores menores a 4.5 C) Media del tamaño de parche (AREA_MN) de los tipos de vegetación. D) Forma de parche (SHAPE_MN) por tipo de vegetación. E) Densidad de Borde (ED) por tipo de vegetación con valor más alto. E') ED de los tipos de vegetación con valor menor a 0.3. F) Media ponderada del índice de forma (AWMSI) por tipo de vegetación. .	39
Figura 12. Coberturas de vegetación en la Cuenca Baja para los periodos de 1988, 1996, 2003 y 2010. ....	41
Figura 13. Gráficas de las Pérdidas y Ganancias en las Coberturas de Vegetación en la Cuenca Baja. A 1988-1996; B 1996-2003; C 2003-2010 ; D 1988-2010. ....	42
Figura 14. Métricas de Paisaje para la Cuenca Baja. A) Porcentaje de cobertura (PLAND) de las vegetaciones dominantes A') PLAND de las vegetaciones con menos de 7% de cobertura. B) Numero de Parches (NP) por tipo de vegetación con valores más altos. B') NP de las coberturas de vegetación con valores menores a 12. C) Media del tamaño de parche (AREA_MN) de los tipos de vegetación. D) Forma de parche (SHAPE_MN) por tipo de vegetación. E) Densidad de Borde (ED) por tipo de vegetación con valor más alto. E') ED de los tipos de vegetación con valor menor a 0.7. F) Media ponderada del índice de forma (AWMSI) por tipo de vegetación. .	44
Figura 15. Porcentajes de terreno que provee los servicios ambientales de Regulación en la Cuenca Alta .....	51

Figura 16. Porcentajes de terreno que provee los servicios ambientales de Soporte en la Cuenca Alta. ....	52
Figura 17. Porcentajes de terreno que provee los servicios ambientales de Provisión en la Cuenca Alta. ....	53
Figura 18. Porcentajes de terreno que provee los servicios ambientales Culturales en la Cuenca Alta. ....	54
Figura 19. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Regulación en la Cuenca Media. ....	59
Figura 20. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Soporte en al Cuenca Media. ....	60
Figura 21. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Provisión en al Cuenca Media. ....	62
Figura 22. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales Culturales en la Cuenca Media. ....	63
Figura 23. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Regulación en la Cuenca Baja. ....	68
Figura 24. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Soporte en la Cuenca Baja. ....	70
Figura 25. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Provisión en la Cuenca Baja. ....	71
Figura 26. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales Culturales en la Cuenca Baja. ....	72

## Índice de Tablas

Tabla 1. Métricas del Paisaje.....	19
Tabla 2. Homologación de las nomenclaturas de los tipos de vegetación en las series de uso de suelo y vegetación INEGI (elaboración propia).....	28
Tabla 3. Coberturas de Vegetación por zona funcional en la Cuenca del Río Jamapa. ....	30
Tabla 4. Matriz de servicios ambientales por cobertura de vegetación para la cuenca del Río Jamapa. ....	46
Tabla 5. Alcances de los servicios ambientales por zona funcional de la cuenca. ....	48
Tabla 6. Porcentaje de Terreno que provee los servicios ambientales en la Cuenca Alta.....	50
Tabla 7. Pérdidas y Ganancias en los porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales en la Cuenca Alta.....	56
Tabla 8. Porcentaje de Terreno que provee los servicios ambientales en la Cuenca Media. ....	58
Tabla 9. Pérdidas y Ganancias en los porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales en la Cuenca Media. ....	65
Tabla 10. Porcentaje de Terreno que provee los servicios ambientales en la Cuenca Baja. ....	67
Tabla 11. Pérdidas y Ganancias en los porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales en la Cuenca Baja. ....	74

## **Resumen**

El objetivo del presente trabajo fue analizar la modificación en la provisión de los servicios ambientales por efecto del cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca del Río Jamapa. Esto se realizó haciendo primero el estudio del cambio de las coberturas de vegetación en la cuenca, para lo cual se tomaron como insumo las capas de uso de suelo y vegetación del INEGI para los años de 1988, 1996, 2003 y 2010, se delimitaron las zonas funcionales de la cuenca y se realizó el análisis del cambio en las coberturas en cada una de ellas. Mediante una revisión bibliográfica, se les asociaron los servicios ambientales que proveen cada una de las coberturas, asignándoles el alcance a los servicios ambientales y se examinó el cambio ocurrido en los porcentajes de terreno que proveen estos servicios ambientales. Se discute que la actividad antrópica a lo largo de la cuenca ha propiciado el incremento de las zonas agropecuarias y urbanas en detrimento de las coberturas primarias, las cuales se están reduciendo y están fragmentadas; estos cambios en las coberturas de la cuenca, han modificado la provisión de los servicios ambientales, disminuyendo áreas de terreno que proveen aquellos asociados a funciones de “Soporte” y aumentado en el porcentaje de terreno de los que proveen aquellos relacionados a las funciones de “Provisión”, principalmente de alimento. Con este trabajo se demostró que los servicios ambientales pueden ver modificarse positiva o negativamente por el cambio en las coberturas de vegetación que los proveen.

### **Palabras Clave:**

Servicios ambientales, heterogeneidad ambiental, cuenca, coberturas de vegetación, modelos espaciales.

## Abstract

The main objective of this study was to analyze the change in the provision of ecosystem services as a result of the change in environmental heterogeneity at Jamapa River Basin. This was done by first studying the change of vegetation cover at the watershed, using the digital layers of land use and vegetation provided by INEGI for the years 1988, 1996, 2003 and 2010. Functional areas for the watershed were delimited and the analysis of the change in coverage in each was performed. Based on bibliographic review, provision of ecosystem services was associated to the different vegetation coverage. The "reach" in the provision of those ecosystem services and the change in the percentage of land providing them were also analyzed. We discuss that human activity along the watershed has promoted an increase in agricultural and urban areas while primary vegetation coverage has shrank and fragmented during the time lapse studied. Those changes in the coverage of the watershed, led to modification in the provision of ecosystem services, making evident a decrease in those land areas that provide "support" functions and a increase in the percentage of land that provide those functions related to the "provision", mainly of food supplies. This work demonstrated that ecosystem services can be positively or negatively affected by changes in the vegetation cover that provide them.

**Keywords:** Ecosystem services, environmental heterogeneity, watershed, vegetation covers, spatial modeling.

# 1. Introducción

Los diferentes ecosistemas que conforman la naturaleza, al interactuar entre sí mediante procesos complejos, generan funciones ecosistémicas, mismas que se refieren indistintamente a los hábitats y a las propiedades biológicas del sistema, o a los procesos que se llevan a cabo en ellos, siendo estas funciones las que se traducen en los servicios ambientales (Hassan *et al.*, 2005).

Dentro del concepto de servicios ambientales, se incluye a los bienes (elementos tangibles como agua, madera, alimento, etc.) y servicios (elementos intangibles como captura de carbono, asimilación de residuos, formación de suelo, entre otros) de los ecosistemas y representan los beneficios que los humanos reciben directa e indirectamente de los ecosistemas (Costanza *et al.*, 1997; Hassan *et al.*, 2005; Boyd y Banzhaf, 2007).

De acuerdo con Metzger *et al.* (2006), la provisión de los servicios ambientales de una región depende de las funciones de los ecosistemas ya que está directamente relacionada con el tipo de vegetación presente; no obstante, una de las principales presiones sobre los ecosistemas, que modifica y disminuye los ambientes naturales, es el crecimiento de la población humana, ya que demanda alimento, infraestructura urbana y vías de comunicación, conlleva al aumento de superficies dedicadas a los cultivos y al pastoreo (Hassan *et al.*, 2005). Estas modificaciones se traducen en el cambio del uso de suelo e impactos locales a globales sobre los ecosistemas y sus funciones (Lambin *et al.*, 2001; Foley *et al.*, 2005; Metzger *et al.*, 2006).

El uso de suelo se relaciona con la manera en la que se emplea una porción de terreno y su cobertura vegetal, y está caracterizado por las actividades humanas que ahí se realizan, por lo que hablar de uso de suelo es referirse a un asentamiento urbano o su zonificación, a zonas de producción agrícola, a un área natural protegida, a potreros, entre otros. El uso de suelo es el instrumento más poderoso de soberanía estatal y municipal reconocido por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Medellín-Tovar, 2002).

El análisis del cambio en los patrones de uso de suelo se basa en observar las modificaciones en las coberturas de vegetación de la zona de interés en un periodo de tiempo definido. Por ello, a pesar de que para medir la heterogeneidad ambiental se requiere de medir varios elementos de su

composición, estas coberturas, representan un indicador de la heterogeneidad ambiental de dicha zona (Gould, 2000; Priego-Santander *et al.*, 2003).

Aunque los cambios en el uso del suelo proporcionan beneficios sociales y económicos, también tienen un costo para el capital natural (Arriaga, 2009), ya que alteran zonas silvestres, fragmentan los hábitats, erosionan suelos, irrumpen el ambiente físico y biológico y con ello favorecen la pérdida de interacciones biológicas, de biodiversidad (Chapin III *et al.*, 2000; Lambin *et al.*, 2001; DeFries, *et al.*, 2004; Metzger *et al.*, 2006; Falcucci *et al.*, 2007) y consecuentemente, afecta la provisión de los servicios ambientales (Hu *et al.*, 2008). En efecto, un tipo de cobertura de vegetación, al ser desplazada por otro puede modificar las funciones del ecosistema y con ello los servicios ambientales que pueden mantenerse, aumentar o disminuir (Álvarez PerezDuarte *et al.*, 2003; Zaho *et al.*, 2004; Peng *et al.*, 2006; Díaz *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2007).

Debido a que los efectos de los cambios de uso de suelo a nivel mundial se reflejan en la pérdida de las coberturas primarias, se está empleando la valoración económica de los servicios ambientales como una herramienta para crear consciencia en la conservación de los recursos naturales, ya que al agregarles un valor económico a los mismos, se favorece su conservación (Constanza y Daly, 1992; Daily, 1997; DeGroot *et al.*, 2002; Hassan *et al.*, 2005; Boyd y Banzhaf, 2007; Luck *et al.*, 2009). Alternativamente, si estos estudios ofrecen un enfoque ecosistémico, ayudarán a entender lo que el ser humano requiere de la naturaleza y sus funciones para poder mantener sus sistemas de producción y todos los beneficios que de ella obtiene (Rodríguez *et al.*, 2007; Luck *et al.*, 2009).

En particular, las cuencas hidrológicas, al ser captadoras y proveedoras de agua, requieren estar “sanas” para favorecer permanencia y disponibilidad de este recurso (Luck *et al.*, 2009); sin embargo, esto solo será posible manteniendo “sanos” los ecosistemas que la integran, como son bosques, praderas, selvas y humedales (Hassan *et al.*, 2005; Postel y Thompson, 2005; Cotler-Avalos, 2010) y, para ello, es urgente realizar estudios que permitan sentar las bases que coadyuven a su entendimiento y manejo. En este contexto, el estudio de los cambios en la Cuenca del Río Jamapa brinda una oportunidad inigualable toda vez que ha sido utilizada desde la época prehispánica (Lunagómez-Reyez, 2004), además de haber representado la puerta de entrada

continental para los españoles en el siglo XV, y con ello los primeros cambios notables en la cobertura de vegetación de las tierras bajas (Stalk y Ossa, 2005).

## **2. Antecedentes**

### **2.1 Antecedente Conceptual**

El fundamento teórico que permite contar con un marco de referencia de la problemática abordada en el presente trabajo, proviene de las disciplinas de: sistemas complejos, heterogeneidad ambiental, ecología del paisaje, desarrollo económico y servicios ambientales.

#### **2.1.1 Los sistemas ambientales como sistemas complejos**

De acuerdo con García (1986) y Moriello (2003), un sistema complejo debe ser heterogéneo, es decir, estar formado por varios elementos diferentes entre sí que deben ser interdefinibles, además de ser mutuo dependientes de las funciones que cumplen en el sistema. A su vez, dichos elementos son unidades igualmente complejas (o subsistemas), ya que en su interior también se realizan procesos e interacciones, que actúan en conjunto dándole estructura al sistema. Esta interacción es local y origina un comportamiento emergente, el cual no puede ser explicado a partir de los elementos tomados aisladamente.

Al respecto, Escofet (2004) indica que el carácter complejo de un sistema no está dado por la heterogeneidad de sus elementos, ni por la definición de límites entre éstos, únicamente, sino por las interrelaciones entre sus componentes, cuyas funciones dentro del sistema no son independientes. Es el conjunto de sus relaciones lo que constituyen la estructura del sistema y que le da la forma de organización para hacerlo funcionar como un todo.

Por lo tanto, los sistemas complejos carecen de límites precisos tanto en la extensión física como en problemática, esto es, los límites de estos sistemas dependen de lo que se pretenda conocer del mismo. De esta manera, estos límites quedan sujetos a ser arbitrarios, pudiéndose establecer desde diferentes puntos de vista, sea geográfico, social, económico, ambiental, etc., no obstante, se debe considerar que en esos “límites” arbitrarios no se interrumpen en la realidad las interrelaciones de lo que “queda adentro” y lo que “queda afuera” (García, 1986).

La elección de los límites se debe realizar de manera que aquello que se va a estudiar presente cierta organización o estructura; por ello, se debe considerar que las propiedades de los elementos y de la estructura correspondan a niveles de análisis diferentes (García, 1986). En los ecosistemas, los procesos son las acciones, o eventos de carácter físico, químico o biológico, que vinculan a los organismos entre sí y a su medioambiente; sin embargo, para comprender los problemas ambientales es necesario entender que éstos abarcan un amplio espectro de factores que involucran al medio físico-biológico, social y económico. Esta situación se caracteriza porque confluye múltiples procesos cuyas interrelaciones conforman la estructura de un sistema que funciona como un todo organizado, al que se denomina un sistema complejo (García, 1992).

Bajo las premisas anteriores, los sistemas ambientales pueden definirse como sistemas complejos en virtud de que éstos poseen una localización geográfica y también tienen un conjunto de fenómenos que pueden agruparse en cierto número de componentes o subsistemas que varían según la naturaleza del sistema y que se encuentran funcionalmente ligados entre sí (García, 1992; Escofet, 2004, Ortiz-Lozano, 2006).

#### **2.1.1.1 Las cuencas como sistemas complejos**

Las cuencas pueden abordarse desde el enfoque de los sistemas complejos, ya que éstas interconectan todo el espacio geográfico que las conforma a través de flujos hídricos, de nutrientes y de materia y energía. Están conformadas por una serie de ecosistemas a lo largo de los gradientes altitudinales y sobrepasan los límites de las entidades de gestión, que pueden ser locales (a nivel de comunidad, ejido o municipio), estatales, federales o nacionales (Garrido *et al.*, 2010).

Además, dado que las cuencas se delimitan por la función de captación y regulación del agua, se subdividen en unidades espaciales o zonas funcionales a partir de la función hídrica particular que desempeñan y que están interrelacionadas entre ellas (Garrido *et al.*, 2010), estas zonas son:

**Cuenca Alta:** se caracteriza por ser el área de colecta o captación de agua, la cual es filtrada y se concentra en escorrentías; es la porción altimétrica más elevada, con la mayor pendiente en toda la cuenca, lo que ocasiona que sea una zona con características flujo-erosivas.

**Cuenca Media:** es un área de función mixta, ya que el agua se colecta y almacena pero también se desaloja. Es una zona de transición entre la Cuenca Alta y la Baja, la pendiente es menos abrupta que la Cuenca Alta.

**Cuenca Baja:** es la zona de deposición y descarga de la cuenca; En esta área, la pendiente es muy suave o nula, es el área de salida o emisión de la cuenca, comprendiendo las planicies de inundación ordinaria y extraordinaria.

### **2.1.2 Heterogeneidad Ambiental**

Considerando que los sistemas complejos son en esencia heterogéneos, es necesario incorporar el concepto de heterogeneidad ambiental para estudiar una cuenca.

La heterogeneidad es la complejidad resultante de las interacciones entre la distribución de los factores ambientales y la respuesta diferencial de los organismos a esos factores; ésta viene asociada con discontinuidades o modulaciones, las cuales pueden asumir muchas formas y combinaciones (Kolasa y Rollo, 1991; Escofet, 2004) y se refiere a la composición de las partes que integran un todo o un sistema; esta heterogeneidad puede ser temporal o espacial (Kolasa y Rollo, 1991).

Las discontinuidades son cambios abruptos en la tasa o dimensión de algún proceso y ocurren en un espectro completo de escalas espaciales y temporales cuando una propiedad estructural o funcional de un sistema ecológico cambia en forma discontinua o no-monotónica; estas discontinuidades son creadas y mantenidas por una jerarquía de factores modeladores (dinámicas de masas de aire, dinámicas de masas de agua, geomorfología local, etc.) (Escofet, 2004).

La heterogeneidad espacial se ocupa de distinguir, organizar y jerarquizar las señales de discontinuidad que ocurren a través del espacio; la heterogeneidad temporal es similar a la espacial, solo que en esta se considera un punto espacial y muchos puntos en el tiempo (Kolasa y Rollo, 1991). La heterogeneidad generalmente va asociada a la escala en que se mide, ya que los procesos e interacciones que se aprecian a diferentes escalas pueden no coincidir, así temas como el cambio climático, lluvia ácida, fragmentación de hábitat y la conservación de la biodiversidad pueden abordarse a escala local, regional y global (Quero, 2006).

Entonces, al hablar de heterogeneidad, se debe hablar de homogeneidad, ya que un espacio heterogéneo está conformado por dos o más espacios homogéneos. Los límites de los espacios homogéneos definen los elementos y los diferentes elementos definen la heterogeneidad. Un espacio homogéneo puede estar delimitado por las isopletas (líneas que en un mapa conectan puntos en los que una variable dada tiene un valor especificado constante) de valores críticos en alguna variable de estado, y estos límites pueden ser abruptos, difusos, lineares o convolutos (Escofet, 2004).

Independientemente de su forma, los elementos homogéneos pueden combinarse en tres modos básicos: los elementos son iguales entre sí y están separados en el espacio; los elementos son diferentes entre sí y están separados en el espacio, y los elementos son diferentes entre sí y están contiguos en el espacio (Escofet, 2004).

### **2.1.3 Ecología del Paisaje**

El concepto de heterogeneidad ambiental ha sido abordado por la disciplina de la ecología del paisaje, la cual define el paisaje o mosaico como su objeto de estudio y éste corresponde a la heterogeneidad de un área de tierra compuesta por un grupo de ecosistemas interactuando, que se repite de manera similar a lo largo del espacio o territorio (Forman y Godron, 1986). Esta disciplina considera las unidades morfológicas y estructurales que componen el paisaje, al estar relacionadas funcionalmente al intercambiar entre ellas energía, materiales u organismos, etc. (Vila-Subirós *et al.*, 2006) con una visión e interpretación del paisaje que centra su atención en la estructura, la funcionalidad y el cambio y dentro de su acción, identifica los procesos que generan y mantienen los patrones del paisaje, cuantificándolos, determinando escalas emergentes y estudiando las interacciones entre mosaicos heterogéneos (Forman y Godron, 1986).

En la ecología del paisaje, uno de los términos que adquiere importancia es el de escala, ya que al identificar un mosaico, se observa la interacción entre los elementos que lo compone, y se debe de considerar que los procesos biológicos ocurren a diferentes escalas de espacio y tiempo, dando como resultado que de acuerdo a las escalas emergen distintas propiedades que caracterizan los niveles de organización (Turner *et al.*, 2001). La escala es la dimensión espacial o temporal de un objeto o proceso, sus componentes son: el grano, que es la resolución espacial fina de un

conjunto de datos y la extensión, que se refiere al tamaño del área de estudio (Turner *et al.*, 2001).

El cambio en las escalas de análisis hace que sean observables atributos que no eran percibidos en la escala anterior, a esto se le conoce como propiedades emergentes (Kolasa y Rollo, 1991), y estas propiedades pueden estar ligadas a factores jerárquicos en la escala espacial y que afectan a los atributos de otras escalas (Escofet, 2004).

La teoría jerárquica en ecología de paisaje establece que los procesos de los ecosistemas están organizados en escalas discretas de interacción, y que las escalas de la dinámica temporal de éstos, confieren escalas espaciales discretas al paisaje. De esta manera, estos procesos varían en efecto y nivel de impacto a diferentes escalas espaciales por lo que si se enfoca el estudio a una escala única, cada componente se analiza con un nivel de resolución funcional diferente (O'Neill *et al.*, 1999).

El descifrar los patrones o las configuraciones específicas con mosaicos de tierra es crítico, ya que los flujos de especies, energía y materiales, así como los cambios en el paisaje a lo largo del tiempo son espacio-dependiente (Cantwell y Forman, 1993).

La estructura del paisaje influye en procesos ecológicos y sociales, mismos que la modifican, siendo necesario su estudio y cuantificación para determinar su función y cambio (Romero, 2004).

La extensión de un paisaje o mosaico puede tener de pocos milímetros cuadrados a muchos kilómetros cuadrados, dependiendo del objeto de estudio, y en esa dimensión se puede ubicar un patrón o modelo que depende de varios mecanismos como son: la heterogeneidad del sustrato, la perturbación natural y fundamentalmente la acción antrópica, lo que da origen a matrices, parches corredores y bordes, todos ellos cartografiables (Romero, 2004).

La matriz es el elemento más abundante dentro del paisaje, esto es, la cobertura dominante y con mayor nivel de conectividad (Forman y Godron, 1986), mientras que el parche es la unidad espacial mínima del paisaje, con atributos estructurales y funcionales. Los parches se encuentran rodeados por la matriz y éstos se diferencian por su contenido, el valor ecológico y su funcionamiento dependen de su tamaño y/o del organismo o proceso considerado.

Los parches realizan una serie de funciones de acuerdo a su tamaño, los grandes en el ambiente físico conectan cursos de agua, protegen la calidad de agua en los acuíferos y lagos, mantienen regímenes de perturbación natural; en el medio biótico dan soporte a especies, proveen hábitat, constituyen fuente de especies que se dispersan por la matriz, entre otras. Parches pequeños representan puentes para la dispersión, proveen de hábitat y protección a especies raras y/o restringidas, reúnen poblaciones de especies de borde e incrementan la heterogeneidad del territorio (Forman y Godron, 1986; Romero, 2004).

Los bordes se definen como la zona de transición entre dos parches vecinos, y el conjunto de parches crea un mosaico considerado como un atributo del paisaje (Romero, 2004). Por su parte, los corredores son elementos lineales del paisaje cuya fisonomía difiere del ambiente circundante pudiendo ser naturales como ríos, crestas y bosques de ribera, o culturales como carreteras, líneas de alta tensión y setos vivos entre cultivos (Forman y Godron, 1986; Romero, 2004) y cumplen una función importante y dual, ya que dividen y a su vez mantienen la estructura del paisaje (Romero, 2004).

Para analizar el funcionamiento del mosaico, hay que conocer las propiedades del mismo, estas propiedades son la fragmentación y la conectividad. La fragmentación se traduce en el empequeñecimiento y aislamiento de las manchas de hábitat y poblaciones silvestres asociadas a estas y la conectividad está relacionada al grado de unión de los parches de igual o distinto contenido del mosaico y se basa en la funcionalidad del territorio desde el punto de vista de la capacidad de movimiento de los organismos (Gurruxtaga, 2003).

Dentro de la metodología de análisis del paisaje, existen una gran variedad de métricas de paisaje que pretenden captar distintos aspectos de la estructura (tamaño, forma, borde, ambiente interior, y diversidad de ambientes) y que pueden aplicarse a diferentes niveles de análisis (Aronoff, 1993).

La metodología de la ecología del paisaje empleada en el análisis del cambio de heterogeneidad ambiental en una zona nos ayuda a entender como este afecta la conectividad de los ecosistemas, lo que se ve reflejado en la modificación de los procesos ecológicos (Paudel y Yuan, 2012).

#### **2.1.4 Modelos de desarrollo económico y su impacto en los ecosistemas**

Las actividades humanas son la fuente más conspicua de presión para inducir modificaciones al paisaje, por ello, es necesario incorporar el contexto de desarrollo económico al análisis de dichas modificaciones. El ser humano toma del medioambiente los elementos necesarios para su bienestar, pero no es sino hasta las últimas décadas del siglo XX que considera urgente cambiar el modo en que explota los recursos naturales (Daily, 1997; Hassan *et al.*, 2005).

La explotación de los recursos naturales se ha realizado de acuerdo a los modelos de desarrollo de las naciones, uno de estos modelos es el desarrollo neoliberal, al que se le atribuye el agotamiento de estos recursos naturales, y por lo que se está intentando pasar a un modelo de desarrollo sustentable (Leff, 2004).

El modelo neoliberal busca el crecimiento a través de la maximización del consumo y de la libertad de las fuerzas de mercado, evitando la interferencia de los gobiernos o reglamentaciones internacionales (Alvarado-Michi, 2010), donde el propósito es incorporar un valor agregado a la producción de bienes y servicios dirigidos al mercado, dando importancia a nuevas áreas de conocimiento (microelectrónica, informática, telecomunicaciones, etc.) (Sachs, 1997).

Ante este modelo de desarrollo neoliberal, el bienestar económico no ha cubierto los alcances a escala humana y tampoco ha tomado la importancia que tiene la naturaleza, ya que los instrumentos del Estado son incapaces de frenar la recesión económica y a su vez ofrecer estabilidad en la acumulación del capital (Menchaca, 2005).

Además de crear una crisis financiera y social a finales del siglo XX, el neoliberalismo arrastra una decadencia ambiental, ya que desde los años setenta del siglo pasado se refleja la irracionalidad ecológica de los patrones dominantes de producción y consumo, que marcan los límites de crecimiento económico (Leff, 2004).

De acuerdo a Márquez-Covarrubias (2010), los cuestionamientos sobre el modelo neoliberal se ubica en distintos niveles: 1) la desregulación financiera es suficiente para cuestionar la codicia del capital financiero y que sugieren una intervención en el mercado; 2) el fundamentalismo institucional es cuestionado ya que la imposición de políticas de ajuste estructural diseñadas por los organismos internacionales (Fondo Monetario Internacional, el Banco Mundial y la

Organización Mundial de Comercio) han dejado poco crecimiento, desempleo o empleo mal remunerado e insuficiente, volatilidad financiera y desarticulación productiva; y 3) el modelo de acumulación, donde la expansión mundial del capital y las políticas de ajuste estructural ponen a disposición del capital abundante mano de obra barata, recursos naturales y empresas rentables para la obtención de ganancias con una sobreproducción como resultado.

En los últimos 30 años del siglo XX el modelo neoliberal ha sido revisado incluso por sus mismos impulsores, debido a que si bien se ha desarrollado la macroeconomía, también han aumentado las tasas de desempleo, marginación, pobreza y degradación ambiental (Menchaca, 2005; Alvarado-Michi, 2010).

A partir de estas revisiones, surgen algunos organismos internacionales como el Programa de las Naciones Unidas por el Desarrollo y la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, los cuales, analizan el desarrollo enfocado a la conservación del bienestar humano y el medio ambiente sin dejar a un lado el progreso científico, tecnológico e industrial (Alonso-Mielgo y Sevilla-Guzmán, 1995).

La Comisión Mundial de Medio Ambiente, encabezada por la Doctora Gro Harlem Brundtland, en 1987 realiza un informe conocido como Nuestro Futuro Común o informe Brundtland (The World Commission on Environment and Development, 1987), en el cual se emplea por primera vez el desarrollo sustentable, indicando que es el método oficial para corregir los efectos de la crisis ecológica, y lo define como “aquél que satisface las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (Alonso y Sevilla, 1995; Alvarado-Michi, 2010).

Pero este nuevo desarrollo, como es planteado en el Informe Brundtland, no contempla la responsabilidad de los países “desarrollados” o industrializados, sino que centra la problemática ambiental a la pobreza, ya que este informe defiende la tesis de que la pobreza genera deterioro ambiental (Alonso y Sevilla, 1995).

Es importante señalar que el problema social y ambiental ya se venía analizando desde antes del informe Brundtland, de hecho desde la conferencia sobre medio humano de la Organización de

las Naciones Unidas efectuada en Estocolmo en 1972, se hace patente la degradación ambiental causada por la desequilibrada tecnificación de los países en vías de desarrollo (Leff, 2004).

Se lleva más de 40 años definiendo el modelo de desarrollo óptimo que incorpore los ámbitos social, económico y ambiental, pero se han logrado grandes avances en esto, un claro ejemplo de ello se refleja en la cumbre de la Tierra, que se realizó en Rio de Janeiro en 1992, que se considera el parte aguas del desarrollo sustentable, donde se sientan las bases para una nueva visión mundial del desarrollo sustentable, por medio de convenciones como la de Cambio Climático, el Protocolo de Kioto y la de Diversidad Biológica (Guimarães y Bárcena, 2002).

El desarrollo sustentable, después de ser analizado por diversos autores, se considera que es un proceso integral en el cual los diversos actores deben adquirir compromisos y responsabilidades en la aplicación del modelo económico, político, ambiental y social, para que las condiciones de los mercados nacionales e internacionales permitan incorporar a los sectores productivos la sustentabilidad en sus operaciones, las relaciones con sus trabajadores, con las comunidades y con el medio ambiente (Riechmann, 1995).

Cabe señalar que en México, el modelo de desarrollo adoptado ha tenido un gran impacto en el manejo de los recursos naturales, ya que ha llevado a un cambio en el uso de suelo y las coberturas de vegetación.

### **2.1.5 Servicios ambientales**

El concepto de servicios ambientales fue acuñado por John P. Holdren en la década de los 1970's para hacer hincapié en que las sustituciones tecnológicas para los servicios de los ecosistemas son a menudo costosos y que a veces son resultado de una comprensión incompleta de su funcionamiento (Daily, 1997), pero es con la Evaluación del Milenio, que las definiciones se formalizan por las Naciones Unidas (Hassan *et al.*, 2005).

Los servicios ambientales están relacionados directamente con las funciones de los ecosistemas, (Hassan *et al.*, 2005); basándose en estas funciones, Costanza *et al.* (1997) describen 17 servicios ambientales asociados a las funciones del ecosistema como es el control de perturbaciones naturales, regulación del clima, reciclado de nutrientes, refugio, producción de alimento, recreación, entre otros. De Groot *et al.* (2002), tomando como base la clasificación de Constanza

*et al.* (1997), concentran los servicios ambientales en cuatro categorías principales que son: Funciones de: Regulación, de Hábitat, de Producción y de Cultura y Recreación.

Para el caso de las cuencas hidrológicas, además de proveer servicios ambientales relacionados con el agua, los diferentes ecosistemas que las conforman también suministran servicios ambientales agrupados en las siguientes funciones (Postel y Thompson, 2005):

**Regulación:** los servicios de regulación son los beneficios que recibe el ser humano de los procesos de regulación de los ecosistemas como son la regulación climática, la calidad del aire, control de erosión, purificación del agua, etc.

**Soporte:** los servicios de soporte son aquellos que se necesitan para la producción de los demás servicios como son la formación de suelo, la biodiversidad, la producción primaria, la producción de oxígeno, el ciclo de nutrientes, entre otros.

**Provisión:** los servicios de provisión son los productos que el ser humano obtiene de los ecosistemas, como el agua, la madera, el alimento, las fibras, el combustible, los recursos genéticos, etc.

**Culturales:** los servicios culturales son los beneficios no materiales que se obtienen de los ecosistemas y que están relacionados con el enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognoscitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas.

En el 2005, se llevó a cabo una evaluación científica de la situación de los ecosistemas, las consecuencias de sus cambios y las posibilidades de respuesta de los mismos ante estos, que inició en 2001 y recibió el nombre de Evaluación del Milenio, en esta, se reconoce como una de las ideas fundamentales de su marco conceptual que el hombre es parte integral de los ecosistemas, y que su acción sobre los mismos está afectando su bienestar, ya que los cambios que está generando en los sistemas naturales están actuando de manera tanto positiva como negativamente en la provisión de los servicios ambientales (Hassan *et al.*, 2005).

Para definir en una zona los servicios ambientales, es necesario comprender la heterogeneidad ambiental, ya que muchos de ellos se producen en ambientes diferentes y a su vez ambientes diferentes pueden generar los mismos servicios ambientales (Hassan *et al.*, 2005).

## 2.2 Antecedentes del área de estudio

De acuerdo a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR 2010), los estudios recientes (2005-2010) demuestran que 64% de los suelos de México presentan problemas de degradación en diferentes niveles, que van de ligera a extrema. Sólo 26% del territorio nacional cuenta con suelos que mantienen sus actividades productivas sustentables sin degradación aparente. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO) (2012), menciona en su evaluación de los recursos forestales mundiales que México reportó una pérdida anual de 235,000 ha de bosques y selvas para el periodo 2000-2005, mientras que para el periodo 2005-2010 fue del orden de las 155,000 ha.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2005; 2009) reporta en el periodo comprendido de 1993 al 2002 una pérdida histórica neta de aproximadamente 250,000 km<sup>2</sup> de selvas, 129,000 km<sup>2</sup> de bosques templados, 155,000 km<sup>2</sup> de matorrales y más de 83,000 km<sup>2</sup> de pastizales. En cuanto a cambio de uso de suelo en el país, el reporte menciona que entre 1993 y 2002, alrededor de  $2.8 \times 10^6$  ha cambiaron de ser bosques (370,000 ha), selvas (1.3 millones ha) y matorrales (953,000 ha) y pastizales (177,000 ha) a otros usos, todo ello a un ritmo de 306,000 ha año<sup>-1</sup>.

Se ha analizado el cambio de uso de suelo a nivel Golfo de México considerando los efectos bajo diferentes escenarios de cambio climático (Gómez y Magaña, 2009) encontrando una tendencia en la región a la modificación del suelo natural hacia un usos de suelo agropecuario y urbano. En este contexto, para el Estado de Veracruz, de acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesca (SEDARPA, 2006) en los últimos 50 años se ha perdido gran parte de la superficie forestal estatal, templada y tropical, con la consecuente reducción en su diversidad biológica conservando para el 2006 solo el 27.9% de vegetación natural.

Con referencia a los servicios ambientales, Mendoza-González (2009) analizó en el cambio de uso de suelo y las implicaciones en los servicios ambientales de las costas de Veracruz, trabajando en la zona de Boca del Río, Playa Chachalacas y la zona de Costa Esmeralda en el Estado de Veracruz, enfocando su trabajo a la zonas turísticas, encontrando que hay una

tendencia de pérdida de cobertura natural por la expansión urbana y modificación de zonas, principalmente en dunas para la construcción de infraestructura turística.

Para la totalidad de la Cuenca del Río Jamapa en particular, no se ha hecho un análisis del cambio de uso de suelo enfocado a la modificación de los servicios ambientales; Reyes-Ramírez y Ubaldo-Rodríguez, (2009), realizaron un estudio relacionado con la precipitación pluvial y la escorrentía describiendo las condiciones físicas de los dos principales ríos de la cuenca y relacionan las pendientes de los ríos con los fenómenos meteorológicos, recomendando que la población debe estar al tanto de los boletines meteorológicos, para disminuir los riesgos relacionados a las lluvias.

En otros trabajos en la misma zona, se desarrollaron modelos sobre escenarios propiciatorios para evaluar la susceptibilidad de los poblados a lo largo de la cuenca a eventos hidrometeorológicos (Ortiz-Lozano y Bello-Pineda, 2012), dada la vulnerabilidad de los habitantes de esta cuenca a las crecidas y avenidas de los ríos que la conforman, en donde hacen una revisión de las características ambientales y del territorio en la Cuenca del Río Jamapa, y proveen los escenarios de riesgo.

Estos antecedentes hacen evidente la carencia de información que permitan vincular los patrones de uso de suelo con la heterogeneidad ambiental y su relación con la modificación en la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca del Río Jamapa, lo que hace necesaria esta investigación.

Con base en lo antes expuesto y considerando que los cambios en los patrones de uso de suelo modifican la heterogeneidad ambiental de un sistema y esto, a su vez, determina en gran medida su capacidad para proveer servicios ambientales, en esta tesis se analizan los cambios en la heterogeneidad ambiental en el periodo de 1988 al 2010 en la Cuenca del Río Jamapa estableciendo una relación de estos cambios con la modificación de la provisión de los servicios ambientales en la misma, por lo que se plantea la siguiente pregunta de trabajo:

**¿Cómo se ha dado el cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca del Río Jamapa y que efectos ha tenido éste en la provisión de los servicios ambientales que brinda?**

### **3. Hipótesis**

Si la provisión de los servicios ambientales en una cuenca hidrológica está determinada por su heterogeneidad ambiental, entonces, analizar los cambios que han ocurrido en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca del Río Jamapa en el periodo de 1988 al 2010 permitirá evaluar la modificación en la provisión de los servicios ambientales en la misma durante dicho periodo.

### **4. Objetivos**

#### **4.1 Objetivo general**

Analizar la modificación en la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca del Río Jamapa con base en los cambios de su heterogeneidad ambiental en el periodo de 1988 a 2010.

#### **4.1.1 Objetivos específicos**

1. Describir el contexto espacial en el que se ubica la Cuenca del Río Jamapa y su carácter heterogéneo.
2. Analizar la heterogeneidad ambiental de la cuenca del Río Jamapa y el cambio que ha sufrido en el periodo de 1988 al 2010.
3. Analizar la modificación en la provisión de los servicios ambientales de la cuenca del Río Jamapa, derivada de los cambios de la heterogeneidad ambiental en el periodo de 1988-2010.

## **5. Materiales y Métodos**

A continuación se hace un desglose de la metodología aplicada en este trabajo para cumplir los objetivos planteados, y es importante recalcar que los pasos metodológicos empelados son secuenciales, es decir, cada paso toma insumos de los resultados del paso anterior.

### **5.1 Análisis de la heterogeneidad ambiental de la Cuenca del Río Jamapa**

#### **5.1.1 Área de estudio**

Como los sistemas complejos carecen de límites definidos, es necesario establecer los límites del objeto de estudio (García, 1986); en este caso, para delimitar el área de estudio, se empleó el polígono de la Cuenca del Río Jamapa obtenido de la página electrónica oficial del Instituto Nacional de Ecología (INE, 2012) y se corroboró con el Modelo Digital de Elevación obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2012), mediante el programa de cómputo ArcMap Versión 9.3.

La Cuenca del Río Jamapa con coordenadas extremas entre los 18° 45´ y 19° 13´ latitud norte, y los 95° 56´ y 97° 16´ longitud oeste; tiene un área aproximada de 3,912 km<sup>2</sup>, abarca 28 municipios del Estado de Veracruz; dentro de los límites de la cuenca quedan comprendidos dos cauces principales, los ríos Jamapa y Cotaxtla que se originan en el Citlaltepétl o Pico de Orizaba el cual tiene una altura de 5700 m.s.n.m., desembocando en el Golfo de México (Figura 1).

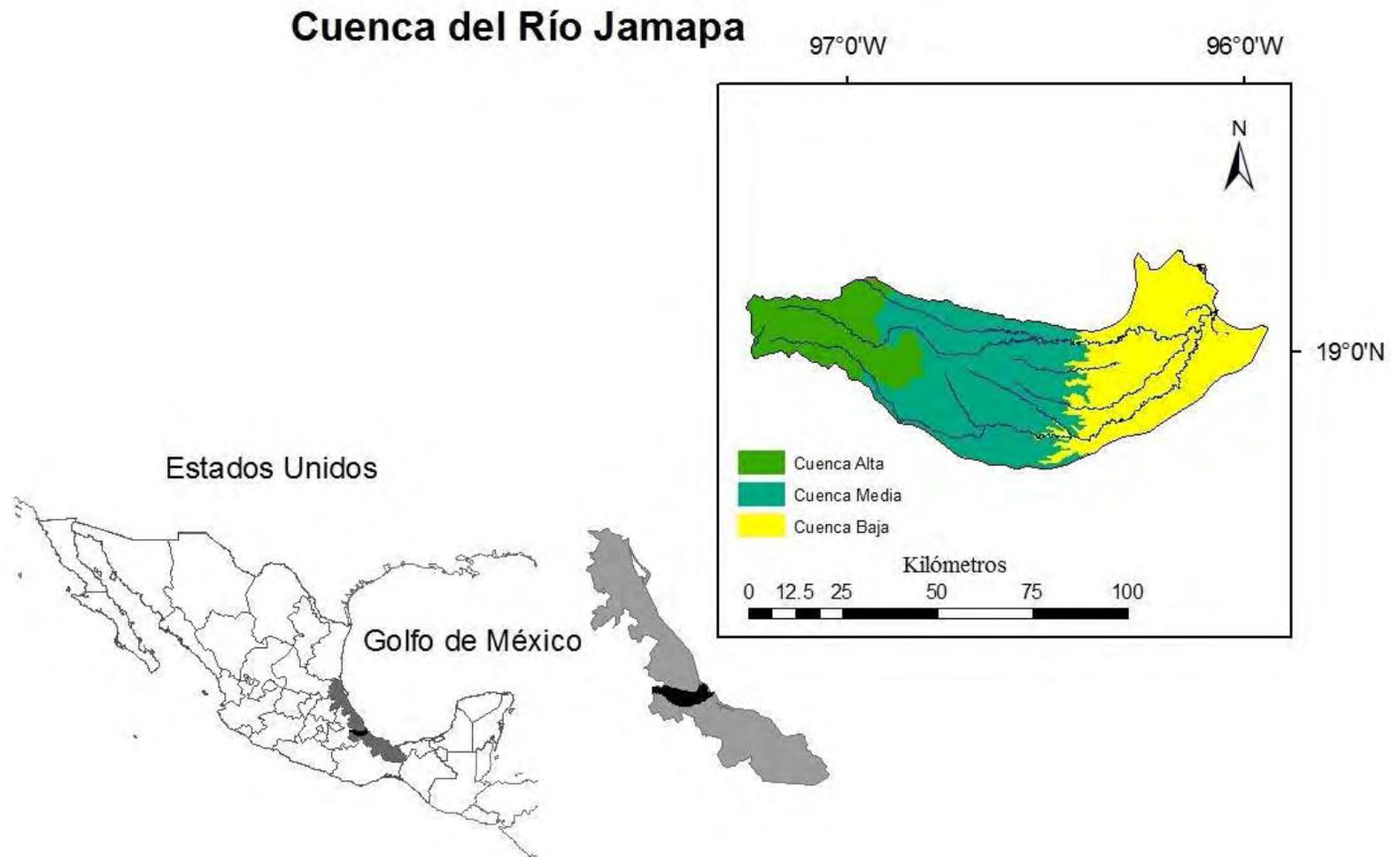


Figura 1. Cuenca del Río Jamapa

### **5.1.2 Definición de las zonas funcionales de la Cuenca del Río Jamapa**

Los subsistemas de la cuenca o zonas funcionales (Garrido *et al.*, 2010) se definieron utilizando como insumo el Modelo Digital de Elevación obtenido del INEGI, este Modelo es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo, y tiene una resolución de 90 metros; además se empleó la información de las pendientes de los dos principales ríos que la conforman (tomada de Reyes-Ramírez y Ubaldo-Rodríguez, 2009).

Para este paso se empleó del programa ArcMap v. 9.3 con el que se recortaron los polígonos de las zonas funcionales.

### **5.1.3 Heterogeneidad ambiental en la Cuenca del Río Jamapa**

La heterogeneidad se refiere a la composición de las partes que integran un todo o un sistema; esta heterogeneidad puede ser temporal o espacial (Kolasa y Rollo, 1991); en este trabajo, para definir la heterogeneidad ambiental en la cuenca se consideró la cobertura de vegetación y las métricas de paisaje como elementos que la definen y se siguieron los siguientes pasos:

El análisis de la heterogeneidad se realizó empleando las cartas vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI con escala 1:250 000; esta información consta de cuatro series correspondientes a los años de 1988 (Serie I), 1996 (Serie II), 2003 (Serie III) y 2010 (Serie IV).

Como las diferentes cartas del INEGI se realizaron en diferentes tiempos, fue necesario hacer una homologación en sus nomenclaturas, para ello, se consideró el criterio de nomenclatura que la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2012) emplea basándose en los tipos de vegetación propuesta por Rzedowsky (1978), la cual se complementó con coberturas existentes en las cartas del INEGI y que no se consideran en la propuesta de Rzedowsky.

## 5.2 Análisis del cambio de la heterogeneidad ambiental de la Cuenca del Río Jamapa

### 5.2.1 Modelación de cambios en la heterogeneidad ambiental

Para analizar los cambios en los tipos de vegetación de las zonas funcionales, se utilizó el Change Land Use Modeler for Ecological Sustainability (CLM: ES), disponible en el programa IDRISI versión 17 (SELVA). Este modelador se seleccionó entre otros, ya que este es una herramienta que permite evaluar rápidamente ganancias y pérdidas en las clases de cubierta terrestre, la persistencia de la cubierta vegetal y transiciones entre categorías (Leh, *et al.*, 2011); para poder utilizar el CLM: ES, se transformaron los polígonos a formato raster para trabajarlos como celdas individuales, mediante el empleo del ArcMap, V. 9.3.

### 5.2.2 Análisis de Métricas del Paisaje

Para evaluar la fragmentación del paisaje para cada una de las tres zonas funcionales; se empleó la metodología de la ecología del paisaje, estas son herramientas que examinan las relaciones entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos a nivel de paisaje, por lo que al ser empleada en el análisis del cambio de las coberturas de vegetación en una zona nos ayuda a entender como este cambio afecta la conectividad de los ecosistemas, lo que se ve reflejado en la modificación de los procesos ecológicos (Wu, 2008; Paudel y Yuan, 2012). Para este paso, se empleó el programa FRAGSTATS, versión 4.0, con el cual se analizaron las métricas del paisaje propuestas por Paudel y Yuan (2012), las cuales se presentan en la Tabla 1

**Tabla 1. Métricas del Paisaje**

Métrica	Nivel	Descripción
PLAND	Clase	Porcentaje de terreno que ocupa la clase.
NP	Clase	Número de fragmentos de la clase en el terreno.
AREA_MN	Clase	Media de los fragmentos de cada clase.
ED	Clase	Mide la longitud total de los bordes de cada tipo particular de parche.
SHAPE_MN	Clase	Forma de los parches.
AWMSI	Clase	Media de las formas de los parches.

### **5.3 Análisis de la modificación de la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca del Río Jamapa de acuerdo al cambio en la heterogeneidad ambiental**

Como el suministro de varios servicios ambientales está directamente relacionada con la cobertura de vegetación, es el caso por ejemplo de la provisión de alimento, que está asociado a zonas agropecuarias, la producción de maderas a zonas de bosque, etc. (Metzger *et al.*, 2006), en este paso metodológico, se tomaron las coberturas de vegetación de las zonas funcionales por periodo de tiempo y se realizó una caracterización bibliográfica de los servicios ambientales que provee cada uno de los tipos de cobertura de vegetación, con lo que se generó una matriz de servicios ambientales.

Los servicios ambientales identificados se agruparon por función (Regulación, Soporte, Provisión y Culturales), de acuerdo a la clasificación que propone la Evaluación del Milenio (Hassan *et al.*, 2005).

#### **5.3.1 Alcance de los servicios ambientales**

Considerando que los servicios ambientales pueden ser consumidos o disfrutados tanto de manera local como exportados al resto de la cuenca o incluso fuera de ella, se llevó a cabo el análisis de su alcance; para hacer énfasis en la importancia de estos alcances, se les dio un peso diferenciado, basado en la magnitud del área que pudiese beneficiar, por lo que se tomó una escala numérica, de menor a mayor, asignando los valores de 1, 2 y 4, estableciendo que la modificación de servicios ambientales con valor 4 ó 2 es mayor el área afectada que los asignados con valor 1.

Se definieron tres categorías del alcance:

- **Local:** El servicio tiene un alcance local, cuando es consumido, gozado o disfrutado en el área donde se produce; se le asignó el valor de 1, ya que el alcance está limitado a la superficie de terreno que abarca la cobertura que lo provee.
- **Local/Regional:** El servicio tiene un alcance Local/Regional, cuando éste, además de ser consumido, gozado o disfrutado en el área donde se provee, también se consume, goza o disfruta en el resto de la cuenca o sobrepasa los límites de la misma; se le dió el valor de

2, ya que el alcance, además de estar limitado a la superficie de terreno de la cobertura que lo provee, éste puede extenderse al resto de la cuenca o fuera de ella.

- **Regional:** El servicio tiene un alcance Regional, cuando su mayor consumo, goce o disfrute se realiza más allá del área donde se genera, pudiendo ser en los límites de la cuenca o fuera de ella; se le dio el valor de 4, ya que los servicios ambientales con este alcance influyen en toda la cuenca o sobrepasan los límites de la misma.

### **5.3.2 Análisis de la modificación en la provisión de los servicios ambientales en las Zonas funcionales de la Cuenca del Río Jamapa**

Los mapas de cobertura de vegetación fueron reclasificados utilizando el software ArcMap V 9.3, para asignarles los valores correspondientes a los servicios ambientales identificados en el paso anterior

Una vez que se obtuvieron los mapas de los servicios ambientales, los polígonos fueron transformados a formato raster, para su análisis con el CLM: ES en el Programa IDRISI v 17.0 y así poder cuantificar los cambios en la provisión de los servicios ambientales por zona funcional de la Cuenca.

## **6. Resultados**

### **6.1 Análisis de la heterogeneidad ambiental de la Cuenca del Río Jamapa**

En este apartado el análisis se presenta en dos partes, primero la definición de las zonas funcionales de la cuenca y después el análisis de la heterogeneidad.

#### **6.1.1 Definición de las zonas funcionales de la Cuenca del Río Jamapa**

En la Cuenca del Río Jamapa se delimitaron las zonas funcionales, mediante el cambio en la pendiente de las escorrentías de los dos principales cauces, los ríos Cotaxtla y Jamapa (Figura 2).

##### **Cuenca Alta**

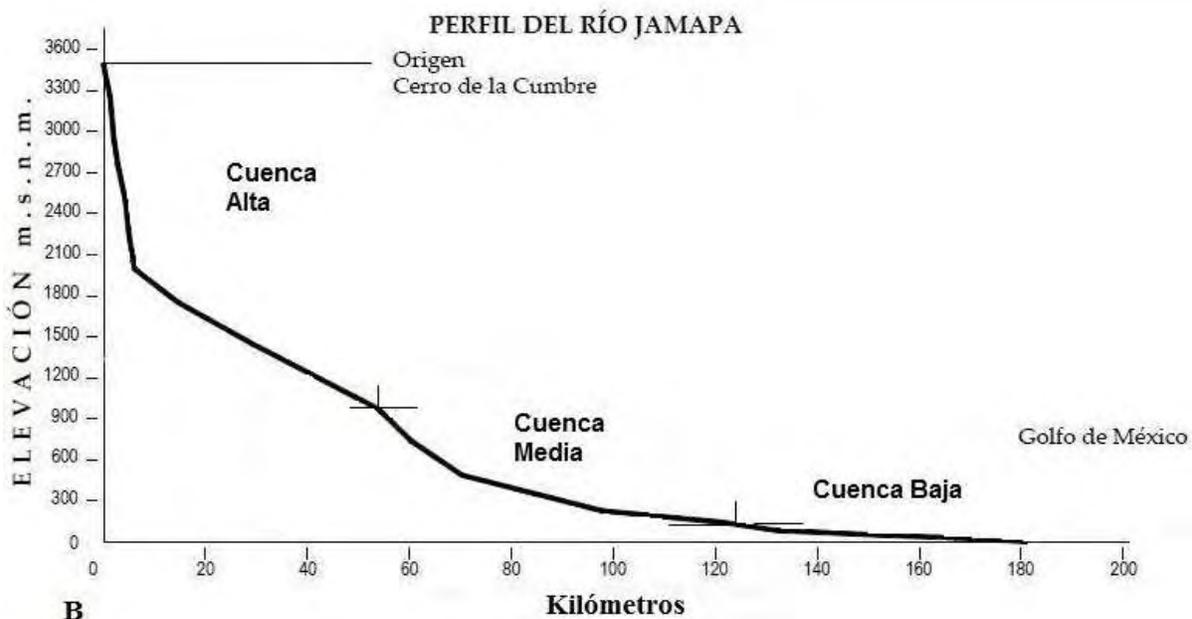
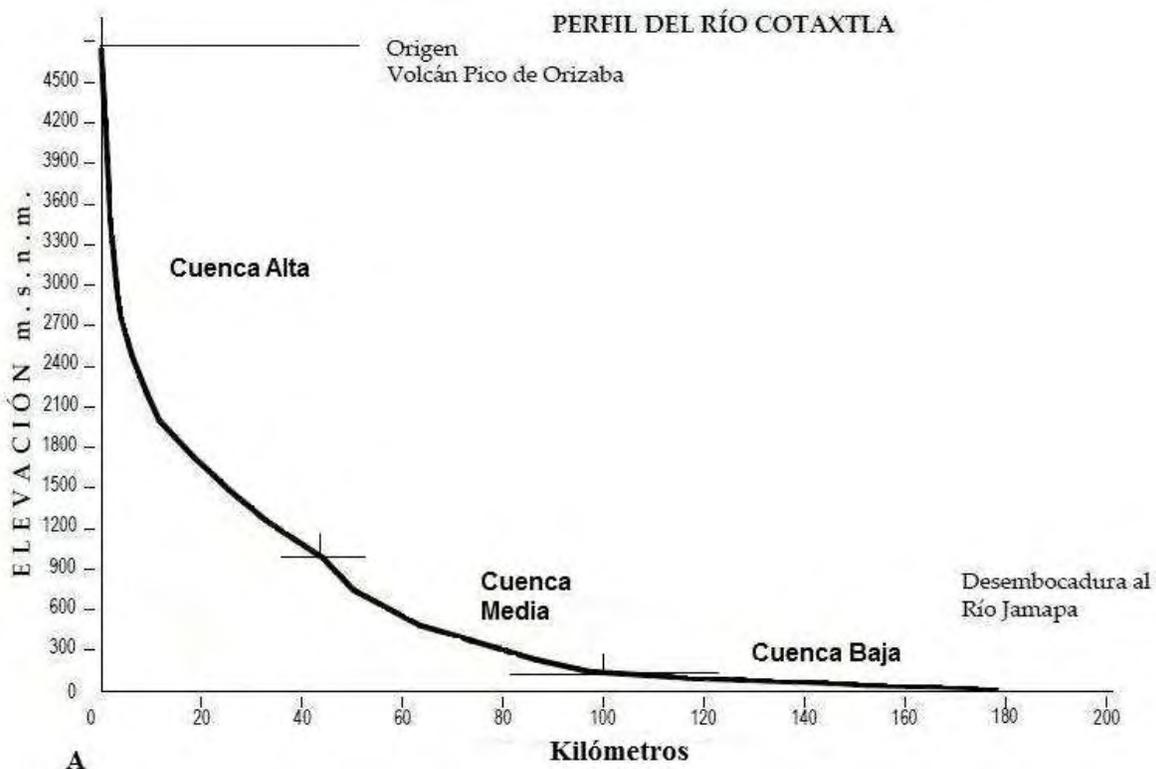
La Figura 3 muestra un Modelo Digital de Elevación de la zona funcional “Cuenca Alta”, esta zona es la parte de la cuenca con mayor altitud que va desde los 5700 msnm a los 1000 msnm; en ésta, la pendiente de los ríos es muy pronunciada.

##### **Cuenca Media**

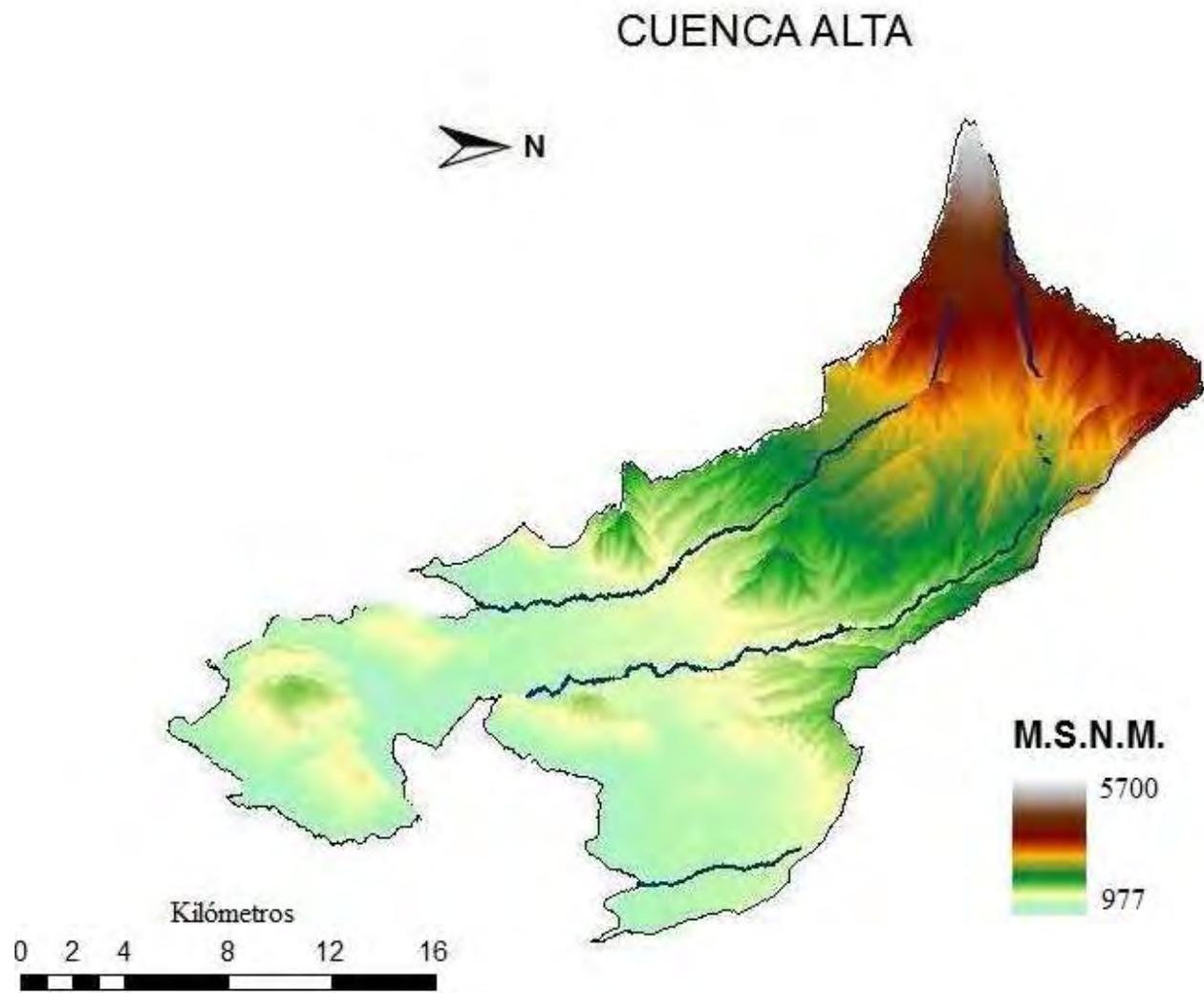
La Figura 4 muestra un Modelo Digital de Elevación de la zona funcional “Cuenca Media”, esta zona abarca de los 1000 msnm a los 100 msnm y es una zona de transición en donde la pendiente se suaviza y ya no hay tantas elevaciones.

##### **Cuenca Baja**

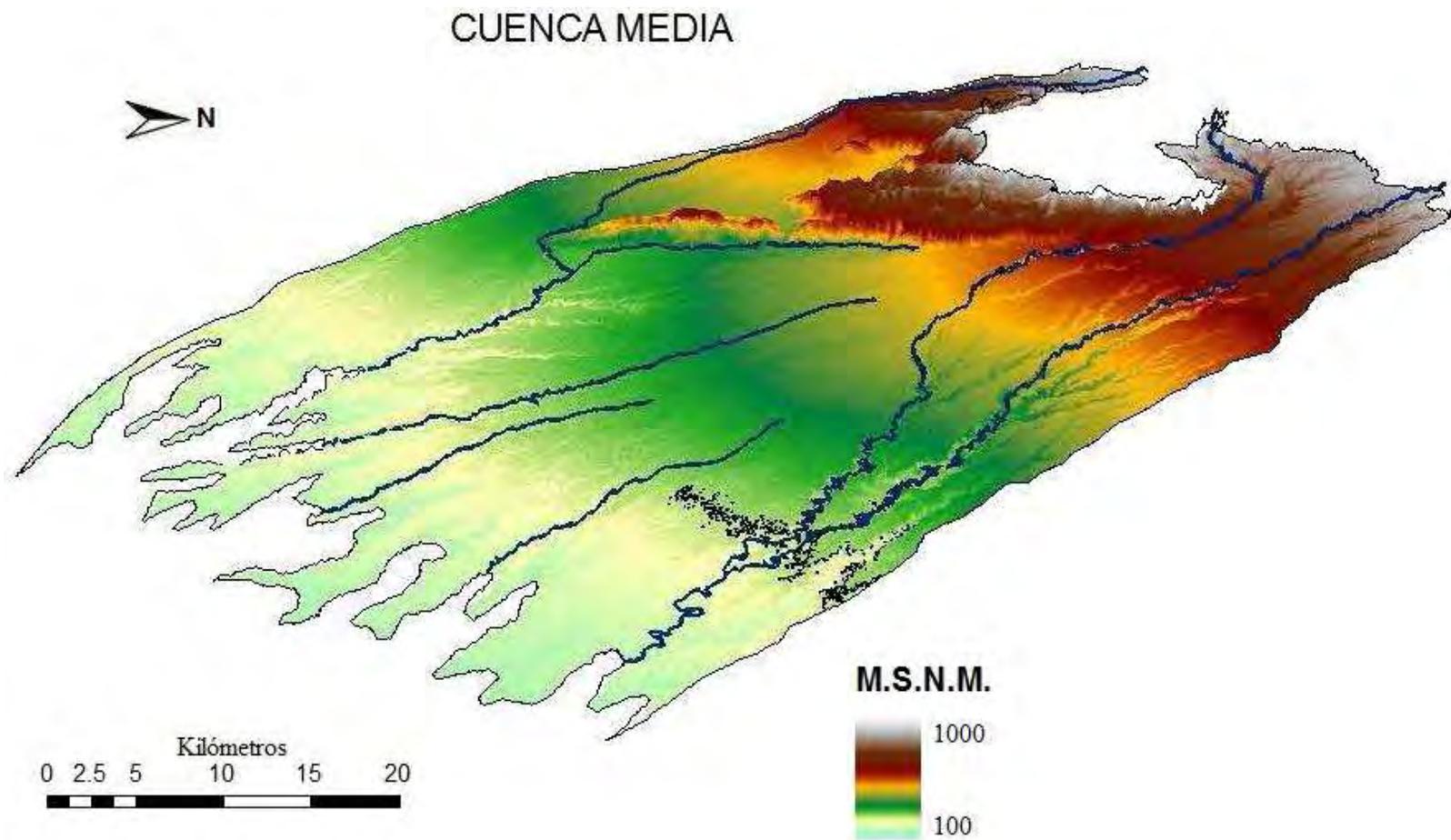
La Figura 5 muestra un Modelo Digital de Elevación de la zona funcional “Cuenca Baja”, esta zona, comprende de los 100 msnm a los 0 msnm; en esta parte de la cuenca, la pendiente es casi nula, lo que favorece zonas de deposición y de encharcamiento.



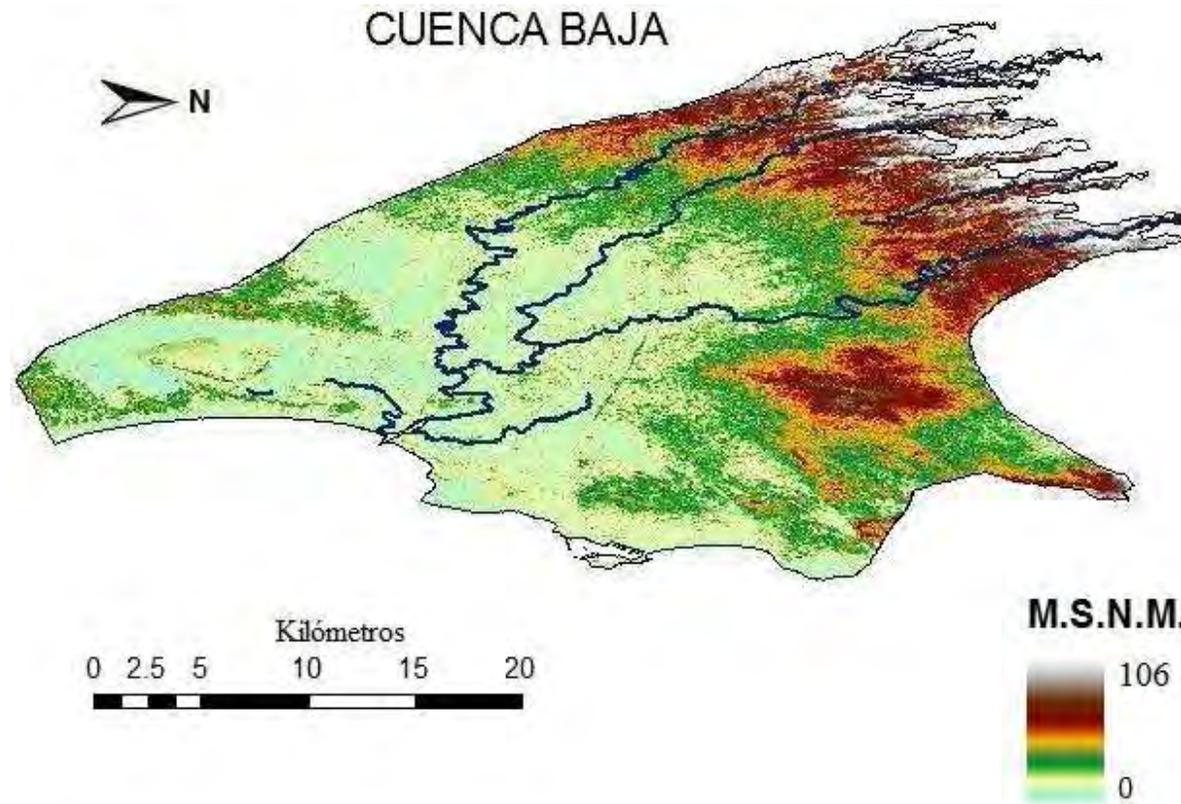
**Figura 2. Perfiles de los Ríos A) Cotaxtla y B) Jamapa. (Modificado de Reyes-Ramírez & Ubaldo-Rodríguez, 2009).**



**Figura 3. Modelo Digital de Elevación de la Cuenca Alta**



**Figura 4. Modelo Digital de Elevación de la Cuenca Media**



**Figura 5. Modelo Digital de Elevación de la Cuenca Baja**

### **6.1.2 Heterogeneidad ambiental en la Cuenca del Río Jamapa**

La Tabla 2 presenta el resultado de la homologación de las nomenclaturas de las diferentes cartas de series de Uso de Suelo y Cobertura de Vegetación, los tipos de cobertura se agruparon en 14 clases y esta es la nomenclatura que se uso para el resto de los análisis.

### **6.1.3 Heterogeneidad ambiental de las zonas funcionales de la Cuenca del Río Jamapa**

La Tabla 3 presenta el resultado del análisis de la heterogeneidad ambiental, donde es posible ver la distribución de los diferentes tipos de coberturas por zona funcional.

## **6.2 Análisis de los cambios en la heterogeneidad ambiental de la Cuenca del Río Jamapa**

Con la finalidad de dar una estructura y secuencia a este análisis, los resultados se presentan por zona funcional de la cuenca (Alta, Media y Baja) organizados de la siguiente forma: primero las coberturas de vegetación, seguidas de los cambios ocurridos y al final, el análisis de la fragmentación del paisaje.

### **6.2.1 Análisis del cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca Alta**

En la Figura 6 se presentan los mapas de las coberturas de vegetación para la Cuenca Alta, en los periodos de 1988, 1996, 2003 y 2010.

La Figura 7 presenta el balance de ganancias y pérdidas resultante de la modelación de los cambios ocurridos entre las series de tiempo. En esta zona funcional, el cambio más evidente en todas las series de tiempo se dio para los tipos de agricultura.

Los cambios más evidentes entre 1988 y 1996 se presentan en las coberturas de agricultura permanente, bosque de coníferas y encino, bosque mesófilo de montaña, y pastizal, las cuales tienen pérdidas y ganancias entre los dos periodos analizados; en el caso de la vegetación secundaria y la pradera de alta montaña solo hay pérdida de la superficie, y en el caso del urbano solo hay ganancia (Figura 7A).

**Tabla 2. Homologación de las nomenclaturas de los tipos de vegetación en las series de uso de suelo y vegetación INEGI (elaboración propia).**

EQUIVALENCIAS DE NOMBRES DE LOS TIPOS DE VEGETACION ENTRE LAS SERIES DE USO DE SUELO Y VEGETACION									
NOMENCLATURA EMPLEADA	NOMENCLATURA INEGI								
TIPO DE VEGETACION	SERIE I		SERIE II		SERIE III		SERIE IV		
GLACIAR DE ALTA MONTAÑA	DV	Area sin Vegetacion	DV	Area sin Vegetacion	DV	Desprovisto de vegetacion	DV	Desprovisto de vegetacion	
PRADERA ALTA MONTAÑA	VW	Pradera de alta montana	VW	Pradera de alta montana	VW	Pradera de alta montana	VW	Pradera de alta montana	
BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO	BA	Bosque de oyamel	BA/VSA	Bosque de oyamel Vegetacion Secundaria Arborea	BA	Bosque de oyamel	BA	Bosque de oyamel	
	BP	Bosque de pino	BP	Bosque de pino	BP	Bosque de pino	BP	Bosque de pino	
			BQ	Bosque de encino	BQ	Bosque de encino	BQ	Bosque de encino	
	BPQ	Bosque de pino-encino	BPQ	Bosque de pino-encino	BPQ	Bosque de pino-encino	BPQ	Bosque de pino-encino	
	BQP	Bosque de encino-pino	BQP	Bosque de encino-pino	BQP	Bosque de encino-pino	BQP	Bosque de encino-pino	
BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	BM	Bosque mesofilo de montana	BM/VSA	Bosque mesofilo de montana vegetacion secundaria arborea	BM	Bosque mesofilo de montana	BM	Bosque mesofilo de montana	
			VSA/BM	Bosque mesofilo de montana secundario arborea			VSA/BM	Bosque mesofilo de montana secundario arborea	
BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO	SAQ	Selva alta subperennifolia	SAQ/VSA	Selva alta subperennifolia vegetacion secundaria arborea	VSA/SAP	Selva alta perennifolia secundario arbustiva	VSA/SAQ	Selva alta subperennifolia secundario arborea	
SABANA	VS	Sabana	VS	Sabana	VSI	Sabanoide	VSI	Sabanoide	
HUMEDAL	VM	Manglar	VM	Manglar	VM	Manglar	VM	Manglar	
			VA	Popal	VA	Popal	VA	Popal	
			VH	Vegetacion halofila	VHH	Vegetacion halofila hidrofila			

Continúa Tabla 1.....

Tabla 1 continuación

**EQUIVALENCIAS DE NOMBRES DE LOS TIPOS DE VEGETACION ENTRE LAS SERIES DE USO DE SUELO Y VEGETACION**

NOMENCLATURA EMPLEADA	NOMENCLATURA INEGI							
	SERIE I		SERIE II		SERIE III		SERIE IV	
VEGETACIÓN DE DUNA	VU	Vegetacion de dunas costeras	VU	Vegetacion de dunas costeras	VU	Vegetacion de dunas costeras	VU	Vegetacion de dunas costeras
RIOS Y CUERPOS DE AGUA	H2O	Cuerpo de agua	H2O	Cuerpo de agua	H2O	Cuerpo de agua	H2O	Cuerpo de agua
VEGETACION SECUNDARIA	BQ/VSa	Bosque de encino Vegetacion secundaria arbustiva	SBC/VSa	Selva baja caducifolia Vegetacion secundaria arbustiva	VSa/BPQ	Bosque pino-encino secundario arbustivo	VSa/BPQ	Bosque pino-encino secundario arbustivo
					VSa/BP	Bosque de pino secundario arbustivo	VSa/BP	Bosque de pino secundario arbustivo
	VSa/SBC	Selva baja caducifolia secundario arbustiva			VSa/SBC	Selva baja caducifolia secundario arbustiva		
	VSa/SBC	Selva baja caducifolia secundario arbustiva			VSa/SBC	Selva baja caducifolia secundaria arborea		
SBC/VSa	Selva baja caducifolia Vegetacion secundaria arbustiva			VSA/SBC	Selva baja caducifolia secundario arborea	VSh/BM	Bosque mesofilo de montana secundario herbaceo	
AGRICOLA PERMANENTE	TSA	Semipermanente	TS	Semipermanente	RS	Semipermanente	TP	Permanente
			RSP	Semipermanente			TS	Semipermanente
			RS	Semipermanente	RSP	Semipermanente	TSP	Semipermanente
							RS	Semipermanente
				RSP	Semipermanente			
AGRICOLA CICLICA	RASP	Anual	RASP	Anual	TA	Anual	TA	Anual
					HA	Anual	TAS	Anual
							TAP	Anual
					RAS	Anual	RAS	Anual
PASTIZAL	PC	Pastizal cultivado	PC	Pastizal cultivado	PC	Pastizal cultivado	PC	Pastizal cultivado
	PI	Pastizal inducido	PI	Pastizal inducido	PI	Pastizal inducido	PI	Pastizal inducido
URBANO	ZU	Zona Urbana	ZU	Zona Urbana	AH	Asentamientos humanos	AH	Asentamientos humanos
					ZU	Zona Urbana	ZU	Zona Urbana

**Tabla 3. Coberturas de Vegetación por zona funcional en la Cuenca del Río Jamapa.**

<b>COBERTURA</b>	<b>CUENCA ALTA</b>	<b>CUENCA MEDIA</b>	<b>CUENCA BAJA</b>
<b>GLACIAR DE ALTA MONTAÑA</b>	X		
<b>PRADERA ALTA MONTAÑA</b>	X		
<b>BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO</b>	X	X	
<b>BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA</b>	X		
<b>BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO</b>	X	X	
<b>SABANA</b>			X
<b>HUMEDAL</b>			X
<b>VEGETACIÓN DE DUNA</b>			X
<b>RIOS Y CUERPOS DE AGUA</b>	X	X	X
<b>VEGETACIÓN SECUNDARIA</b>	X	X	X
<b>AGRICOLA PERMANENTE</b>	X	X	X
<b>AGRICOLA CICLICA</b>	X	X	X
<b>PASTIZAL CULTIVADO</b>	X	X	X
<b>URBANO</b>	X	X	X

Las pérdidas y ganancias entre 1996 y 2003, muestran el cambio más evidente en los tipos de agricultura, cambiando de permanente a cíclica, y se ven pérdidas en los bosques (Figura 7B).

Entre 2003 y 2010, el cambio más evidente es en el tipo de agricultura, cambiando de cíclica a permanente, también se observan pérdidas en el bosque mesófilo de montaña, y pastizal, y ganancia en vegetación secundaria (Figura 7C).

De manera agregada, para todo el periodo de estudio (1988-2010), los cambios más evidentes son en el tipo de agricultura, la vegetación secundaria, pastizal, y los bosques (Figura 7D).

### **6.2.1.1 Análisis del Paisaje para la Cuenca Alta**

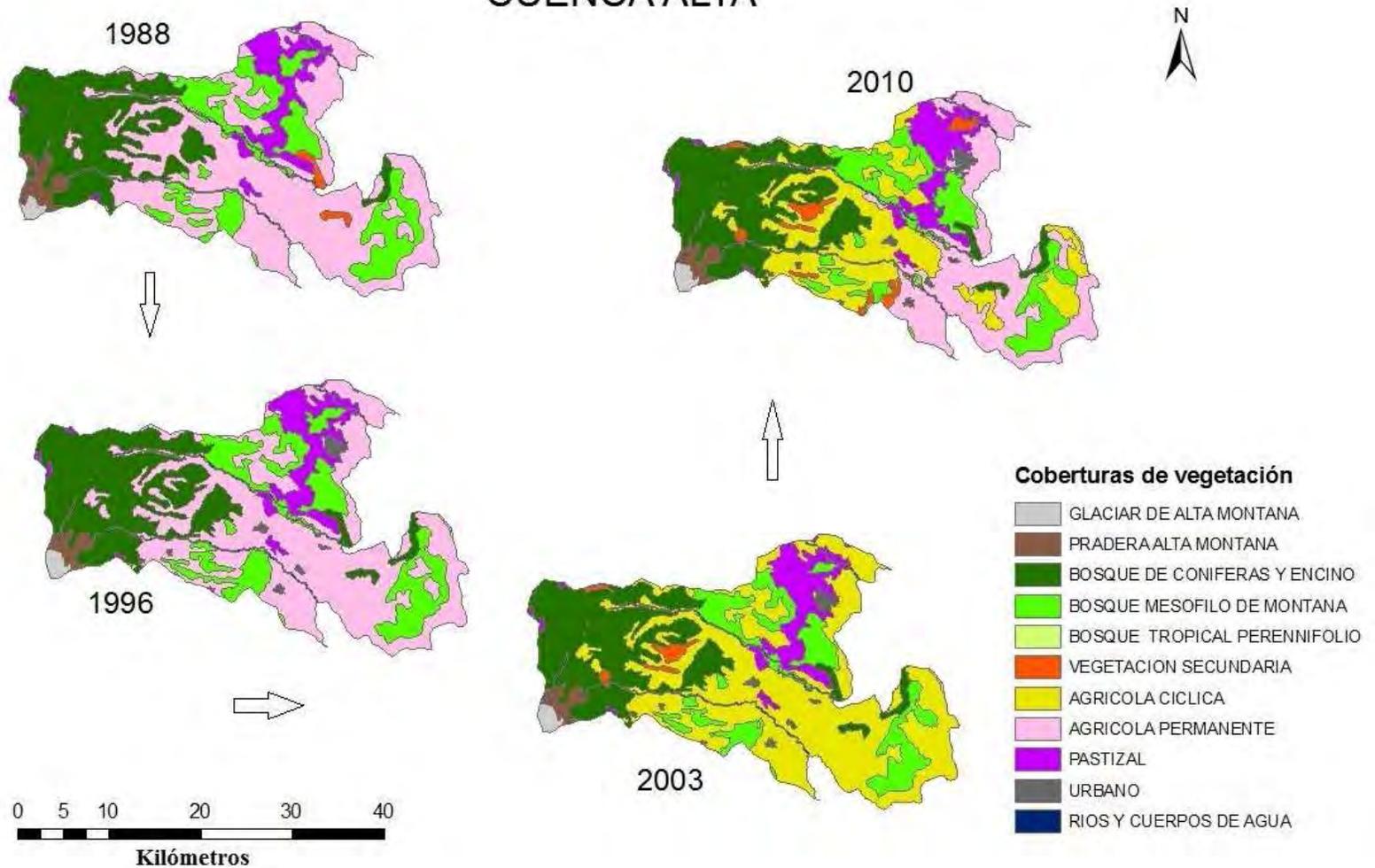
En síntesis, para la Cuenca Alta, las métricas calculadas nos indican que esta zona está siendo modificada por las actividades humanas, hay una fragmentación del paisaje y una disminución en las coberturas primarias.

Las métricas del paisaje analizadas reflejan la condición de la fragmentación los diferentes ambientes. Claramente se puede observar que en esta zona funcional, en los porcentajes de cobertura de terreno (PLAND), la agricultura domina el paisaje con casi el 50% del área total, para 2010, seguida por el bosque de coníferas y encino (25%), bosque mesófilo de montaña (12%), pastizal (8%) vegetación secundaria (aumentando del 1% al 2.5%) y el urbano que llega al 1%, (Figura 8A y A').

En el caso del número de parches (NP) por tipo de cobertura, se observa que para los bosques mesófilo de montaña y de coníferas y encino disminuye el valor, para el bosque tropical perennifolio aumenta, al igual que para la vegetación secundaria y se mantiene constante para el pastizal (Figura 8B).

Para la Forma del parche (SHAPE\_MN) (Figura 8C) en la mayor parte de las clases, con excepción del bosque tropical perennifolio, tiende a tener valor más elevado al final de la serie; la Densidad de Borde (ED), (Figura 8D), para las clases de bosque de coníferas y encino y la vegetación secundaria presentan valor más elevado para el 2010, para el bosque mesófilo de montaña disminuye el valor, mientras que para el pastizal y el bosque tropical perennifolio, si bien hay un ligero cambio en los valores, estos se mantienen casi constantes.

## COBERTURAS DE VEGETACIÓN CUENCA ALTA



**Figura 6. Coberturas de Vegetación en la Cuenca Alta para los periodos de 1988, 1996, 2003 y 2010.**

## Cuenca Alta

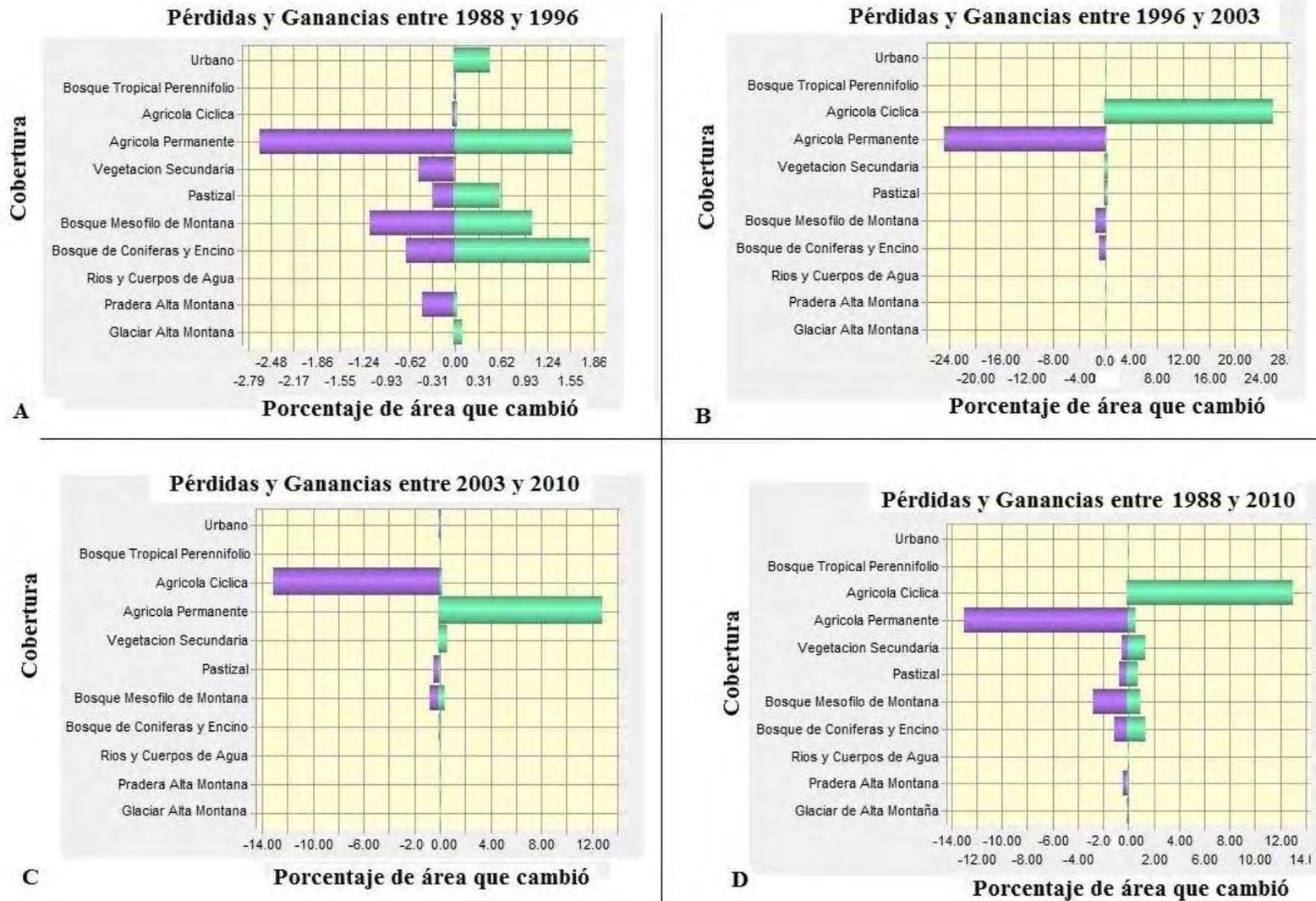


Figura 7. Gráficas de las Pérdidas y Ganancias en las Coberturas de Vegetación en la Cuenca Alta. A 1988-1996; B 1996-2003; C 2003-2010 ; D 1988-2010.

MÉTRICAS DE PAISAJE PARA LA CUENCA ALTA

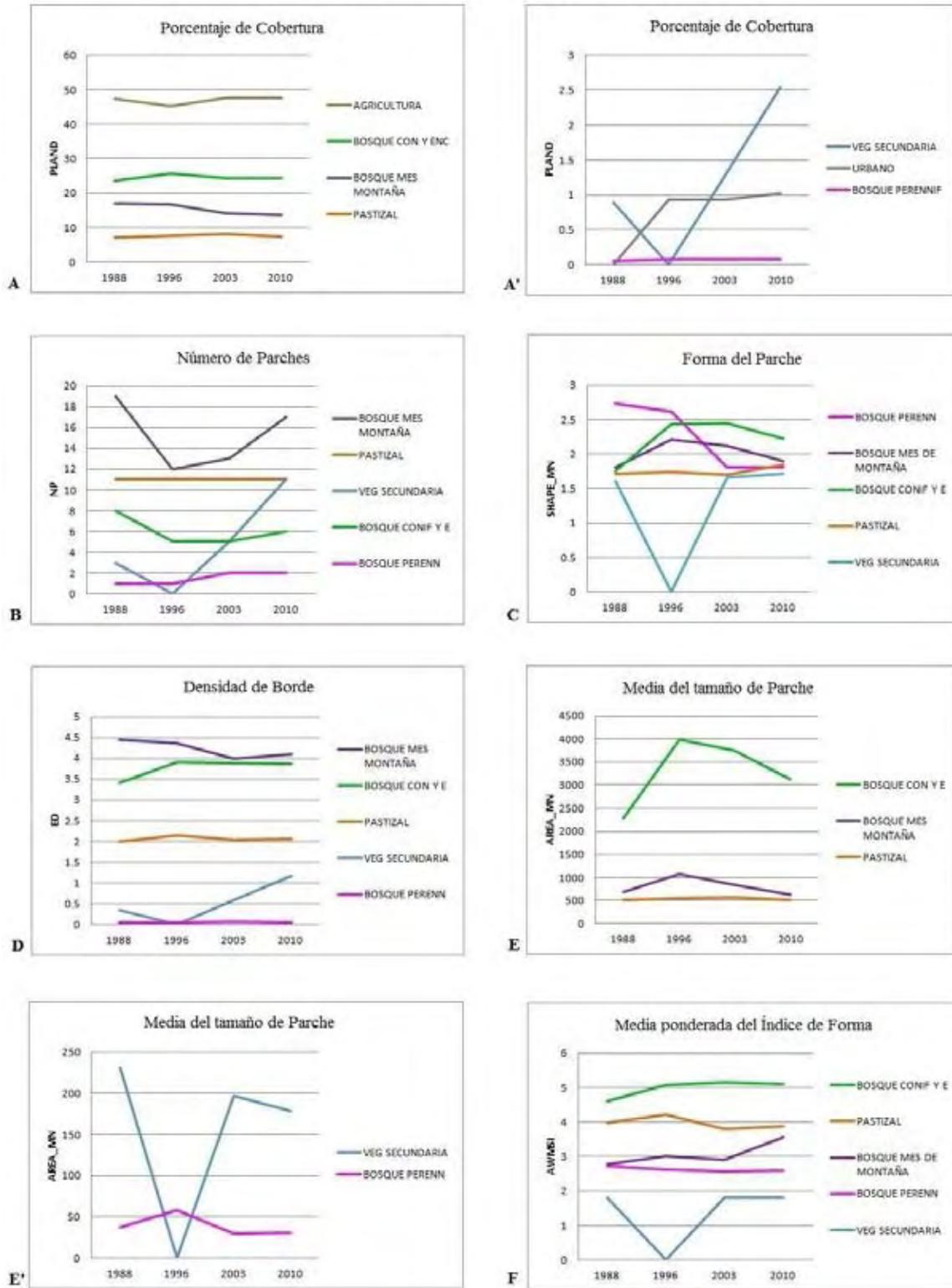


Figura 8. Métricas de Paisaje para la Cuenca Alta. A) Porcentaje de cobertura (PLAND) de las vegetaciones dominantes A') PLAND de las vegetaciones con menos de 3% de cobertura. B) Numero de Parches (NP) por tipo de vegetación. C) Forma de parche (SHAPE\_MN) por tipo de vegetación. D) Densidad de Borde (ED) por tipo de vegetación. E) Media del tamaño de parche (AREA\_MN) de los tipos de vegetación con valores más altos. E') AREA\_MN de los tipos de vegetación con valor menor a 250. F) Media ponderada del índice de forma (AWMSI) por tipo de vegetación.

La tendencia de la media del tamaño de parche por clase (AREA\_MN), es a disminuir en las clases, con excepción del bosque de coníferas y encino, en la cual se ve que el área tiende a ser mayor en las series de tiempo (Figura 8E y E').

En relación con la media ponderada del área del índice de forma (AWMSI) para la Cuenca Alta, observamos que los valores son mayores para las clases de bosque de coníferas y encino y para el bosque mesófilo de montaña; para las clases de pastizal y bosque tropical perennifolio los valores para 2010 son menores y en el caso de la vegetación secundaria, esta clase si bien los valores disminuyen para 1996, en 2010 presenta el mismo valor que en 1988 (Figura 8F).

### **6.2.2 Análisis del cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca Media**

En la Figura 9 se presentan los mapas de las coberturas de vegetación para la Cuenca Media, en los periodos de 1988, 1996, 2003 y 2010.

La Figura 10 presenta el balance de ganancias y pérdidas resultante de la modelación de los cambios ocurridos entre las series de tiempo. En esta zona funcional, el cambio más evidente en todas las series de tiempo se dio para los tipos de agricultura.

Los cambios más evidentes entre 1988 y 1996 se presentan en las coberturas de agricultura permanente, vegetación secundaria, pastizal y urbano (Figura 10A).

Entre 1996 y 2003, el cambio más evidente es en los tipos de agricultura, cambiando de permanente a cíclica; pérdida de vegetación secundaria y ganancia en pastizal (Figura 10B).

En el periodo 2003 y 2010, los cambios más evidentes son en el tipo de agricultura, cambiando de cíclica a permanente, también hay ganancia en urbano (Figura 10C).

Para todo el periodo de estudio (1988-2010), se observa que los cambios más evidentes en esta zona funcional, son en el tipo de agricultura, vegetación secundaria, pastizal y urbano (Figura 10D).

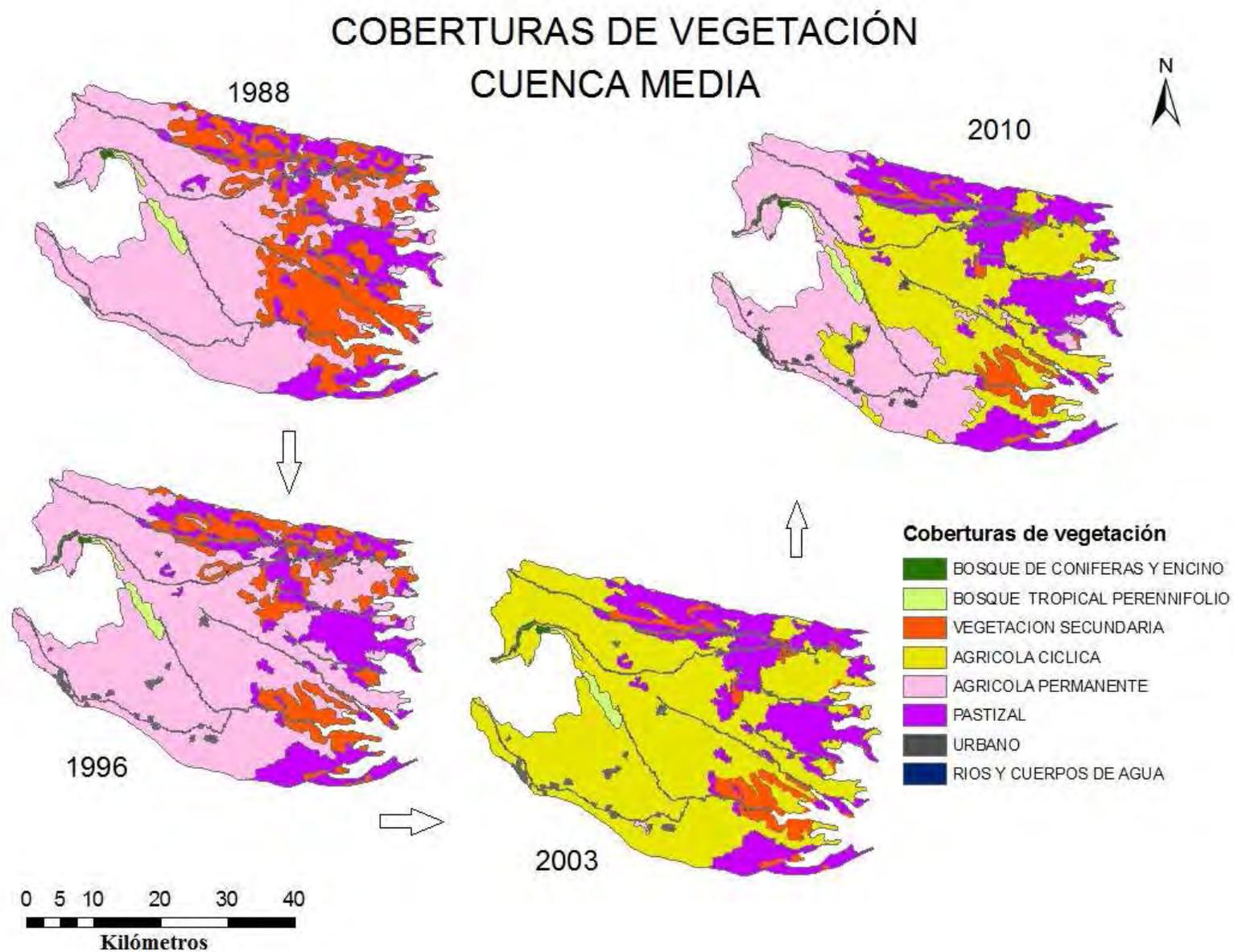


Figura 9. Coberturas de vegetación para la Cuenca Media en los periodos de 1988, 1996, 2003 y 2010.

## Cuenca Media

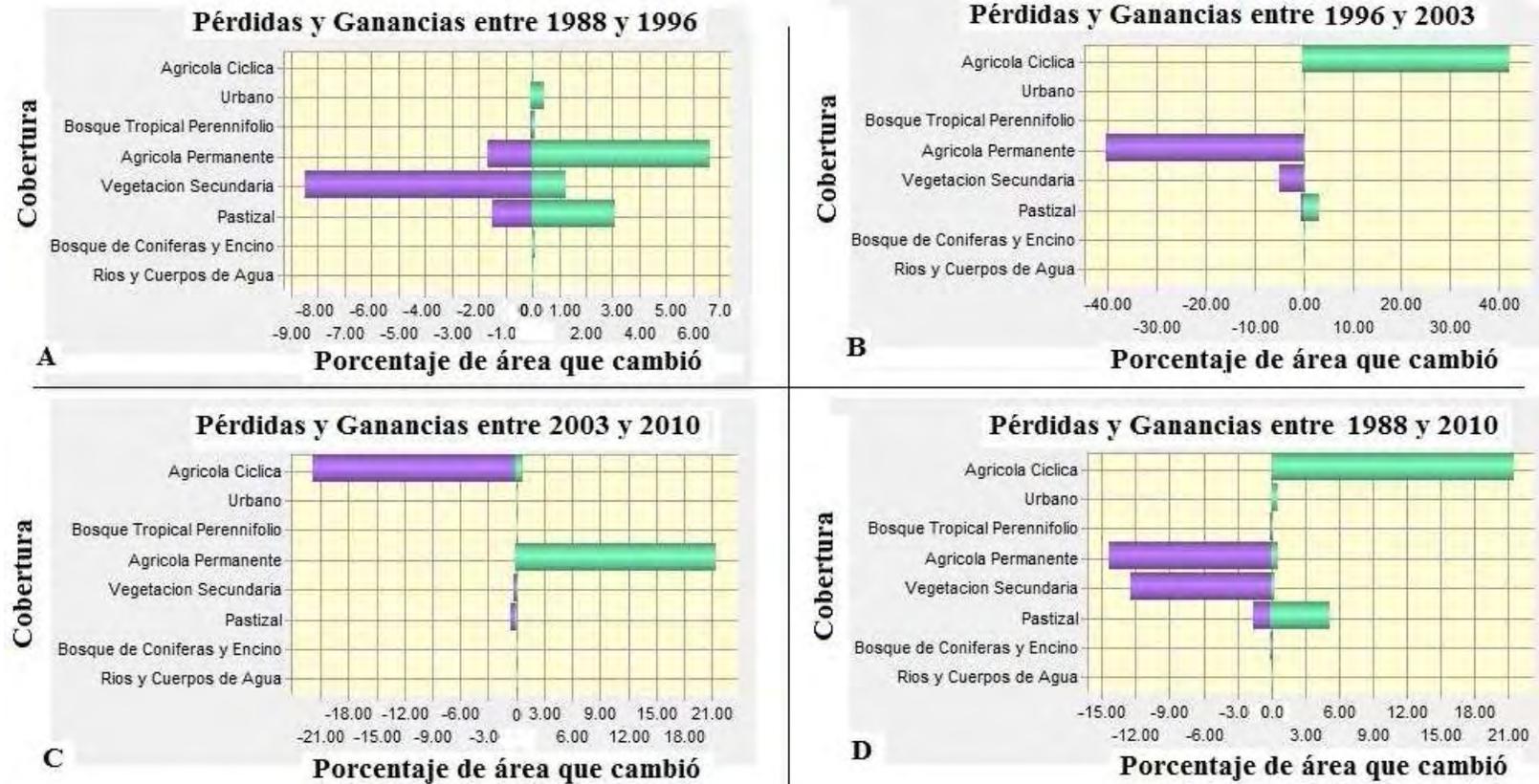


Figura 10. Gráficas de las Pérdidas y Ganancias en las Coberturas de Vegetación en la Cuenca Media. A 1988-1996; B 1996-2003; C 2003-2010 ; D 1988-2010.

### **6.2.2.1 Análisis del Paisaje para la Cuenca Media**

En resumen, las métricas calculadas para la Cuenca Media, reflejan que los ambientes están alterados por la acción del ser humano, las agriculturas y el pastizal predominan, disminuyendo las coberturas primarias.

Para esta zona funcional, tenemos que el PLAND por clase está dominado por ambientes alterados o manejados como las agriculturas (casi el 70%) y el pastizal (20%) para el 2010, la vegetación secundaria que disminuye del 25% al 5% en las series de tiempo, y en menor proporciones el urbano (que pasa de 0.1% a 1%) el bosque tropical perennifolio (1%) y el bosque de coníferas y encino con el 0.3% de cobertura (Figura 11A y A').

Para el caso del NP por clase, se observa una disminución de este para ambientes alterados, como son la vegetación secundaria y el pastizal, mientras que para el bosque de coníferas y encino aumenta y en el caso del bosque tropical perennifolio se mantiene en la serie de tiempo (Figura 11B y B').

En relación con el AREA\_MN a través del tiempo, se observa que si bien para el pastizal y bosque de coníferas y encino aumenta, para la vegetación secundaria decrece, mientras que para el bosque tropical perennifolio se mantiene sin cambio (Figura 11C).

Analizando la SHAPE\_MN se aprecia que en la Cuenca Media los ambientes manejados y alterados, así como el bosque de coníferas y encino tienen parches más irregulares (Figura 11D).

En cuanto a la ED, esta tiende a disminuir en las clases excepto en el bosque de coníferas y encino, el cual tiende a aumentar (Figura 11E y E').

Con relación al AWMSI, los valores para el pastizal y el bosque de coníferas y encino aumentan y para la vegetación secundaria y el bosque tropical perennifolio disminuyen (Figura 11F).

MÉTRICAS DE PAISAJE PARA LA CUENCA MEDIA

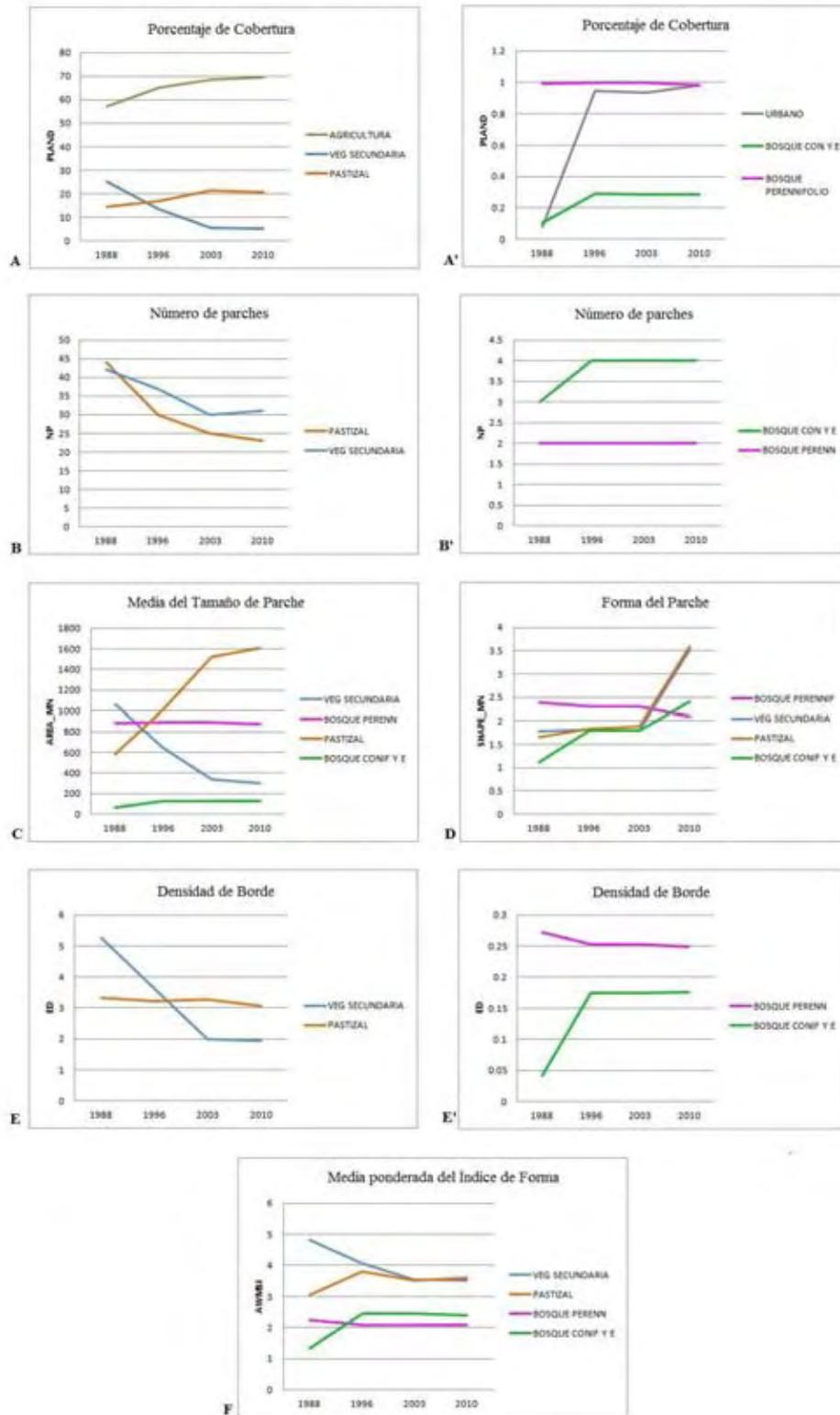


Figura 11. Métricas de Paisaje para la Cuenca Media. A) Porcentaje de cobertura (PLAND) de las vegetaciones dominantes A') PLAND de las vegetaciones con menos de 1% de cobertura. B) Numero de Parches (NP) por tipo de vegetación con valores más altos. B') NP de las coberturas de vegetación con valores menores a 4.5 C) Media del tamaño de parche (AREA\_MN) de los tipos de vegetación. D) Forma de parche (SHAPE\_MN) por tipo de vegetación. E) Densidad de Borde (ED) por tipo de vegetación con valor más alto. E') ED de los tipos de vegetación con valor menor a 0.3. F) Media ponderada del índice de forma (AWMSI) por tipo de vegetación.

### **6.2.3 Análisis del cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca Baja**

En la Figura 12 se presentan los mapas de las coberturas de vegetación para la Cuenca Baja, en los periodos de 1988, 1996, 2003 y 2010.

La Figura 13 presenta el balance de ganancias y pérdidas resultante de la modelación de los cambios ocurridos entre las series de tiempo. En esta zona funcional, el cambio más evidente en todas las series de tiempo se dio para los tipos de agricultura, el pastizal, la vegetación secundaria y el urbano.

Entre 1988 y 1996 se presentan cambios en las coberturas de agricultura permanente, agricultura cíclica, vegetación secundaria, pastizal y urbano; también se modifican la vegetación de duna y el humedal (Figura 13A).

Las pérdidas y ganancias entre 1996 y 2003 muestran que en este periodo el cambio más evidente es en los tipos de agricultura, cambiando de permanente a cíclica, pérdida en vegetación secundaria y aumento en pastizal (Figura 13B).

Entre 2003 y 2010, el cambio más evidente es en el tipo de agricultura, cambiando de cíclica a permanente, también hay pérdida en la vegetación secundaria y aumento en urbano (Figura 13C).

Para todo el periodo (1988-2010), en esta zona funcional, se observa que las pérdidas y ganancias más evidentes se dan en el tipo de agricultura, la vegetación secundaria, pastizal y urbano (Figura 13D).

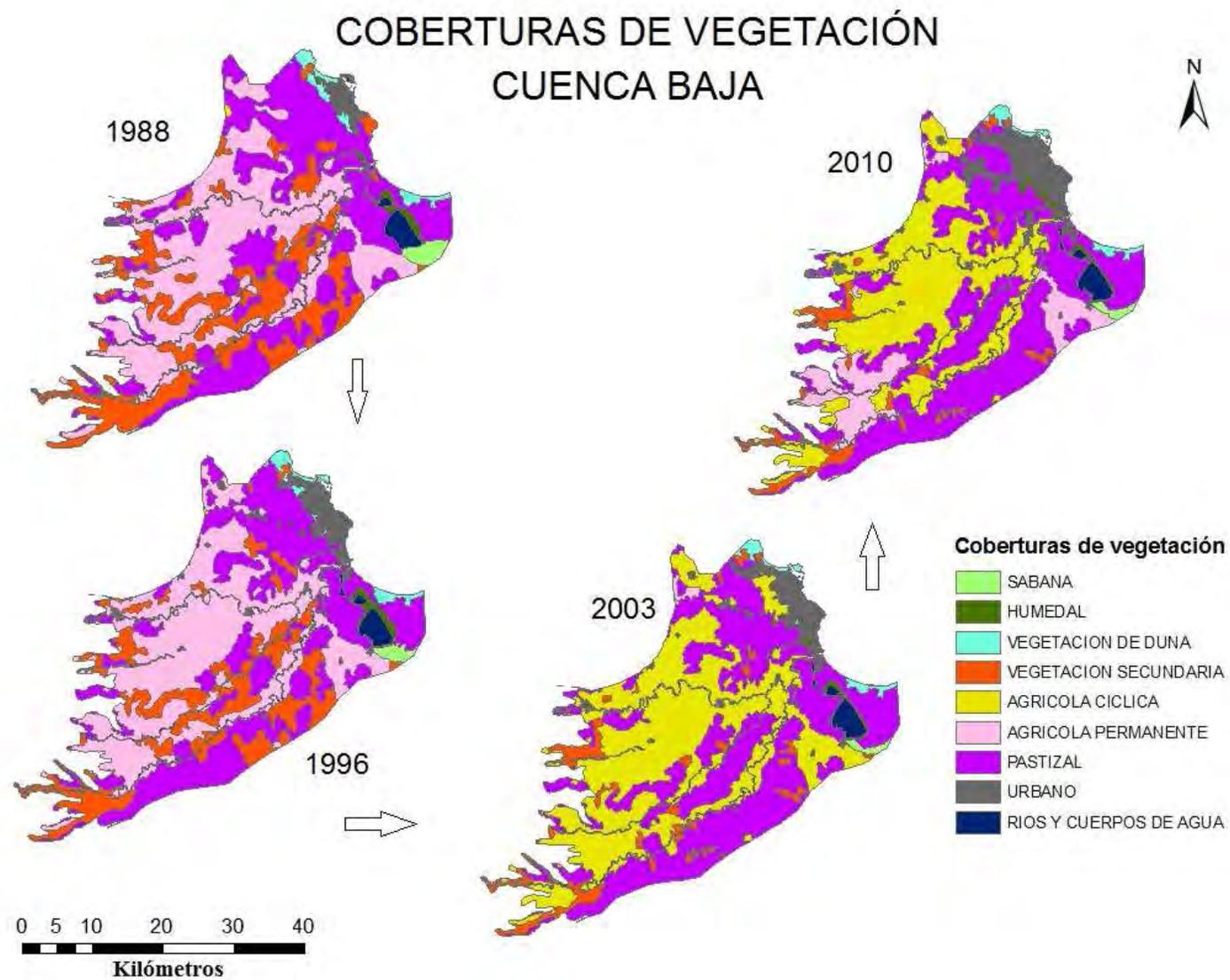


Figura 12. Coberturas de vegetación en la Cuenca Baja para los periodos de 1988, 1996, 2003 y 2010.

## Cuenca Baja

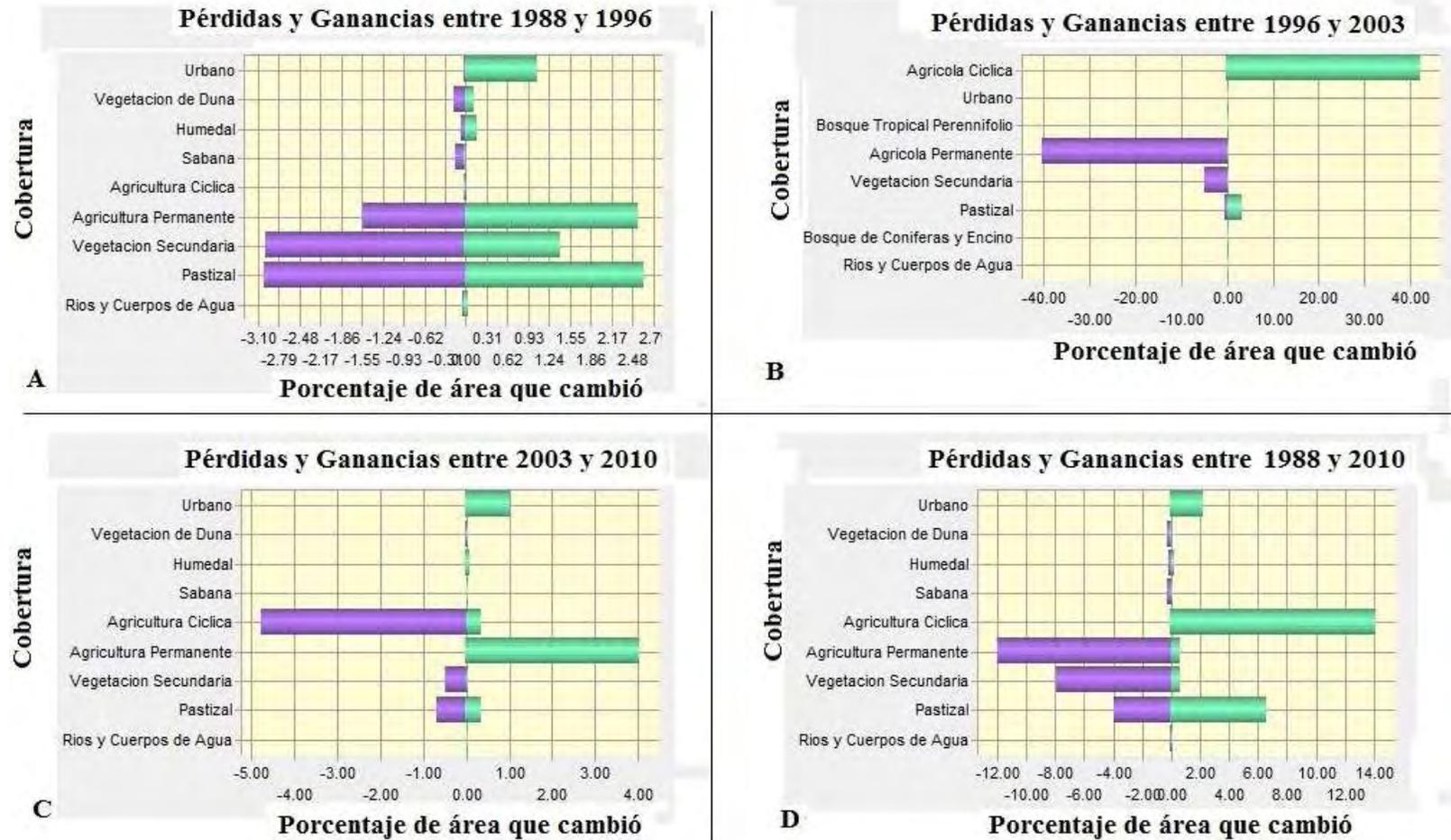


Figura 13. Gráficas de las Pérdidas y Ganancias en las Coberturas de Vegetación en la Cuenca Baja. A 1988-1996; B 1996-2003; C 2003-2010 ; D 1988-2010.

### 6.2.3.1 Análisis del Paisaje para la Cuenca Baja

En resumen, las métricas calculadas para la Cuenca Baja, reflejan que los ambientes están alterados por la acción del ser humano; las agriculturas y el pastizal predominan, disminuyendo las coberturas primarias.

Para esta zona funcional, las clases que predominan en el PLAND son las de pastizal (40%), agriculturas (40%), para 2010, seguidas de vegetación secundaria (que baja del 22% al 5% en el último periodo), después el urbano que cambia del 1.5% al 7% y finalmente los ambientes de humedal, vegetación de duna y sabana que no superan el 1% al final de las series (Figura 14A y A').

En esta zona de la cuenca, se observa que el NP aumenta para ambientes como el humedal y el pastizal, mientras que disminuye para la vegetación de duna y la vegetación secundaria, manteniéndose constante para la sabana (Figura 14B y B').

En relación al AREA\_MN, en la Cuenca Baja, se observa que si bien la tendencia es que en las clases sea menor el valor, aunque para la vegetación de duna y pastizal tiende a ser mayor (Figura 14C).

Analizando SHAPE\_MN, se observa que los valores no varían significativamente para casi todas las clases con excepción de la vegetación de duna y la sabana, en las cuales el valor aumenta (Figura 14D).

Al analizar la ED, nos encontramos que en el pastizal y humedal tenemos bordes más irregulares, mientras que para vegetación secundaria, la vegetación de duna y la sabana los bordes no son tan irregulares (Figura 14E y E').

Con relación al AWMSI podemos ver que los valores aumentan a través del tiempo en las clases, con excepción de la vegetación secundaria, en la cual los valores disminuyen (Figura 14F).

MÉTRICAS DE PAISAJE PARA LA CUENCA BAJA

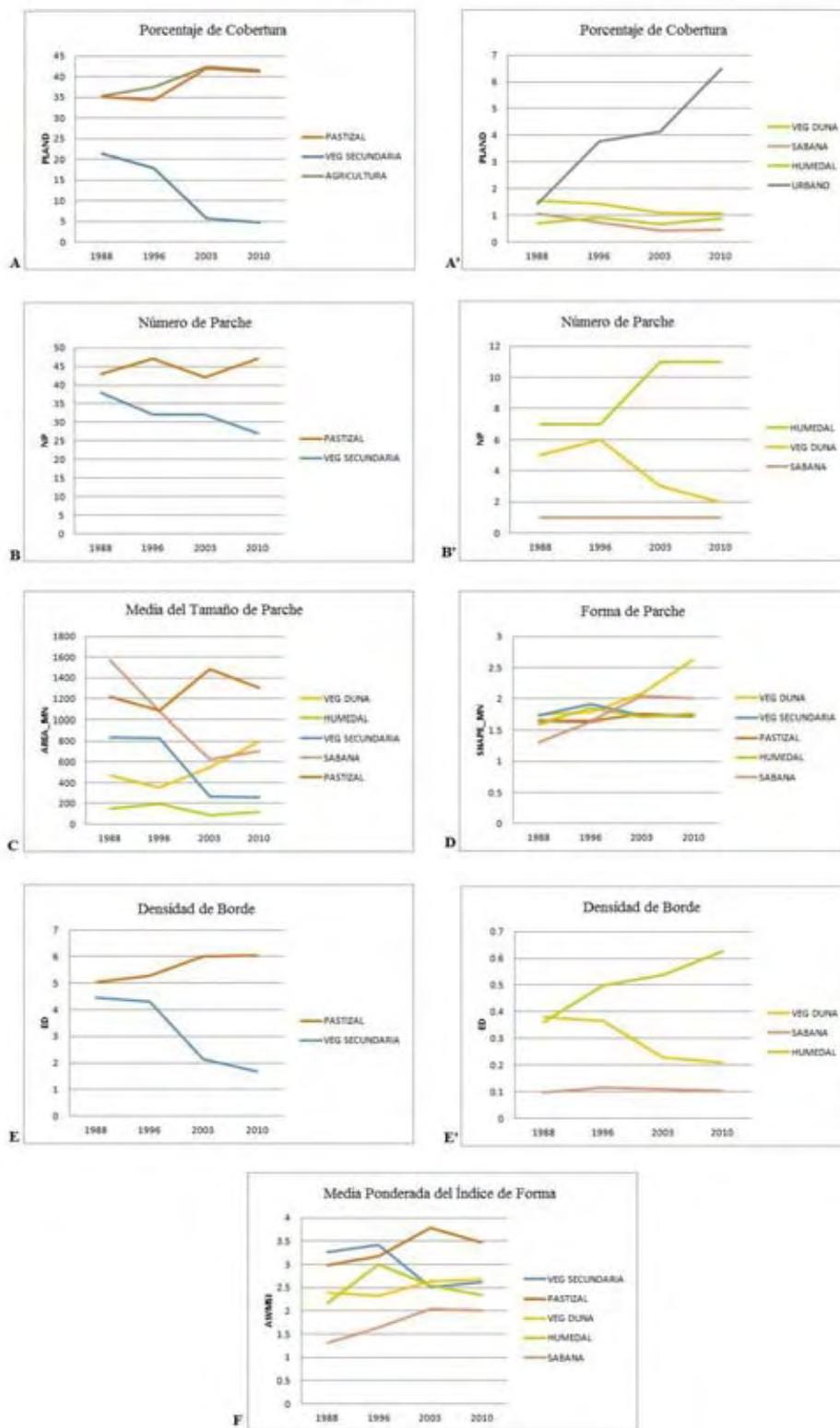


Figura 14. Métricas de Paisaje para la Cuenca Baja. A) Porcentaje de cobertura (PLAND) de las vegetaciones dominantes A') PLAND de las vegetaciones con menos de 7% de cobertura. B) Numero de Parches (NP) por tipo de vegetación con valores más altos. B') NP de las coberturas de vegetación con valores menores a 12. C) Media del tamaño de parche (AREA\_MN) de los tipos de vegetación. D) Forma de parche (SHAPE\_MN) por tipo de vegetación. E) Densidad de Borde (ED) por tipo de vegetación con valor más alto. E') ED de los tipos de vegetación con valor menor a 0.7. F) Media ponderada del índice de forma (AWMSI) por tipo de vegetación.

### **6.3 Caracterización de los servicios ambientales en la Cuenca del Río Jamapa de acuerdo a la cobertura de vegetación**

La Tabla 4 muestra la matriz de servicios ambientales identificados para la cuenca; se identificaron 18 servicios ambientales, de los cuales tres corresponden a la función de Regulación, cinco a la de Soporte, seis a la de Provisión y cuatro a la de Culturales.

La Tabla 5 presenta de manera sintética los alcances de los servicios ambientales identificados para cada zona funcional de la cuenca, de acuerdo a los valores asignados en la matriz de servicios ambientales.

### **6.4 Análisis de la modificación en la provisión de los servicios ambientales la Cuenca del Río Jamapa**

En esta sección, al igual que en el caso de los cambios en las coberturas de vegetación, los resultados se presentan por zona funcional de la cuenca y en cada una los servicios ambientales se agregaron por tipo de función (Regulación, Soporte, Provisión y Cultural). En virtud de que se generaron 84 mapas de servicios ambientales, para facilitar el análisis de la modificación de la provisión de los mismos, estos mapas se resumieron en los porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales y los mapas se encuentran en el Anexo 1.

#### **6.4.1 Servicios ambientales en la Cuenca Alta**

En la Cuenca Alta se identificaron los 18 servicios ambientales y el valor del porcentaje de terreno que provee el servicio ambiental por año y por alcance se presenta en la Tabla 6.

En el caso del servicio de Regulación Climática (RC), este tiene dos alcances: Regional y Local; en el caso del Regional, si bien los valores del porcentaje de terreno que lo provee aumentan en 1996, y disminuyen para 2003; en cuanto al alcance Local, los valores tienden a aumentar desde 1996 (Figura 15).

El servicio de Regulación Hídrica (RH) tiene alcance Regional, con aumento el 1996 y disminuciones en 2003 y 2010 (Figura 15).

**Tabla 4. Matriz de servicios ambientales por cobertura de vegetación para la cuenca del Río Jamapa.**

ECOSISTEMA	SERVICIOS AMBIENTALES																	
	REGULACION			SOPORTE					PROVISION					CULTURAL				
	RC	RH	RD	CN	FS	H	FFS	BD	AG	AL	M	C	F	Q	ES	R	ED	ET
GLACIAR DE ALTA MONTAÑA	4	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	1
PRADERA ALTA MONTAÑA	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO	4	4	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1
BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	4	4	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1
BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO	4	4	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1
SABANA	0	4	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
HUMEDAL	4	4	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1
VEGETACIÓN DE DUNA	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
RIOS Y CUERPOS DE AGUA	4	4	0	1	0	1	0	1	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1

**RC**= Regulación del clima; **RH**= Regulación hídrica; **RD**= Regulación de disturbios ambientales; **CN**= Ciclo de nutrientes; **FS**= Formación y protección de suelos; **H**= Hábitat; **FFS**= Flores, frutos y semillas; **BD**= Biodiversidad; **AG**= Agua; **AL**= Alimento; **M**= Madera para construcción; **C**= Combustible; **F**= Fibras o maderas otros usos; **Q**= Productos químicos; **ES**= Espirituales; **R**= Recreación; **ED**= Educación; **ET**= Estético

Alcances:	NO SE PROVEE	0
	LOCAL	1
	LOCAL/REGIONAL	2
	REGIONAL	4

Continúa Tabla 3....

Tabla 4. Matriz de servicios ambientales por cobertura de vegetación para la cuenca del Río Jamapa.

SISTEMA	SERVICIOS AMBIENTALES																	
	REGULACION			SOPORTE				PROVISION					CULTURAL					
	RC	RH	RD	CN	FS	H	FFS	BD	AG	AL	M	C	F	Q	ES	R	ED	ET
VEGETACION SECUNDARIA ARBSUTIVA	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
AGRICOLA PERMANENTE	0	0	2	0	0	0	1	0	0	4	0	4	4	0	0	0	0	0
AGRICOLA CICLICA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	4	4	0	0	0	0	0
PASTIZAL CULTIVADO	0	1	2	0	0	0	0	0	0	4	0	4	4	0	0	0	0	0
URBANO*	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

RC= Regulación del clima; RH= Regulación hídrica; RD= Regulación de disturbios ambientales; CN= Ciclo de nutrientes; FS= Formación y protección de suelos; H= Hábitat; FFS= Flores, frutos y semillas; BD= Biodiversidad; AG= Agua; AL= Alimento; M= Madera para construcción; C= Combustible; F= Fibras o maderas otros usos; Q= Productos químicos; ES= Espirituales; R= Recreación; ED= Educación; ET= Estético

\* Si bien se considera a los centros urbanos como consumidores de Servicios Ambientales, la presencia de áreas verdes, hortalizas urbanas y manejo en los desechos pueden generar servicios ambientales locales (Hassan *et al.*, 2005)

Alcances:	NO SE PROVEE	0
	LOCAL	1
	LOCAL/REGIONAL	2
	REGIONAL	4

**Tabla 5. Alcances de los servicios ambientales por zona funcional de la cuenca.**

ZONA FUNCIONAL	ALCANCE		
	REGIONAL	LOCAL/REGIONAL	LOCAL
CUENCA ALTA	RC RH AL AG C F	RD FS AL AG M C Q F	RC CN FS H BD FFS AL M C F ES RC ED ET
CUENCA MEDIA	RC RH AL C F	RD FS AL AG M C Q F	RC CN FS H BD FFS AL M C F ES RC ED ET
CUENCA BAJA	RC RH AL C F	RD AL AG Q	RC RD CN FS H BD FFS AL AG M C F ES R ED ET

**RC**= Regulación del clima; **RH**= Regulación hídrica; **RD**= Regulación de disturbios naturales; **CN**= Ciclo de nutrientes; **FS**= Formación y protección de suelos; **H**= Hábitat; **FFS**= Flores, frutos y semillas; **BD**= Biodiversidad; **AG**= Agua; **AL**= Alimento; **M**= Madera para construcción; **C**= Combustible; **F**= Fibras o maderas otros usos; **Q**= Productos químicos; **ES**= Espirituales; **R**= Recreación; **ED**= Educación; **ET**= Estético

En relación al servicio de Regulación a Disturbios Naturales (RD), el alcance es Local/Regional, disminuyendo para 2003 y vuelve a aumentar para 2010 (Figura 15).

El servicio de Ciclo de Nutrientes (CN), tiene alcance Local, con un aumento en el porcentaje de terreno que lo provee para 1996 y disminuyendo para 2003 y 2010. (Figura 16).

Para el caso del servicio de Formación de Suelo (FS), este alcances Local/Regional y Local; para el caso del alcance Local/Regional, este tiene un aumento en 1996 y disminuye para 2003 y 2010; para su alcance Local, este se pierde en 1996, pero se recupera en 2003 y 2010 (Figura 16).

Para el servicio de Hábitat (H), el alcance es Local, aumentando para 1996, disminuyendo para 2003 y aumentando en 2010 (Figura 16).

En relación a el servicio de Biodiversidad (BD), el alcance es Local, con aumento en 1996, disminuyendo en 2003 el 2010 (Figura 16).

El servicio de Flores, Frutos y Semillas (FFS), con alcance local tiene un aumento en 1996 y disminuye en 2003 y 2010 (Figura 16).

El servicio de provisión de Alimento (AL), este tiene alcances Regional, Local/Regional y Local; para el caso del alcance Regional, este disminuye en 1996 y aumenta en 2003 y 2010. Para el alcance Local/Regional, este se mantiene constante; el alcance Local, aumenta en 1996 y disminuye en 2003 y 2010 (Figura 17).

Para el servicio de provisión de Agua (AG), este servicio tiene alcances Regional y Local/Regional; para el alcance Regional, este se mantiene constante. En el caso del alcance Local/Regional, este aumenta en 1996, disminuyendo para 2003 y 2010 (Figura 17).

Para la provisión de Madera (M), este servicio tiene alcances Local/Regional y Local; para el alcance Local/Regional, aumenta en 1996, disminuyendo en 2003 en 2010. Con relación al alcance Local, este aumenta desde 1996 (Figura 17).

**Tabla 6. Porcentaje de Terreno que provee los servicios ambientales en la Cuenca Alta.**

FUNCIÓN	SERVICIO AMBIENTAL	ALCANCE	Porcentaje de terreno que provee el servicio ambiental %			
			1988	1996	2003	2010
REGULACIÓN	RC	Re	42.634	44.727	40.695	40.160
		L	0	0.931	0.929	1.017
	RH	Re	44.723	46.090	42.053	41.507
	RD	L/Re	87.897	87.901	38.559	61.669
SOPORTE	CN	L	42.045	43.969	39.939	39.407
	FS	L/Re	40.665	42.589	38.559	38.026
		L	0.894	0.000	1.270	2.543
	H	L	42.939	43.969	41.209	41.950
	BD	L	42.045	43.969	39.939	39.407
FFS	L	95.048	95.568	94.308	92.960	
PROVISIÓN	AL	Re	54.383	52.979	55.748	54.933
		L/Re	1.380	1.380	1.380	1.380
		L	40.665	42.589	38.559	38.026
	AG	Re	0.589	0.757	0.756	0.754
		L/Re	42.045	43.969	39.939	39.407
	M	L/Re	40.616	42.514	38.483	37.946
		L	0.049	0.075	0.077	0.080
	C	Re	54.383	52.979	55.748	54.933
		L/Re	40.616	42.514	38.483	37.946
		L	0.943	0.075	1.346	2.624
	Q	L/Re	40.665	42.589	38.559	38.026
	F	Re	54.383	52.979	55.748	54.933
		L/Re	40.665	42.589	38.559	38.026
		L	0.894	0.000	1.270	2.543
	CULTURAL	ES	L	42.045	44.901	40.869
R		L	44.723	47.021	42.982	42.524
ED		L	44.134	46.264	42.226	41.770
ET		L	44.723	47.021	42.982	42.524

**Servicios Ambientales:** RC= Regulación del clima; RH= Regulación hídrica; RD= Regulación de disturbios naturales; CN= Ciclo de nutrientes; FS= Formación y protección de suelos; H= Hábitat; FFS= Flores, frutos y semillas; BD= Biodiversidad; AG= Agua; AL= Alimento; M= Madera para construcción; C= Combustible; F= Fibras o maderas otros usos; Q= Productos químicos; ES= Espirituales; R= Recreación; ED= Educación; ET= Estético

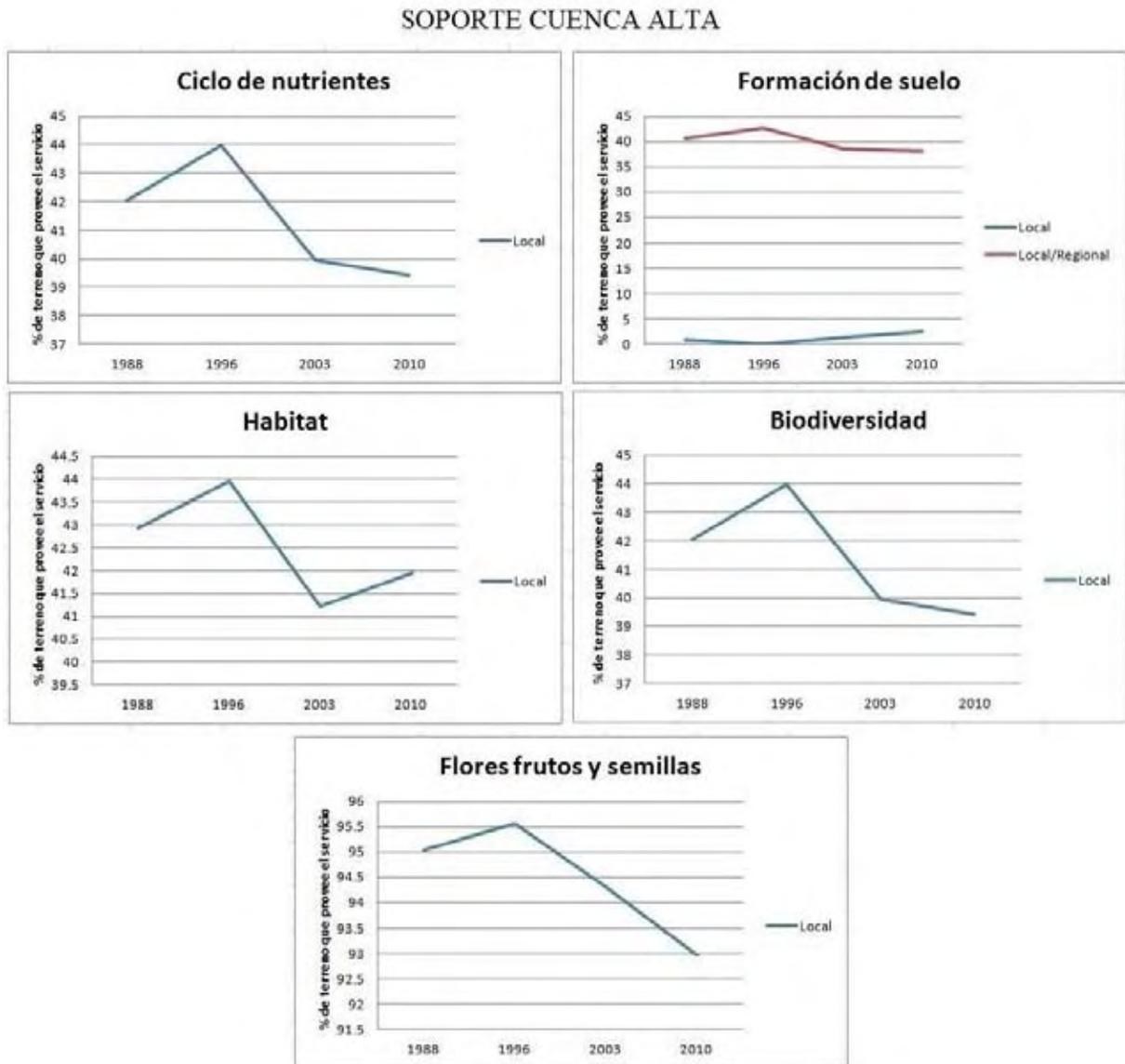
**Alcances:** Re= Regional; L/Re= Local/Regional; L= Local

## REGULACION CUENCA ALTA



Figura 15. Porcentajes de terreno que provee los servicios ambientales de Regulación en la Cuenca Alta

El servicio de provisión de Combustible (C) en esta zona funcional tiene alcances Regional, Local/Regional y Local; Para el caso del alcance Regional, disminuye para 1996, aumentando en 2003 y en el 2010; para el alcance Local/Regional de este servicio, aumenta en 1996, disminuyendo en 2003 y en el 2010. En relación al alcance local, se pierde en 1996, pero aumenta en 2003 y en 2010 (Figura 17).



**Figura 16. Porcentajes de terreno que provee los servicios ambientales de Soporte en la Cuenca Alta.**

PROVISION CUENCA ALTA

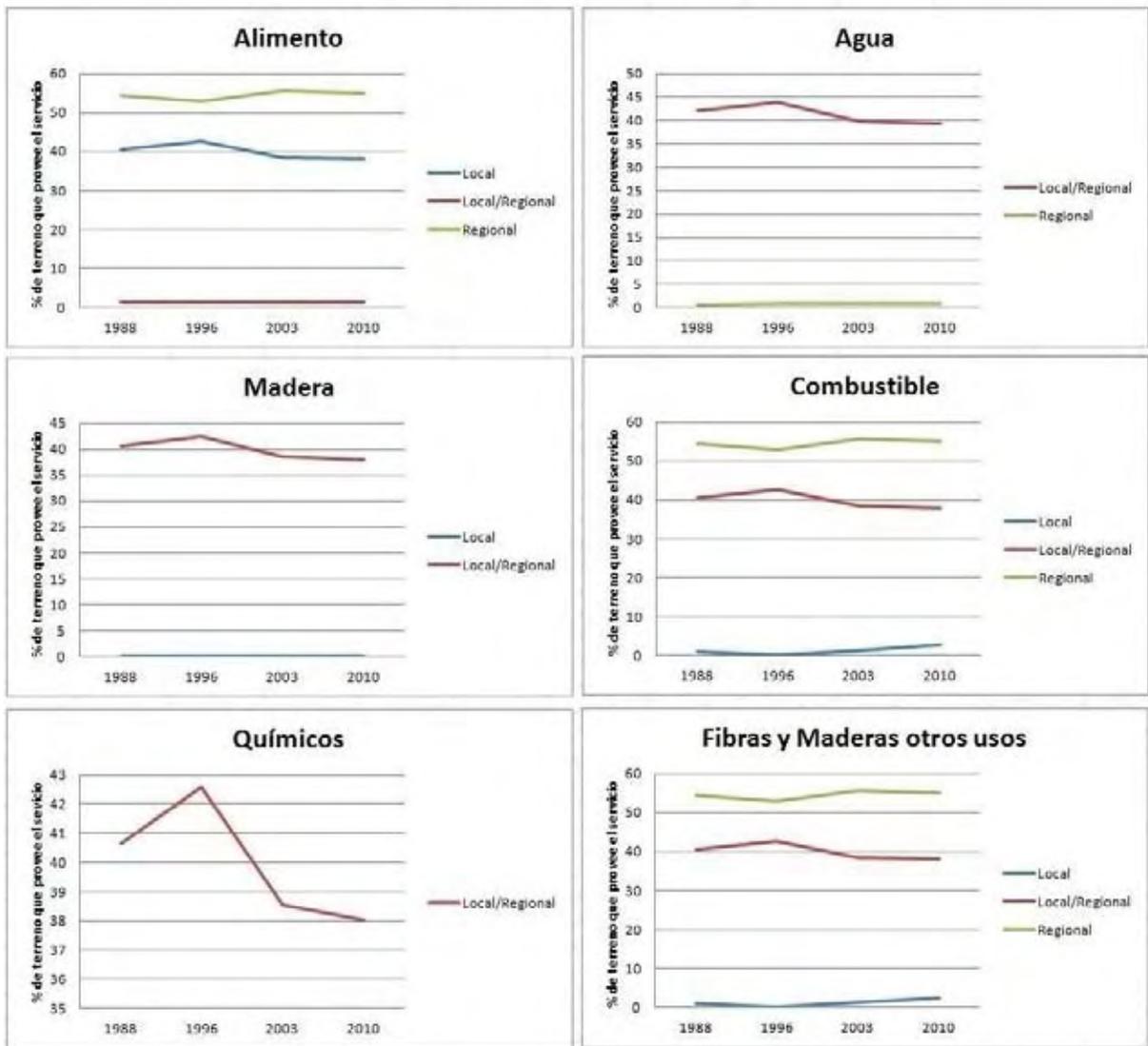
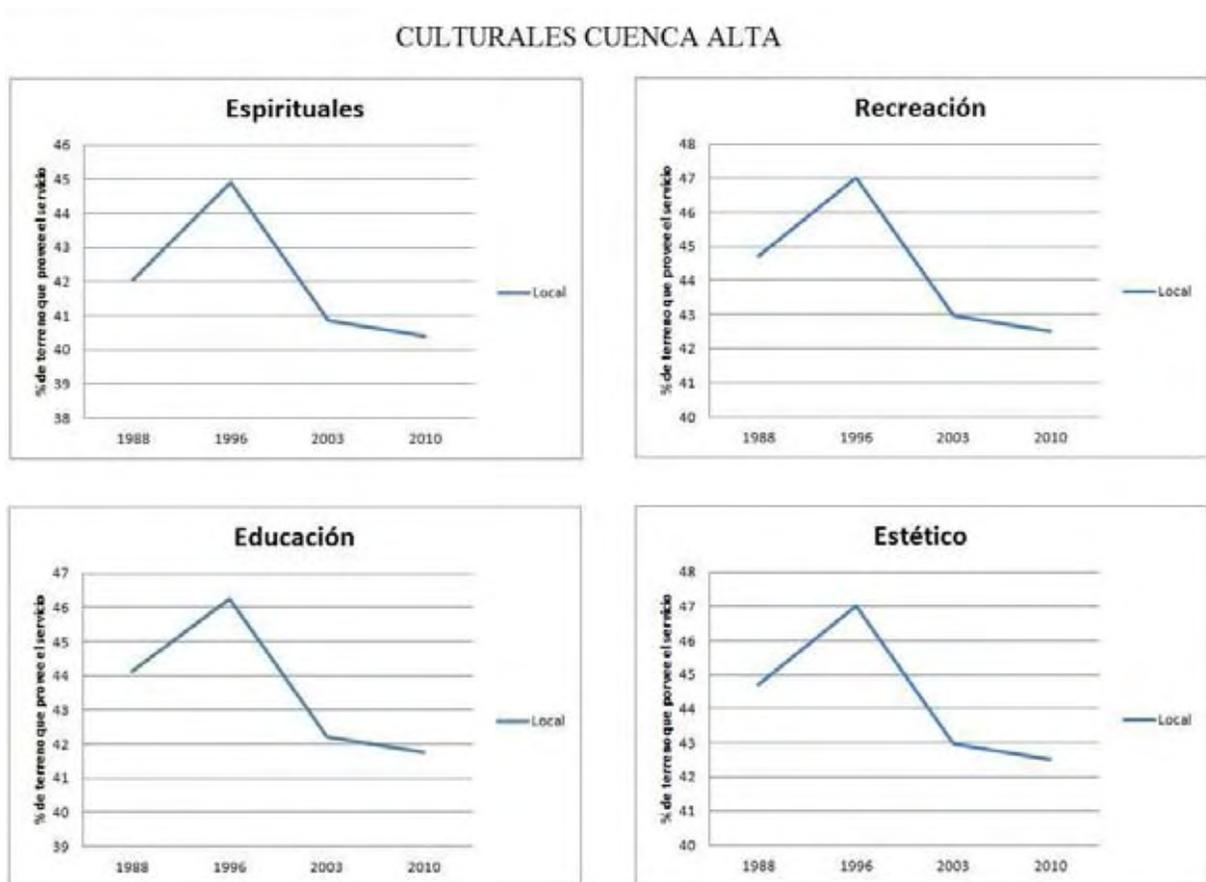


Figura 17. Porcentajes de terreno que provee los servicios ambientales de Provisión en la Cuenca Alta.

El servicio de Productos Químicos (Q) en esta zona funcional de la cuenca tiene un alcance Local/Regional, el cual aumenta para 1996, y disminuye en el 2003 y en 2010 (Figura 17).

En relación al servicio de Fibras y Maderas para otros usos (F), este tiene alcances Regional, local/Regional y Local en esta zona funcional. Para el caso del alcance Regional, disminuye en 1996, aumentando para el 2003 y disminuye para el 2010. Para el alcance Local/Regional de este servicio, aumenta para 1996, disminuyendo en 2003 y para el 2010; en relación al alcance local del servicio, para 1996 no se provee el servicio, aumentando en 2003 y en 2010 (Figura 17).

Los servicios Culturales, como son Espirituales (ES), Recreación (R), Educación (ED) y Estéticos (ET) tiene un alcance local y presentan el mismo comportamiento, aumentando 1996, y disminuyendo para 2003 y 2010 (Figura 18).



**Figura 18. Porcentajes de terreno que provee los servicios ambientales Culturales en la Cuenca Alta.**

#### **6.4.1.1 Análisis del cambio en la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca Alta**

La Tabla 7 presenta el cambio en los porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales entre los periodos de 1988-1996, 1996-2003, 2003-2010 y el cambio total en el periodo de 1988-2010

En la Cuenca Alta se observan los siguientes cambios en la provisión de los servicios ambientales:

Para el servicio de AL con alcance Local/Regional, la superficie que lo provee no presentó modificación en el periodo de estudio (1988-2010).

Los servicios ambientales que presentan pérdida entre 1988 y 1996 son:

AL, C y F con alcance Regional; FS, C y F con alcance Local.

Los que presentan ganancia entre 1998 y 1996 son:

RC, RH, RD, CN, H, BD, FFS, AG, M, ES, R, ED y ET en todos sus alcances.

FS, C y F con alcance Local/Regional y AL con alcance Local.

Los servicios ambientales que presentan pérdidas entre 1996 y 2003 son:

RC, RH, RD, CN, H, BD, FFS, AG, Q, ES, R, ED y ET en todos sus alcances; FS con alcance Regional; M, C y F con alcance Local/Regional y AL con alcance Local.

Los servicios que presentan Ganancia en el periodo de 1996-2003 son:

AL, C y F con alcance Regional; FS, M, C y F con alcance Local.

Para el periodo de 2003-2010, los servicios ambientales que presentan pérdida son:

CN, BD, FFS, AG, Q, ES, R, ED y ET en todos sus alcances; RC, RH, AL, C y F con alcance Regional; FS, M, C y F con alcance Regional/Local y AL con alcance Local.

Los que presentan ganancia son:

RD con alcance Local/Regional; RC, FS, H, M, C y F con alcance Local

**Tabla 7. Pérdidas y Ganancias en los porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales en la Cuenca Alta.**

FUNCIÓN	SERVICIO AMBIENTAL	ALCANCE	Cambio en el porcentaje de terreno que provee el servicio %			
			1988-1996	1996-2003	2003-2010	1988-2010
REGULACIÓN	RC	Re	2.093	-4.032	-0.535	<b>-2.474</b>
		L	0.931	-0.002	0.088	<b>1.017</b>
	RH	Re	1.367	-4.037	-0.546	<b>-3.216</b>
	RD	L/Re	0.004	-49.342	23.109	<b>-26.229</b>
SOPORTE	CN	L	1.924	-4.030	-0.533	<b>-2.639</b>
		L/Re	1.924	-4.030	-0.533	<b>-2.639</b>
	FS	L	-0.894	1.270	1.274	<b>1.649</b>
		H	L	1.030	-2.760	0.741
	BD	L	1.924	-4.030	-0.533	<b>-2.639</b>
FFS	L	0.520	-1.260	-1.348	<b>-2.089</b>	
PROVISIÓN	AL	Re	-1.404	2.769	-0.815	<b>0.550</b>
		L/Re	0	0	0	<b>0</b>
		L	1.924	-4.030	-0.533	<b>-2.639</b>
	AG	Re	0.168	-0.002	-0.002	<b>0.165</b>
		L/R	1.924	-4.030	-0.533	<b>-2.639</b>
	M	L/R	1.898	-4.032	-0.537	<b>-2.670</b>
		L	0.026	0.002	0.004	<b>0.032</b>
	C	Re	-1.404	2.769	-0.815	<b>0.550</b>
		L/Re	1.898	-4.032	-0.537	<b>-2.670</b>
		L	-0.868	1.272	1.277	<b>1.681</b>
	Q	L/Re	1.924	-4.030	-0.533	<b>-2.639</b>
	F	Re	-1.404	2.769	-0.815	<b>0.550</b>
L/Re		1.924	-4.030	-0.533	<b>-2.639</b>	
L		-0.894	1.270	1.274	<b>1.649</b>	
CULTURAL	ES	L	2.856	-4.032	-0.445	<b>-1.621</b>
		R	L	2.298	-4.039	-0.458
	ED	L	2.130	-4.037	-0.456	<b>-2.364</b>
	ET	L	2.298	-4.039	-0.458	<b>-2.199</b>

**Servicios Ambientales:** RC= Regulación del clima; RH= Regulación hídrica; RD= Regulación de disturbios naturales; CN= Ciclo de nutrientes; FS= Formación y protección de suelos; H= Hábitat; FFS= Flores, frutos y semillas; BD= Biodiversidad; AG= Agua; AL= Alimento; M= Madera para construcción; C= Combustible; F= Fibras o maderas otros usos; Q= Productos químicos; ES= Espirituales; R= Recreación; ED= Educación; ET= Estético

**Alcances:** Re= Regional; L/Re= Local/Regional; L= Local

Los valores negativos (-) indican Pérdida. Los valores positivos indican Ganancia. El 0 indica que no hubo modificación en el periodo.

El cambio total en la provisión de los servicios ambientales correspondiente al periodo de 1998-2010 es el siguiente:

Los servicios ambientales que presentan pérdida son:

RC y RH con alcance Regional; RD, FS, AG, M, C, Q y F con alcance Local/Regional; CN, H, BD, FFS, AL, ES, R, ED y ET con alcance Local.

Los que presentan ganancia son:

AL, AG, C y F con alcance Regional; RC, FS, M, C y F con alcance Local.

#### **6.4.2 Servicios ambientales en la Cuenca Media**

En la Cuenca Media, se identificaron los 18 servicios ambientales y el valor del porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales por año y por alcance se presentan en la Tabla 8.

En esta zona funcional, el servicio de RC tiene alcances Regional y Local; para el alcance Regional el porcentaje de terreno que lo provee aumenta para 1996, se mantiene constante para 2003 y 2010; en cuanto al alcance Local, este aumenta en 1996, 2003 y 2010 (Figura 19).

Para el servicio de RH, el alcance es Regional, aumentando el terreno que lo provee para 1996 y 2003, disminuyendo en 2010 (Figura 19).

En relación al servicio de RD, el alcance es Local/Regional, teniendo que para 1988, la superficie de la zona funcional que provee el servicio disminuye para 1996, y para el 2003 y aumentando para el 2010 (Figura 19).

El servicio de CN, para esta zona funcional tiene alcance Local, aumentando para 1996 y 2003, teniendo una disminución en el 2010 (Figura 20).

Para el servicio de FS, se tienen los alcances Local/Regional y Local; para el caso del alcance Local/Regional, este presenta aumento en 1996 y disminuye en 2003 y 2010; para el alcance Local del servicio, el porcentaje de terreno que lo provee disminuye para 1996; para 2003 y para el 2010 (Figura 20).

**Tabla 8. Porcentaje de Terreno que provee los servicios ambientales en la Cuenca Media.**

FUNCIÓN	SERVICIO AMBIENTAL	ALCANCE	Porcentaje de terreno que provee el servicio ambiental %			
			1988	1996	2003	2010
REGULACIÓN	RC	Re	3.318	3.505	3.503	3.487
		L	0.080	0.946	0.934	0.982
	RH	Re	3.318	3.505	3.503	3.487
	RD	L/Re	58.209	33.575	1.373	36.224
SOPORTE	CN	L	3.318	3.505	3.503	3.487
	FS	L/Re	1.097	1.284	1.282	1.266
		L	24.998	13.370	5.681	5.204
	H	L	28.316	16.875	9.184	8.691
	BD	L	3.318	3.505	3.503	3.487
FFS	L	72.702	83.463	91.164	91.593	
PROVISIÓN	AL	Re	71.605	82.179	89.883	90.328
		L/Re	2.221	2.221	2.221	2.221
		L	1.097	1.284	1.282	1.266
	AG	L/Re	3.318	3.505	3.503	3.487
	M	L/Re	0.105	0.288	0.286	0.284
		L	0.992	0.995	0.995	0.982
	C	Re	71.605	82.179	89.883	90.328
		L/Re	0.105	0.288	0.286	0.284
		L	25.989	14.366	6.676	6.185
	Q	L/Re	1.097	1.284	1.282	1.266
	F	Re	71.605	82.179	89.883	90.328
		L/Re	1.097	1.284	1.282	1.266
		L	24.998	13.370	5.681	5.204
CULTURAL	ES	L	3.398	4.451	4.437	4.469
	R	L	3.398	4.451	4.437	4.469
	ED	L	3.398	4.451	4.437	4.469
	ET	L	3.398	4.451	4.437	4.469

**Servicios Ambientales:** RC= Regulación del clima; RH= Regulación hídrica; RD= Regulación de disturbios naturales; CN= Ciclo de nutrientes; FS= Formación y protección de suelos; H= Hábitat; FFS= Flores, frutos y semillas; BD= Biodiversidad; AG= Agua; AL= Alimento; M= Madera para construcción; C= Combustible; F= Fibras o maderas otros usos; Q= Productos químicos; ES= Espirituales; R= Recreación; ED= Educación; ET= Estético

**Alcances:** Re= Regional; L/Re= Local/Regional; L= Local

## REGULACION CUENCA MEDIA

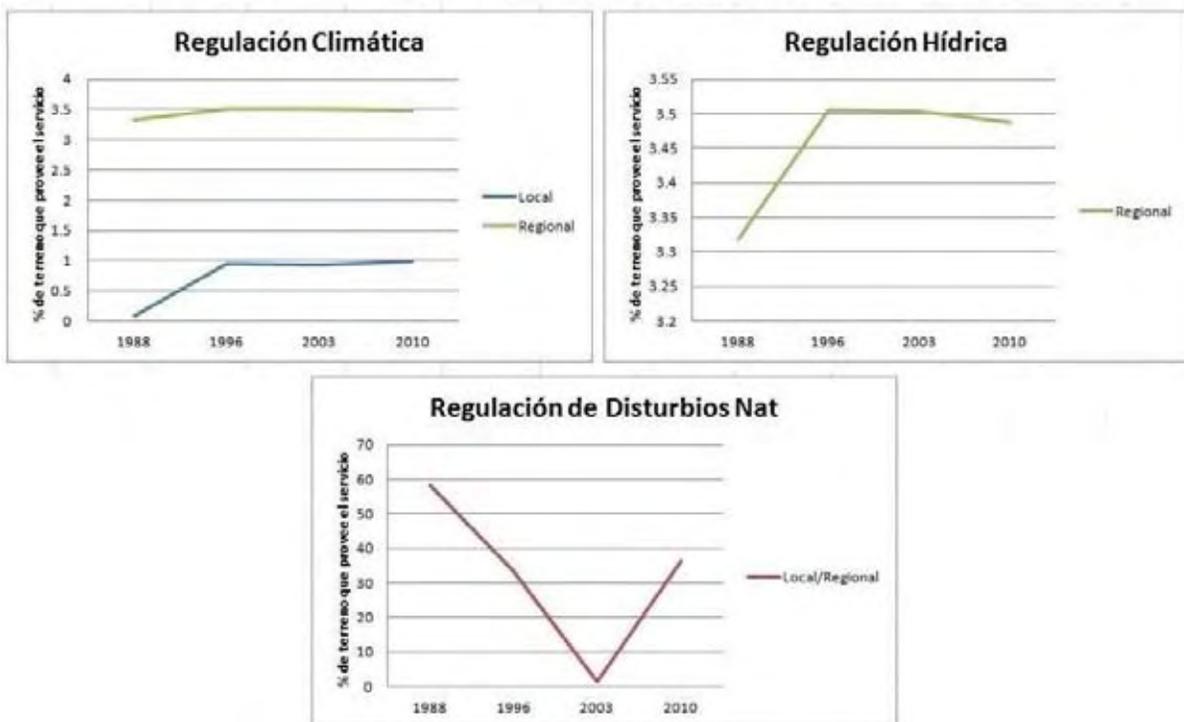
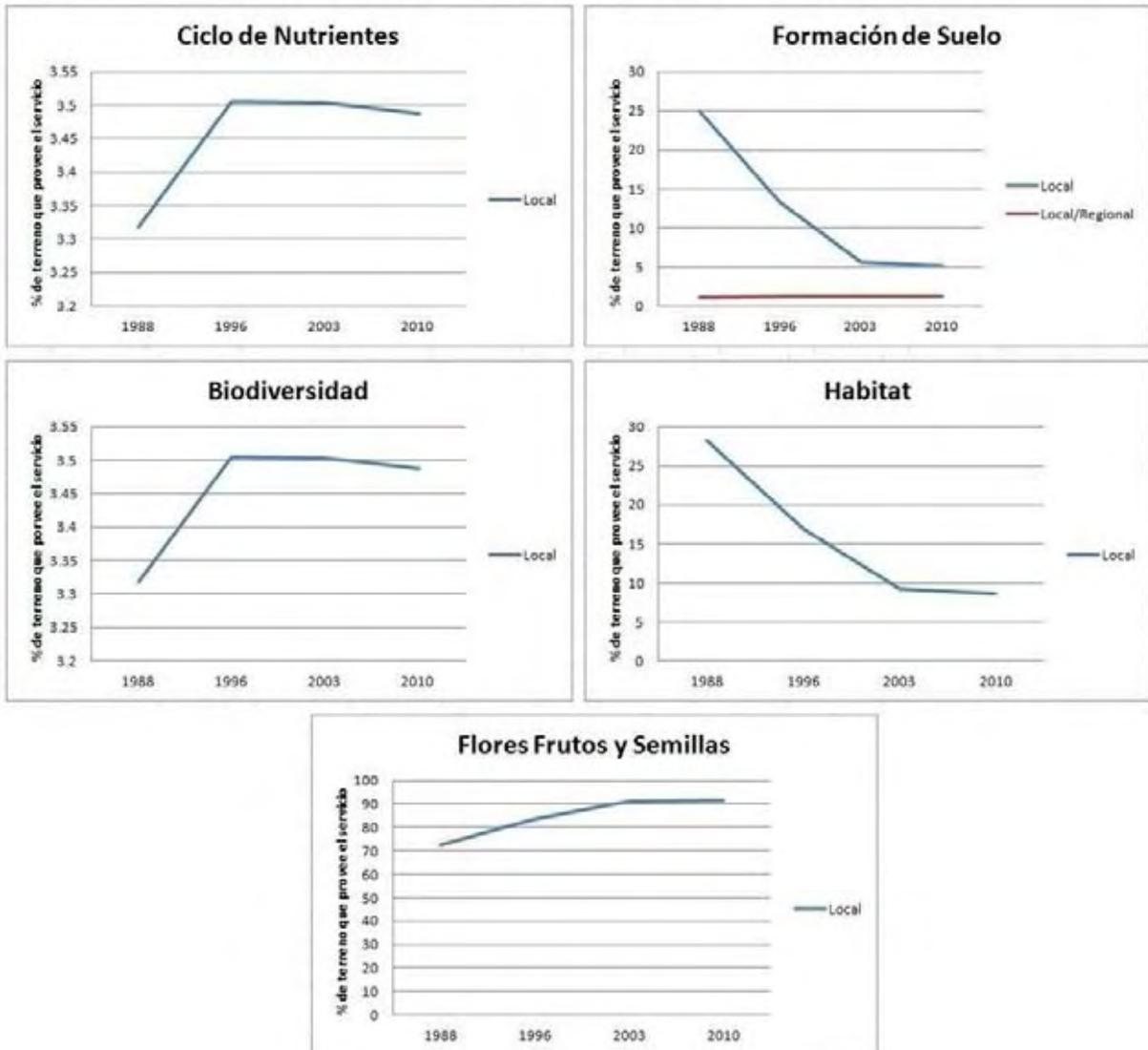


Figura 19. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Regulación en la Cuenca Media.

## SOPORTE CUENCA MEDIA



**Figura 20. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Soporte en al Cuenca Media.**

Para el servicio de H, el alcance es Local, y el porcentaje de terreno que provee el servicio disminuye para 1996, 2003 y 2010, (Figura 20).

En relación al servicio de BD, el alcance es Local, aumentando para 1996 y 2003 y disminuyendo para el 2010 (Figura 20).

El servicio de FFS, el cual tiene un alcance local aumenta para 1996, 2003 y 2010 (Figura 20).

El servicio de AL, en esta zona funcional, tiene alcances Regional, Local/Regional y Local; para el caso del alcance Regional, la superficie que provee este servicio aumenta en 1996, para el 2003 y 2010; en el alcance Local/Regional, este mantiene constante. En cuanto al alcance Local, el porcentaje de terreno aumenta en 1996, 2003 y disminuye en 2010 (Figura 21).

En el caso de AG, este servicio tiene alcance Local/Regional; el porcentaje de terreno aumenta para 1996 y 2003 y disminuye para el 2010 (Figura 21).

En el caso del servicio de M, este tiene alcances Local/Regional y Local; para el alcance Local/Regional, aumenta en 1996, 2003 y 2010, con relación al alcance Local, el porcentaje de terreno que lo provee este aumenta en 1996, se mantiene en 2003 y disminuye para 2010 (Figura 21).

El servicio de C en esta zona funcional tiene alcances Regional, Local/Regional y Local; Para el caso del alcance Regional, aumentando para 1996, 2003 y 2010; Para el alcance Local/Regional de este servicio, la superficie que lo provee se mantiene constante y en relación al alcance Local, disminuye para 1996, 2003 y 2010 (Figura 21).

El servicio de Q en esta zona funcional de la cuenca tiene un alcance Local/Regional, teniendo un aumento para 1996 y disminuyendo en el 2003 y el 2010 (Figura 21).

En relación al servicio F, este tiene alcances Regional, Local/Regional y Local en esta zona funcional, para el caso del alcance Regional la superficie lo provee, aumenta para 1996, 2003 y 2010. Para el alcance Local/Regional de este servicio, la superficie que provee el mismo, se mantiene constante; en relación al alcance Local la superficie lo provee disminuye en 1996, en 2003 y en 2010 (Figura 21).

PROVISION CUENCA MEDIA

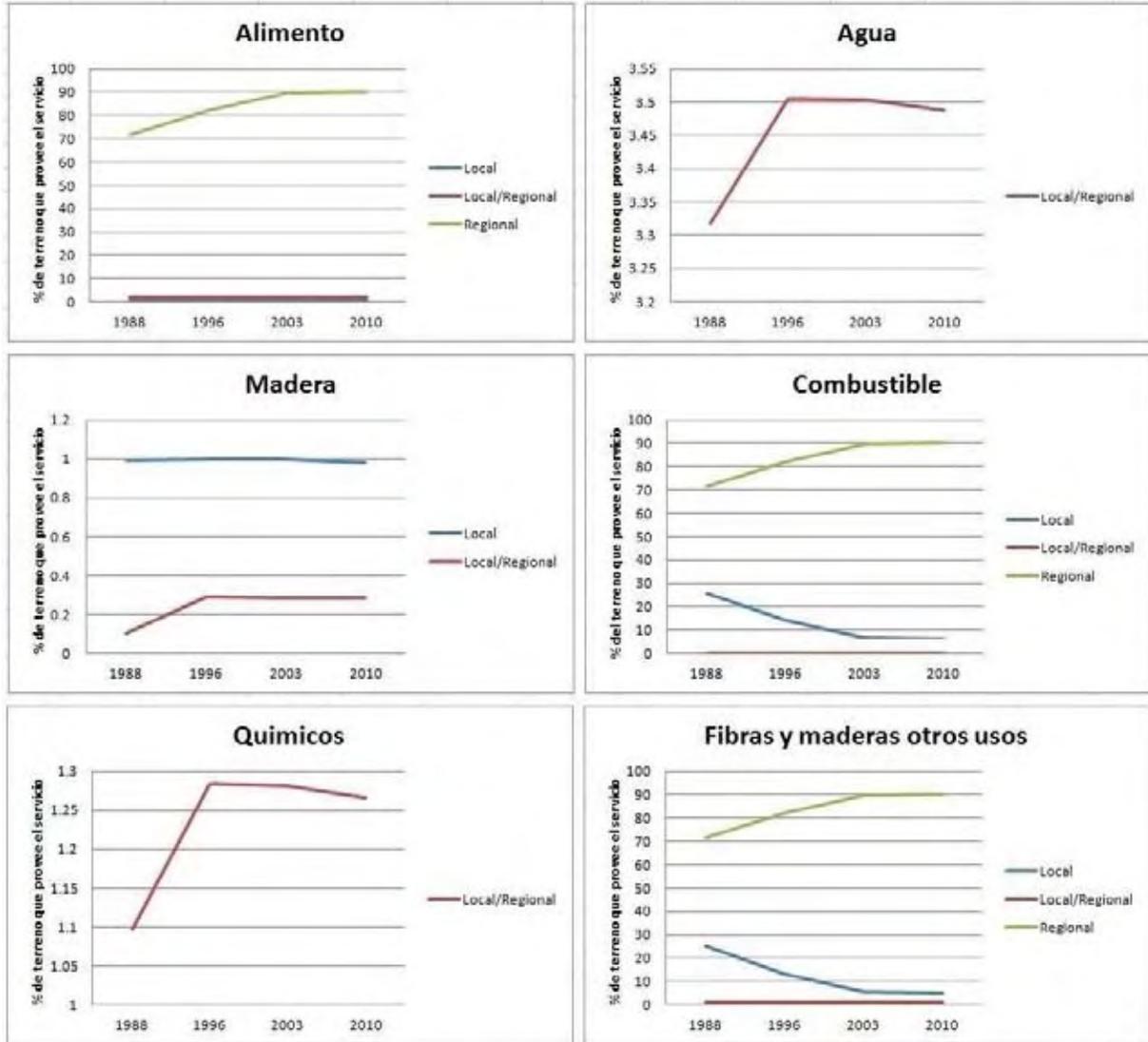
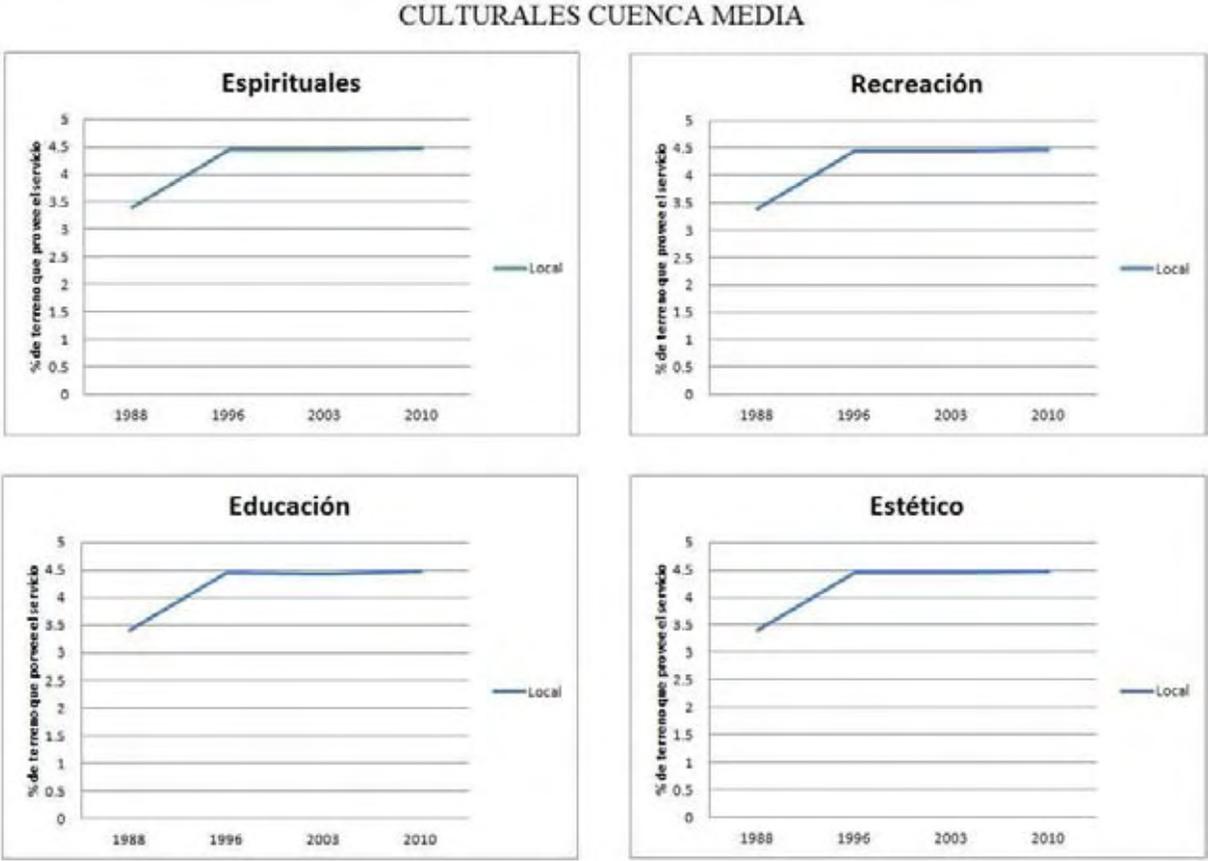


Figura 21. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Provisión en al Cuenca Media.

En relación de los servicios ES, R, ED y ET, estos tienen un alcance local; aumentando el porcentaje de terreno que los provee para 1996, disminuyendo para el 2003 y aumentando para el 2010 (Figura 22).



**Figura 22. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales Culturales en la Cuenca Media.**

#### **6.4.2.1 Análisis del cambio en la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca Media**

La Tabla 9 presenta el cambio en los porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales entre los periodos de 1988-1996, 1996-2003, 2003-2010 y el cambio total en el periodo de 1988-2010

En la Cuenca Media se observan los siguientes cambios en la provisión de los servicios ambientales:

Para el servicio de AL con alcance Local/Regional, la superficie que lo provee no presentó modificación en el periodo de estudio (1988-2010).

Los servicios ambientales que presentan pérdida entre 1988 y 1996 son:

RD con alcance Local/Regional; FS, H, C y F con alcance Local.

Los que presentan ganancia entre 1998 y 1996 son:

RC, RH, CN, BD, FFS, AL, AG, M, Q, ES, R, ED, ET en todos sus alcances; C y F con alcance Regional y FS, C y F con alcance Local/Regional.

Para el periodo de 1996-2003, los cambios son:

M con alcance Local no presentó cambio.

Los servicios ambientales que presentan pérdidas entre 1996 y 2003 son:

RC, RH, RD, CN, FS, H, BD, AG, Q, ES, R, ED y ET en todos sus alcances; M, C y F con alcance Local/Regional; AL, C y F con alcance Local.

Los servicios que presentan ganancia en el periodo de 1996-2003 son:

AL, C y F con alcance Regional y FFS con alcance Local.

Para el periodo de 2003-2010, los servicios ambientales que presentan pérdida son:

RH, RD, CN, FS, H, BD, AG, M y Q en todos sus alcances; RC con alcance Regional; C y F con alcance Local/Regional; AL, C y F con alcance Local.

**Tabla 9. Pérdidas y Ganancias en los porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales en la Cuenca Media.**

FUNCIÓN	SERVICIO AMBIENTAL	ALCANCE	Cambio en el porcentaje de terreno que provee el servicio %			
			1988-1996	1996-2003	2003-2010	1988-2010
REGULACIÓN	RC	Re	0.187	-0.002	-0.016	<b>0.169</b>
		L	0.866	-0.012	0.048	<b>0.902</b>
	RH	Re	0.187	-0.002	-0.016	<b>0.169</b>
	RD	L/Re	-24.634	-32.202	34.851	<b>-21.985</b>
SOPORTE	CN	L	0.187	-0.002	-0.016	<b>0.169</b>
	FS	L/Re	0.187	-0.002	-0.016	<b>0.169</b>
		L	-11.628	-7.689	-0.477	<b>-19.794</b>
	H	L	-11.441	-7.691	-0.493	<b>-19.625</b>
	BD	L	0.187	-0.002	-0.016	<b>0.169</b>
FFS	L	10.761	7.701	0.429	<b>18.892</b>	
PROVISIÓN	AL	Re	10.575	7.703	0.445	<b>18.723</b>
		L/Re	0	0	0	<b>0</b>
		L	0.187	-0.002	-0.016	<b>0.169</b>
	AG	L/R	0.187	-0.002	-0.016	<b>0.169</b>
	M	L/R	0.183	-0.002	-0.002	<b>0.179</b>
		L	0.004	0	-0.014	<b>-0.010</b>
	C	Re	10.575	7.703	0.445	<b>18.723</b>
		L/Re	0.183	-0.002	-0.002	<b>0.179</b>
		L	-11.624	-7.689	-0.491	<b>-19.804</b>
	Q	L/Re	0.187	-0.002	-0.016	<b>0.169</b>
F	Re	10.575	7.703	0.445	<b>18.723</b>	
	L/Re	0.187	-0.002	-0.016	<b>0.169</b>	
	L	-11.628	-7.689	-0.477	<b>-19.794</b>	
CULTURAL	ES	L	1.053	-0.014	0.032	<b>1.071</b>
	R	L	1.053	-0.014	0.032	<b>1.071</b>
	ED	L	1.053	-0.014	0.032	<b>1.071</b>
	ET	L	1.053	-0.014	0.032	<b>1.071</b>

**Servicios Ambientales:** RC= Regulación del clima; RH= Regulación hídrica; RD= Regulación de disturbios naturales; CN= Ciclo de nutrientes; FS= Formación y protección de suelos; H= Hábitat; FFS= Flores, frutos y semillas; BD= Biodiversidad; AG= Agua; AL= Alimento; M= Madera para construcción; C= Combustible; F= Fibras o maderas otros usos; Q= Productos químicos; ES= Espirituales; R= Recreación; ED= Educación; ET= Estético

**Alcances:** Re= Regional; L/Re= Local/Regional; L= Local

Los valores negativos (-) indican Pérdida. Los valores positivos indican Ganancia. El 0 indica que no hubo modificación en el periodo.

Los que presentan ganancia para el periodo de 2003-2010 son:

AL, C y F con alcance Regional; RC, FFS, ES, R, ED y ET con alcance Local.

El cambio total en la provisión de los servicios ambientales correspondiente al periodo de 1998-2010 es el siguiente:

Los servicios ambientales que presentan pérdida son:

AL con alcance Local/Regional no presentó cambio.

RD con alcance Local/Regional; FS, H, M, C y F con alcance Local.

Los que presentan ganancia son:

RC, RH, CN, BD, FFS, AL, AG, Q, ES, R ED y ET en todos sus alcances; C y F con alcance Regional; FS, M, C y F con alcance Local/Regional.

#### **6.4.3 Servicios ambientales en la Cuenca Baja**

En la Cuenca Baja, se identificaron los 18 servicios ambientales y el valor del porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales por año y por alcance se presentan en la Tabla 10.

En esta zona funcional, RC, tiene dos alcances, un alcance Regional y un alcance Local; para el alcance Regional, el porcentaje de terreno que provee el servicio aumenta para 1996, disminuye para 2003 para el 2010 aumenta; en cuanto al alcance Local, aumenta para 1996, 2003 y 2010 (Figura 23).

Para RH, el alcance es Regional, la superficie de la zona funcional de la cuenca provee este servicio, disminuye para 1996 y 2003 aumentando para 2010 (Figura 23).

En relación a RD, tiene alcances Local/Regional, y Local; para el alcance Local/Regional, en 1988, la superficie de la zona funcional que provee el servicio aumenta para 1996, disminuyendo en 2003 y en el 2010 aumenta. Para el alcance Local, la superficie aumenta para 1996, en el 2003 disminuye y para el 2010 aumenta (Figura 23).

**Tabla 10. Porcentaje de Terreno que provee los servicios ambientales en la Cuenca Baja.**

FUNCIÓN	SERVICIO AMBIENTAL	ALCANCE	Porcentaje de terreno que provee el servicio ambiental %			
			1988	1996	2003	2010
REGULACIÓN	RC	Re	4.229	4.436	4.203	4.412
		L	1.430	3.769	4.135	6.500
	RH	Re	5.283	5.159	4.624	4.885
	RD	L/Re	35.190	37.516	0.373	9.519
		L	2.265	2.331	1.770	1.948
SOPORTE	CN	L	5.283	5.159	4.624	4.885
	FS	L	22.913	19.241	6.887	5.816
	H	L	26.632	22.979	10.409	9.629
	BD	L	5.283	5.159	4.624	4.885
	FFS	L	70.374	71.832	84.354	82.799
PROVISIÓN	AL	Re	70.374	71.832	84.354	82.799
		L/Re	3.528	3.526	3.536	3.536
		L	1.755	1.633	1.089	1.349
	AG	Re	3.528	3.526	3.536	3.536
		L	0.702	0.911	0.668	0.876
	M	L	0.702	0.911	0.668	0.876
	C	Re	70.374	71.832	84.354	82.799
		L	22.050	18.731	6.452	5.621
	Q	L/Re	0.702	0.911	0.668	0.876
	F	Re	70.374	71.832	84.354	82.799
		L	22.403	18.543	6.206	5.217
CULTURAL	ES	L	4.958	7.294	7.671	10.036
	R	L	7.224	9.626	9.440	11.984
	ED	L	7.224	9.626	9.440	11.984
	ET	L	7.224	9.626	9.440	11.984

**Servicios Ambientales:** RC= Regulación del clima; RH= Regulación hídrica; RD= Regulación de disturbios naturales; CN= Ciclo de nutrientes; FS= Formación y protección de suelos; H= Hábitat; FFS= Flores, frutos y semillas; BD= Biodiversidad; AG= Agua; AL= Alimento; M= Madera para construcción; C= Combustible; F= Fibras o maderas otros usos; Q= Productos químicos; ES= Espirituales; R= Recreación; ED= Educación; ET= Estético

**Alcances:** Re= Regional; L/Re= Local/Regional; L= Local

## REGULACION CUENCA BAJA

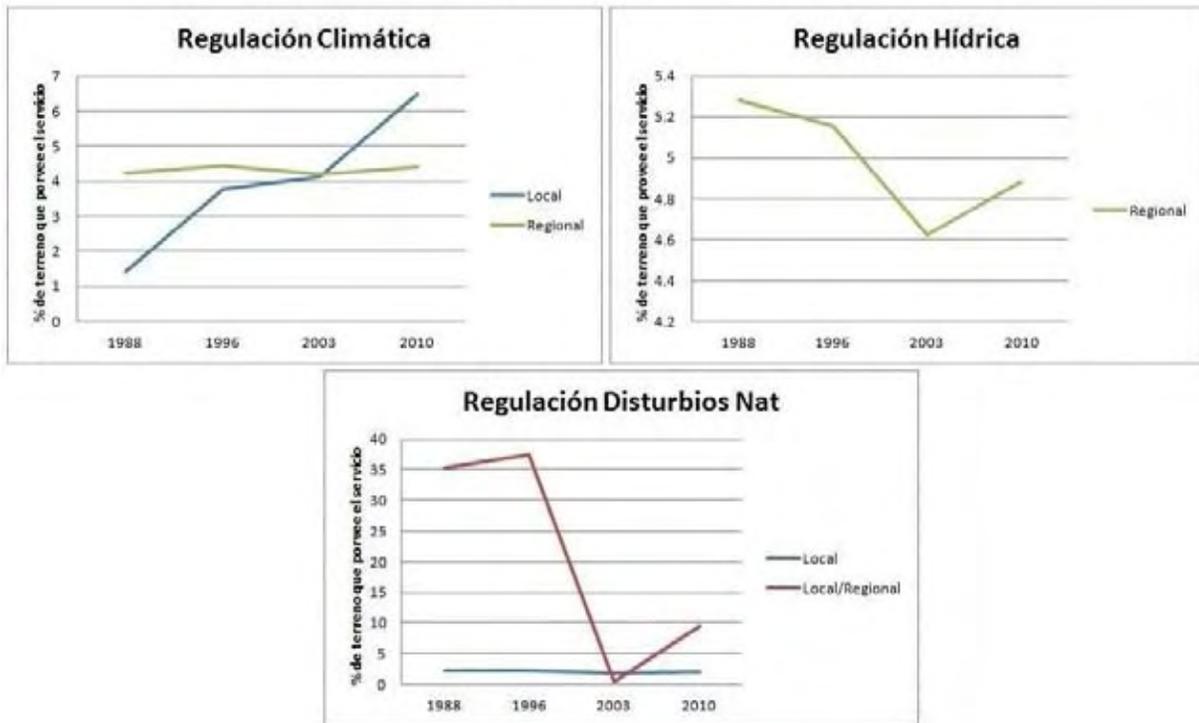


Figura 23. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Regulación en la Cuenca Baja.

Para CN, el alcance es Local, en este servicio, el porcentaje de terreno que lo provee disminuye para 1996 y 2003 y para 2010 aumenta (Figura 24).

El servicio de FS, se tiene alcance Local; la superficie provee este servicio, disminuye para 1996; 2003 y 2010 (Figura 24).

Para el servicio de H, el alcance es Local, la superficie de la zona funcional que provee este servicio disminuye para 1996, 2001 y 2010 (Figura 24).

En relación a el servicio de BD, el alcance es Local, la superficie que provee el servicio disminuye para 1996 y 2003, aumentando en el 2010 (Figura 24).

El servicio de FFS, con alcance local, presenta aumentos en la superficie para 1996, 2003 y 2010 (Figura 24).

El servicio de AL, tiene alcances Regional, Local/Regional y Local. Para el caso del alcance Regional, la superficie que provee este servicio aumenta 1996, 2003 y 2010. Para el caso del alcance Local/Regional, la superficie de terreno disminuye para 1996 y aumenta para 2003. En cuanto al alcance Local, la superficie de terreno disminuye para 1996 y 2003, aumentando en 2010 (Figura 25).

Para AG, este servicio tiene alcances Local/Regional y Local; para el alcance Local/Regional, la superficie que provee el servicio disminuye para 1996, y aumenta para 2003. Para el alcance Local, la superficie que provee aumenta en 1996, disminuye para 2003 y para 2010 aumenta (Figura 25).

En el caso de M, este servicio tiene alcance Local; la superficie provee este servicio aumenta en 1996, disminuye en 2003 y aumenta en 2010 (Figura 25).

El servicio de C en esta zona funcional tiene alcances Regional, y Local; Para el caso del alcance Regional, la superficie proveedora del servicio aumenta en 1996 y 2003, disminuyendo para 2010. En relación al alcance local, la superficie lo provee disminuye 1988, 1996, 2003 y 2010 (Figura 25).

## SOPORTE CUENCA BAJA

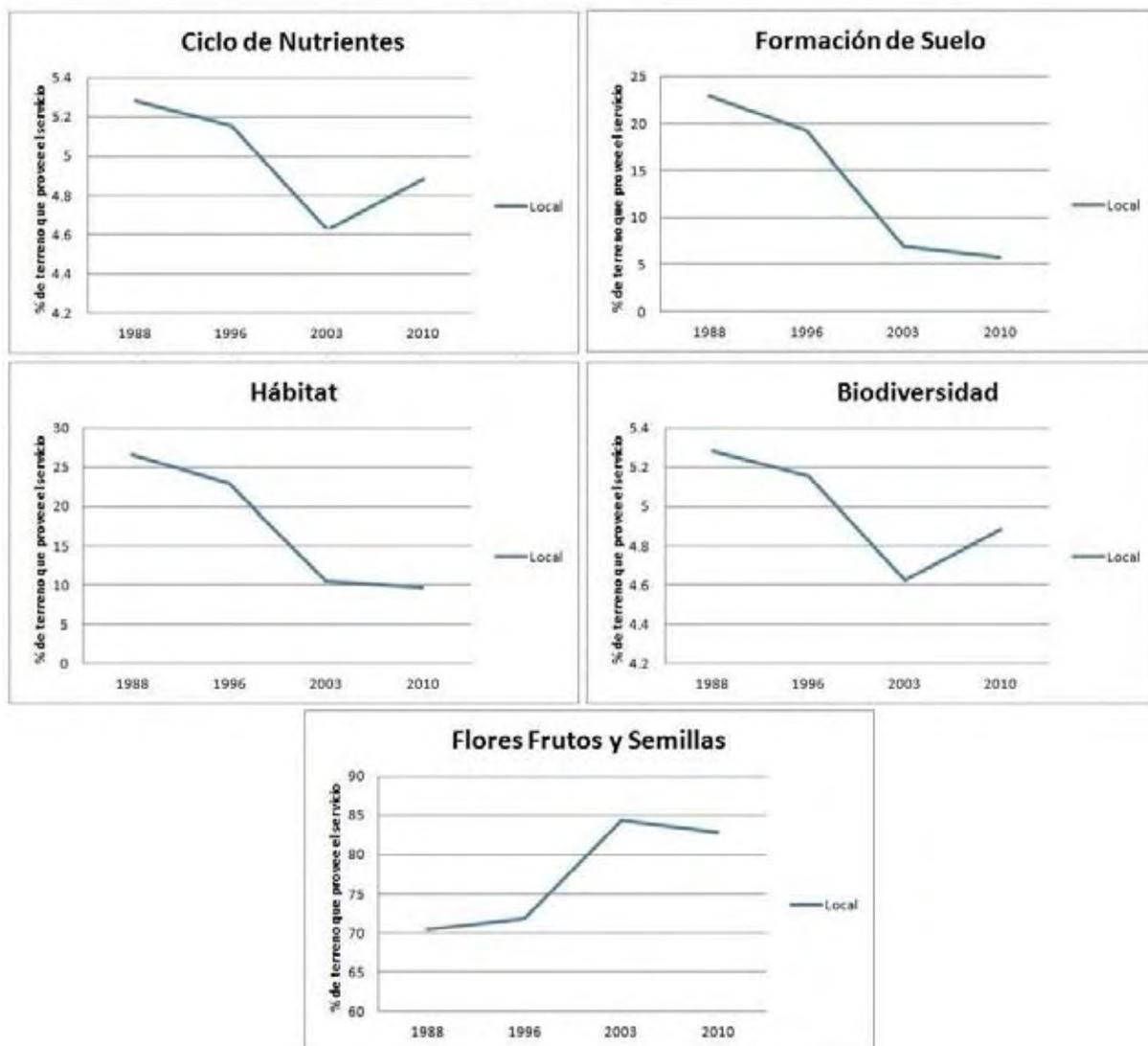


Figura 24. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Soporte en la Cuenca Baja.

PROVISION CUENCA BAJA

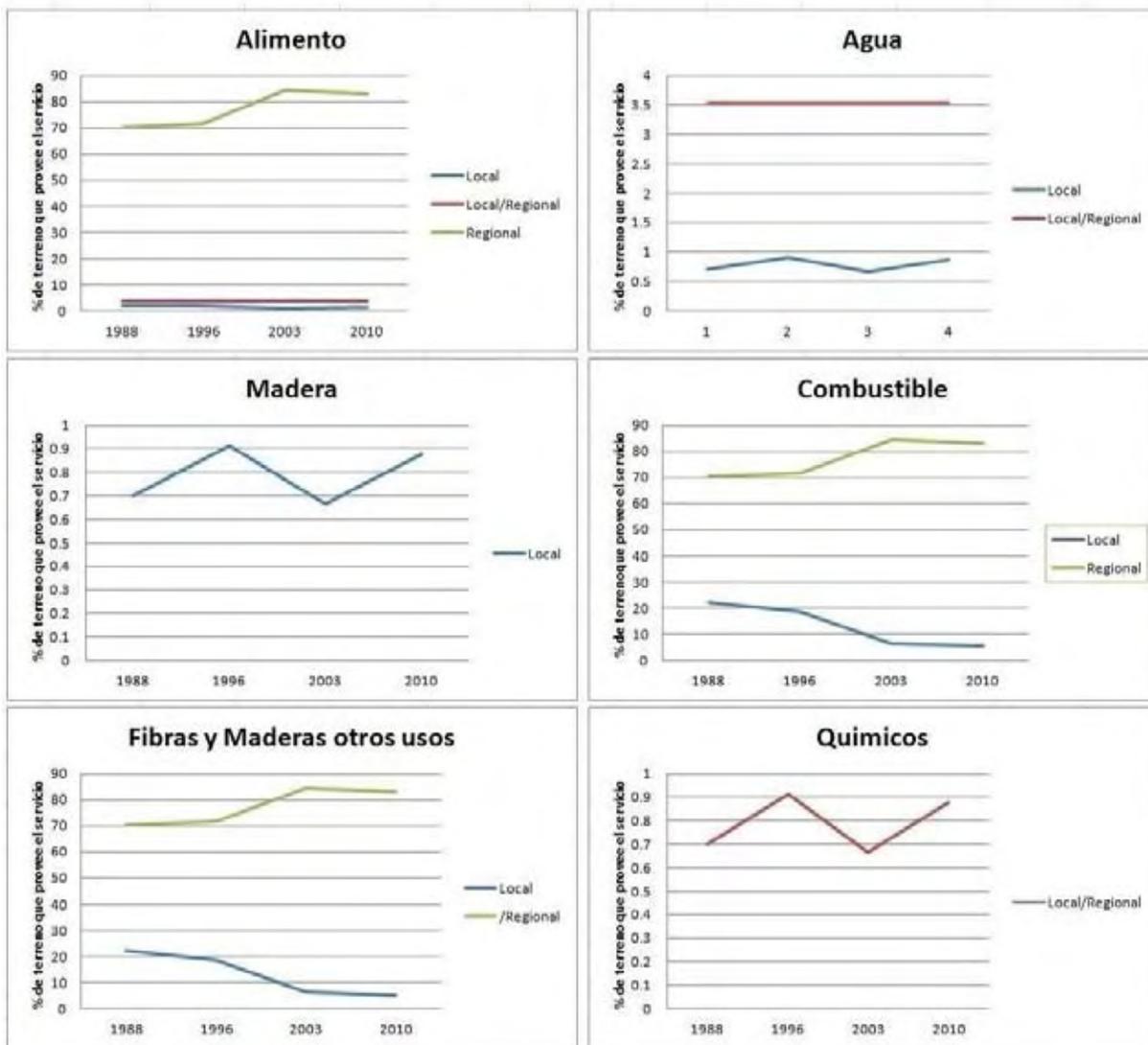


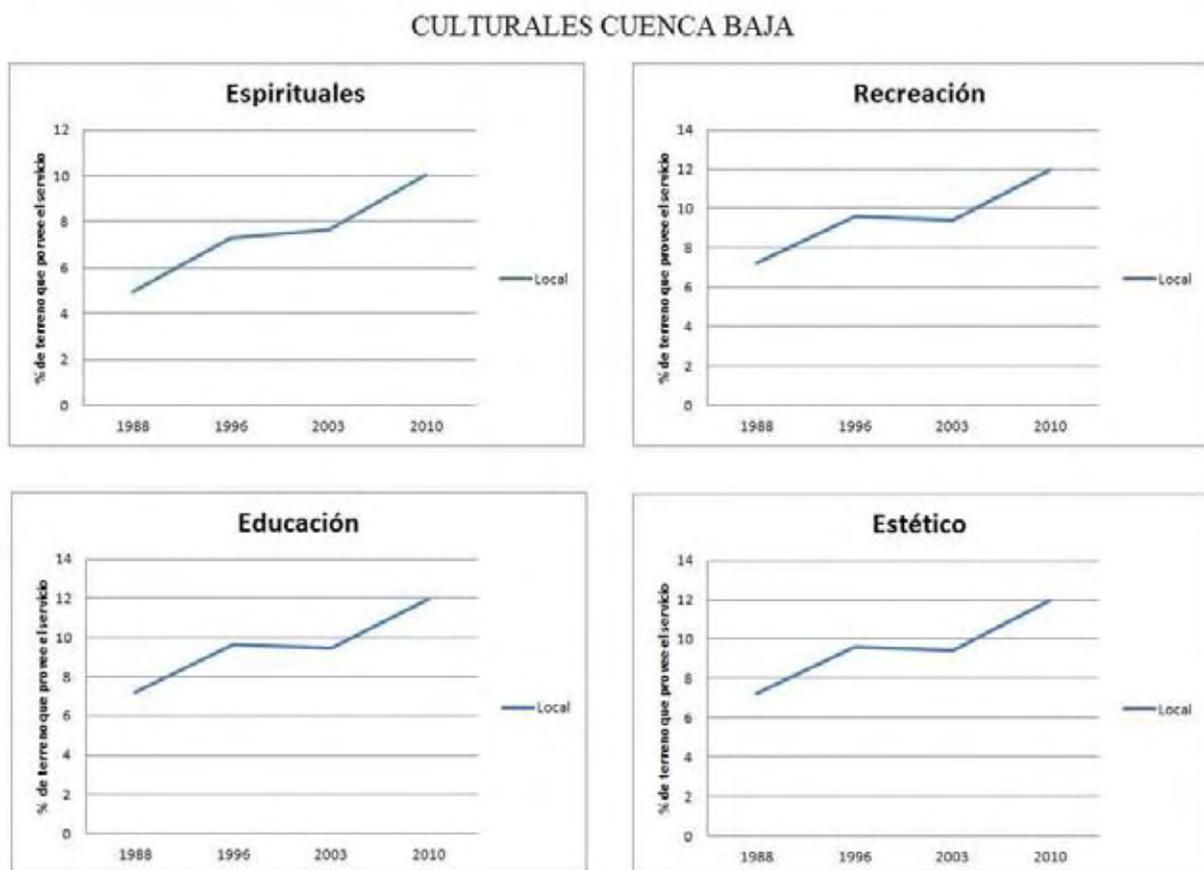
Figura 25. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales de Provisión en la Cuenca Baja.

El servicio Q en esta zona funcional de la cuenca tiene un alcance Local/Regional, la superficie que lo provee aumenta para 1996, disminuye en 2003 y para el 2010 la superficie proveedora aumenta (Figura 25).

En relación al servicio de F, este tiene alcances Regional, y Local en esta zona funcional. Para el caso del alcance Regional, la superficie que lo provee, aumenta para 1996 y 2003, disminuyendo en 2010. Para el alcance Local del servicio, la superficie que lo provee disminuye para 1996, 2003 y 2010 (Figura 25).

Para el servicio de ES, el alcance es Local y la superficie que lo provee, aumenta en 1996, 2003 y 2010 (Figura 26).

En relación a los servicios de R, ED y ET, el alcance es Local y la superficie que los provee aumenta en 1996, disminuye para 2003 y aumenta en 2010 (Figura 26).



**Figura 26. Porcentaje de terreno que provee los servicios ambientales Culturales en la Cuenca Baja.**

#### **6.4.3.1 Análisis del cambio en la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca Baja**

La Tabla 11 presenta el cambio en los porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales entre los periodos de 1988-1996, 1996-2003, 2003-2010 y el cambio total en el periodo de 1988-2010

En la Cuenca Baja se observan los siguientes cambios en la provisión de los servicios ambientales:

Los servicios ambientales que presentan pérdida entre 1988 y 1996 son:

RH con alcance Regional; AL con alcance Local/Regional, CN, FS, H, BD, AL, C, y F con alcance Local.

Los que presentan ganancia entre 1998 y 1996 son:

RC, RD, FFS, AG, M, Q, ES, R, ED y ET en todos sus alcances; AL y F con alcance Regional.

Los servicios ambientales que presentan pérdidas entre 1996 y 2003 son:

RH, RD, CN, FS, M, Q, R, ED y ET en todos sus alcances; RC con alcance Regional, AL, AG, C y F, con alcance Local.

Los servicios que presentan ganancia en el periodo de 1996-2003 son:

AL, AG, C, y F con alcance Regional; AL con alcance Local/Regional; RC, FFS, y ES con alcance Local.

Para el periodo de 2003-2010, los cambios son;

AG no presenta cambio en su alcance Regional.

Los servicios ambientales que presentan pérdida son:

AL, C y F con alcance Regional; FS, H, FFS, C y F, con alcance Local.

**Tabla 11. Pérdidas y Ganancias en los porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales en la Cuenca Baja.**

FUNCIÓN	SERVICIO AMBIENTAL	ALCANCE	Cambio en el porcentaje de terreno que provee el servicio %			
			1988-1996	1996-2003	2003-2010	1988-2010
REGULACIÓN	RC	Re	0.207	-0.233	0.209	<b>0.183</b>
		L	2.338	0.366	2.365	<b>5.070</b>
	RH	Re	-0.125	-0.534	0.260	<b>-0.399</b>
	RD	L/Re	2.326	-37.143	9.146	<b>-25.671</b>
		L	0.066	-0.562	0.178	<b>-0.318</b>
SOPORTE	CN	L	-0.125	-0.534	0.260	<b>-0.399</b>
	FS	L	-3.672	-12.354	-1.071	<b>-17.097</b>
	H	L	-3.654	-12.570	-0.780	<b>-17.003</b>
	BD	L	-0.125	-0.534	0.260	<b>-0.399</b>
	FFS	L	1.458	12.522	-1.555	<b>12.426</b>
PROVISIÓN	AL	Re	1.458	12.522	-1.555	<b>12.426</b>
		L/Re	-0.002	0.010	0	<b>0.008</b>
		L	-0.123	-0.544	0.260	<b>-0.407</b>
	AG	Re	-0.002	0.010	0.000	<b>0.008</b>
		L	0.209	-0.243	0.209	<b>0.175</b>
	M	L	0.209	-0.243	0.209	<b>0.175</b>
	C	Re	1.458	12.522	-1.555	<b>12.426</b>
		L	-3.320	-12.279	-0.832	<b>-16.430</b>
	Q	L/Re	0.209	-0.243	0.209	<b>0.175</b>
	F	Re	1.458	12.522	-1.555	<b>12.426</b>
		L	-3.860	-12.337	-0.989	<b>-17.186</b>
CULTURAL	ES	L	2.336	0.376	2.366	<b>5.078</b>
	R	L	2.402	-0.185	2.544	<b>4.761</b>
	ED	L	2.402	-0.185	2.544	<b>4.761</b>
	ET	L	2.402	-0.185	2.544	<b>4.761</b>

**Servicios Ambientales:** RC= Regulación del clima; RH= Regulación hídrica; RD= Regulación de disturbios naturales; CN= Ciclo de nutrientes; FS= Formación y protección de suelos; H= Hábitat; FFS= Flores, frutos y semillas; BD= Biodiversidad; AG= Agua; AL= Alimento; M= Madera para construcción; C= Combustible; F= Fibras o maderas otros usos; Q= Productos químicos; ES= Espirituales; R= Recreación; ED= Educación; ET= Estético

**Alcances:** Re= Regional; L/Re= Local/Regional; L= Local

Los valores negativos (-) indican Pérdida. Los valores positivos indican Ganancia. El 0 indica que no hubo modificación en el periodo.

Los que presentan ganancia en el periodo de 2003-2010 son:

RC, RH, RD, CN, BD, M, Q, ES, R, ED y ET en todos sus alcances; Q con alcance Local/Regional y AL con alcance Local.

El cambio total en la provisión de los servicios ambientales correspondiente al periodo de 1998-2010 es el siguiente:

Los servicios ambientales que presentan pérdida son:

RH, RD, CN, FS, H, y BD en todos sus alcances; AL, C y F con alcance Local.

Los que presentan ganancia son:

RC, FFS, AG, M, Q, ES, R ED y ET en todos sus alcances; AL, C y F con alcance Regional; AL con alcance Local/Regional.

## 7. Discusión

En este estudio, se analizó la heterogeneidad ambiental de la Cuenca del Río Jamapa, para poder asociar los cambios que ha sufrido esta con la modificación en provisión de los servicios ambientales; se identificaron 18 servicios ambientales, a los cuales se les asignó la magnitud del alcance que tienen con relación a los beneficiarios de los mismos.

### 7.1 Heterogeneidad en la Cuenca del Río Jamapa

En los estudios descriptivos de la flora en México se proponen varias nomenclaturas y tipos de vegetación, lo que ocasiona que ésta, en vez de ser más uniforme, sea más diversa (Rzedowsky, 1978), aunado a ello, las Series de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI se crearon en diferentes periodos de tiempo y no se empleó una nomenclatura uniforme para la vegetación descrita en cada una de ellas. Por este motivo, en esta tesis, se desarrolló una propuesta de homologación de las coberturas vegetales, basada en la desarrollada por la CONABIO (2012), que a su vez, retoma la propuesta por Rzedowsky. Para los sistemas agropecuarios, se consideró la descripción que el mismo INEGI emplea para los tipos de cultivos. La homologación en los tipos de nomenclatura implicó la revisión de las clases de vegetación establecidas en las cartas del INEGI, para que la asociación con la propuesta por Rzedowsky fuera lo más exacta posible y que el análisis del cambio no se viera afectado por errores en las nomenclaturas; para el caso de las coberturas de los sistemas agropecuarios, dado que en las cartas tienen varias categorías en su descripción, se resumieron a todos aquellos cultivos con ciclo menor de un año o temporales como agricultura cíclica, y los que tienen una duración mayor de un año o permanentes o semipermanentes como agricultura permanente. Este sistema homologado fue la base de todo el análisis subsiguiente, por lo que consideramos que esta etapa metodológica es de suma importancia ya que al hacer trabajos comparativos con series de tiempo no se cuenta con una nomenclatura uniforme.

La descripción del contexto espacial y del carácter heterogéneo de la Cuenca del Río Jamapa (Figura 2) indicó que las coberturas presentes en la cuenca, además de estar relacionadas con las condiciones orográficas de la cuenca, se relacionan con las actividades humanas en la región. En el caso de la Cuenca Alta, ésta presenta características flujo erosivas, producto de las pendientes

abruptas y de las corrientes fluviales que drenan del Pico de Orizaba haciéndola una cuenca de drenado rápido ante fenómenos de lluvia abundante (Ortiz-Pérez, 2010).

Las coberturas primarias presentes en la Cuenca Alta son características de regiones montañosas por lo que al ligar la cobertura de vegetación con la pendiente de los ríos, dichas coberturas estarían asociadas con la regulación de los flujos hídricos (Enríquez-Guadarrama *et al.*, 2010; Price, 2011; Sriwongsitanon y Taesombat 2011); sin embargo, la agricultura y el pastoreo son actividades humanas frecuentes que se reflejan en las coberturas presentes.

En la Cuenca Media la pendiente se suaviza lo que favorece las actividades humanas en la zona, por lo que es más evidente la presencia de sistemas agrícolas y pastizales, aunado a ello, las coberturas primarias son reducidas, no sobrepasando el 1% de cobertura. A lo largo de las series de tiempo que abarca el presente trabajo, es claro como las actividades humanas desplazan la vegetación primaria, e incluso a la vegetación alterada (secundaria), la cual al final del periodo de estudio comprende el 5% de superficie de esta parte de la cuenca.

La Cuenca Baja presenta una pendiente muy suave o nula, siendo la zona de deposición y descarga de la cuenca. Estas características hacen que las tierras sean las más productivas y al igual que en la Cuenca Media, el efecto antrópico sea evidente. Usualmente en estas partes de las cuencas se propicia el asentamiento de las zonas urbanas; en este caso no es la excepción, el crecimiento de la conurbación Veracruz-Boca del Río en la franja costera se percibe en las series de tiempo que abarca este estudio, como se discutirá más adelante.

## **7.2 Cambios en la Heterogeneidad de la Cuenca del Río Jamapa**

En las tres zonas funcionales estudiadas, los cambios en la heterogeneidad están directamente relacionados con las actividades antrópicas de la región. El principal cambio que se presenta es la expansión de las actividades agropecuarias, lo que ha favorecido que las coberturas primarias disminuyan, aspecto que se ha observado en otras regiones del mundo (Lambin *et al.*, 2001; Lambin *et al.*, 2003 Maestas *et al.*, 2003, Foley *et al.*, 2005), del país (Reyes-Hernández *et al.*, 2006; Flamenco-Sandoval, *et al.*, 2007; Garibay-Orozco y Bocco-Verdinelli, 2011) y del estado de Veracruz (Williams-Linera *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2009). Asimismo, se considera que las actividades económicas y las políticas públicas son el principal detonante de este cambio en las

coberturas de vegetación (Lambin *et al.*, 2001; Lambin *et al.*, 2003; Reyes-Hernández *et al.*, 2006; Lambin y Meyfroidt, 2010; Baylis *et al.*, 2012).

Se considera que la fragmentación del paisaje es un proceso común al haber cambios en las coberturas de vegetación de una zona, ya que afectan tanto a la estructura como a la función (Botequilha y Ahern, 2002). El análisis de las métricas del paisaje y el modelado de la transformación del suelo resultaron claves para los estudios ecológicos cuando se quiere cuantificar los componentes de la estructura del paisaje y evaluar la dinámica en la abundancia, la complejidad geométrica y la fragmentación, así como la apariencia del área y el borde de los parches. Con este análisis se pueden hacer generalizaciones sobre los efectos de la fragmentación y el patrón de estos elementos en el paisaje (Hernández-Stefanoni y Dupuy, 2008; Paudel y Yuan, 2012). Los cambios en la heterogeneidad ambiental ocurridos en la Cuenca Alta, han generado modificaciones en el paisaje, al analizar las métricas calculadas, tenemos lo siguiente:

Si bien el NP nos indica que al aumentar el valor, el paisaje está más fragmentado, por sí sola esta métrica no refleja lo que está ocurriendo en el paisaje, por lo que se deben considerar las otras métricas, por ejemplo el PLAND, en donde se observa que las coberturas primarias están disminuyendo, así, la disminución del NP no forzosamente indicaría que estas no presenten fragmentación, pero al incluir el AREA\_MN, junto con las anteriores (PLAND y NP), se observa que sí hay una tendencia a la fragmentación y a la reducción, confirmado por los valores de SHAPE\_MN, ED y AWMSI, que reflejan que los parches son más irregulares, signo de una fragmentación.

En la Cuenca Media, las métricas del paisaje analizadas nos indican lo siguiente:

El PLAND refleja que si bien el bosque de coníferas y encino tiene un aumento en el porcentaje de cobertura, también aumenta el NP, por lo que refleja una fragmentación de esa clase. La vegetación secundaria y el pastizal disminuyen su NP, pero para el caso del pastizal su PLAND aumenta, lo que estaría indicando que este último ahora es más homogéneo al aumentar su cobertura y la vegetación secundaria está tendiendo a disminuir y a fragmentarse.

Analizando en conjunto SHAPE\_MN y ED, para el caso del bosque de coníferas y encino tiene parches con más perímetro y con formas irregulares, lo que indica la fragmentación, mientras que

en los ambientes manejados o alterados, el pastizal y la vegetación secundaria tienden a tomar forma regular. Lo anterior se confirma con la métrica del AWMSI, en donde se ve que los valores para el bosque de coníferas y encino aumentan y para las otras clases disminuyen; estos resultados confirman que en esta zona funcional, las coberturas primarias tienden a la disminución y a la fragmentación.

Para la Cuenca Baja, el PLAND y el NP, muestran que el humedal está disminuyendo en PLAND y aumentando su NP, mientras que para las clases de vegetación de duna, vegetación secundaria y sabana, el PLAND disminuye, pero también el NP disminuye, solamente en el pastizal al aumentar en PLAND aumenta en NP. Esto refleja que las coberturas primarias están siendo reemplazadas por ambientes manejados y están siendo fragmentados.

Al analizar SHAPE\_MN y ED juntas, se puede ver que prácticamente las clases de las coberturas primarias, con excepción de la vegetación de duna, mantienen una forma regular, pero si hay fragmentación en algunas de ellas como el humedal y la vegetación de duna.

Con relación al AWMSI, la tendencia del aumento en los valores de las clases, con excepción de la vegetación secundaria, esto indica que además de haber disminución en las coberturas primarias también hay fragmentación.

La modificación que se observa en las coberturas de vegetación, pasando de vegetaciones primarias a secundarias y sistemas agropecuarios o urbanos, sugiere patrones de cambio en el uso de suelo. Con el análisis de las métricas de paisaje, se confirma la dominancia de los sistemas agropecuarios (agricultura y pastizal), la disminución de las coberturas primarias y su fragmentación en las tres zonas funcionales y los efectos de esto, al estar asociados a procesos no comprendidos totalmente, podría llevar a la pérdida de estas coberturas, aunque se ha observado que esto dependerá de la respuesta a estos cambios que tienen las especies involucradas (Santos y Tellería, 2006; García, 2011; Tellería *et al.*, 2011).

### **7.3 Servicios ambientales en la Cuenca del Río Jamapa y su modificación**

La modificación en la provisión de los servicios ambientales se logró medir con el análisis de los porcentajes de terreno que provee cada uno de ellos en las tres zonas funcionales.

Para las coberturas presentes en la cuenca se identificaron 18 servicios ambientales, con diferentes alcances de acuerdo al tipo de función al cual están asociados; la presencia de vegetaciones primarias como bosques, manglares, vegetación de duna, etc., permite que se provean servicios de regulación climática, por la captura de CO<sub>2</sub>; de captación y purificación de agua, que exista regulación de los flujos en la cuenca, de provisión de alimento, madera, fibras, combustible, hábitat y suelo. Todos éstos pueden ser considerados como criterios para generar incentivos económicos para los pobladores de las zonas que los proveen y fomentar la conservación de los ecosistemas (Espinoza *et al.*, 1999; Hassan *et al.*, 2005, Campos *et al.*, 2007; Campos-Palacín y Caparrós-Gass, 2012).

Otro beneficio que otorgan las coberturas primarias en la cuenca, es la presencia de escenarios naturales, los cuales son atractivos para actividades al exterior como la caza, ciclismo, y montañismo (Gazca-Zamora *et al.*, 2010), y pueden ser asociados a paisajes culturales, que están en la interfaz entre la naturaleza y la cultura, el patrimonio tangible e intangible, diversidad biológica y cultural (Metzger *et al.*, 2006; Tengberg *et al.*, 2012), lo que hace necesaria su presencia.

Con relación a los centros urbanos, estos se consideran consumidores de los servicios ambientales, pero también en ellos se producen servicios ambientales (Hassan *et al.*, 2005). En las zonas urbanas, la presencia de áreas verdes permite que se generen servicios ambientales locales relacionados con la regulación climática, la purificación del aire, reducción del ruido, y actividades recreativas, estéticas, espirituales y educativas, pero para que estos servicios se presten, es necesario que las áreas con vegetación, además de permanecer en la zona urbana, aumenten (Cram *et al.*, 2008; Bolund y Hunhammar, 1999; Ernstson *et al.*, 2010; Manes *et al.*, 2012).

Al estar aumentando las zonas agrícolas en la cuenca, hay que considerar que, si bien estas zonas generan servicios ambientales, principalmente asociados a las funciones de provisión, como la producción de alimentos, también reciben servicios de los otros ecosistemas, tales como polinización, agua, nutrientes, suelo, etcétera; desafortunadamente, el manejo de los sistemas agrícolas puede afectar a los servicios ambientales de los otros ecosistemas, dado que las interrelaciones entre los sistemas agrícolas y los ecosistemas circundantes puede ser bastante

directa o tener una relación más indirecta o compleja, ya que las zonas agrícolas pueden generar una carga en los nitratos en las aguas superficiales o un agotamiento de nutrientes en el suelo, lo que puede conllevar a un deterioro en las coberturas y ecosistemas aledaños (Dale y Polasky, 2007; Power, 2010; Sandhu *et al.*, 2010).

Es innegable la modificación en la provisión de los servicios ambientales en la Cuenca del río Jamapa, pero los efectos de estas modificaciones a largo plazo no están completamente comprendidos. Esto se debe a que las actividades antrópicas sobre los ecosistemas y sus funciones pueden generar la pérdida, en algunos casos la recuperación o posiblemente la ganancia en la provisión de los servicios ambientales (Balvanera, 2012). Para la Cuenca Alta, en el periodo total de estudio (1988-2010) la mayor parte de porcentajes de terreno que proveen los servicios ambientales presentan una pérdida.

En el caso de los servicios asociados a la función de Regulación solo se tiene ganancia del uno por ciento en el alcance Local de RC; en los demás se presentan pérdidas en el porcentaje de terreno que los provee y si se considera a esta zona funcional como un elemento muy importante en cuestiones de regulación de los flujos hídricos (Garrido, *et al.*, 2010; Ortiz-Pérez, 2010), esta pérdida de los porcentajes de terreno que proveen estos servicios, sobre todo el de RD (con 26% de pérdida de superficie proveedora), podría afectar el resto de la cuenca y tener consecuencias en la vulnerabilidad de las comunidades cuenca abajo (Ortiz-Lozano y Bello-Pineda, 2012).

Otro efecto que se podría presentar por la reducción de la superficie que provee RC con alcance Regional, es la disminución de la captura y secuestro de CO<sub>2</sub> que se asocia a los efectos del cambio climático y este efecto es centro de debate en mesas internacionales, nacionales y locales, (Post y Kwon, 2000; Bonan, 2008; Allen *et al.*, 2010; Moss *et al.*, 2010).

Hay una disminución en la superficie que provee los servicios asociados a la función de Soporte, y estos servicios son considerados como importantes, ya que son esenciales para la provisión de los demás servicios (Hassan *et al.*, 2005). Los procesos ecológicos de los que se derivan los servicios de FS, H, BD, CN, permiten que los ecosistemas se puedan mantener, lo que garantiza la provisión de los demás servicios ambientales (Hassan *et al.*, 2005; Boyd y Banzhaf, 2007), e incluso esto podría permitir una mejor calidad en los sistemas agropecuarios (Dale y Polasky,

2007; Power, 2010; Sandhu *et al.*, 2010), por lo que esta disminución podría hacer que en los sistemas agropecuarios sea necesario el emplear más fertilizantes y productos químicos, con resultados negativos para el suelo y la calidad de agua del resto de la cuenca (Fiedler *et al.*, 2008).

El caso de los servicios de Provisión, en esta zona funcional, el porcentaje de terreno que los provee aumenta en la mayoría de ellos (AL, AG, M, C y F), y esto se puede asociar a la expansión de las zonas agropecuarias.

Los servicios derivados de la función Cultural, también presentan pérdida en los porcentajes de terreno que los proveen, lo que indica que los cambios en las coberturas también están afectando las actividades de este tipo en la zona.

Para el caso de la Cuenca Media, en el periodo total del estudio, se tiene una ganancia en los porcentajes de terreno que proveen la mayor parte de los servicios ambientales.

En el caso de los servicios derivados de la función de Regulación, se observa pérdida en el de RD con 29% de la superficie que lo provee, y esto es relevante, ya que este mismo servicio, en la Cuenca Alta se tuvo una pérdida del 26.2 % en la superficie que lo provee, al considerar la conectividad funcional de la cuenca, sus características orográficas y de pendientes, la condición de vulnerabilidad se hace mas latente (Ortiz-Lozano y Bello-Pineda, 2012). Para RC y RH presentan una ganancia, aunque en los periodos intermedios (1996-2003 y 2003-2010) presentan pérdidas, si se analiza esto, las ganancias obtenidas en el periodo total (1988-2010), no llegan al uno por ciento de las coberturas de terreno que proveen estos servicios, y si las tendencias a la reducción y fragmentación de las coberturas primarias se mantienen, posiblemente, los porcentajes de terreno que proveen estos servicios ambientales tiendan a su vez a la reducción.

Los servicios relacionados con la función de Soporte, FS (Local) y H, presentan pérdida y los demás ganancia; de los que presentan ganancia; el más relevante es el de FFS con un aumento del 18.8% de la superficie que lo provee, este servicio está muy relacionado con las zonas agropecuarias, lo mismo que los servicios de Provisión de AL, C, y F, que si bien en estos últimos, también aumenta el porcentaje de la superficie proveedora en el alcance Regional, los alcances Locales de los mismos tienden a perder superficie proveedora.

Al relacionar los servicios Culturales con los centros urbanos (Bolund y Hunhammar, 1999; Ernstson *et al.*, 2010; Manes *et al.*, 2012), estos presentan una ganancia en el periodo de 1988-2010, ya que la cobertura urbana aumenta en el periodo de estudio.

En la Cuenca Baja, para el periodo total del estudio (1988-2010), se presentan pérdidas para los servicios de Regulación (RH y RD), y Soporte (Con excepción de FFS), en los alcances locales de AL, C y F y se tienen ganancias en los de Provisión con alcances Local/Regional y regional y en los Culturales. También hay pérdida en el porcentaje de terreno que provee RD (25 % para el alcance Local/Regional), lo que sumado a las pérdidas para este servicio en las otras dos zonas funcionales, hace más relevante que se ponga atención a lo que ocurre en este sentido con las coberturas que proveen este servicio en la cuenca.

Esta parte de la cuenca es una zona muy propicia para el establecimiento de las zonas urbanas, como ocurre con la conurbación Veracruz-Boca del Río, ya que es una planicie y se encuentra la desembocadura de la cuenca, pero dadas las condiciones orográficas y al presentarse las pérdidas en RD con alcances Regional y Local/Regional a lo largo de la cuenca, implica que la vulnerabilidad de los habitantes a fenómenos asociados con avenidas de ríos, sea muy elevada (Ortiz-Lozano y Bello-Pineda, 2012). También RD con alcance Local disminuye y en este rubro se considera la zona de vegetación de duna y humedales, que brindan protección a la zona costera a efectos de oleaje (Zedler y Kercher, 2005; Berlín y Handley, 2007; Barbier *et al.*, 2012).

Por otro lado, la pérdida en los porcentajes de terreno que proveen los servicios de Soporte, y el aumento en los porcentajes de terreno que proveen los de provisión, principalmente AL, presentan un reto para el mantenimiento de estas zonas agrícolas, ya que al igual que en el resto de la cuenca, la importancia de las funciones de Soporte son la clave para el mantener el resto de los servicios.

El medir los alcances de los servicios ambientales permite inferir la importancia de modificar las coberturas que los proveen, ya que aquellos que tienen un alcance Local, es la zona proveedora y consumidora la que se ve afectada, y posiblemente el efecto no se perciba mas allá de ésta, a diferencia de los que tienen alcance Regional, en donde además de la zona proveedora, posiblemente las repercusiones, positivas o negativas, serán percibidas en una zona más extensa.

## 8. Conclusiones

Las tres zonas funcionales definidas en este estudio para la cuenca del Río Jamapa, presentan diferentes grados de heterogeneidad definidas por la cobertura de vegetación. La Cuenca Alta es la zona con mayor cobertura primaria; en la Cuenca Media predominan los sistemas agropecuarios y en la Cuenca Baja las coberturas dominantes son las de los sistemas agropecuarios y urbano.

En este trabajo se propone un sistema para homologar las nomenclaturas de las coberturas de vegetación para analizar sus cambios en los años estudiados.

En el periodo de estudio, la tendencia general del cambio en las coberturas de vegetación en la cuenca, es al aumento de los sistemas agropecuarios y urbanos, favoreciendo la disminución y fragmentación de las coberturas primarias.

El cambio en las coberturas de vegetación fue diferente en las tres zonas funcionales: En la Cuenca Alta se mantienen coberturas primarias y aumentan los sistemas agropecuarios; en la Cuenca Media, disminuyen las coberturas primarias y de vegetación secundaria, aumentando los sistemas agropecuarios; y en la Cuenca Baja aumenta la cobertura urbana.

Mediante el análisis de la provisión de servicios ambientales tanto en su contexto de cobertura espacial como respecto a su alcance se encontró que el cambio de las coberturas de vegetación para el periodo de estudio, ocasionó la modificación de la provisión de los servicios ambientales. En general, el porcentaje de terreno que provee servicios ambientales de Regulación con alcances Local y Regional y los de Soporte con alcance Local, disminuyó, mientras que el que suministra los servicios de Provisión con alcance Regional y los Culturales con alcance Local, aumentó.

La modificación en la provisión de los servicios ambientales fue diferente en las tres zonas funcionales. La Cuenca Alta, en general, perdió en servicios ambientales asociados a Regulación con alcance Regional, Soporte y Culturales, con alcance Local, y ganó en los asociados a Provisión con alcance Regional. La Cuenca Media en general tuvo ganancia en servicios ambientales asociados a Regulación, Soporte y Culturales con alcance Local y de Provisión con alcance Regional. En la Cuenca Baja perdió en servicios ambientales asociados a Regulación con

alcance Local y Regional y Soporte con alcance Local, ganando en Provisión con alcance Regional y Culturales con alcance Local.

## **9. Recomendaciones**

Para llevar a cabo estudios comparativos de cambios de coberturas de vegetación, cambios de uso de suelo o provisión de servicios ambientales, se recomienda la homologación de la nomenclatura para facilitar los análisis que se puedan desprender de ellas. Esta recomendación sería extensiva no solo a los académicos sino, a las agencias y dependencias encargadas de la elaboración, y distribución de estos insumos.

Se recomienda incorporar a, el análisis del alcance de los servicios ambientales, como se desarrollo en esta tesis, a los estudios de evaluación de impacto en los procesos de la toma de decisiones, incluyendo los relacionados al compensación por servicios ambientales.

Se sugiere como una línea de investigación futura el hacer análisis de los efectos a largo plazo que tendrá sobre los beneficiarios la modificación en la provisión de servicios ambientales como son los de Regulación y Soporte en la cuenca, para que los tomadores de decisión consideren planes de acción ante la pérdida de estos. Otra línea de investigación, serían estudios de la vulnerabilidad socioeconómica a los efectos de la modificación en la provisión de los servicios ambientales.

Se recomienda extender este enfoque metodológico a otras cuencas a nivel estatal, regional o nacional, para hacer estudios comparativos.

## 10. Literatura citada

- Allen, C. D., A. K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D. D. Breshears, E. H. Hogg, P. Gonzalez, R. Fensham, Z. Zhangm, J. Castro, N. Demidova, L. Jong-Hwan, G. Allard, S. W. Running, A. Semerci y N. Cobb. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest. Ecol. Manag.* **259 (4)**: 660–684.
- Alonso Mielgo, A. M. y Sevilla Guzmán, E. 1995: El discurso ecotecnocrático de la sostenibilidad. Pp. 91-119. En: Cadenas Marín, Alfredo (Ed.) *Agricultura y desarrollo sostenible*. Madrid: MAPA.
- Alvarado-Michi, E. L. 2010. Agua: efectos provocados por las actividades antropogénicas en la microcuenca del río Pixquiac. Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. 178 pp.
- Alvarez Pérez-Duarte, M., J. Braña Varela, M. Estrada Porrúa, M.A. Gil, A. Guevara Sanguinéz, R.H. Manson, C. Muñoz Piña y E. San Román. 2003. Introducción a los servicios ambientales. SEMARNAT-CECADESU y Hombre Naturaleza AC. México D. F.
- Aronoff, S. 1993. Geographic information systems: a management perspective. WDL publications Ottawa. 294 pp.
- Arriaga, L. 2009. Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigación ambiental* **1 (1)**:6-16.
- Balvanera, P. 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* **21 (1-2)**: 136-147.
- Barbier, E. B, S. D. Hacker, C. Kennedy, E. W. Koch, A. C. Stier, y B R. Silliman. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecol. Monogr.* **81 (2)**: 169–193.
- Baylis, K., R. Garduño-Rivera y G. Piras. 2010. The distributional effects of NAFTA in Mexico: Evidence from a panel of municipalities. *Reg. Sci. Urban Econ.* **42**: 286–302.

- Berlin, C. y J. Handley. 2007. Wetlands as flood control: The case of the la Crosse River Marsh. *Focus Geog.* **50** (2):7-15.
- Bolund, P. y S. Hunhammar. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecol. Econ.* **29**: 293–301.
- Bonan, G. B. 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* **320**: 1444-1449.
- Botequilha Leitao, A. y J. Ahern. 2002. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape Urban Plan.* **59**: 65-93.
- Boyd, J. y S. Banzhaf. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecol. Econ.* **63**: 616 – 626.
- Campos, J.J., F. Alpízar, R. Madrigal, B. Louman. 2007. Enfoque integral para esquemas de pago por servicios de ecosistemas forestales. *Ecosistemas* **16** (3): 91-96.
- Campos-Palacín, P. y A. Caparrós-Gass. 2012. La integración del valor de cambio de los servicios ambientales en las cuentas verdes de las áreas naturales. *Econ. Med. Amb.* **84**: 9-22.
- Cantwell, M. D. y R. T. T. Forman. 1993. Landscape graphs: ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse landscapes. *Landscape Ecol.* **8** (4): 239-255.
- Chapin III, F. S, E. S. Zavaleta, V.T. Eviner, R. L. Naylor, P. M. Vitousek, H. L. Reynolds, D. U. Hooper, S. A. Lavorel, O. E. Sala, S. E. Hobbie, M. C. Mack y S. Díaz. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* **405**: 234-242.
- CONABIO. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. 2012. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (visitado el 14 de enero de 2012).
- CONAFOR. Comisión Nacional Forestal. Suelos forestales. México, D.F. México. 25 de noviembre de 2010. <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/suelos>. (Consultado el 14 de enero de 2012).
- Costanza, R. y H. D. Daly. 1992. Natural capital and sustainable development. *Conserv. Biol.* **6** (1): 37-46.

- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton y M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* **387**: 253-260.
- Cotler-Ávalos, H. 2010. Perspectivas sobre las cuencas hidrográficas de México: Introducción. Pp. 4-7. En: Cotler-Ávalos, H. (coord.). *Las cuencas hidrográficas en México. Diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología, México D.F.
- Cram, S., H. Cotler, L. M. Morales, I. Sommer y E. Carmona. 2008. Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Inv. Geog.* **66**: 81-104.
- Daily, G. C. 1997. Introduction: what are ecosystem services? PP. 1-10 En: Daily, G.C. (ed.) *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington DC.
- Dale, V.H. y S. Polasky. 2007. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecol. Econ.* **doi:10.1016/j.ecolecon.2007.05.009**.
- DeFries, R. S, J. A. Foley y G. P Asner. 2004. Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. *Front. Ecol. Environ.* **2 (5)**: 249-257.
- De Groot, R. S, M. A. Wilson y R. M. J. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* **41**: 393–408
- Diaz, S., S. Lavorel, F.de Bello, F. Quetier, K. Grigulis y M. Robson. 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem services assessments. *P. Natl. Acad. Sci. USA* **104**: 20684-20689.
- Enríquez Guadarrama, C; O. Oropeza Orozco y M. A. Ortiz Pérez. 2010. Peligros geológico-geomorfológicos en cuencas hidrográficas. Pp. 38-45. En: Cotler-Ávalos, H. (coord.). *Las cuencas hidrográficas en México. Diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología, México D.F.

- Ernstson, H., S. Barthel, E. Andersson, y S. T. Borgström. 2010. Scale-crossing brokers and network governance of urban ecosystem services: the case of Stockholm. *Ecol. Soc.* **15** (4): 28. [Online] <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art28/>.
- Escofet, G. A. 2004. Aproximación conceptual y operativa para el análisis de la zona costera de México: un enfoque sistémico-paisajístico de multiescala. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B. C. México 260 pp.
- Espinoza, N, J. Gatica y J. Smyle. 1999. El pago de servicios ambientales y el desarrollo sostenible en el medio rural. San José. RUTA IICA. Costa Rica. 108 pp.
- Falcucci, A., L. Maiorano y L. Boitani. 2007. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape Ecol.* **22**:617–631.
- FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Informe principal. Roma, Italia. 346 pp.
- Fiedler, A. K., D. A. Landis, S. D. Wratten. 2008. Maximizing ecosystem services from conservation biological control: The role of habitat management. *Biol. Control* **45**: 254–271.
- Flamenco-Sandoval, A., M. Martínez Ramos y O. R. Maser. 2007. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biol. Conserv.* **138**: 131–145.
- Foley, J.A., R. DeFries, G. P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S. R. Carpenter, F. S. Chapin, M. T. Coe, G. C. Daily, H. K. Gibbs, J. H. Helkowski, T. Holloway, E. A. Howard, C. J. Kucharik, C. Monfreda, J. A. Patz, I. C. Prentice, N. Ramankutty y P. K. Snyder. 2005. Global consequences of land use. *Science* **309**: 570-574
- Forman, R. T. T. y M. Godron. 1986. Landscape Ecology [M]. John Wiley and Sons. New York.
- García, D. 2011. Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema, *Ecosistemas* **20** (2): 1-10.

- García, R. 1986. Conceptos Básicos para el estudio de Sistemas Complejos. Pp. 45-71. En: Leff, E. (coord.). *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*. Siglo XXI, México D. F.
- García, R. 1992. Interdisciplinariedad y Sistemas Complejos. Pp. 85-123. En: Leff, E. (coord.) *Ciencias Sociales y formación ambiental*. Editorial Gedisa. Barcelona.
- Garibay Orozco, C. y G. Bocco Verdinelli. 2011. Cambios en el uso de suelo en la meseta Purépecha (1976-2005). Instituto Nacional de Ecología. México DF. 124 pp.
- Garrido, A.; J. L. Pérez Damián y C. Enríquez Guadarrama. 2010. Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. Pp. 14-17. En: Cotler-Ávalos, H. (coord.). *Las cuencas hidrográficas en México. Diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.
- Gasca Zamora J; G. López Pardo; B. Palomino Villavicencio y M. Mathus Alonso. 2010. La GESTIÓN COMUNITARIA de recursos naturales y ecoturísticos en la sierra norte de Oaxaca. UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas: Academia Mexicana de Investigación Turística. México DF. 125 pp.
- Gómez, L. y V. Magaña. 2009. Tendencias en el uso de suelo. Pp. 642-657. En: Buenfil, J. (editor). *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México*. Vol. 2. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.
- Gould, W. 2000. Remote sensing of vegetation, plant species richness, and regional biodiversity hotspots. *Ecol. Appl.* **10** (6): 1861–1870.
- Guimarães, R. P. y A. Bárcenas. 2002. El Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Desde Rio 1992 y los nuevos imperativos de institucionalidad. Pp. 15-34. En: Leff, E., E. Ezcurra, I. Pisanty y P. Romero-Lankao. (Comps.). *La transición hacia el Desarrollo Sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe*. Instituto Nacional de Ecología. México DF. México.
- Gurrutaga, M. 2003. Índices de fragmentación y conectividad para el indicador biodiversidad y paisaje de la CAPV. Departamento de ordenación del territorio y medio ambiente del Gobierno Vasco. [http://www.euskadi.net/medio\\_ambiente](http://www.euskadi.net/medio_ambiente). 32 pp.

- Hassan, R.; R. Scholes y N. Ash (Eds.). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, Vol. 1. Island Press, Washington DC. 917 pp.
- Hernández-Stefanoni, J. L. y J. M. Dupuy. 2008. Effects of landscape patterns on species density and abundance of trees in a tropical subdeciduous forest of the Yucatan Peninsula. *Forest Ecol. Manag.* **255**: 3797–3805.
- Hu, H; W. Liu y M. Cao. 2008. Impact of land use and land cover changes on ecosystem services in Menglun, Xishuangbanna, Southwest China. *Environ. Monit. Assess.* **146**:147–156
- INE (Instituto nacional de Ecología). 2012. <http://www2.ine.gob.mx/emapas/cartas.html> (visitado el 17 de febrero de 2012).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/ver/clim.cfm?c=444ye=30> (visitado el 17 de febrero de 2012).
- Kolasa, J y C.D. Rollo. 1991. Introduction. The heterogeneity of heterogeneity: a glossary. Pp. 1-23. En: Kolasa, J y S.T.A. Pickett (eds.). *Ecological Heterogeneity*. Springer, New York.
- Lambin, E.F., B.L. Turner, H. J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. E. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkamp, C. Vogel y J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environ. Chan.* **11**: 261–269.
- Lambin, E. F., H. J. Geist y E. Lepers. 2003, Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **28**: 205–41.
- Lambin, E. F. y P. Meyfroidt. 2010. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy* **27**: 108–118.
- Leff, E. 2004. *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Siglo XXI Editores SA de CV. México DF. 414 Pp.

- Leh, M, S. Bajwa e I. Chaubey. 2011. Impact of land use change on erosion risk: an integrated remote sensing, geographic information system and modeling methodology. *Land. Degrad. Dev.* DOI: 10.1002/ldr.1137
- Li, R.Q., M. Dong, J.Y. Cui, L. L. Zhang, Q.G. Cui y W.M. He. 2007. Quantification of the impact of the land-use changes on ecosystem services: A case study in Pingbian Conty, China. *Environ. Monit. Assess.* **128**: 503-510.
- Luck, G. W., K. M. A. Chan y J. P. Fay. 2009. Protecting ecosystem services and biodiversity in the world's watersheds. *Conserv. Lett.* **2**:179-188.
- Lunagómez-Reyes, R. 2004. Arqueología de superficie en el sur de Veracruz: Los periodos Clásico Tardío y Terminal. Pp. 305-317. En: Laporte, J. P., B. Arroyo, H. Escobedo y H. Mejía (eds.). *XVII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2003*. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.
- Maestas, J. D; R.L. Knight; y W C. Gilgert. 2003. Biodiversity across a rural land-use gradient. *Conserv. Biol.* **17 (5)**: 1425–1434.
- Manes, F., G. Incerti, E. Salvatori, M. Vitale, C. Ricotta y R. Costanza. 2012. Urban ecosystem services: tree diversity and stability of tropospheric ozone removal. *Ecol. Appl.* **22 (1)**: 349-360.
- Márquez-Covarrubias, H. 2010. La Gran Crisis del Capitalismo Neoliberal. *Andamios* **7 (13)**: 57-84.
- Martínez, M. L., O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez, G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehlretera, M. Equihua y R. Landgrave. 2009. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecol. Manag.* **258**: 1856–1863.
- Medellín Tovar, P. 2002. Uso de suelo. Pulso Diario de San Luis. Pág. 4ª. Sección Ideas. Jueves 14 de noviembre de 2002. [ambiental.uaslp.mx/docs/PMM-AP021114.pdf](http://ambiental.uaslp.mx/docs/PMM-AP021114.pdf). (Visitado el 21 de Enero de 2012).

- Menchaca-Dávila, S. 2005. Pertinencia de la educación superior: desarrollo interdisciplinario como medio para la producción de conocimientos sociales útiles. Tesis Doctoral en Educación. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Mor., México.
- Mendoza-González, G. 2009. Análisis de cambio de uso de suelo y sus implicaciones en la prestación de servicios ecosistémicos en la costa de Veracruz. Tesis de Maestro en Ciencias. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México. 113 pp.
- Metzger, M. J., M. D. A. Rounsevell; L. Acosta-Michlik; R. Leemans y D. Schröter. 2006. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems Environ.* **114**: 69–85
- Moriello, S. A. 2003. Sistemas complejos, caos y vida artificial. *Red Científica* ISSN: 1579-0233. <http://www.redcientifica.com/doc/doc200303050001.html>
- Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant, y T. J. Wilbanks. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* **463**: 747-756.
- O'Neill, R. V., K. H. Ritters; J. D. Wickham y K. B. Jones. 1999. Landscape pattern metrics and regional assessment. *Ecosystem Health* **5** (4): 225-233.
- Ortiz-Lozano, L. D. 2006. Análisis crítico de las zonas de Regulación y planeación en el Parque nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C., México. 189 pp.
- Ortiz-Lozano, L. D. y Bello-Pineda, J. 2012. Escenarios Propiciatorios de las inundaciones en la zona costera de Veracruz: el caso de la Cuenca del Río Jamapa Pp. 176-197. En: Tejeda Martínez, A y L. Betancourt (coords.) *Las inundaciones de 2010 en Veracruz*. ARGOS, México, DF.
- Ortiz Pérez, M. A. 2010. Clasificación ecogeográfica de cuencas hidrográficas: el caso de México. Pp. 25-27. En: Cotler-Ávalos, H. (coord.). *Las cuencas hidrográficas en México. Diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología, México D.F.

- Paudel S. y F. Yuan. 2012. Assessing landscape changes and dynamics using patch analysis and GIS Modeling. *Int. J. Appl. Earth Obs.* **16**: 66–76
- Peng, J., Y. L. Wang, J. S. Wu, J. Yue; Y.A. Zhang y W. F. Li. 2006. Ecological effects associated with land-use change in China's southwest agricultural landscape. *Int. J. Sust. Dev. World* **13**:15-325.
- Post, W.M. y K. C. Kwon. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Glob. Change Biol.* **6**: 317–328.
- Postel, S. L. y B. H. Thompson, Jr. 2005. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. *Nat. Resour. Forum* **29**: 98–108.
- Power, A. G. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc. B.* **365**: 2959-2971.
- Price, K. 2011. Effects of Watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: a review. *Prog. Phys. Geog.* **35 (4)**: 465–492.
- Priego Santander, A, P. Moreno Casasola, J. L. Palacio Prieto, J. López Portillo y D. Geissert Kients. 2003. Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en cuencas costeras del estado de Veracruz, México. *Inv. Geog.* **52**: 31-52.
- Quero, J.L. 2006. La heterogeneidad en ecología: herramientas de cuantificación y aplicaciones para la restauración. *Acta Granatense* **4 (5)**: 107-114.
- Reyes-Hernández, H., M. Aguilar Robledo, J. R. Aguirre Rivera e I. Trejo Vázquez. 2006. Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Inv. Geog.* **59**: 26-42.
- Reyes-Ramírez, A y R. L. Ubaldo-Rodríguez. 2009. Análisis estadístico y probabilístico de las precipitaciones máximas anuales, en la Cuenca de los Ríos Jamapa-Cotaxtla, Ver. Tesis Ingeniero Civil. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. México, D. F., México. 132 pp.

- Riechmann, J. 1995. Desarrollo Sostenible: la lucha por la interpretación. Pp. 1-20. En: Riechmann, J., J. M. Naredo, R. Bermejo, A. Estevan, C. Taibo, J. C. Rodríguez Murillo y J. Nieto. *De la economía a la Ecología*. Trotta, Madrid.
- Rodríguez, J. P., A. B. Taber, P. Daszak, R. Sukumar, C. Valladares-Padua, S. Padua, L. F. Aguirre, R. A. Medellín, M. Acosta, A. A. Aguirre, C. Bonacic, P. Bordino, J. Bruschini, D. Buchori, S. González, T. Mathew, M. Méndez, L. Mugica, L. F. Pacheco, A. P. Dobson y M. Pear. 2007. Globalization of conservation: a view from the south. *Science* **317**: 755–756.
- Romero, V. M. 2004. Análisis de los cambios en la estructura del paisaje del Alt Emporda en el periodo 1957-2001. Tesis Doctoral. Departamento de Geografía e Historia de la Universidad de Girona. Girona, España. 330 pp.
- Rzedowsky, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México DF. 504 pp.
- Sachs, W. 1997. Arqueología de la idea de desarrollo. *Econ. Inf.* (253): 12-30
- Sandhu, H. S., S. D. Wratten y R. Cullen. 2010. Organic agriculture and ecosystem services. *Environ Sci. Policy* **13**: 1-7.
- Santos, T. y J. L. Tellería. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas* **15** (2): 3-12.
- SEDARPA. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesca. 2006. Plan sectorial forestal estatal actualización 2006-2028. Xalapa. Veracruz. <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/SEDARPA1INICIO/SERVICIOS/DESARROLLOFORESTAL/PLANSEC%202006-2028%20.PDF>.(Consultado el 14 de enero de 2012).
- SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2005. Uso actual del suelo. México, D.F. México [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen/02\\_vegetacion/cap2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/02_vegetacion/cap2.html). (Consultado el 14 de enero de 2012).
- SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2009. Uso actual del suelo en México. México D.F. México [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen\\_2009/02\\_ecosistemas/cap2\\_1.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/02_ecosistemas/cap2_1.html). (Consultado el 14 de enero de 2012).

- Stalk, B y A. Ossa. 2005. Los asentamientos urbanos de jardines-huertos en la planicie costera de Veracruz. *An. Antrop.* **39 (I)**: 39-49.
- Sriwongsitanon, N. y W. Taesombat. 2010. Effects of land cover on runoff coefficient. *J. Hydrol.* **410**: 226-238.
- Tellería, J. L., J. A. Díaz, J. Pérez-Tris y T. Santos. 2011. Fragmentación de hábitat y biodiversidad en las mesetas ibéricas: una perspectiva a largo plazo. *Ecosistemas* **20 (2)**: 79-90.
- Tengberg, A., S. Fredholm, I. Eliasson, I. Knez, K. Saltzman y O. Wetterberg. 2012. Cultural ecosystem services provided by landscapes: Assessment of heritage values and identity. *Ecosystem Services* **2**: 14-26.
- The World Commission on Environment and Development. 1987. Our Common Future. Oxford University Press. New York. 400 pp.
- Turner, M. G., R. H. Gardner y R. V. O'Neill. 2001. Landscape Ecology in theory and practice. Cap 1 y 2. Springer. New York. Pp. 1-46.
- Vila Subirós, J., D. Varga Linde, A. Llausàs Pascual y A. Ribas Palom. 2006. Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Doc. Anàl. Geogr.* **48**: 151-166.
- Williams Linera, G, R. H. Manson y E. Isunza Vera. 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso de suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera Bosques* **8 (1)**: 73-89.
- Wu, J., 2008. Landscape ecology. En: Jorgensen, S. E. (Ed.), *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier, Oxford.
- Zedler, J. B. y S. Kercher. 2005. Wetland resources: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **30**: 39-74.
- Zhao, B., U. Kreuter, B. Li, Z. Ma, J. Chen y N. Nakagoshi. 2004. An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China. *Land Use Policy* **21**:139-148.

# Anexo

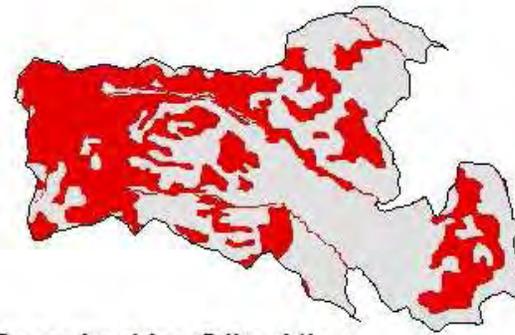
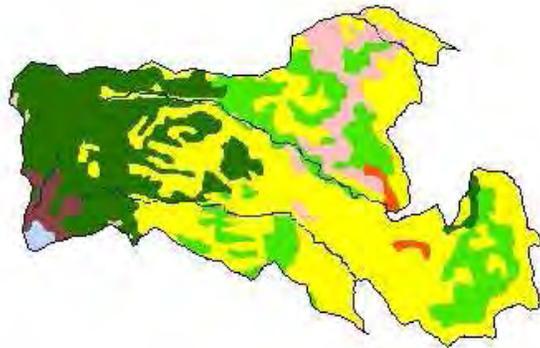
Se presentan las coberturas de vegetación y los servicios ambientales asociados a ellas, agrupados por función de: Regulación, Soporte, Provisión y Culturales, por año y zona funcional de la Cuenca: “Cuenca Alta”, “Cuenca Media” y “Cuenca Baja”.

“CUENCA ALTA”

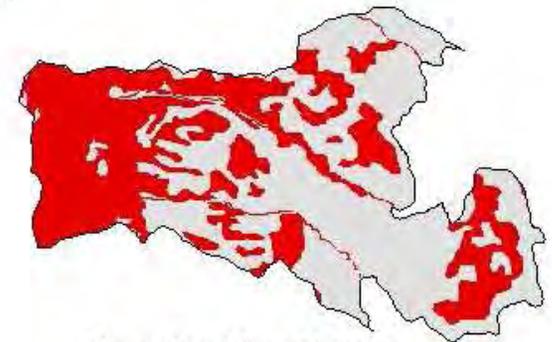
1988

# Cuenca Alta 1988

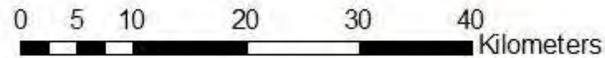
## Funcion Regulación



Regulación Climática



Regulación Hídrica



### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
-  GLACIAR DE ALTA MONTANA
-  PASTIZAL
-  PRADERA ALTA MONTANA
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  VEGETACION SECUNDARIA



Regulación Disturbios

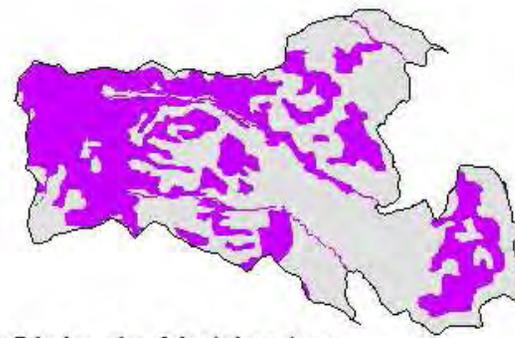
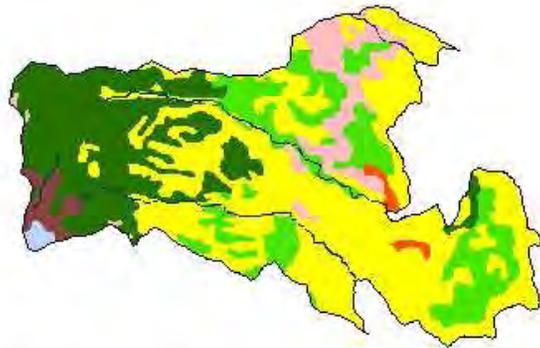
### Alcance

-  No se provee
-  Local/Regional
-  Regional

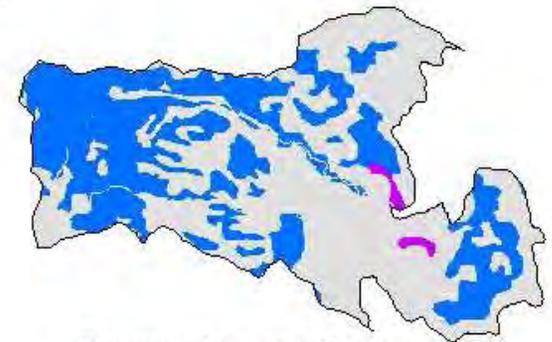
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Regulación en la Cuenca Alta para 1988. Regulación Climática, Hídrica y a Disturbios Naturales.

# Cuenca Alta 1988

## Funcion Soporte



## Ciclo de Nutrientes



## Formación de Suelo

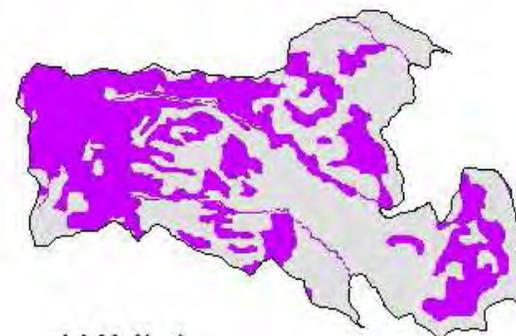
0 5 10 20 30 40 Kilometers

### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
-  GLACIAR DE ALTA MONTANA
-  PASTIZAL
-  PRADERA ALTA MONTANA
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  VEGETACION SECUNDARIA

### Alcance

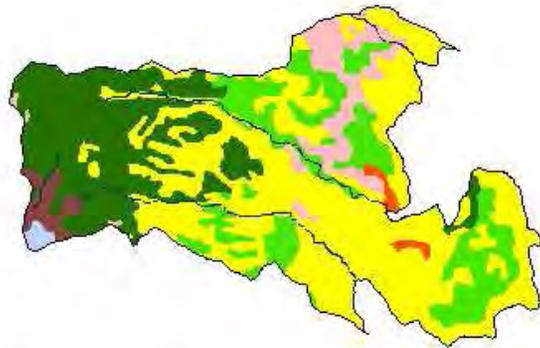
-  No se provee
-  Local
-  Local/Regional



## Hábitat

Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Alta para 1988. Ciclo de Nutrientes, Formación de Suelo y Hábitat.

### Cuenca Alta 1988



### Funcion Soporte



### Flores Frutos y Semillas

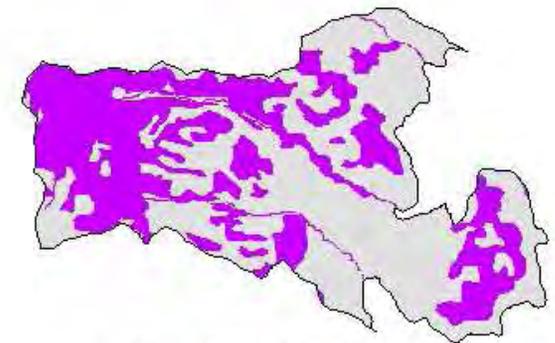


#### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
-  GLACIAR DE ALTA MONTANA
-  PASTIZAL
-  PRADERA ALTA MONTANA
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  VEGETACION SECUNDARIA

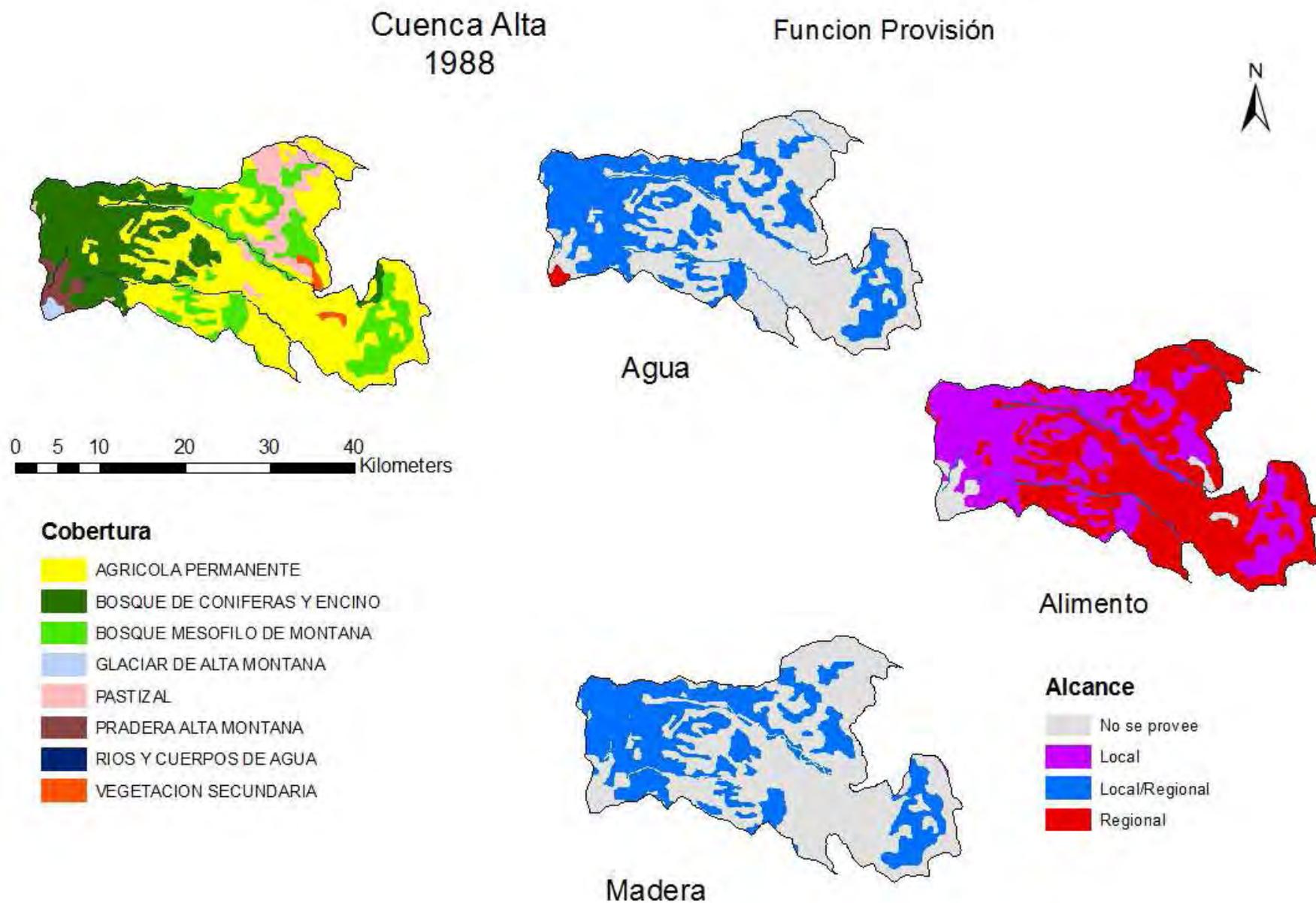
#### Alcance

-  No se provee
-  Local



### Biodiversidad

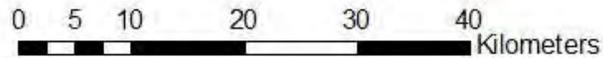
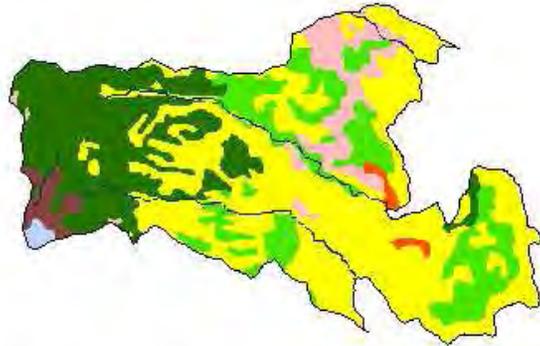
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Alta para 1988. Flores Frutos y Semillas; Biodiversidad.



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Alta para 1988. Agua, Alimento y Madera.

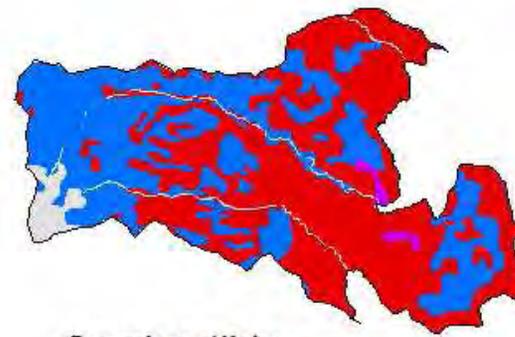
# Cuenca Alta 1988

## Funcion Provisión

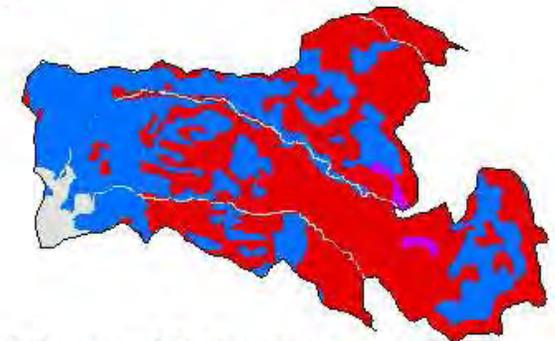


### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
-  GLACIAR DE ALTA MONTANA
-  PASTIZAL
-  PRADERA ALTA MONTANA
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  VEGETACION SECUNDARIA



### Combustible



### Fibras y Maderas otros usos



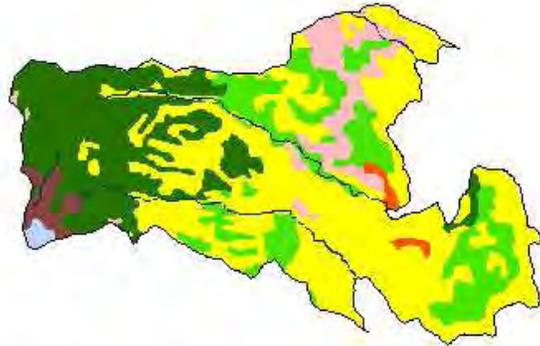
### Productos Químicos

### Alcance

-  No se provee
-  Local
-  Local/Regional
-  Regional

Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Alta para 1988. Combustible, Fibras y Maderas otros usos y Productos Químicos.

### Cuenca Alta 1988

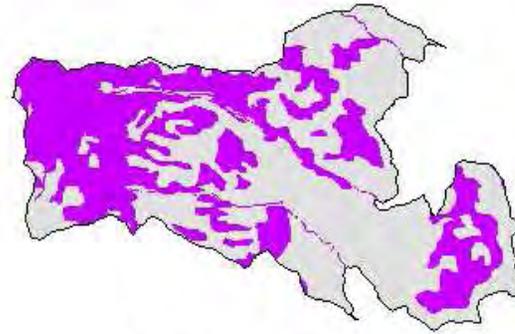


0 5 10 20 30 40 Kilometers

#### Cobertura

- AGRICOLA PERMANENTE
- BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
- BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
- GLACIAR DE ALTA MONTANA
- PASTIZAL
- PRADERA ALTA MONTANA
- RIOS Y CUERPOS DE AGUA
- VEGETACION SECUNDARIA

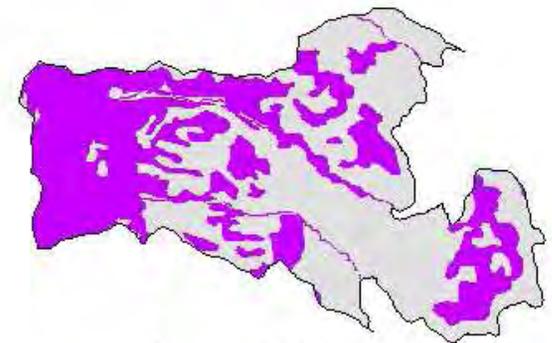
### Funcion Cultural



#### Espirituales

#### Alcance

- No se provee
- Local

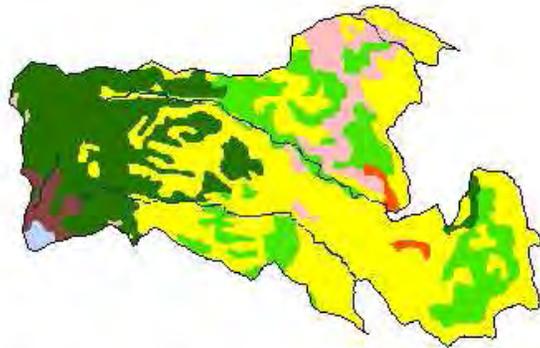


#### Recreación



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función Cultural en la Cuenca Alta para 1988. Espirituales y Recreación.

### Cuenca Alta 1988

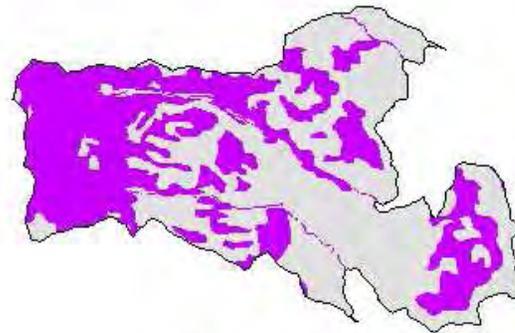


0 5 10 20 30 40 Kilometers

#### Cobertura

- AGRICOLA PERMANENTE
- BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
- BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
- GLACIAR DE ALTA MONTANA
- PASTIZAL
- PRADERA ALTA MONTANA
- RIOS Y CUERPOS DE AGUA
- VEGETACION SECUNDARIA

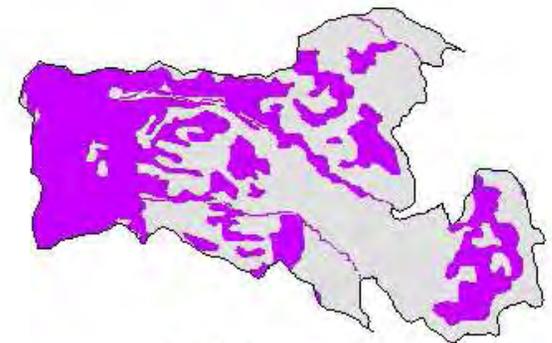
### Funcion Cultural



#### Educación

#### Alcance

- No se provee
- Local



#### Estéticos



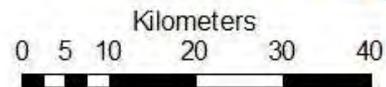
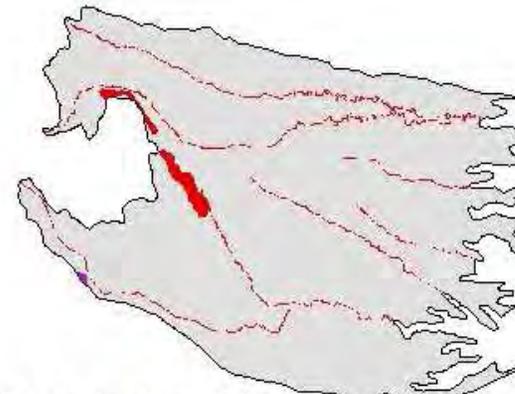
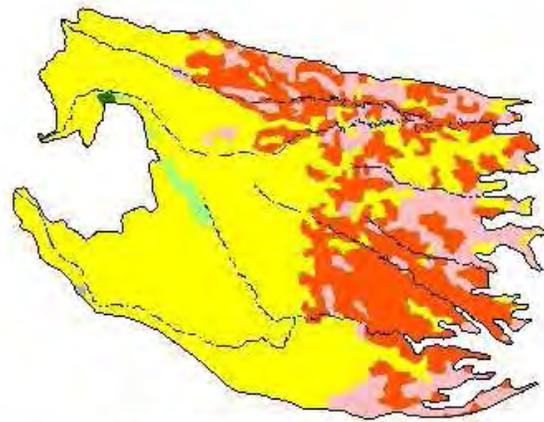
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función Cultural en la Cuenca Alta para 1988. Educación y Estético.

“CUENCA MEDIA”

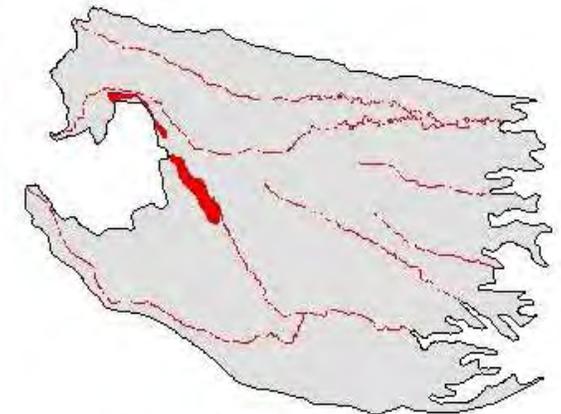
1988

### Cuenca Media 1988

### Función Regulación



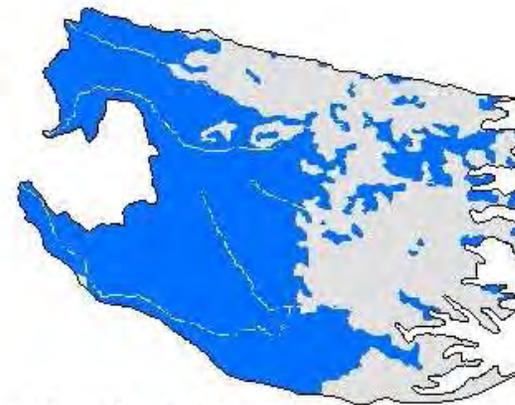
### Regulación Climática



### Regulación Hídrica

#### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  PASTIZAL
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  URBANO
-  VEGETACION SECUNDARIA

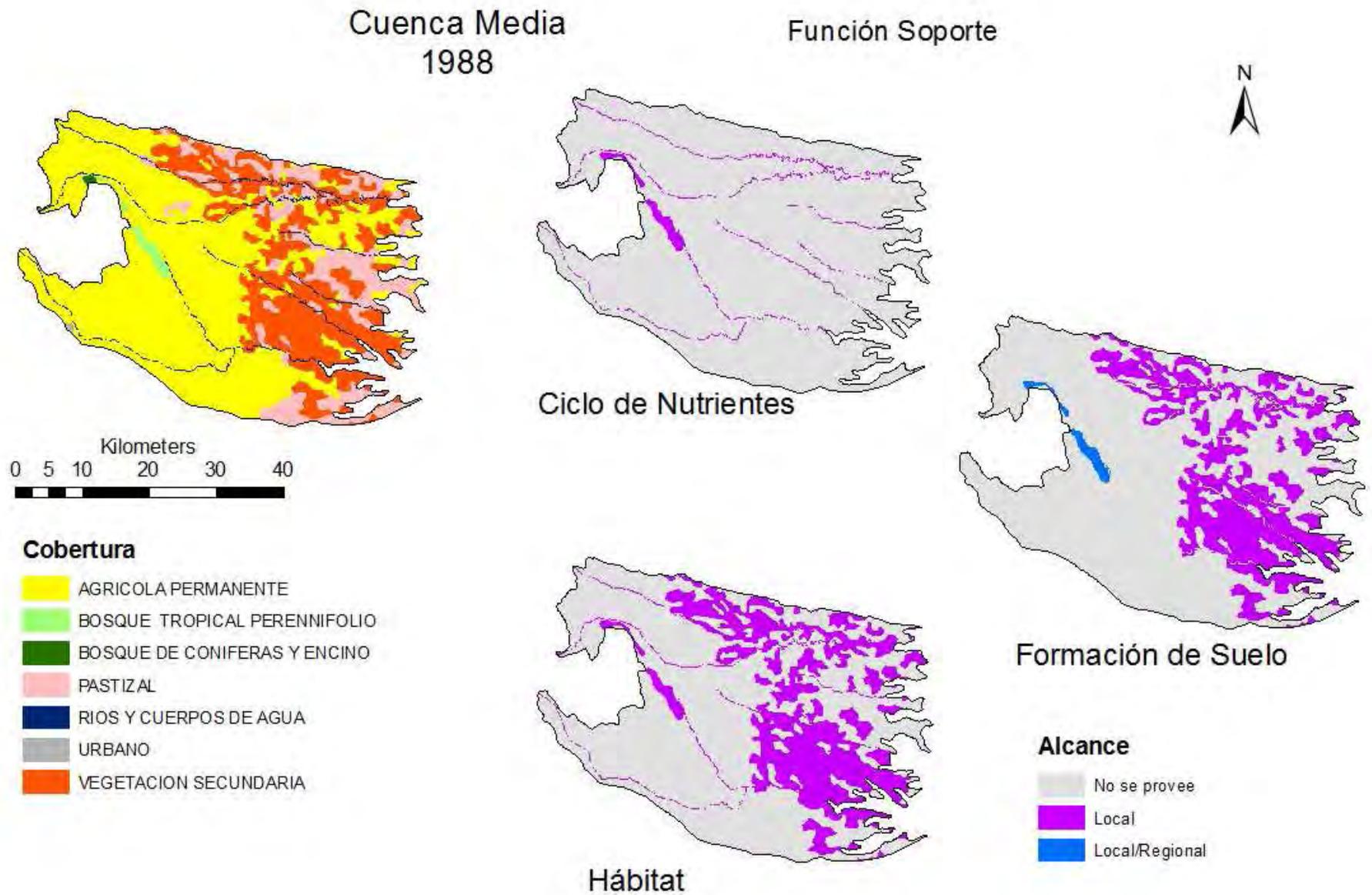


### Regulación Disturbios

#### Alcance

-  No se provee
-  Local
-  Local/Regional
-  Regional

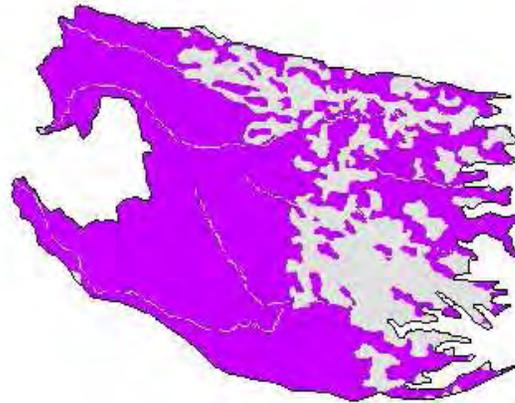
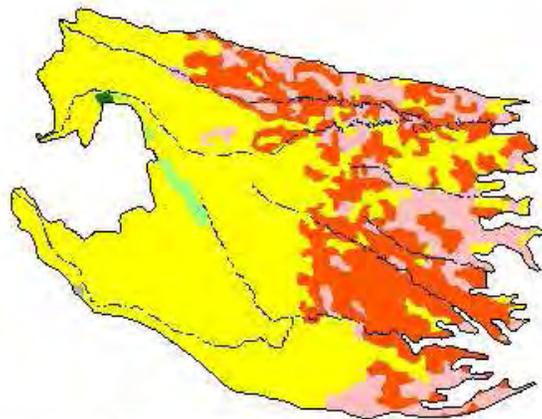
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Regulación en la Cuenca Media para 1988. Regulación Climática, Hídrica y a Disturbios Naturales.



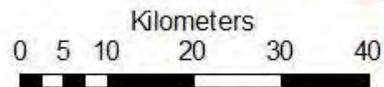
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Media para 1988. Ciclo de Nutrientes, Formación de Suelo y Hábitat.

### Cuenca Media 1988

### Función Soporte



### Flores Frutos y Semillas

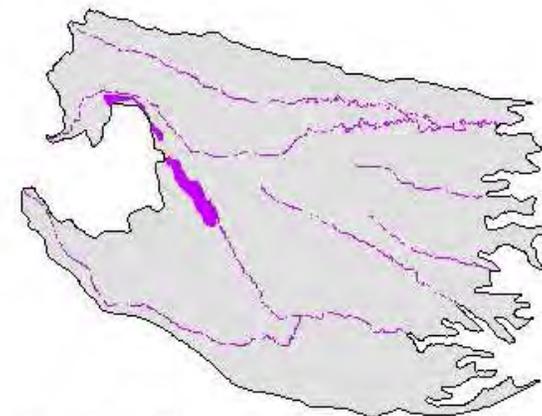


#### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  PASTIZAL
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  URBANO
-  VEGETACION SECUNDARIA

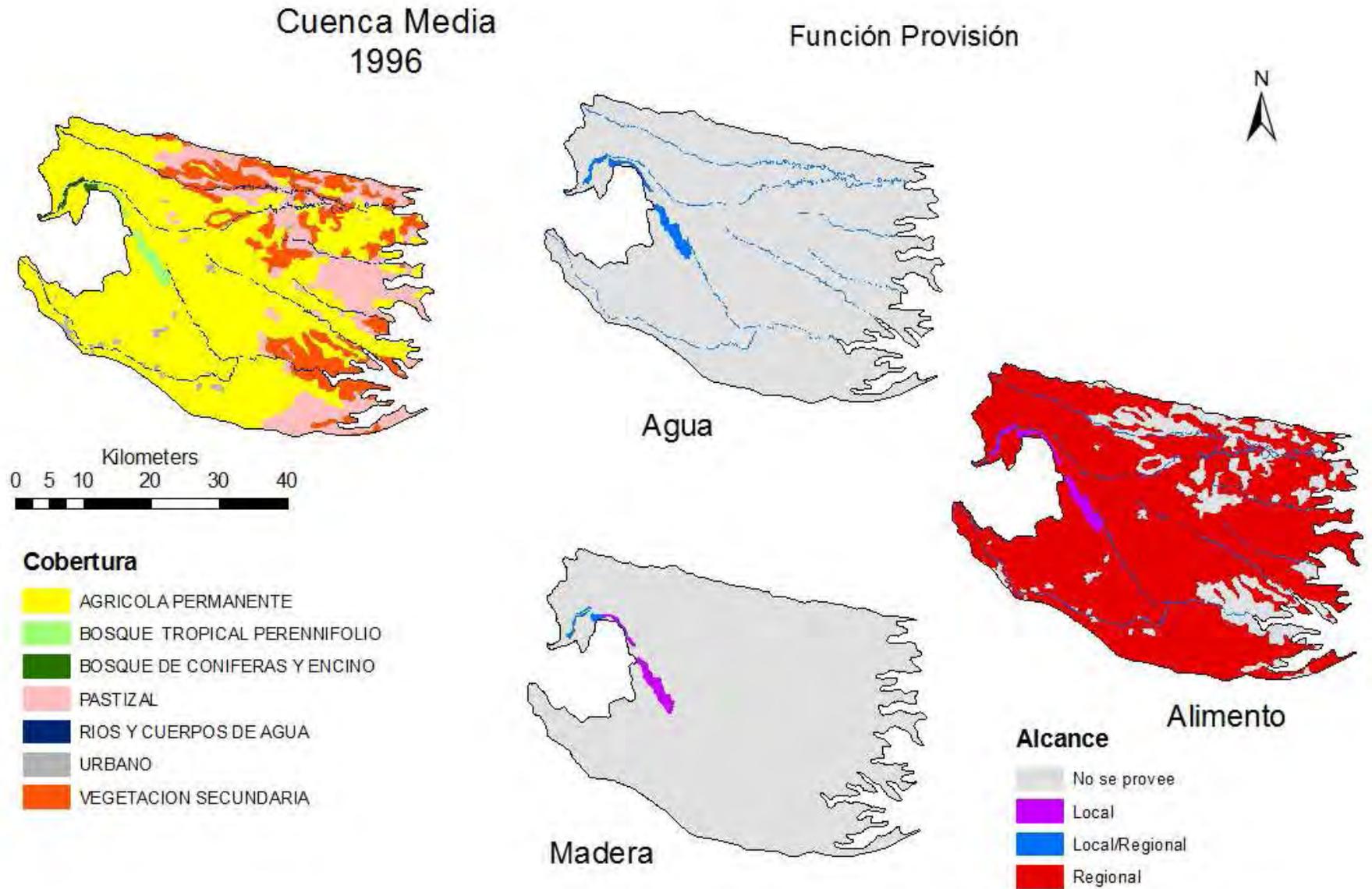
#### Alcance

-  No se provee
-  Local

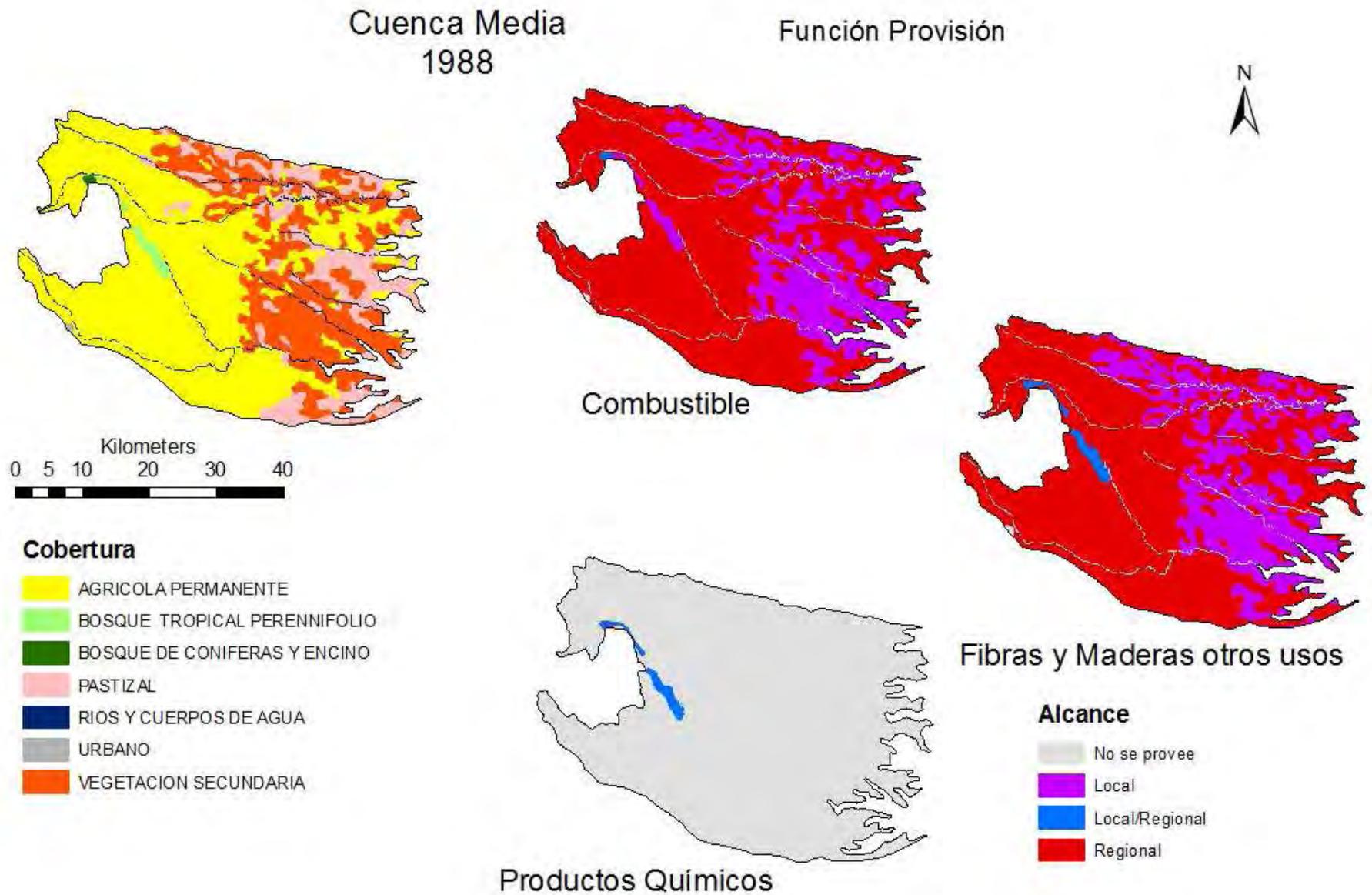


### Biodiversidad

Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Media para 1988. Flores Frutos y Semillas; Biodiversidad.



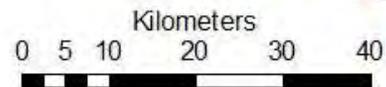
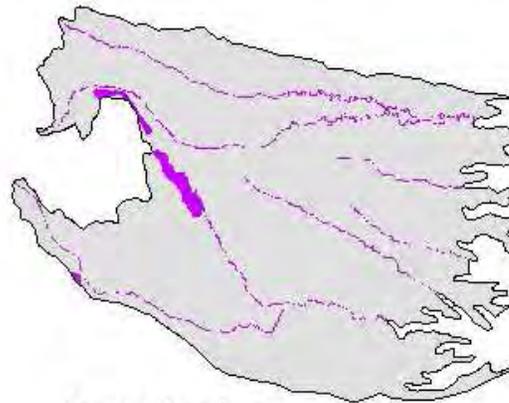
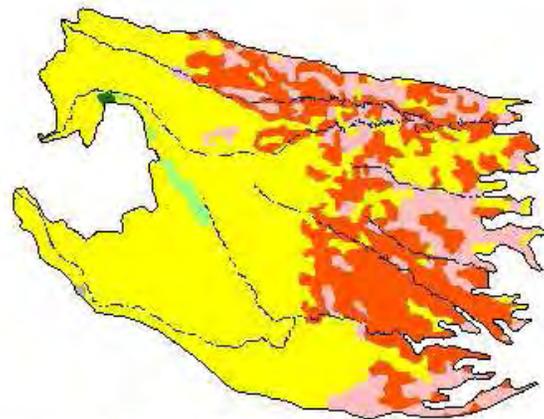
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Media para 1988. Agua, Alimento y Madera.



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Media para 1988. Combustible, Fibras y Maderas otros usos y Productos Químicos.

### Cuenca Media 1988

### Función Cultural



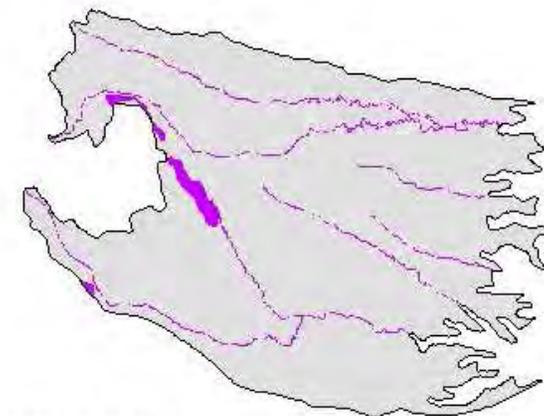
### Espirituales

#### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  PASTIZAL
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  URBANO
-  VEGETACION SECUNDARIA

#### Alcance

-  No se provee
-  Local

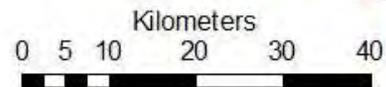
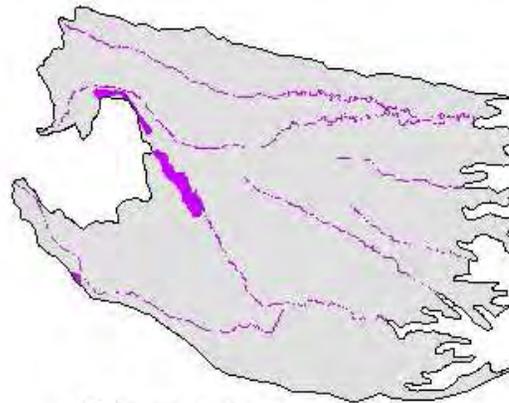
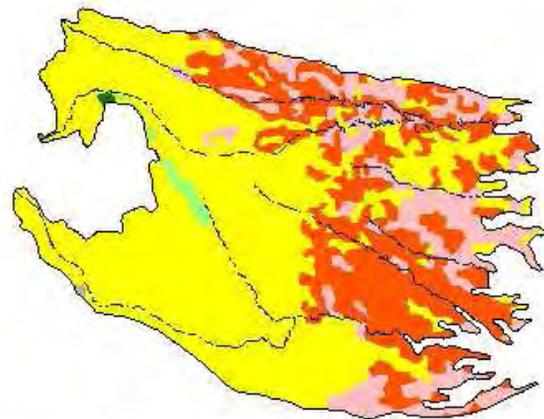


### Recreación

Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función Cultural en la Cuenca Media para 1988. Espirituales y Recreación.

### Cuenca Media 1988

### Función Cultural

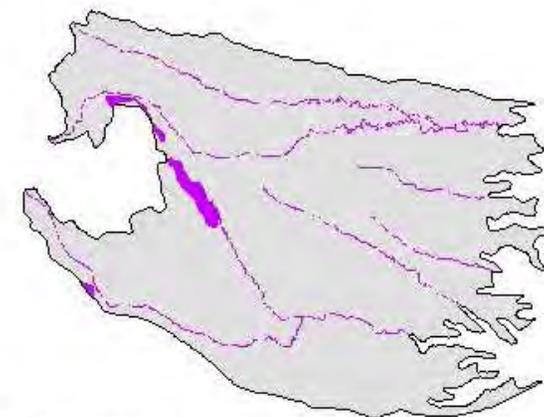


#### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  PASTIZAL
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  URBANO
-  VEGETACION SECUNDARIA

#### Alcance

-  No se provee
-  Local

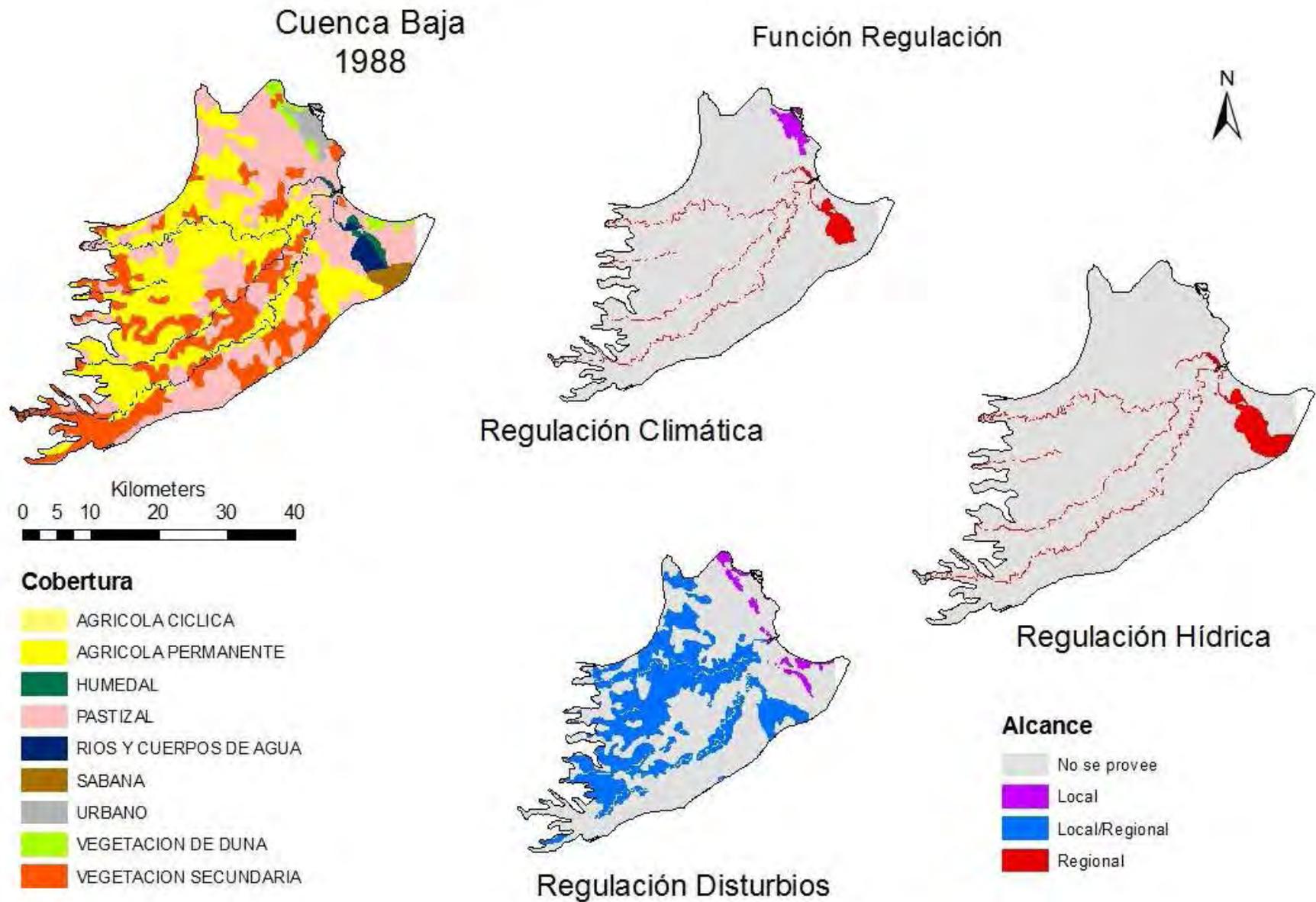


### Estético

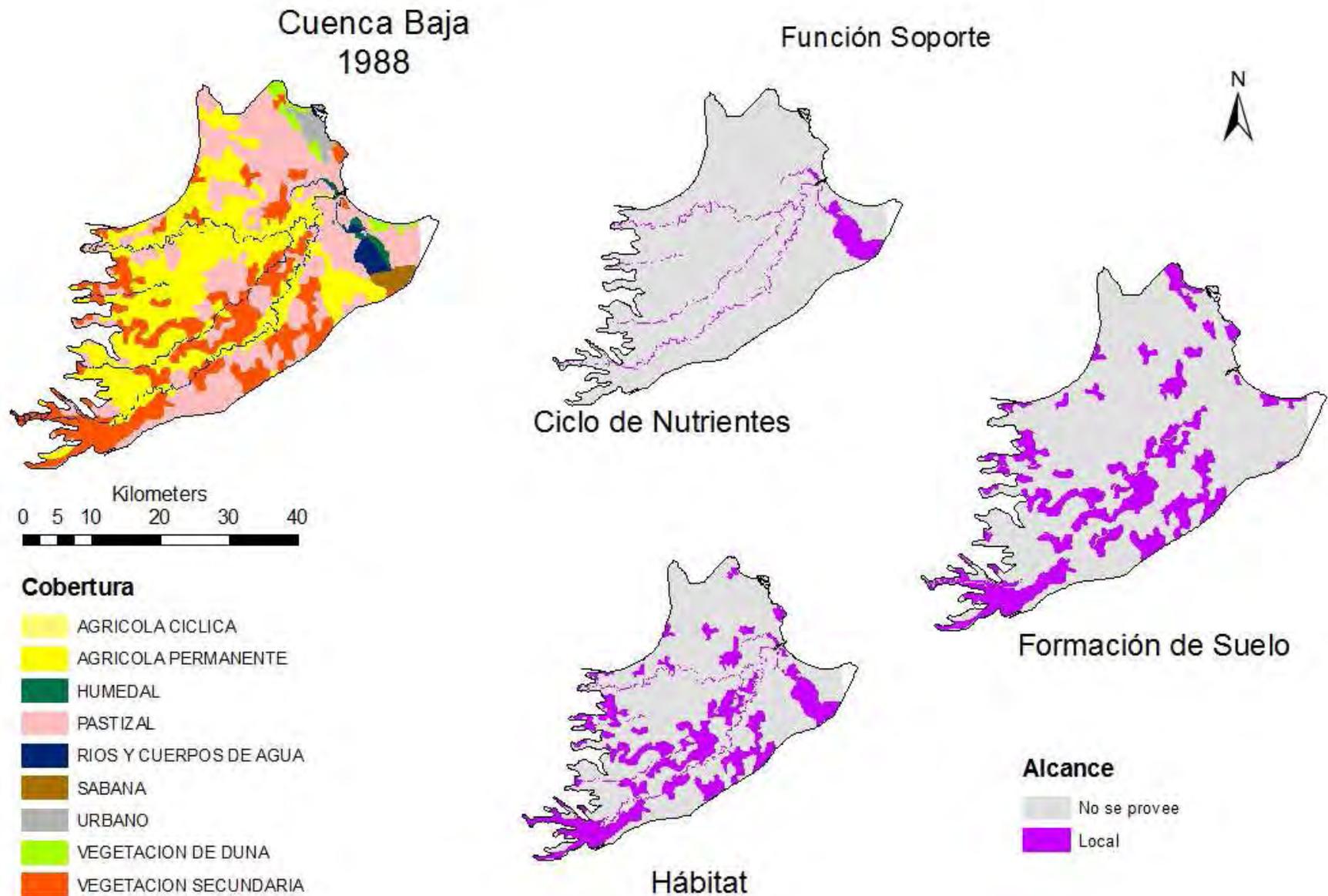
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función Cultural en la Cuenca Media para 1988. Educación y Estético.

“CUENCA BAJA”

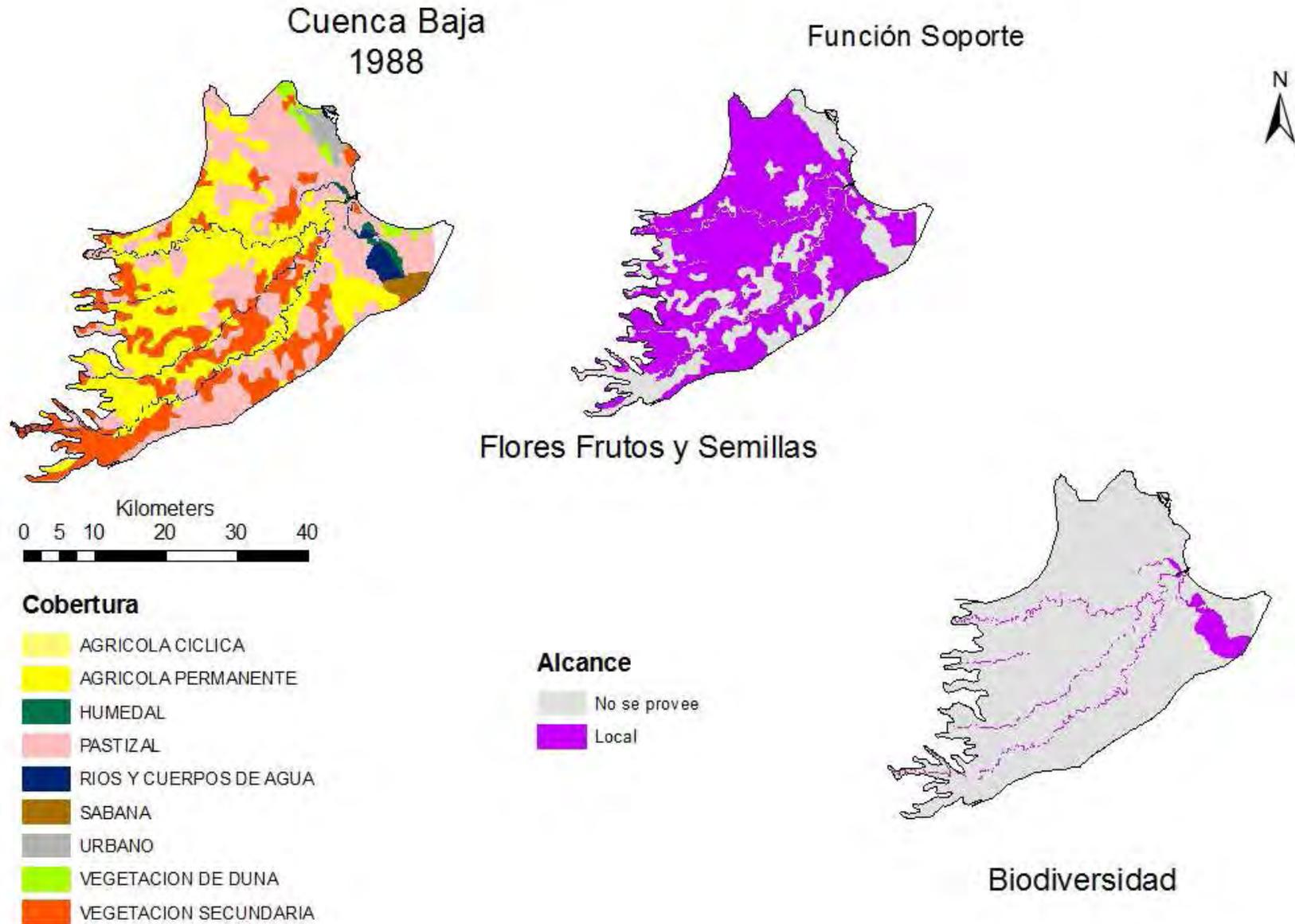
1988



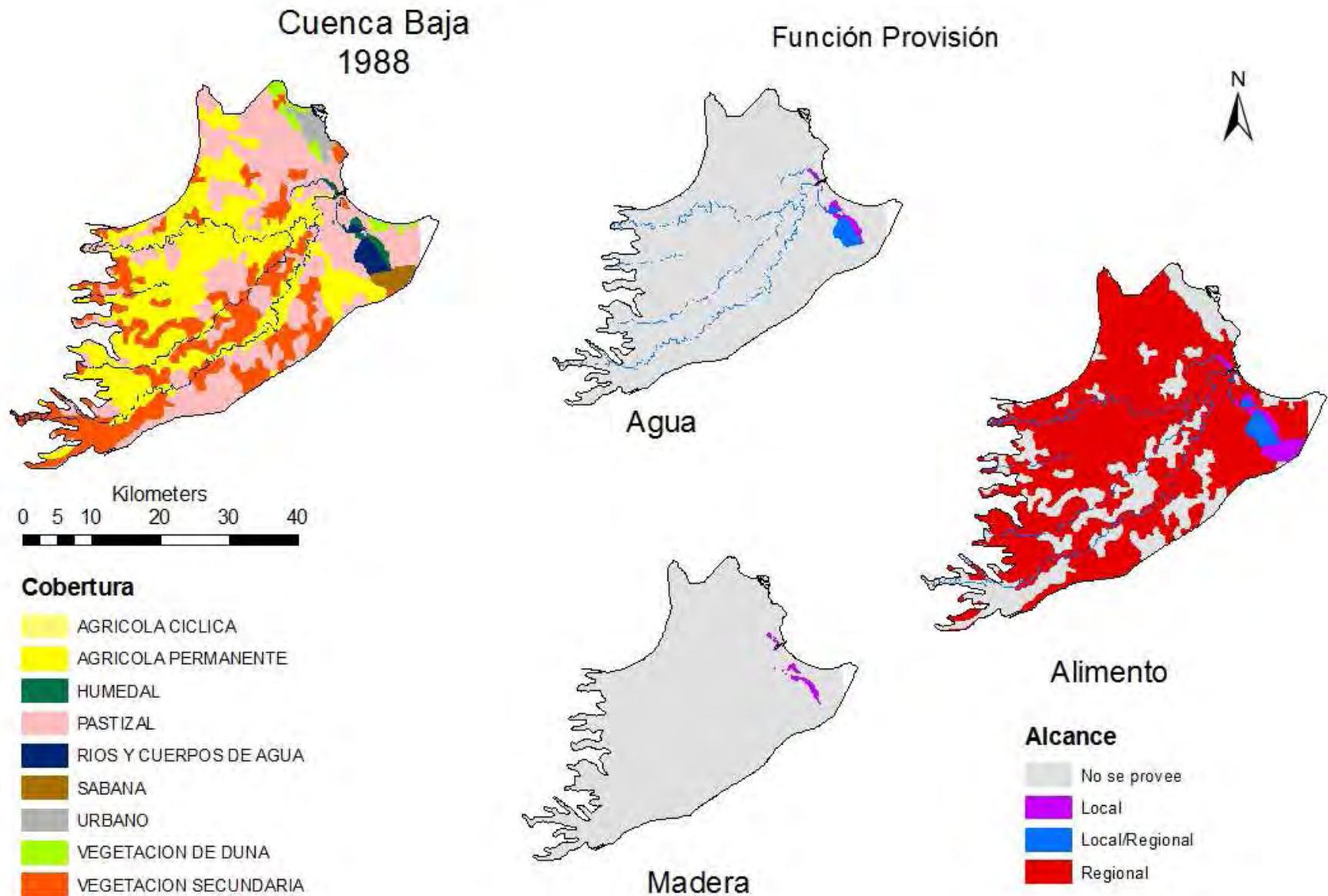
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Regulación en la Cuenca Baja para 1988. Regulación Climática, Hídrica y a Disturbios Naturales.



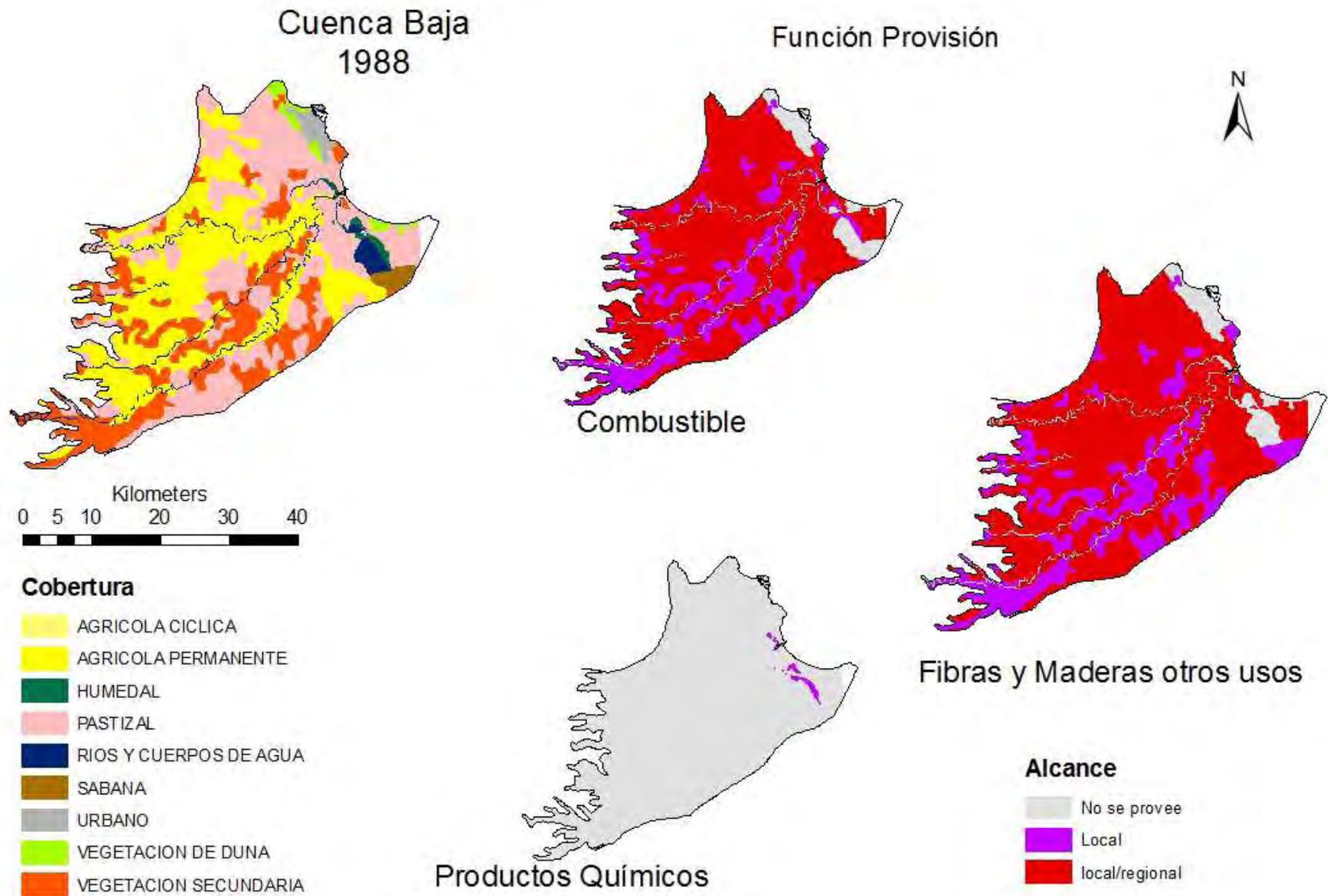
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Baja para 1988. Ciclo de Nutrientes, Formación de Suelo y Hábitat.



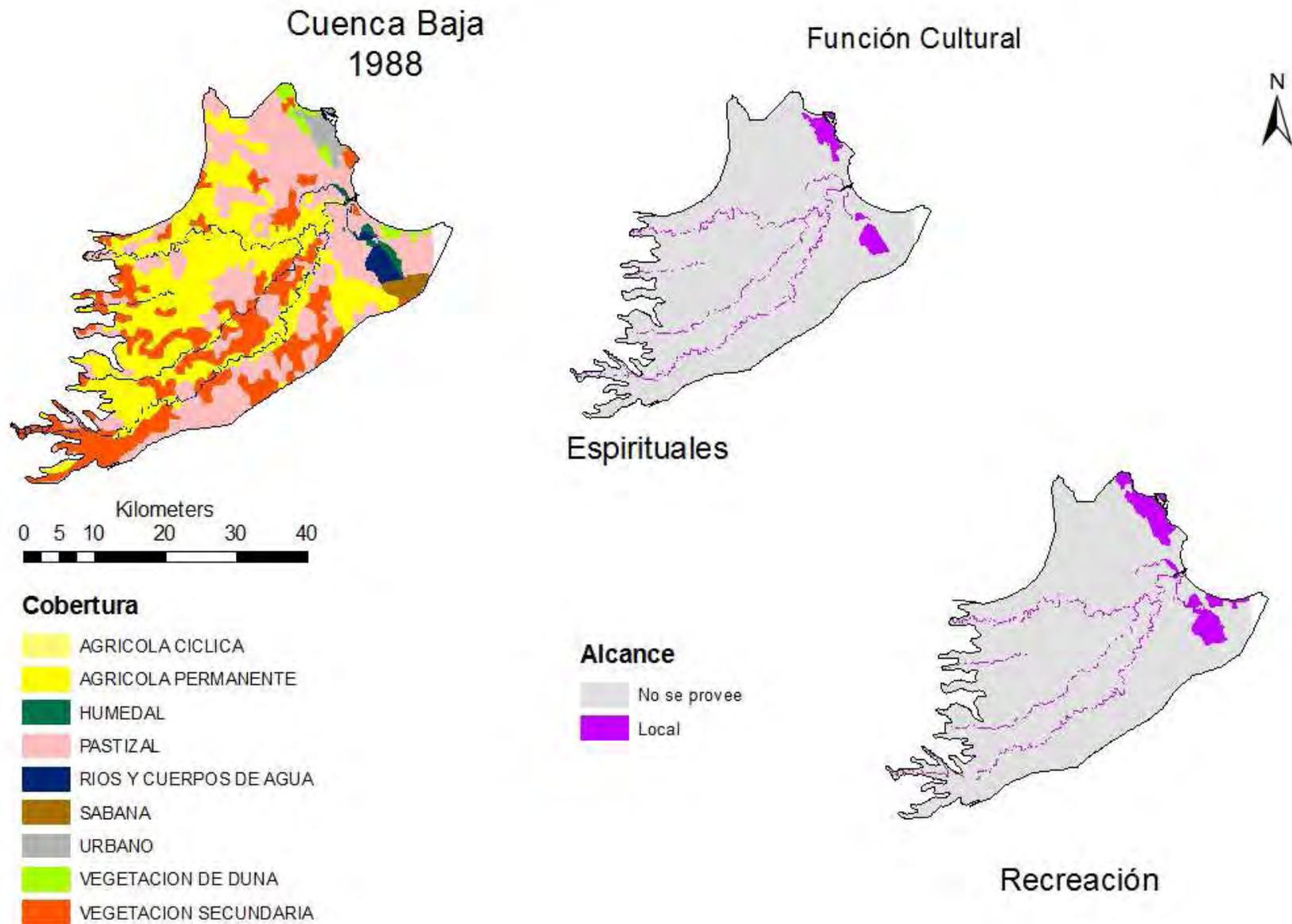
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Baja para 1988. Flores Frutos y Semillas; Biodiversidad.



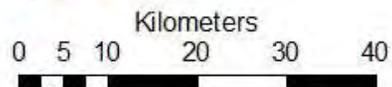
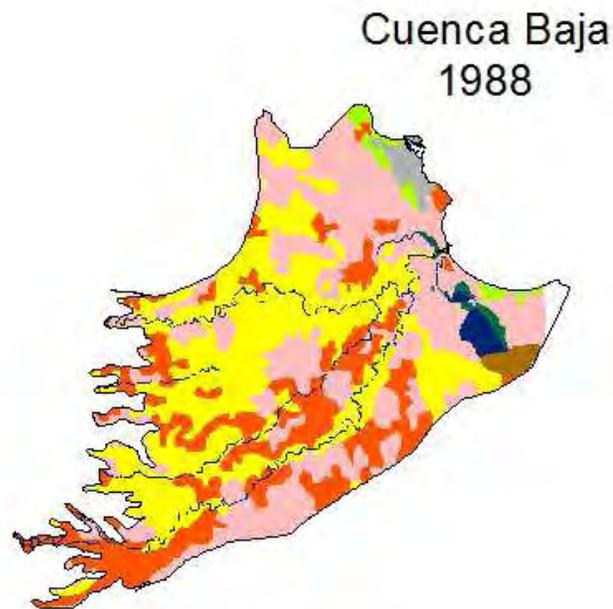
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Baja para 1988. Agua, Alimento y Madera.



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Baja para 1988. Combustible, Fibras y Maderas otros usos y Productos Químicos.



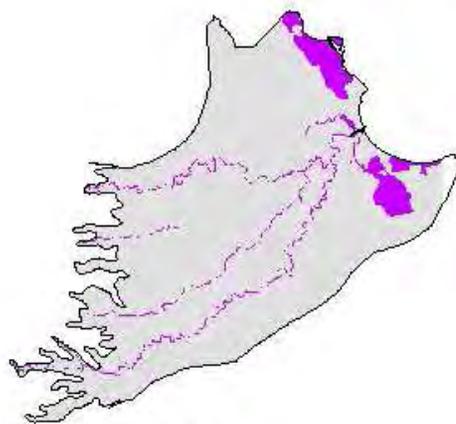
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función Cultural en la Cuenca Baja para 1988. Espirituales y Recreación.



#### Cobertura

- AGRICOLA CICLICA
- AGRICOLA PERMANENTE
- HUMEDAL
- PASTIZAL
- RIOS Y CUERPOS DE AGUA
- SABANA
- URBANO
- VEGETACION DE DUNA
- VEGETACION SECUNDARIA

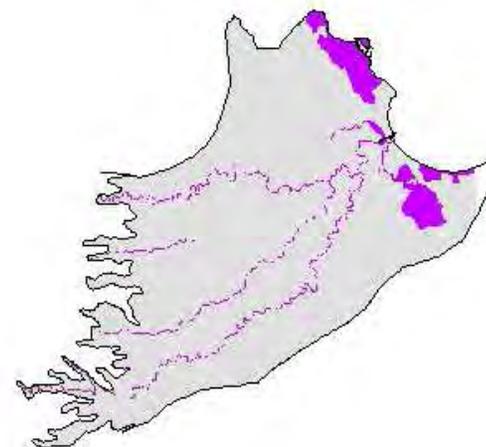
### Función Cultural



#### Educación

#### Alcance

- No se provee
- Local



#### Estético

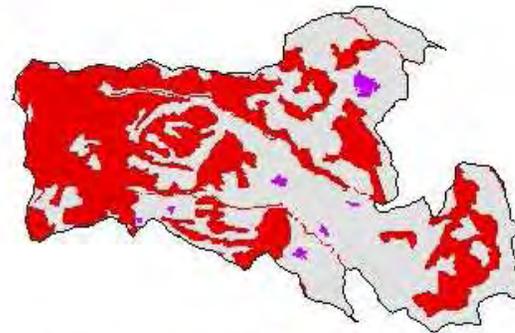
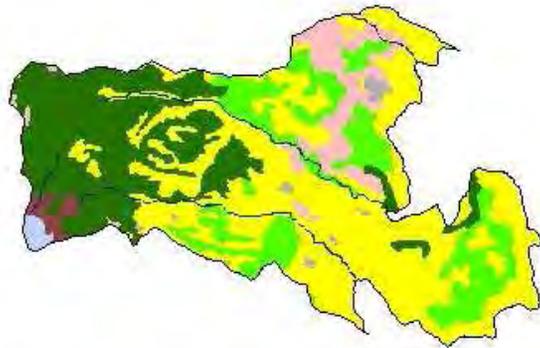
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función Cultural en la Cuenca Baja para 1988. Educación y Estético.

“CUENCA ALTA”

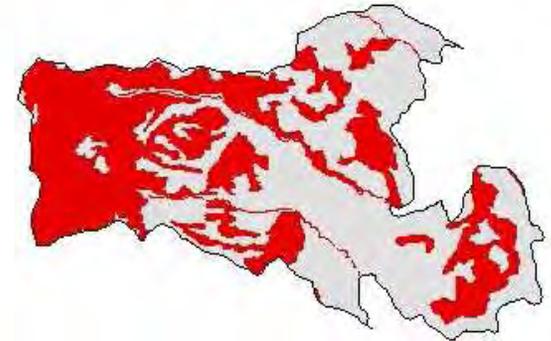
1996

### Cuenca Alta 1996

### Funcion Regulación



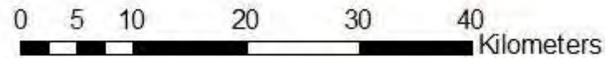
### Regulación Climática



### Regulación Hídrica



### Regulacion Disturbios



#### Cobertura

- AGRICOLA PERMANENTE
- BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
- BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
- GLACIAR DE ALTA MONTANA
- PASTIZAL
- PRADERA ALTA MONTANA
- RIOS Y CUERPOS DE AGUA
- URBANO

#### Alcance

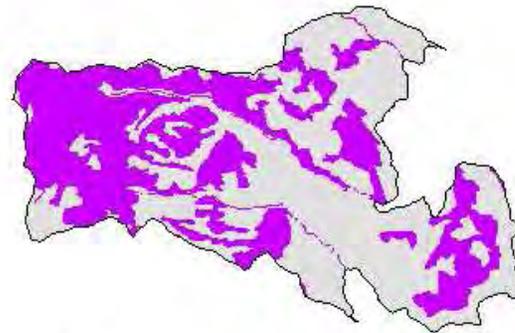
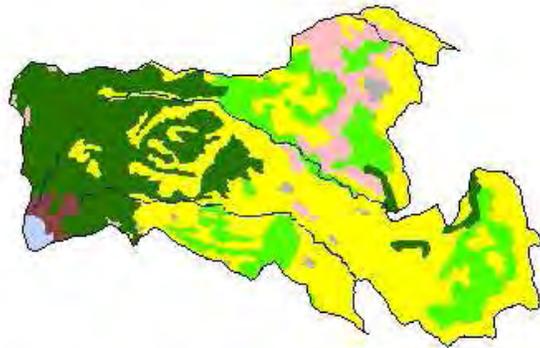
- No se provee
- Local
- Local/Regional
- Regional



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Regulación en la Cuenca Alta para 1996. Regulación Climática, Hídrica y a Disturbios Naturales.

# Cuenca Alta 1996

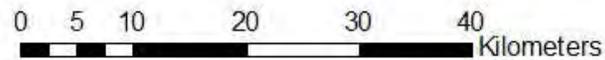
## Funcion Soporte



## Ciclo de Nutrientes

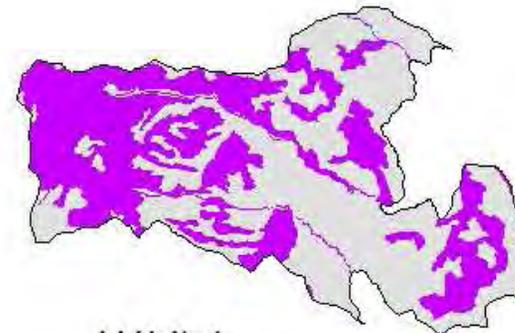


## Formación de Suelo



### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
-  GLACIAR DE ALTA MONTANA
-  PASTIZAL
-  PRADERA ALTA MONTANA
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  URBANO



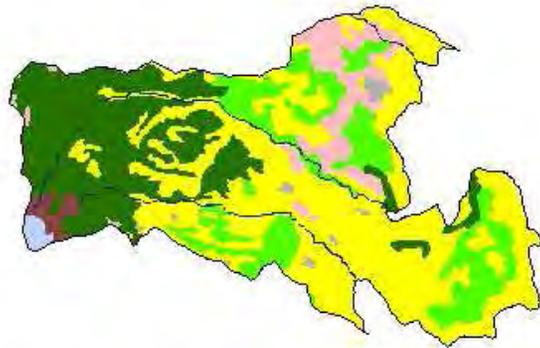
## Hábitat

### Alcance

-  No se provee
-  Local
-  Local/Regional

Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Alta para 1996. Ciclo de Nutrientes, Formación de Suelo y Hábitat.

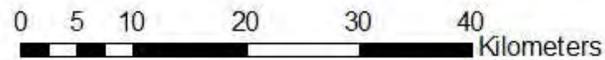
Cuenca Alta  
1996



Funcion Soporte



Flores Frutos y Semillas

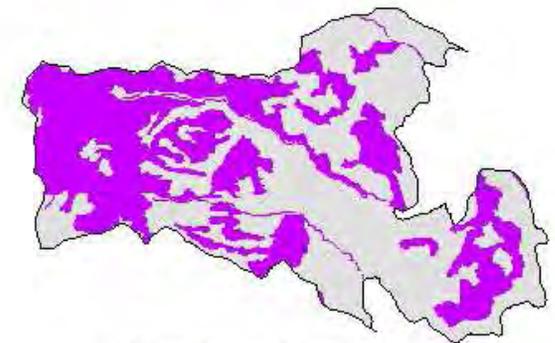


**Cobertura**

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
-  GLACIAR DE ALTA MONTANA
-  PASTIZAL
-  PRADERA ALTA MONTANA
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  URBANO

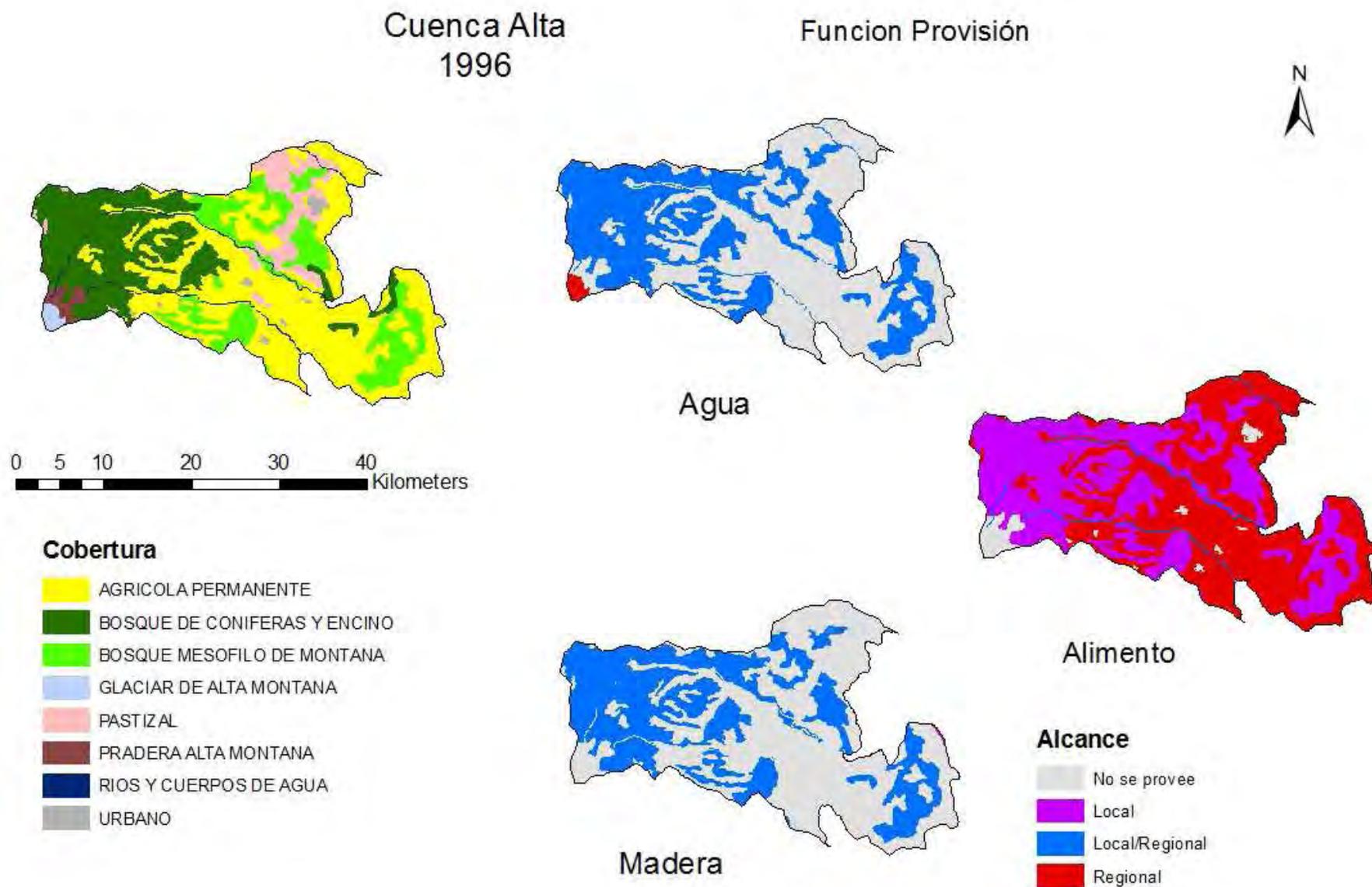
**Alcance**

-  No se provee
-  Local



Biodiversidad

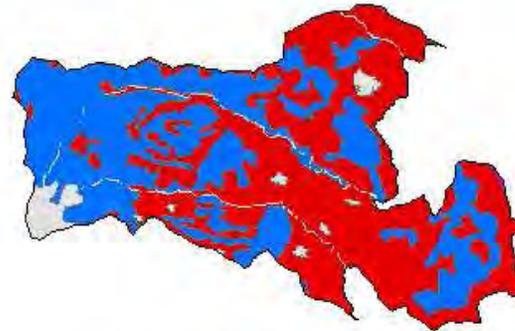
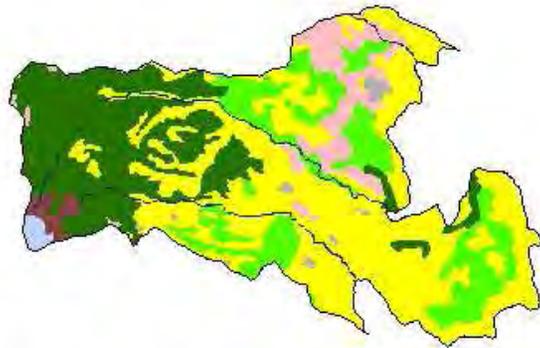
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Alta para 1996. Flores Frutos y Semillas; Biodiversidad.



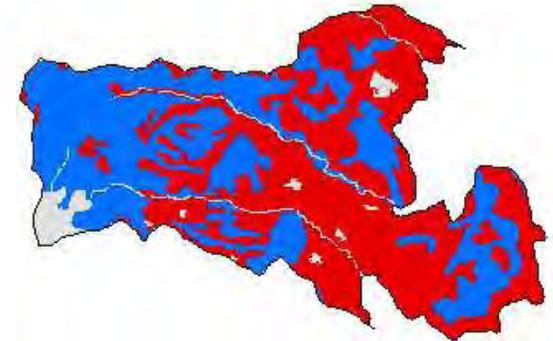
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Alta para 1996. Agua, Alimento y Madera.

### Cuenca Alta 1996

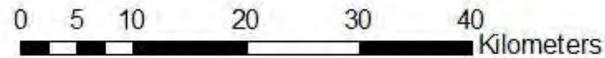
### Funcion Provisión



### Combustible



### Fibras y Maderas otros usos



### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
-  GLACIAR DE ALTA MONTANA
-  PASTIZAL
-  PRADERA ALTA MONTANA
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  URBANO



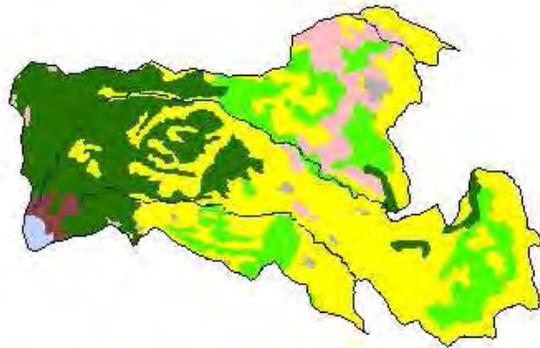
### Productos Químicos

### Alcance

-  No se provee
-  Local
-  Local/Regional
-  Regional

Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Alta para 1996. Combustible, Fibras y Maderas otros usos y Productos Químicos.

### Cuenca Alta 1996

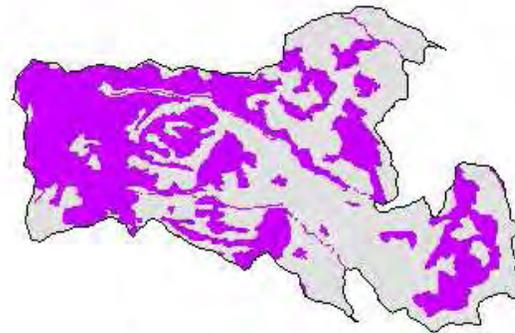


0 5 10 20 30 40 Kilometers

#### Cobertura

- AGRICOLA PERMANENTE
- BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
- BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
- GLACIAR DE ALTA MONTANA
- PASTIZAL
- PRADERA ALTA MONTANA
- RIOS Y CUERPOS DE AGUA
- URBANO

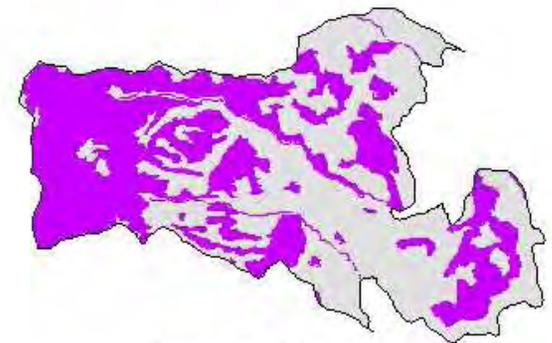
### Funcion Cultural



#### Espirituales

#### Alcance

- No se provee
- Local



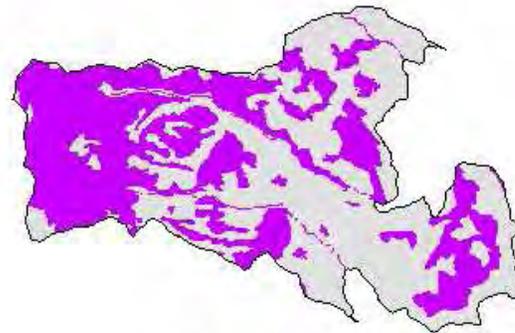
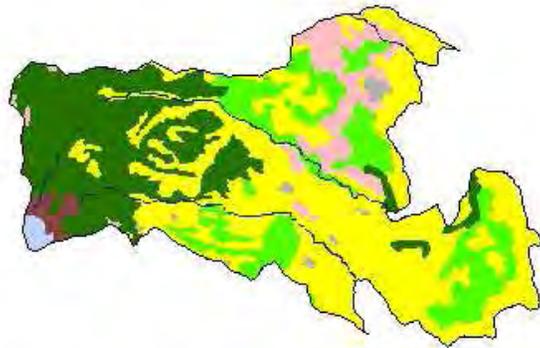
#### Recreación



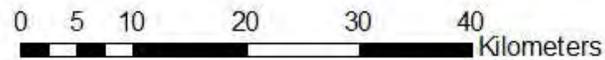
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función Cultural en la Cuenca Alta para 1996. Espirituales y Recreación.

### Cuenca Alta 1996

### Funcion Cultural



### Educación

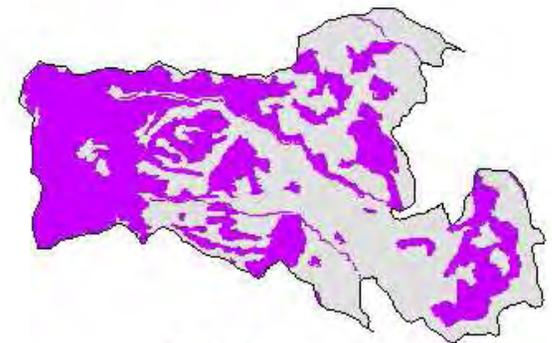


### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  BOSQUE MESOFILO DE MONTANA
-  GLACIAR DE ALTA MONTANA
-  PASTIZAL
-  PRADERA ALTA MONTANA
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  URBANO

### Alcance

-  No se provee
-  Local



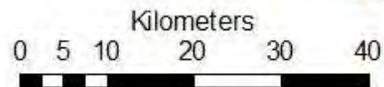
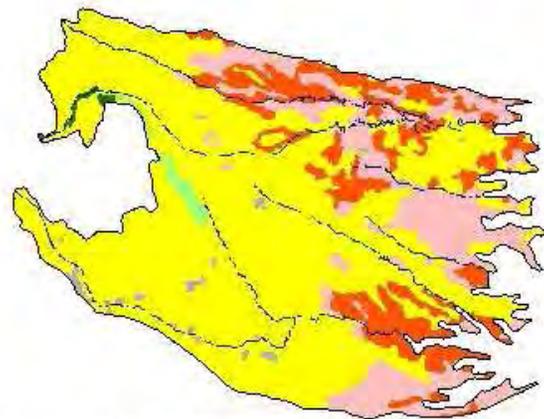
### Estéticos

Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función Cultural en la Cuenca Alta para 1996. Educación y Estético.

“CUENCA MEDIA”

1996

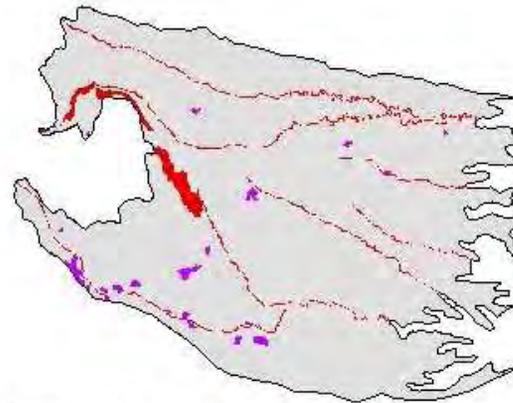
## Cuenca Media 1996



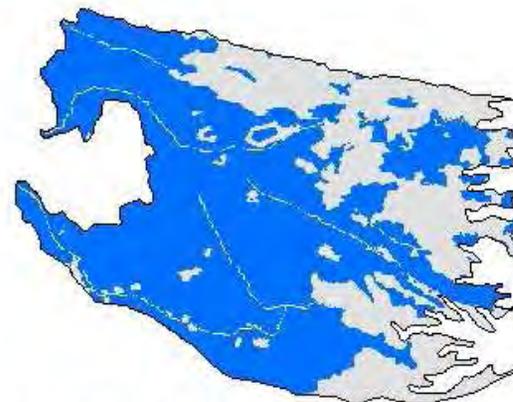
### Cobertura

- AGRICOLA PERMANENTE
- BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
- BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
- PASTIZAL
- RIOS Y CUERPOS DE AGUA
- URBANO
- VEGETACION SECUNDARIA

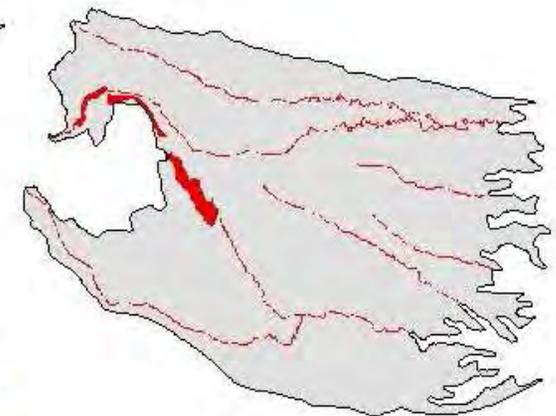
## Función Regulación



### Regulación Climática



### Regulación Disturbios



### Regulación Hídrica

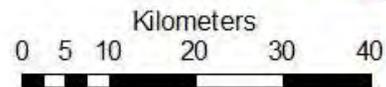
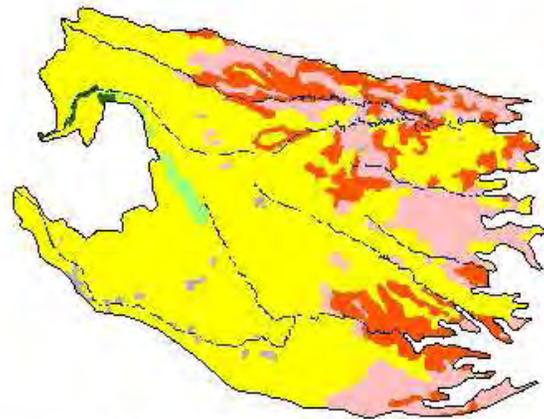
### Alcance

- No se provee
- Local
- Local/Regional
- Regional



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Regulación en la Cuenca Media para 1996. Regulación Climática, Hídrica y a Disturbios Naturales.

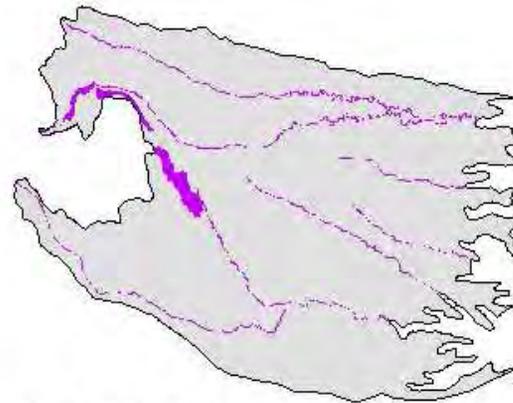
## Cuenca Media 1996



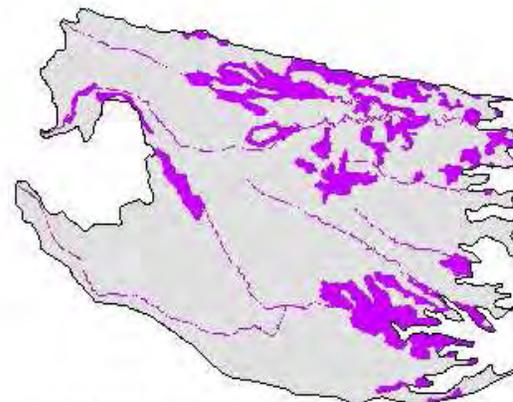
### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  PASTIZAL
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  URBANO
-  VEGETACION SECUNDARIA

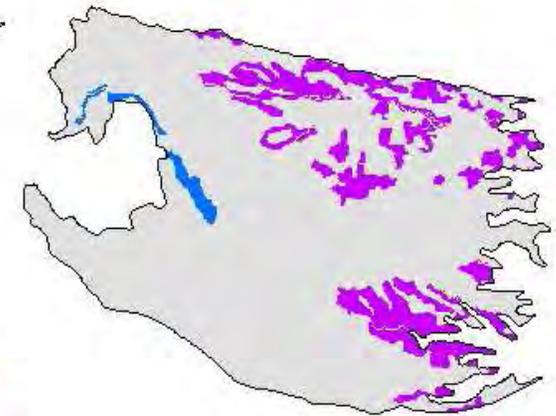
## Función Soporte



## Ciclo de Nutrientes



## Hábitat



## Formación de Suelo

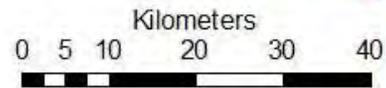
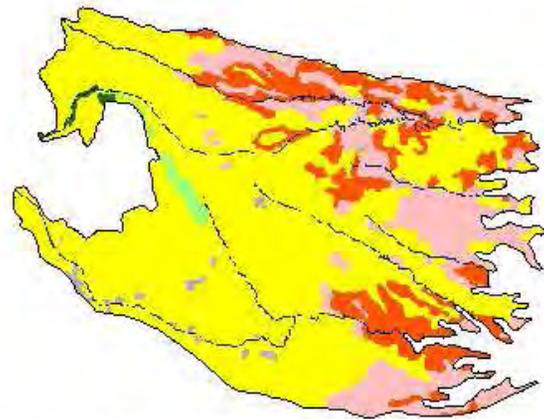
### Alcance

-  No se provee
-  Local
-  Local/Regional



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Media para 1996. Ciclo de Nutrientes, Formación de Suelo y Hábitat.

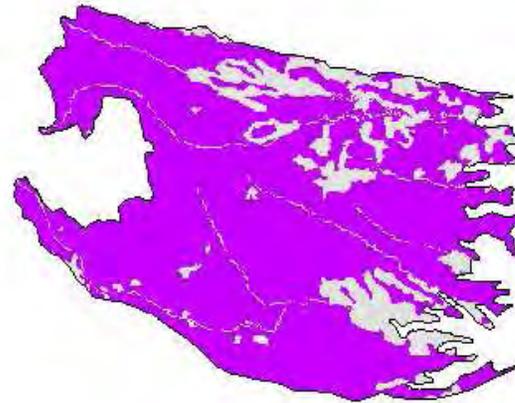
### Cuenca Media 1996



#### Cobertura

-  AGRICOLA PERMANENTE
-  BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
-  BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
-  PASTIZAL
-  RIOS Y CUERPOS DE AGUA
-  URBANO
-  VEGETACION SECUNDARIA

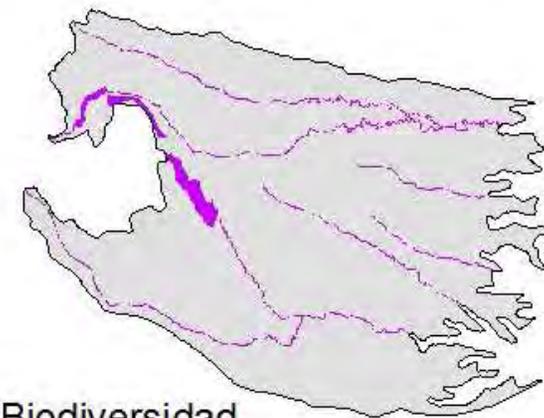
### Función Soporte



### Flores Frutos y Semillas

#### Alcance

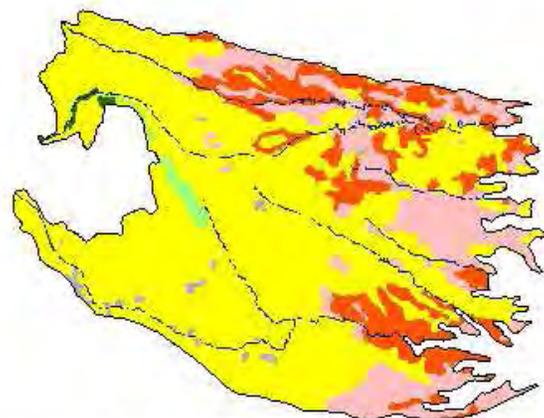
-  No se provee
-  Local



### Biodiversidad

Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Media para 1996. Flores Frutos y Semillas; Biodiversidad.

## Cuenca Media 1996

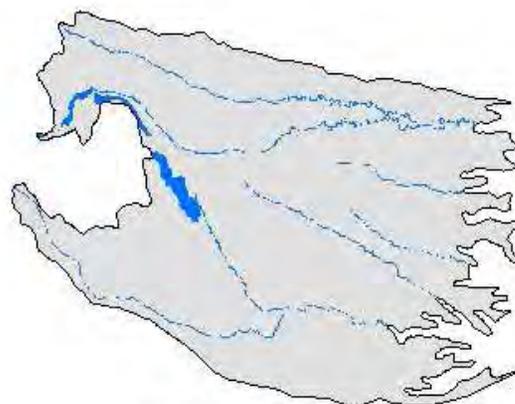


Kilometers  
0 5 10 20 30 40

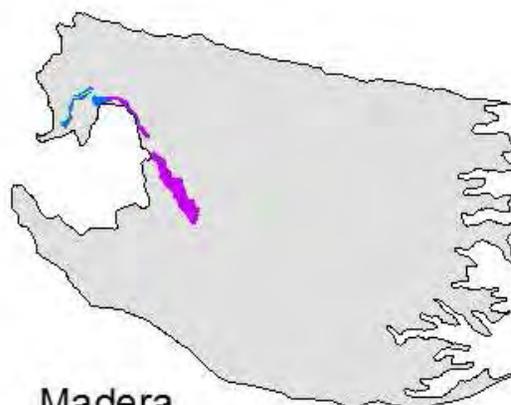
### Cobertura

- AGRICOLA PERMANENTE
- BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
- BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
- PASTIZAL
- RIOS Y CUERPOS DE AGUA
- URBANO
- VEGETACION SECUNDARIA

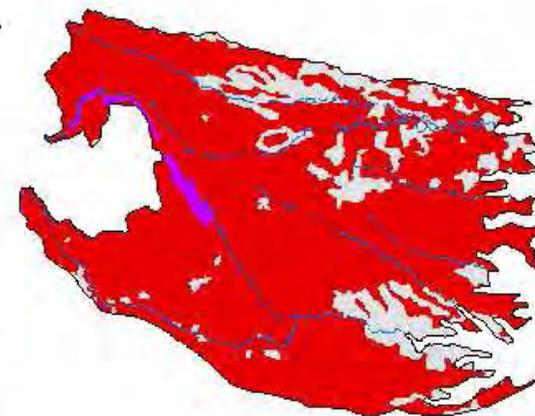
## Función Provisión



Agua



Madera



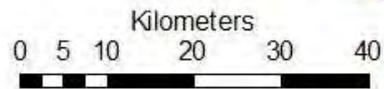
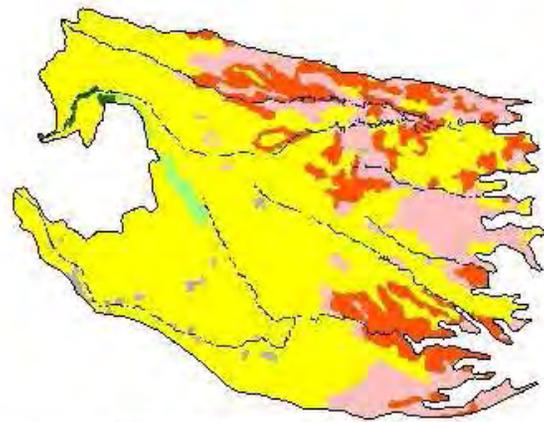
Alimento

### Alcance

- No se provee
- Local
- Local/Regional
- Regional

Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Media para 1996. Agua, Alimento y Madera.

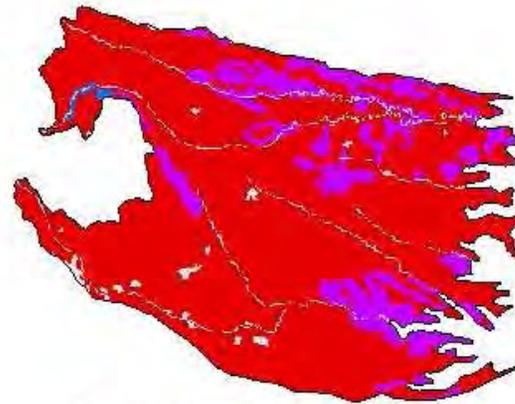
### Cuenca Media 1996



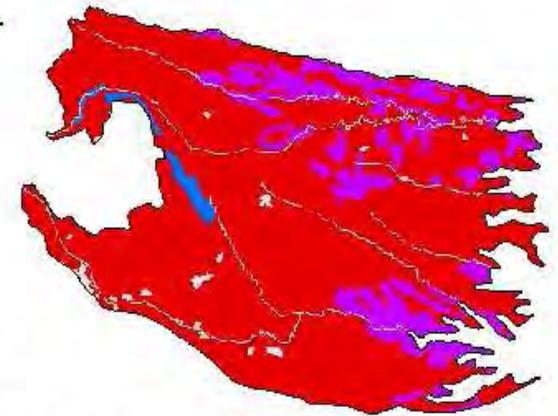
#### Cobertura

- AGRICOLA PERMANENTE
- BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
- BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
- PASTIZAL
- RIOS Y CUERPOS DE AGUA
- URBANO
- VEGETACION SECUNDARIA

### Función Provisión



#### Combustible



#### Fibras y Maderas otros usos



#### Productos Químicos

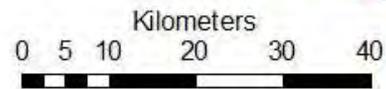
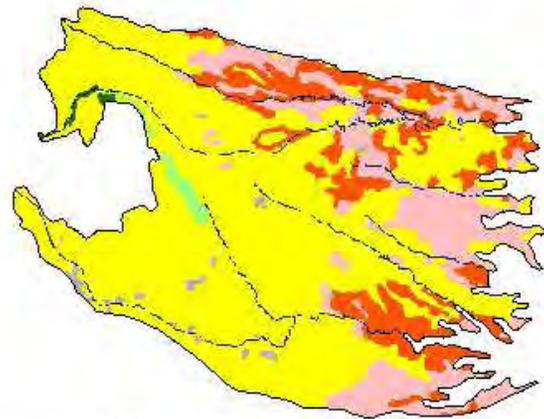
#### Alcance

- No se provee
- Local
- Local/Regional
- Regional



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Media para 1996. Combustible, Fibras y Maderas otros usos y Productos Químicos.

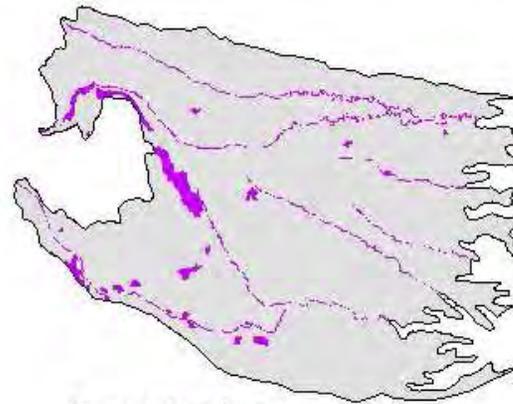
### Cuenca Media 1996



#### Cobertura

- AGRICOLA PERMANENTE
- BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
- BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
- PASTIZAL
- RIOS Y CUERPOS DE AGUA
- URBANO
- VEGETACION SECUNDARIA

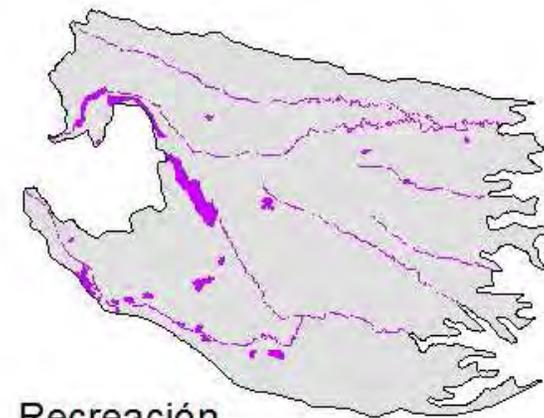
### Función Cultural



Espirituales

#### Alcance

- No se provee
- Local

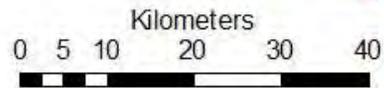
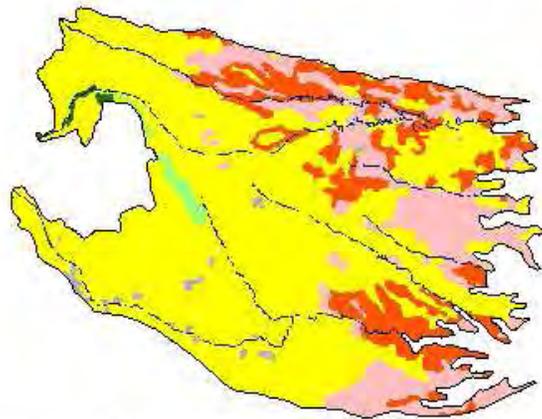


Recreación



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función Cultural en la Cuenca Media para 1996. Espirituales y Recreación.

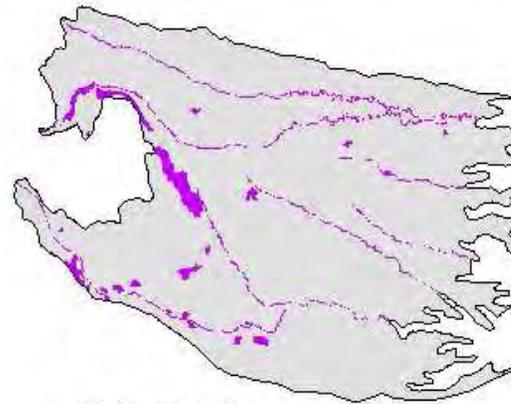
### Cuenca Media 1996



#### Cobertura

- AGRICOLA PERMANENTE
- BOSQUE TROPICAL PERENNIFOLIO
- BOSQUE DE CONIFERAS Y ENCINO
- PASTIZAL
- RIOS Y CUERPOS DE AGUA
- URBANO
- VEGETACION SECUNDARIA

### Función Cultural

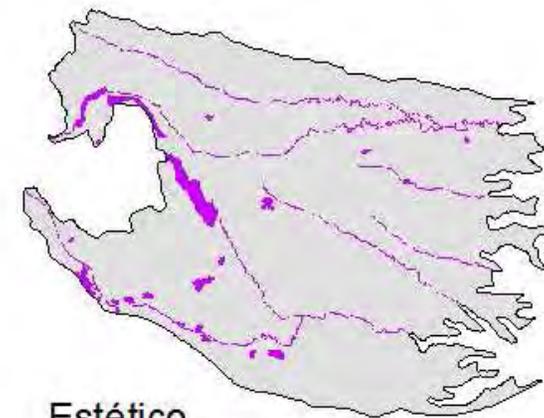


#### Educación



#### Alcance

- No se provee
- Local

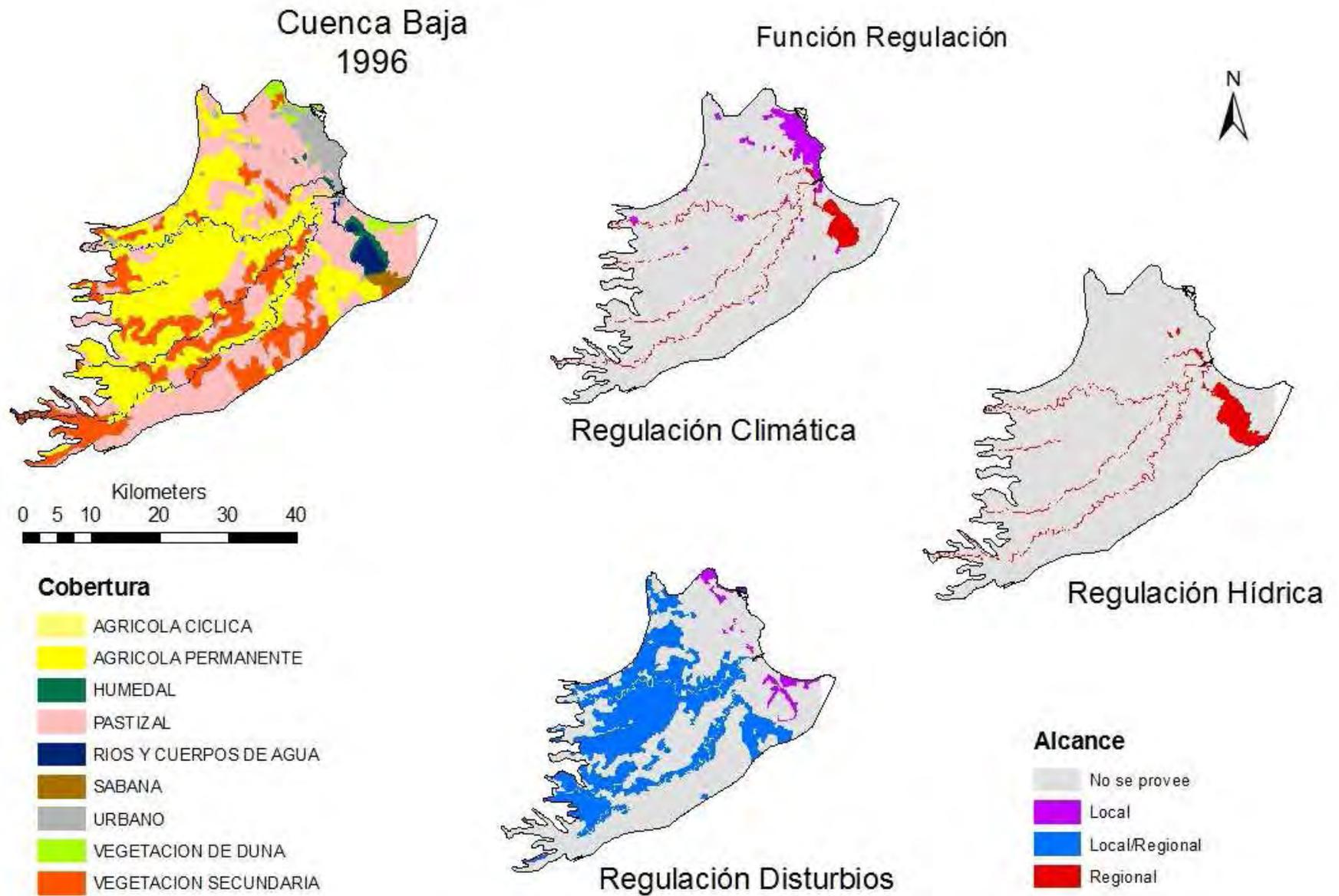


#### Estético

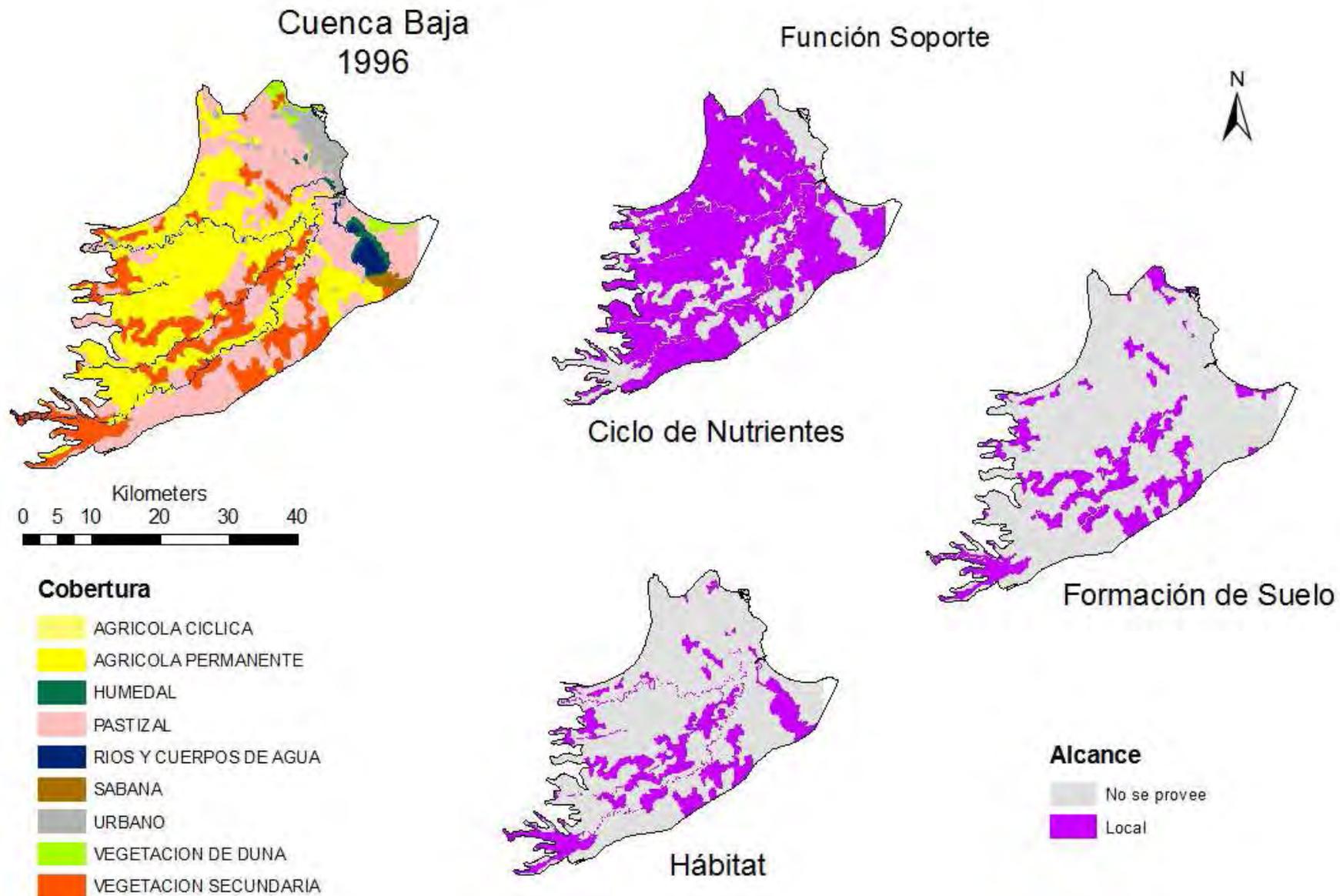
Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función Cultural en la Cuenca Media para 1996. Educación y Estético.

“CUENCA BAJA”

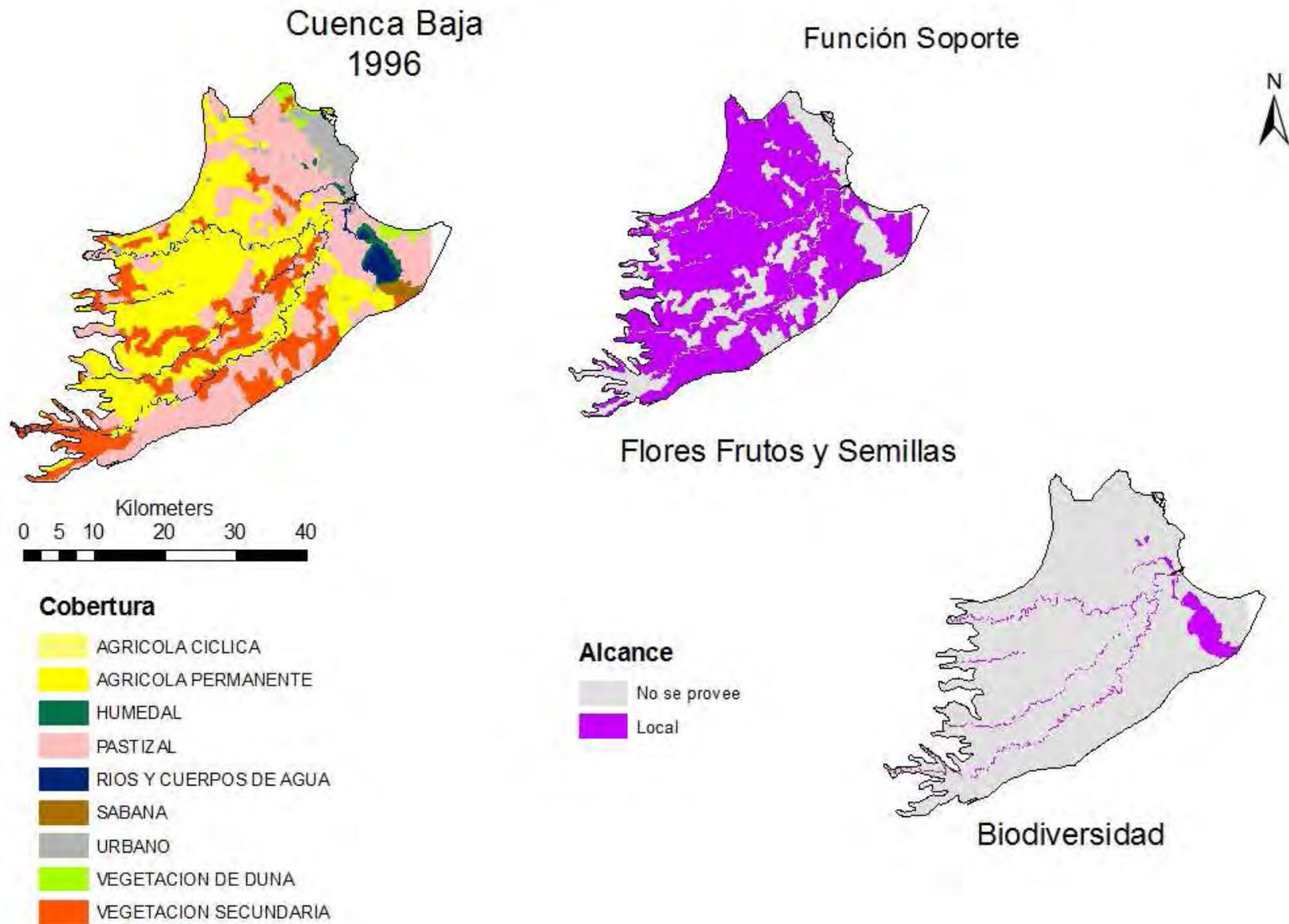
1996



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Regulación en la Cuenca Baja para 1996. Regulación Climática, Hídrica y a Disturbios Naturales.



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Provisión en la Cuenca Baja para 1996. Ciclo de Nutrientes, Formación de Suelo y Hábitat.



Cobertura de Vegetación y Servicios Ambientales asociados a la función de Soporte en la Cuenca Baja para 1996. Flores Frutos y Semillas; Biodiversidad.