



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
FACULTAD DE CIENCIAS

**"Procesos locales de deforestación y  
recuperación de bosques: retos para la  
conservación en el centro de Veracruz"**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE  
**DOCTORA EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)**

P R E S E N T A  
**PATRICIA GEREZ FERNÁNDEZ**

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS:  
Dra. Rosa Irma Trejo Vázquez, Instituto de Geografía, UNAM

COMITÉ TUTOR:  
Dr. Omar Raúl Masera Cerutti, CIEco, UNAM  
Dr. Eckart Boege Schmidt Posgrado en Ciencias Biológicas

MÉXICO, D.F.

Octubre, 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias, UNAM, por la formación científica que obtuve en mi paso por esta institución. Especialmente, reconozco que gracias a la flexibilidad administrativa pude concluir este largo proceso. Al Dr. Juan José Morrone Lupi, responsable ante el Comité de Ciencias Biológicas del posgrado, por su apoyo para facilitar algunos pasos administrativos. Agradezco a CONACYT por la beca que me otorgó durante la etapa de cursos en los primeros años del doctorado.

Al Dr. Eckart Boege Schmidt y al Dr. Omar Masera Cerutti, miembros de mi Comité Tutorial, quienes me acompañaron en este largo caminar desde la primera propuesta de tesis. A la Dra. Irma Trejo Vázquez, bajo su dirección pude resolver mis atorones y llegar finalmente a buen puerto; gracias por tu paciencia y claridad para acotar mis desvaríos.

La fase de campo inicial de este trabajo se realizó con el proyecto de investigación coordinado por la Dra. Luisa Paré, con apoyo del Fondo Mixto CONACYT-Veracruz, (Proyecto 037696), y de la Fundación Overbrook.

Estoy muy agradecida al INBIOTECA y a la Universidad Veracruzana porque sin su apoyo no hubiera concluido esta fase de mi desarrollo profesional y personal. La elaboración del documento final fue posible gracias a una Beca para redacción de tesis de SEP-PROMEP, a través de la Universidad Veracruzana y del Departamento de Superación Académica.

Los comentarios a la tesis de Dra. Elena Lazos, Dr. Gerardo Bocco y Dr. Víctor Sánchez Cordero, miembros del Comité Sinodal, me ayudaron a aclarar algunos aspectos del documento y a enriquecerlo con nuevas lecturas.

## **AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL**

A mis colegas del INBIOTECA-UV por su apoyo moral y paciencia. En especial a Rosario Pineda y a Lázaro Sánchez, gracias por invitarme a formar parte de este grupo académico. A Rogelio Lara González y Rafael Ortega Solís por acompañarme en las salidas de campo.

A Tajin Fuentes, a Georgina Vidriales, y otros miembros del equipo SENDAS, a Isabel García-Coll y a Silvia Purata, porque cada quien desde su trinchera aportó su parte para diseñar el proyecto de Servicios Ambientales del Pixquiac con la meta de involucrar a los habitantes locales en el buen manejo de sus bosques. A Miguel Ángel Muñiz Castro de quien aprendí mucho sobre las especies del bosque mesófilo y la diversidad de esta hermosa cuenca. Las incursiones de trabajo de campo extremo que compartí con Tajin y Miguel, entre cañones y barrancas del Pixquiac, son inolvidables. En especial, colaborar con Luisa Paré ha

sido para mí una experiencia enriquecedora, su energía, su generosidad humana y académica, y su compromiso por los habitantes rurales, son una guía.

A Guadalupe Williams-Linera por su paciencia ante mis constantes dudas durante el proceso de esta tesis y por el aliento que siempre me dio para continuar. A Tarin Toledo Aceves por las salidas de campo que compartimos para muestrear en esos hermosos bosques mesófilos de las barrancas. Al Robert Manson por aportar información sobre los predios cafetaleros de esta zona.

Agradezco la confianza de Cutberto Martínez y de Roberto Luna, así como a los habitantes de El Zapotal, El Encinal, Palo Blanco, San Antonio y Cinco Palos; algunos fueron nuestros guías durante los recorridos y muestreos, otros compartieron sus experiencias e historias familiares, y nos alimentaron y alojaron en sus casas. Héctor Narave, José Antonio González Azuara, Raúl Álvarez Ocegüera y Héctor Hernández compartieron sus experiencias como gestores de campo del PRODICOP.

Agradezco a Edward Ellis por compartir su experiencia y ayudarme en varias etapas del análisis de mis datos. A sus estudiantes, José Arturo Romero e Irving Hernández Gómez, con ellos aprendí varios procedimientos del SIG indispensables para mi tesis. A Alejandro Castro-Luna, colega del INBIOTECA, porque sus *tips* en estadística me sacaron de un atorón. Gracias a Martha Patricia Lozada Ronquillo y a Eliel Alfonso Heras Lozada por capacitarme en el uso del SIG y ayudarme en la elaboración de los mapas. Finalmente a Gina por prestarme sus figuras, a Yausi Mora por diseñar la figura de la línea de tiempo.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis queridos Carlos y Fátima, que soportaron (y sufrieron) el largo proceso de elaboración de esta tesis a costa de tiempos para la diversión. A mi mamá, mi papá†, mis hermanas y mis hermanos, siempre serán la base de mi refugio.

“Comprender proviene de la atención vigilante al mundo sensorial, de la fidelidad al espíritu, y de la manera en que nuestro mundo personal interactúa con el mundo explicativo de la ciencia.”

I. Fiske, 2001.

“Many problems conceptualized as ‘global problems’ are the cumulative result of actions taken by individuals, families, small groups, private firms, and local, regional, and national governments.”

E. Ostrom, 2010

---

# INDICE

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Resumen .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>Abstract.....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA TESIS.....</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1 INTRODUCCIÓN .....  | 4         |
| 1.2 SOBRE LOS PROCESOS DE DEFORESTACIÓN, RECUPERACIÓN Y DEGRADACIÓN..                                   | 7         |
| 1.3 ESTUDIO DE CASO: SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, VERACRUZ .....   | 10        |
| 1.3.2. Características ambientales de la zona de estudio .....  | 10        |
| 1.3.2. Características sociales de la zona de estudio .....   | 15        |
| 1.4 PROBLEMÁTICA SOCIO-AMBIENTAL DE ESTA SUBCUENCA .....  | 20        |
| 1.5 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....  | 23        |
| 1.6 OBJETIVOS DE LA TESIS.....  | 23        |
| 1.3.3. Objetivo general .....   | 23        |
| 1.3.4. Objetivos particulares.....  | 23        |
| 1.7 BIBLIOGRAFÍA CITADA .....   | 24        |
| <b>CAPÍTULO 2. LOS BOSQUES DE VERACRUZ EN EL CONTEXTO DE UNA ESTRATEGIA<br/>ESTATAL REDD+ .....</b>     | <b>29</b> |
| 2.1. INTRODUCCIÓN .....   | 31        |
| 2.2. EL CONCEPTO REDD.....  | 32        |
| 2.3. LA ESTRATEGIA REDD+ EN LAS CONDICIONES REGIONALES Y LOCALES DE<br>LOS ECOSISTEMAS FORESTALES.....  | 33        |
| 2.4. DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN EN LAS ZONAS FORESTALES EN MÉXICO ....                                 | 34        |
| 2.5. LOS BOSQUES DE VERACRUZ: CONDICIONES DE VULNERABILIDAD FRENTE<br>AL CAMBIO CLIMÁTICO .....         | 36        |
| 2.6. LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE VERACRUZ Y SU SUSCEPTIBILIDAD<br>ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO.....   | 44        |
| 2.7. UNA ESTRATEGIA PARA EL MONITOREO DE LOS BOSQUES Y PLANTACIONES<br>FORESTALES .....                 | 45        |
| 2.7.1. Vinculación entre sectores: base para una Estrategia REDD+ en Veracruz ....                      | 46        |
| 2.8. CONCLUSIONES .....   | 47        |
| 2.9. BIBLIOGRAFÍA CITADA .....  | 47        |
| <b>CAPITULO 3. CONFORMACIÓN DEL PAISAJE SOCIO-AMBIENTAL DE LA SUBCUENCA<br/>DEL RÍO PIXQUIAC.....</b>   | <b>51</b> |
| 3.1 PRESENTACIÓN .....  | 51        |
| 3.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL POBLAMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO ....                                  | 53        |
| 3.3 REPARTO AGRARIO, EXTRACCIÓN FORESTAL Y POBLAMIENTO DE LA<br>CUENCA: 1920-1950.....                  | 56        |
| 3.4 VINCULACIÓN REGIONAL CON LA ECONOMÍA NACIONAL: 1950-1970.....                                       | 60        |
| 3.5 EFECTOS DE LOS MERCADOS GLOBALIZADOS Y DE LA CRISIS ECONÓMICA:<br>1970-1995.....                    | 62        |
| 3.6 CRISIS AGROPECUARIA, EXPANSIÓN DE LAS ZONAS URBANAS Y PROGRAMAS<br>DE CONSERVACIÓN: 1995-2004 ..... | 68        |
| 3.7 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....  | 71        |

|  |  |            |
|--|--|------------|
| 3.8  | BIBLIOGRAFÍA CITADA .....  | 73         |
| <b>CAPÍTULO 4. TENDENCIAS EN LA COBERTURA ARBOLADA Y USO DEL SUELO, Y FACTORES DE CAMBIO EN LA CUENCA DEL PIXQUIAC (1975-2004) .....</b> |  | <b>76</b>  |
| 4.1.   | INTRODUCCIÓN .....   | 76         |
| 4.2.   | MÉTODOS.....   | 78         |
| 4.2.1.   | Elaboración de los mapas de cobertura y uso del suelo .....  | 78         |
| 4.2.2.   | Reclasificación de los mapas en categorías agregadas de Cobertura y Uso del Suelo (CUS).....                         | 81         |
| 4.2.3.   | Verificación de campo.....   | 83         |
| 4.2.4.   | Análisis de confiabilidad del mapa 2004 para estimar la tasa de cambio.....  | 85         |
| 4.2.5.   | Estimación de la tasa anual de cambio 1975-1995-2004 .....   | 86         |
| 4.2.6.   | Generación de los mapas de cambio .....  | 86         |
| 4.2.7.   | Regresión logística para identificar factores de cambio.....   | 88         |
| 4.3.   | RESULTADOS .....   | 90         |
| 4.3.1.   | Sobre la confiabilidad del mapa 2004 .....   | 90         |
| 4.3.2.   | Mapas de cobertura y uso del suelo (1975-1995-2004) y tasas de cambio....  | 91         |
| 4.3.3.   | Procesos dominantes de cambio .....  | 98         |
| 4.3.4.   | Distribución espacial de las áreas de cambio.....  | 104        |
| 4.3.5.   | Factores que influyen en los cambios de cobertura y uso del suelo.....   | 109        |
| 4.4.   | DISCUSIÓN .....  | 120        |
| 4.4.1.   | Sobre los mapas y la estratificación de la zona de estudio .....   | 120        |
| 4.4.2.   | Sobre los procesos de cambio detectados .....  | 121        |
| 4.4.3.   | Sobre los factores que impulsa la estabilidad de la cobertura arbolada .....   | 122        |
| 4.4.4.   | Sobre los factores que impulsan la recuperación de la cobertura arbolada .....                                       | 123        |
| 4.4.5.   | Sobre los factores que impulsan la desforestación y degradación.....   | 125        |
| 4.4.6.   | Sobre la influencia de la propiedad de la tierra en los procesos de cambio. ....                                     | 127        |
| 4.5.   | BIBLIOGRAFÍA CITADA .....  | 128        |
| <b>CAPITULO 5. DISCUSION GENERAL Y CONCLUSIONES .....</b>  |  | <b>132</b> |
| 5.1.   | SOBRE EL NIVEL DEL ANÁLISIS .....  | 133        |
| 5.2.   | SOBRE LOS PROCESOS DE CAMBIO IDENTIFICADOS .....   | 134        |
| 5.3.   | COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS SOBRE RECUPERACIÓN, ESTABILIDAD, DEGRADACIÓN Y PÉRDIDA DE TIERRAS AGROPECUARIAS ..... | 135        |
| 5.4.   | SOBRE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO.....   | 138        |
| 5.5.   | SOBRE LOS ESCENARIOS FUTUROS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA.....                                      | 139        |
| 5.6.   | IMPLICACIÓN DE ESTOS PROCESOS: ¿ESTAMOS ANTE UNA TRANSICIÓN FORESTAL? .....  | 142        |
| 5.7.   | CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES.....  | 143        |
| 5.8.   | BIBLIOGRAFÍA CITADA .....  | 146        |
| <b>ANEXOS .....</b>  |  | <b>149</b> |
| ANEXO 1. DEMOGRAFÍA DE LAS LOCALIDADES UBICADAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC (1960-2005).....  |  | 150        |
| ANEXO 2: CATEGORÍAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO UTILIZADAS EN LOS MAPAS DE 1975, 1995 Y 2004 .....                                      |  | 155        |
| ANEXO 3: EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL MAPA 2004, PARA DOS CLASIFICACIONES.....   |  | 161        |

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 1.1 CAMBIOS EN COBERTURA DE VEGETACIÓN EN MÉXICO 1980-2002.....   | 6   |
| FIGURA 1.2. UBICACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, EN VERACRUZ Y CUENCA ALTA DEL RÍO LA ANTIGUA.....  | 11  |
| FIGURA 1.3. ZONIFICACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.....   | 12  |
| FIGURA 1.4. PROPORCIÓN DE LA SUBCUENCA DE ACUERDO A LA ZONIFICACIÓN HIDROLÓGICO-AMBIENTAL.....   | 12  |
| FIGURA 1.5 PERFIL TOPOGRÁFICO CON CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS, CLIMÁTICAS Y EDÁFICAS, SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.....   | 13  |
| FIGURA 1.7. PROPORCIÓN DE LA SUBCUENCA DE ACUERDO AL TIPO DE RÉGIMEN DE PROPIEDAD DE LA TIERRA.....  | 15  |
| FIGURA 1.8. TOPOGRAFÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, UBICACIÓN DE POBLADOS Y TENENCIA DE LA TIERRA.....  | 16  |
| FIGURA 1.9. CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LOS MUNICIPIOS DONDE SE UBICA LA ZONA DE ESTUDIO.....   | 19  |
| FIGURA 1.10. CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LA CIUDAD DE XALAPA Y LOCALIDADES UBICADAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.....   | 19  |
| FIGURA 1.11. TASA DE CRECIMIENTO ANUAL (1995-2005) DE LAS LOCALIDADES UBICADAS DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.....  | 20  |
| FIGURA 3. 1. EVENTOS LOCALES QUE GENERARON CAMBIOS EN EL PAISAJE DEL COFRE DE PEROTE.....  | 55  |
| FIGURA 3. 2. FLUCTUACIÓN EN LOS PRECIOS DE LA PAPA A NIVEL NACIONAL Y EN LA SUPERFICIE COSECHADA EN EL COFRE DE PEROTE.....  | 63  |
| FIGURA 3. 3. FLUCTUACIÓN EN LOS PRECIOS INTERNACIONALES Y EN LA PRODUCCIÓN NACIONAL DEL CAFÉ, 1990-2008.....   | 65  |
| FIGURA 4. 1. ESQUEMA DEL PROCESO DE ANÁLISIS GEOGRÁFICO DEL CCUS.....  | 80  |
| FIGURA 4. 2. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE VERIFICACIÓN DE CAMPO PARA EL MAPA 2004.....   | 84  |
| FIGURA 4. 3. MAPA 1 - COBERTURA ARBOLADA Y USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, 2004.....   | 93  |
| FIGURA 4. 4. MAPA 2 - COBERTURA ARBOLADA Y USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, 1995.....   | 94  |
| FIGURA 4. 5. MAPA 3 - COBERTURA ARBOLADA Y USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, 1975.....   | 95  |
| FIGURA 4. 6. CAMBIOS EN LA PROPORCIÓN OCUPADA POR TIPO DE COBERTURA PARA CADA AÑO ANALIZADO.....   | 96  |
| FIGURA 4. 7. CAMBIOS EN SUPERFICIE POR TIPO DE COBERTURA, 1975-1995-2004.....  | 97  |
| FIGURA 4. 8. TASA ANUAL DE CAMBIO PARA LOS TRES PERIODOS ANALIZADOS, 1975-1995-2004.....   | 97  |
| FIGURA 4. 9. MAPAS DE CAMBIO PARA LOS PERIODOS 1975-1995, 1995-2004 Y 1975-2004.....   | 99  |
| FIGURA 4. 10. FLUJO DE LOS CAMBIOS Y PROCESOS DOMINANTES DURANTE 1975-1995 EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.....   | 101 |
| FIGURA 4. 11. FLUJO DE LOS CAMBIOS Y PROCESOS DOMINANTES DURANTE 1995-2004 EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.....   | 102 |
| FIGURA 4. 12. FLUJO DE LOS CAMBIOS Y PROCESOS DOMINANTES DURANTE 1975-2004 EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.....   | 103 |
| FIGURA 4. 13. TASA ANUAL DE CAMBIO POR ZONA Y CATEGORÍA CUS, PARA EL PERIODO COMPLETO (29 AÑOS).....   | 105 |
| FIGURA 4. 14. TASA ANUAL DE CAMBIO PARA LAS CUATRO CATEGORÍAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO, EN LAS TRES ZONAS, PERIODOS 1975-1995 Y 1995-2004.....                 | 106 |
| FIGURA 4. 15. TASA ANUAL DE CAMBIO (1975-1995 Y 1995-2004) PARA CADA TIPO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO, EN RELACIÓN AL RÉGIMEN DE TENENCIA DE LA TIERRA.....       | 108 |
| FIGURA 4. 16. PROPORCIÓN DE LA SUPERFICIE EJIDAL Y PRIVADA CON LOS PROCESOS DE CAMBIO IDENTIFICADOS: COBERTURA ESTABLE, DEFORESTACIÓN Y RECUPERACIÓN FORESTAL..... | 108 |

## LISTA DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| CUADRO 1. 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS EJIDOS CON TERRITORIO DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC..... | 17 |
| CUADRO 1. 2. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PARCELAMIENTO EJIDAL EN LA ZONA DE ESTUDIO.....        | 18 |
| CUADRO 2. 1. TASAS DE DETERIORO DE LOS RECURSOS FORESTALES EN MÉXICO.....                              | 35 |



|   |     |
|---|-----|
| CUADRO 2. 2. CAMBIOS EN COBERTURA DEL USO DEL SUELO EN VERACRUZ 1994-2000 .....   | 37  |
| CUADRO 2. 3. COBERTURA FORESTAL EN LAS UNIDADES REGIONALES DE MANEJO FORESTAL DEL ESTADO. ....  | 38  |
| CUADRO 2. 4. TAMAÑO DE LOS EJIDOS Y COMUNIDADES AGRARIAS EN VERACRUZ .....  | 40  |
| CUADRO 2. 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS NÚCLEOS AGRARIOS DE VERACRUZ .....  | 40  |
| CUADRO 2. 6. INDICADORES GENERALES DE LA PRODUCCIÓN FORESTAL DE VERACRUZ 1993-2008 .....  | 42  |
| CUADRO 2. 7. CLASIFICACIÓN DE MUNICIPIOS DE ACUERDO A SU PRIORIDAD POR DÉFICIT EN LA RELACIÓN OFERTA-DEMANDA DE LEÑA ....   | 43  |
| CUADRO 2. 8. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL ESTADO DE VERACRUZ. ....  | 45  |
| CUADRO 3. 1. CAMBIO EN LAS PROPIEDADES Y PROCESO DE FRAGMENTACIÓN EN LA TENENCIA DE LA TIERRA EN LA ZONA DE ESTUDIO. ....   | 58  |
| CUADRO 3. 2. SÍNTESIS DE LOS FACTORES SOCIALES, ECONÓMICOS Y POLÍTICOS QUE HAN INFLUIDO EN EL USO DEL SUELO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC. ....                | 72  |
| CUADRO 4. 1. FUENTES UTILIZADAS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO. ....   | 78  |
| CUADRO 4. 2. RECLASIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO PARA EL ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DEL SUELO. ....   | 81  |
| CUADRO 4. 3. NÚMERO DE PUNTOS DE VERIFICACIÓN DE CAMPO CORRESPONDIENTES A LAS CATEGORÍAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO. ....                                       | 84  |
| CUADRO 4. 4. DOS NIVELES DE AGREGACIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE COBERTURA Y USO DEL SUELO, UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DEL MAPA 2004. ....             | 85  |
| CUADRO 4. 5. COMBINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE CUS Y RECLASIFICACIÓN EN EL SIG, PARA IDENTIFICAR EL TIPO DE CAMBIO Y PROCESO DOMINANTE. ....                       | 87  |
| CUADRO 4. 6. DEFINICIÓN DE LOS PROCESOS DE CAMBIO DOMINANTES IDENTIFICADOS EN LA CUENCA DEL RÍO PIXQUIAC .....  | 87  |
| CUADRO 4. 7. ESQUEMA DE LA MATRIZ DE ESTRATOS UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS DE REGRESIÓN LOGÍSTICA COMO VARIABLE DEPENDIENTE. ....                                   | 88  |
| CUADRO 4. 8. VARIABLES INDEPENDIENTES UTILIZADAS EN LA REGRESIÓN LOGÍSTICA .....  | 89  |
| CUADRO 4. 9. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DEL MAPA 2004 (CUS – 4): MATRIZ DE ERROR Y ESTADÍSTICAS KAPPA .....  | 91  |
| CUADRO 4. 10. SUPERFICIE Y PORCENTAJE DE COBERTURA COMPARATIVA 1975, 1995 Y 2004, EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC. ....  | 92  |
| CUADRO 4. 11. CAMBIOS CUS, POR SUPERFICIE Y TASA ANUAL DE CAMBIO EN EL PERIODO ANALIZADO. ....  | 96  |
| CUADRO 4. 12. RESUMEN DE LAS SUPERFICIES DEFORESTADAS, RECUPERADAS, CONSERVADAS, Y SIN CAMBIOS (ESTABLE) PARA LOS PERIODOS ANALIZADOS. ....                       | 98  |
| CUADRO 4. 13. TASA ANUAL DE CAMBIO POR CATEGORÍA CUS, DE ACUERDO A LA ZONIFICACIÓN DE LA SUBCUENCA. ....  | 105 |
| CUADRO 4. 14. TASA ANUAL DE CAMBIO POR CATEGORÍA CUS, DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PROPIEDAD DE LA TIERRA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC. ....                      | 107 |
| CUADRO 4. 15. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA RECUPERACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA ALTA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO .....  | 111 |
| CUADRO 4. 16. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA DEFORESTACIÓN, ZONA ALTA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO .....                          | 112 |
| CUADRO 4. 17. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA ALTA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO .....  | 113 |
| CUADRO 4. 18. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA RECUPERACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA MEDIA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO ..... | 115 |
| CUADRO 4. 19. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA DEFORESTACIÓN, ZONA MEDIA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO .....                         | 116 |
| CUADRO 4. 20. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA MEDIA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO ..... | 117 |
| CUADRO 4. 21. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA RECUPERACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA MEDIA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO ..... | 118 |
| CUADRO 4. 22. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA MEDIA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO ..... | 120 |
| CUADRO 5. 1. FACTORES PROMOTORES DEL CAMBIO ACTIVOS EN LA ZONA DE ESTUDIO, DE ACUERDO A SU POTENCIAL DE CAMBIO. ....  | 135 |

---

# RESUMEN

---

México ocupa un triste lugar entre los países con mayores tasas de deforestación, fenómeno alarmante dada su importancia como centro mundial de alta diversidad biológica. La deforestación en nuestro país ha sido estudiada ampliamente a nivel nacional, regional, estatal e incluso local. Es un proceso de cambio complejo, no lineal, donde se presentan flujos de retroalimentación, recuperación y estabilidad de la cobertura arbolada. En las estadísticas nacionales se registra una reducción en la tasa de deforestación nacional, sin embargo la superficie cubierta por vegetación secundaria sigue incrementándose (cap. 1). La degradación de la cobertura arbolada es tan importante como la deforestación, pues conduce a una paulatina y desapercibida reducción de la diversidad biológica y de la biomasa, ambos efectos negativos sobre los servicios ecosistémicos. Las estrategias para detener estas tendencias deben fundamentarse en la comprensión de la dinámica regional y local, identificando los factores sociales, económicos y productivos, locales y externos que han influido en las decisiones de los dueños. El cap. 2 presenta una caracterización de la situación social y productiva del sector forestal del estado de Veracruz con el fin de reconocer las limitaciones y oportunidades para mejorar las condiciones de sus bosques.

Este estudio de caso se desarrolló en la subcuenca del río Pixquiac, ladera oriental del Cofre de Perote, Veracruz; zona prioritaria para la conservación por su aporte al abastecimiento de agua de la zona conurbada Xalapa-Coatepec y por los extensos fragmentos de bosque mesófilo de montaña que alberga. Es una pequeña subcuenca de 10,727 ha, con un rango altitudinal de 1200-3600 m.s.n.m. (cap.1). La escala fina del estudio permitió un análisis detallado de la dinámica local y la identificación precisa de los factores que incidieron en el cambio de uso del suelo en los últimos 30 años. Se trata de una región con fuerte intervención humana desde principios del Siglo XX, con procesos de abandono y de recuperación de la cobertura arbolada.

El objetivo fue identificar los procesos dominantes de cambio en la cobertura arbolada y del uso del suelo en esta subcuenca, así como los factores determinantes que los han impulsado, como base para proponer acciones de conservación. La metodología consistió de tres diferentes análisis: A) Un análisis histórico-documental para identificar los principales eventos sociales, económicos y de políticas agrarias y de conservación que marcaron el devenir de esta región. B) Un análisis del cambio de cobertura y uso del suelo con fotografías aéreas pancromáticas, digitalizadas, 1975, 1994 y 2004, para elaborar tres mapas de cobertura y uso del suelo, y tres mapas de cambio; el análisis geográfico se estratificó a nivel de la subcuenca y para las tres zonas geo-ecológicas. C) El análisis de regresión logística incorporó los principales eventos históricos para identificar los factores subyacentes y directos que impulsaron los procesos de cambio dominantes. La variable dependiente fueron los mapas de cambio de uso y cobertura, estratificada por proceso dominante, para las tres zonas; las variables independientes correspondieron a las condiciones del medio físico, social, económico, y a programas gubernamentales (cap. 4).

El análisis histórico (cap. 3) permitió identificar los factores subyacentes y directos que incidieron en el poblamiento y uso de los bosques en esta subcuenca. Se generó una línea de tiempo con los periodos del análisis de cambio de uso del suelo.

El análisis espacial identificó una recuperación neta de bosques con una tasa anual de 0.48%, en los últimos 30 años (cap. 4). Se registró la presencia de tres procesos dominantes de cambio diferenciados de acuerdo a cada zona de la subcuenca: recuperación, estabilidad de áreas arboladas y deforestación. En la zona alta predomina la recuperación de los bosques de coníferas desde 1995, en la zona media destaca la estabilidad del bosque mesófilo, y en la zona baja los cafetales de sombra se transforman hacia áreas urbanas. Los factores de cambio confirman este comportamiento zonificado. El análisis logístico identificó el peso de estos factores para explicar las condiciones complejas del uso del suelo y de los bosques en esta cuenca. Estos procesos fueron impulsados por una conjunción de cambios en la economía familiar y demográfica de las localidades rurales, en respuesta a fluctuaciones de precios de los productos agropecuarios y a políticas agrarias, a las que se sumaron políticas de conservación que favorecieron la regeneración de los bosques.

En la conclusión (cap. 5) se discuten las aportaciones de una perspectiva histórica para este tipo de estudios, donde la escala fina facilitó identificar la influencia de las políticas agrarias y de la heterogeneidad ambiental en las tendencias de uso del suelo. Se discute el peso de los factores subyacentes en la recuperación de los bosques, así como su fragilidad en el mediano plazo. Esto constituye un reto para la conservación de los bosques en el estado, dada su condición de minifundismo y de uso constante por los habitantes. Por ello, se destaca la necesidad de impulsar mejores prácticas agro-forestales con los dueños de la tierra para recuperar la capacidad de provisión de servicios ambientales, de monitorear los efectos de estas intervenciones, y fundamentalmente, de establecer mecanismos locales de gobernanza de los bosques secundarios que involucren tanto a los dueños como a los usuarios de estos recursos.

**Palabras clave:** cambio uso del suelo, factores impulsores, regresión logística, bosque mesófilo, bosque de coníferas, cafetal de sombra, condiciones socioeconómicas, políticas agrarias y de conservación.

---

## ABSTRACT

---

Mexico is among the countries with the highest deforestation rates, a worrying phenomenon given its importance as a center of high biological diversity. Deforestation processes in Mexico have been extensively studied, at the national, regional, state and even local levels. Land use change is a complex process that includes not only forest cover loss, but also feedbacks with recovery and stability of forest cover. According to national statistics, deforestation rates have decreased in the last decade while the area covered by secondary vegetation continues to increase (chap. 1). Degradation of forest cover is as important as deforestation, since it leads to a gradual, and sometimes unnoticed, reduction of biodiversity, biomass, and other ecosystem services. Strategies to halt degradation trends require an understanding of the social, economic and productive drivers, local and external, that influence forest owners' decisions. In order to identify limitations and opportunity areas to improve forest management policies and conservation of ecosystem services, chapter 2 presents a social and productive characterization of the forestry sector in Veracruz State.

The aim of the study was to identify the dominant processes of land use and forest cover change (LUCC) and its drivers as a basis to propose management actions in the Pixquiac watershed. The methodology comprised three different phases: (a) historical analysis, to identify the main social, economic events, as well as rural and conservation policies, that had influences in the evolution of land

use in this region; (b) LUCC analysis using panchromatic aerial photographs, scanned, 1975, 1994 and 2004, to generate three land use and cover maps, and three LUCC maps, this geographical analysis was stratified by the three geo-ecological zones; and, (c) a logistic regression analysis to determine the main factors that led the dominant change processes. In this analysis, dependent variables were LUCC maps, stratified by dominant change process and by zone; and independent variables were physical, social, economic conditions, and government programs (chapter 4).

This case study takes place in the Pixquiac watershed, located on the eastern slope of the Cofre de Perote, Veracruz. This is a priority conservation area for water supply to the Xalapa-Coatepec region, and because maintains large fragments of Cloud Forest. The scope of the study, a small watershed of 10,727 hectares with an altitude range from 1200-3600 mts., allowed a detailed analysis on the local dynamics and a precise identification of the factors that promote land use change in the last thirty years. This is a region where human interventions initiated in the early XX century, with stages of agricultural abandonment and recovery of forests.

The historical analysis (chapter 3) provided the information to identify the underlying and direct factors that influenced the land use and forestry practices in this watershed. A timeline was generated according the periods included in the LUCC analysis.

The spatial analysis identified a net forest recovery, with an annual rate of 0.48%, over the last 30 years (chapter 4). It was also recognized the presence of three key dominant processes differentiated by zone: forest recovery, stability of forested areas, and deforestation. In the upper zone (high altitude), coniferous forest recovery is the main process since 1995; in the middle zone the dominant process was the stability of the cloud forest cover; in contrast, in the lower zone there is a fast transformation of coffee agro-ecosystems, and cloud forest fragments, in favor of urban areas. The drivers of change confirmed these trends by zone. Logistic analysis identified the weight of different factors that explain the complexity of forest use and land use in this basin. These processes were driven by a combination of changes at the household economy and demographics of rural localities, in response to agricultural market fluctuations and agricultural policies, which were subsequently followed by conservation measures to encourage forest regeneration.

Conclusions (chapter 5) highlight the contribution that a historical perspective brings to this kind of analysis, where the fine-scale enabled to discriminate the influence of agricultural policies and environmental heterogeneity in land use trends. We discuss the weight of the underlying factors in forest recovery and the fragility of this trend in the medium term. The challenges for conservation in Veracruz State are related to the management of these secondary forests, given their condition of *minifundismo* in land tenure, and the constant use of these resources by local population. Finally, the baseline indicates the need to promote best management agro-forestry practices with land owners to recover the provision of environmental services, to monitor the effects of these interventions, and most importantly, to establish local mechanisms of forest governance involving both, owners and users of these resources.

**Keywords:** land use change, drivers of change, logistic regression, cloud forest, conifer forest, shade coffee, social and economic factors, agrarian and conservation policies.

---

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA TESIS

---

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En las estadísticas mundiales sobre la situación de los bosques México está registrado entre los ocho países con mayores tasas de deforestación a nivel mundial y degradación de la cobertura arbolada (FAO, 2010; Velázquez *et al.*, 2002). La gravedad de esta situación es innegable al considerar es uno de los cinco países con mayor diversidad biológica y uno de los centros de diversificación de plantas cultivadas y de sus parientes silvestres (CONABIO, 2008; Boege, 2008). Esto tiene repercusiones negativas sobre los ecosistemas porque afecta su capacidad para proveer diversos servicios imprescindibles para el bienestar humano, tales como polinización, control de plagas, agua limpia, protección de cabeceras de cuenca, amortiguamiento de tormentas e inundaciones, entre otros; lo que limitará nuestra habilidad para adaptarnos a nuevas condiciones ambientales en el futuro (WRI, 2003).

A partir de los primeros estudios documentando la desaparición de las selvas de México (Dirzo y García, 1992) se han publicado varios análisis con un enfoque nacional (Mas *et al.*, 2004; García Barrios *et al.* 2009), otros a nivel regional (Cairns *et al.*, 2000; Velázquez *et al.*, 2003; Dupuy-Rada *et al.*, 2007; Castillo-Santiago *et al.*, 2007; Bray *et al.*, 2008; Ellis y Porter-Bolland, 2008; Barsimantov y Kendall, 2012), e incluso subregional o local (López *et al.*, 2006; Ellis *et al.*, 2010; Del Ángel-Pérez *et al.*, 2011).

La mayor parte de los estudios coinciden en que los ecosistemas tropicales son los más vulnerables por presentar las tasas de deforestación más altas. En las zonas templadas montañosas de México los procesos de cambio y tendencias podrían ser diferentes a los que se presentan en las zonas bajas del país, para verificar esto se necesitan más estudios documentando lo que está sucediendo en ellas. Estas regiones son fundamentales por su función como cabeceras de cuenca, captación de agua, y porque en ellas albergan a los bosques de *Quercus* y de coníferas, que junto con el bosque mesófilo de montaña, representan los ecosistemas con mayor diversidad de especies de flora y fauna de nuestro país (Flores-Villela y Gerez, 1994; CONABIO, 2010). Como lo han demostrado los huracanes en las décadas más recientes, se trata de zonas de alta vulnerabilidad al cambio de uso del suelo por su potencial de deslizamientos, erosión del suelo, y su negativo efecto sobre las zonas bajas inundables (Cotler, 2003).

La magnitud de la deforestación de los bosques y selvas, y la desaparición de especies ha llevado a establecer varias políticas públicas, entre ellas el Programa de Servicios Ambientales de CONAFOR, la Estrategia para la Conservación de la Diversidad Biológica de CONANP, y recientemente la Estrategia Nacional REDD+. Estas estrategias y programas federales tienen como objetivo detener o reducir la velocidad de estos procesos, a través de impulsar la reforestación y las plantaciones forestales, crear áreas protegidas para la conservación de la biodiversidad, y establecer esquemas de conservación ligados a mercados de servicios ecosistémicos como los hidrológicos, biodiversidad y carbono (SEMARNAT, 2009; CONAFOR, 2010; CONAFOR 2012; Muñoz, et al., 2006; CONANP, 2000). Las acciones derivadas de estas políticas públicas se han ejecutado en casi todo el país con una importante derrama económica. Sin embargo, su efecto para evitar o reducir las tendencias prevaletentes no es tan claro, en parte porque han tenido poca influencia en modificar las prácticas locales de usos de los bosques y de las tierras agropecuarias (CCMSS, 2012).

Para evaluar los resultados de estas políticas públicas, al igual que cualquier proyecto de conservación y restauración, es esencial identificar con precisión la ubicación y magnitud de los procesos de cambio específicos que dominan en las zonas de interés (Mas, *et al.*, 2004). Varios estudios han registrado dinámicas de uso del suelo diferentes, donde se presentan procesos de pérdida junto con procesos de recuperación de la vegetación arbolada, lo que indica que la referencia nacional no puede asumirse como una tendencia prevaletente en todas las regiones del país (Velázquez, *et al.*, 2005; Durán, *et al.*, 2007; Ellis y Porter-Bolland, 2008; Barsimantov y Kendall, 2012). A partir de conocer los procesos presentes y los factores que los impulsan se pueden diseñar acciones de conservación, de manejo de los bosques y de las tierras agropecuarias, específicas que respondan a las dinámicas regionales y locales. En este sentido funcionan las líneas base, como referencia para determinar los procesos de cambio activos y, por ende, las medidas de protección, restauración y aprovechamiento necesarias para cada caso.

El cambio en uso del suelo y cobertura es un proceso complejo, no lineal, con diferentes rutas de retroalimentación (Velázquez, *et al.*, 2005; Lambin y Mayfroidt, 2010), en las que pueden presentarse zonas con recuperación de la vegetación, vía regeneración natural o asistida, y zonas con estabilidad en su cobertura arbolada. En la última década las estadísticas nacionales de INEGI registran una reducción en las tasas deforestación, sin embargo la superficie cubierta por vegetación secundaria se ha incrementado hasta cubrir 22% del territorio nacional (Takaki, 2010) (Fig. 1.1).

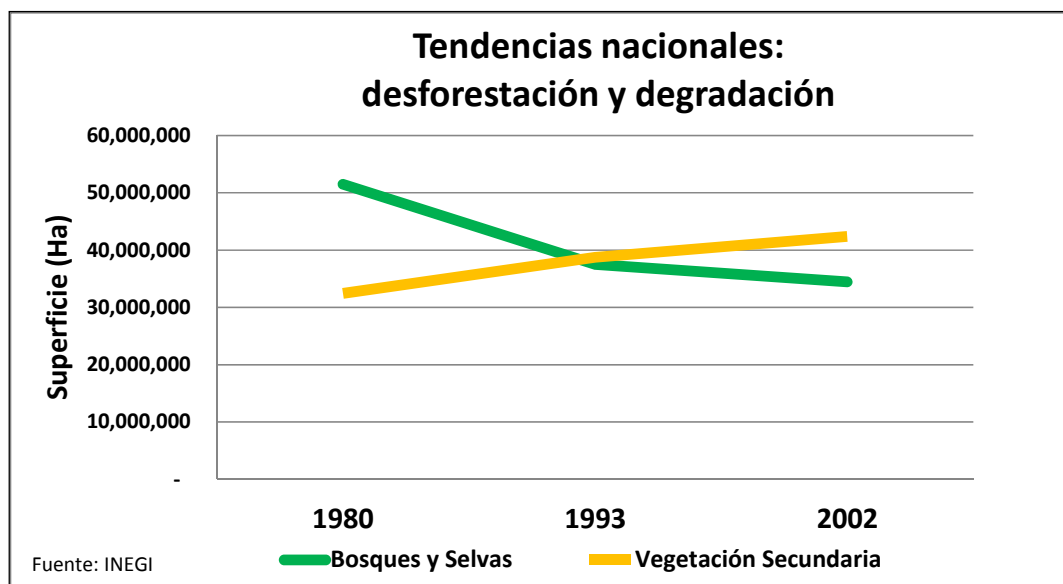


FIGURA 1.1 CAMBIOS EN COBERTURA DE VEGETACIÓN EN MÉXICO 1980-2002. (FUENTE: INEGI, SERIES I, II Y III)

El fenómeno de recuperación de la cobertura arbolada o de la vegetación secundaria no está suficientemente estudiado, falta conocimiento sobre lo que está sucediendo en las regiones montañosas donde se presenta, así como sobre los factores que lo impulsan (Velázquez, *et al.*, 2005). Este fenómeno adquiere un significado importante para comprender los procesos de recuperación y de degradación forestal. Por ejemplo si se trata de tendencias estables, o son respuestas a condiciones económicas coyunturales (es decir temporales), cuál es su efecto sobre los almacenes de carbono y provisión de otros servicios ecosistémicos, cómo se relacionan con prácticas productivas locales (como el descanso de parcelas agrícolas, o la roza-tumba-quema), y con fenómenos de emigración rural, entre otras.

Los procesos de degradación forestal también son difíciles de estudiar porque pueden estar presentes, pero enmascarados, bajo condiciones de estabilidad arbolada, o puede registrarse como un incremento en la cobertura de vegetación secundaria, que puede ser herbácea, arbustiva o incluso bosques jóvenes secundarios. En ciertas condiciones los procesos de degradación de la cobertura arbolada podrían conformarse como oportunidades para la conservación de los bosques cuando los dueños están interesados en restaurar su capacidad productiva.

## 1.2 SOBRE LOS PROCESOS DE DEFORESTACIÓN, RECUPERACIÓN Y DEGRADACIÓN

En los estudios de cambio de cobertura y uso del suelo se acepta la definición de FAO (2006)<sup>1</sup> que establece las características mínimas de un área arbolada para ser considerado como cobertura forestal o bosque: una cobertura arbolada mínima de 10%, con altura mínima de 5 metros y una superficie de 0.5 hectárea. Para los objetivos del IPCC (GOFG-GOLD, 2009) esta definición fue ampliada incluyendo rangos: área mínima de 0.05 a 1 ha, altura de 2 a 5 mts y cobertura del dosel de 10 a 30%. A partir de esta definición de bosque se reconoce que la degradación sería una reducción cuantificada y sostenida en la cobertura de copa hacia niveles inferiores a los mínimos establecidos como cobertura arbolada (UNFCC, 2006). En términos generales, la degradación forestal se refiere a pérdidas en los almacenes de Carbono inducidas por acciones humanas directas.

Esta definición genérica de “bosque” puede ser útil en ciertos estudios de cambio de uso del suelo, donde pueden incorporarse coberturas arboladas como los cafetales de sombra que proveen ciertos servicios ecosistémicos, tales como carbono, hábitat de especies, combustibles y protección de suelos en laderas (Ortíz Ceballos, 2004; Pineda-López et al., 2005). Sin embargo tiene limitaciones pues al no incorporar condiciones ecológicas de los bosques, tales como su diversidad estructural y composición biológica, se reduce la posibilidad de registrar la presencia de procesos de degradación que pudieran estar enmascarados dentro de una cobertura continua arbórea. En este sentido, se trata de una definición que impide verificar las condiciones de provisión de otros servicios ecosistémicos, diferentes a la captura y almacén de carbono, y que son importantes para la sociedad (Redford, 1992; Sasaki, 2009; Putz, 2010).

El proceso de degradación de los bosques es complejo pues se trata de un fenómeno que puede ser paulatino y permanente, que involucra una reducción en el área basal o densidad de los árboles, o que puede incluir cambios en la composición florística hacia especies colonizadoras e incluso pérdida de especies. Este proceso influye en la provisión y calidad de los servicios ambientales, sean estos almacén/captura de carbono, diversidad biológica, o calidad de agua, así como en el valor económico de los bosques (Díaz et al. 2009; Putz et al., 2008). En predios con

---

<sup>1</sup> FAO (2006). Global Forest Resources Assessment 2005. Main Report. [www.fao.org/forestry/fra2005](http://www.fao.org/forestry/fra2005)



manejo forestal regulado donde la reducción en área basal o densidad arbolada es temporal por efecto de los tratamientos de aclareo, evaluar la degradación puede dar resultados poco precisos. En ciertas zonas puede mantenerse una cobertura arbolada sin cambios, pero con una masa forestal degradada por efecto de la extracción selectiva constante de especies de maderas duras o con valor forestal, que no están recuperándose (Haeckel, 2006; Ruger et al., 2008).

El fenómeno de recuperación de la superficie forestal se documentó inicialmente en los países desarrollados, EUA y Europa, como resultado de un cambio en el desarrollo social y económico de sus sociedades, comparable con la Transición Demográfica, de ahí el término Transición Forestal (Mather, 1998; Rudel, 2005). Se ha definido como un proceso en el que las sociedades han transitado por una fase de colonización de tierras, expansión agropecuaria y crecimiento poblacional, con la consecuente reducción de cobertura arbolada; para entrar a una nueva fase de desarrollo con sociedades urbanizadas donde predominan fuentes de empleo ligadas a los servicios y sistemas de producción agropecuaria intensiva, por lo que su efecto fue la recuperación de los bosques (Mather, 1998). En este contexto socio-económico la dinámica productiva impulsa el abandono de tierras marginales donde se regeneran los bosques secundarios. Este proceso frecuentemente va acompañado por políticas nacionales que impulsan la conservación de bosques, así como la promoción de plantaciones forestales para cubrir déficit de productos maderables (Lambin et al., 2003).

Si bien en algunos países tropicales se ha documentado una recuperación de los bosques, ésta responde a condiciones socioeconómicas distintas con procesos diferentes a los registrados para los países templados desarrollados (Aide, 2000; Aide, 2004; Rudel, 2005; Redo, 2012). Sin embargo en México la recuperación forestal como proceso está poco estudiado por lo que su presencia podría ser un fenómeno coyuntural e incluso débil, considerando los cambios en las tendencias demográficas, en políticas agropecuarias, inestabilidad social, política o económica, que pueden detener su consolidación o revertirlo en el mediano-largo plazo (García-Barrios, 2009; Bray, 2010; Aguilar-Støen, 2011).

En este sentido, es necesario comprender los procesos de cambio de uso del suelo y los factores que los impulsan en las zonas donde se han identificado tendencias de recuperación forestal. A diferencia de lo que se registró en los países desarrollados, el abandono de tierras agropecuarias en México puede resultar en condiciones alejadas de la recuperación de bosques; por un lado se han reportado procesos de sucesión secundaria que no avanzan hacia la recuperación arbolada original, y otros donde

predomina la erosión del suelo severa. A su vez, la ausencia de control sobre los bosques a partir de la emigración, genera condiciones de acceso abierto donde imperan los incendios, la extracción clandestina y la degradación de los mismos (Klooster, 2003; Merino, 2004).

Por otra parte, el concepto de *Bosque* empleado en los estudios tiene implicaciones sobre lo que se observa pues cuando se enfatiza en los “bosques maduros”, “prístinos” o “relictuales”, se vuelven invisibles los bosques secundarios (Hecht, 2010). La escala del estudio también puede influir en el tipo de proceso dominante detectado y contribuir a enmascarar los procesos de recuperación forestal. Esto es claro en regiones con la presencia de los dos procesos (deforestación y recuperación), donde la superficie perdida es mayor a la regenerada (Muñoz-Villers y López-Blanco, 2008; García-Barrios, 2009). El enfoque mismo del trabajo y la selección de la zona de estudio es otro elemento que influye en hacer invisible este fenómeno, quienes estudian la deforestación generalmente dirigen su atención hacia las áreas críticas donde se puede cuantificar de forma clara la pérdida de cobertura arbolada.

El estudio de estos procesos de recuperación arbolada puede aportar información que permita reorientar ciertas políticas de conservación, restauración y manejo generadas en el nivel nacional, para incluir acciones impulsadas desde lo local que ayuden a consolidar estos procesos de establecimiento de bosques secundarios para recuperar la productividad forestal y su función ecológica. Esto es particularmente importante cuando se trata de zonas montañosas, con pendientes abruptas, donde las cabeceras de cuenca son vulnerables al impacto de fenómenos meteorológicos agravados por el cambio climático (Southworth, 2001).

Es importante reconocer que la escala en el que se realiza el análisis influirá en el tipo de procesos dominantes que se identifican. Las políticas públicas y los procesos económicos globales tienen efectos sobre los países y sus regiones (Lambin et al., 2003); paralelamente, en el nivel local, pueden estar actuando otros factores que también influyen sobre las decisiones de los dueños de la tierra promoviendo diferentes tipos de cambios. En conjunto factores de distinta índole determinarán el grado de estabilidad o inestabilidad de la cobertura forestal, y por tanto la provisión de servicios ecosistémicos a la sociedad; sin embargo, dependiendo de la escala del trabajo algunos factores importantes podrían pasar inadvertidos al quedar confinados dentro de otros. En este sentido es importante prestar atención a las dinámicas locales y a los eventos que han condicionado respuestas entre los dueños de la tierra.

### **1.3 ESTUDIO DE CASO: SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, VERACRUZ**

Por las características de los fenómenos que se estudian en este trabajo, se utilizó un planteamiento metodológico que permitiera analizar el comportamiento de las variables relevantes en situaciones que no pueden manipularse, ni repetirse. En términos epistemológicos el aprendizaje derivado de un caso único como este, se enfoca hacia comprender los fenómenos que lo conforman, en lugar de buscar una generalización, pues lo que se busca es generar conocimiento sobre el funcionamiento del sistema que se está estudiando (Yin, 1984; Stake, 1994). En casos caracterizados por situaciones únicas, donde generalmente hay pocos datos o es imposible tener repeticiones para hacer pruebas estadísticas, se dificulta la deducción a partir de hipótesis. Por esto, el método analítico utilizado es inductivo, pues se enfoca en inferir modelos o identificar tendencias, en desarrollar categorías de análisis de los datos a partir de ciertas regularidades, y en formular hipótesis, patrones o explicaciones causales de los datos (Shrader-Frechette y McCoy, 1993).

En este estudio de caso se analizan los procesos dominantes de cambio de uso del suelo y de cobertura forestal, con el fin de identificar el tipo de estrategias de conservación que se ajustarían a las condiciones imperantes y de sentar las bases para analizar los efectos de los proyectos de compensación por servicios ecosistémicos en operación. El nivel del estudio de este caso es a una subcuenca perteneciente a la cuenca alta del río La Antigua; este nivel permite hacer un análisis detallado de la dinámica local en el contexto de la región donde se ubica, e identificar con precisión los procesos que inciden en el cambio de uso del suelo.

#### **1.3.2. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La cuenca alta del río La Antigua (fig. 1.2) es prioritaria por los Servicios Ecosistémicos que provee a la sociedad regional en el centro de Veracruz, por la provisión de servicios hidrológicos y porque alberga un importante reducto de bosque mesófilo de montaña (CONABIO, 2010). Su altitud, condición geográfica y topografía generan una situación de riesgo y vulnerabilidad para las ciudades y localidades rurales establecidas en este territorio, dado que casi todas las subcuencas de la cabecera presentan altos índices de deforestación (Muñoz-Villers, 2008). Dos de sus subcuencas, el río Huitzilapan en las laderas del Pico de Orizaba, y el río Pixquiac en la ladera oriental del Cofre de Perote, aportan el 100% de agua para la zona conurbada de la capital de Veracruz. Esta última ha sido la proveedora histórica de Xalapa, de la cual actualmente se abastece el 40% del agua (Manson, 2004; Paré-Ouellet, 2011).

La subcuenca del río Pixquiac tiene una superficie de 10,727 hectáreas, se caracteriza por una alta heterogeneidad ambiental debido a su topografía accidentada y amplio rango altitudinal (1200 a 3600 msnm). Su altitud y orientación hacia el Este favorecen la presencia de climas de tipo húmedo semi-cálido, húmedo templado y frío, con abundantes lluvias durante el verano-otoño, chipi-chipi en el invierno y presencia de neblina. Los suelos dominantes son Andosoles úmbricos, con presencia de Leptosoles andico y lítico, Acrisol háplico y úmbrico, y Fluvisoles (Geissert, 2007).

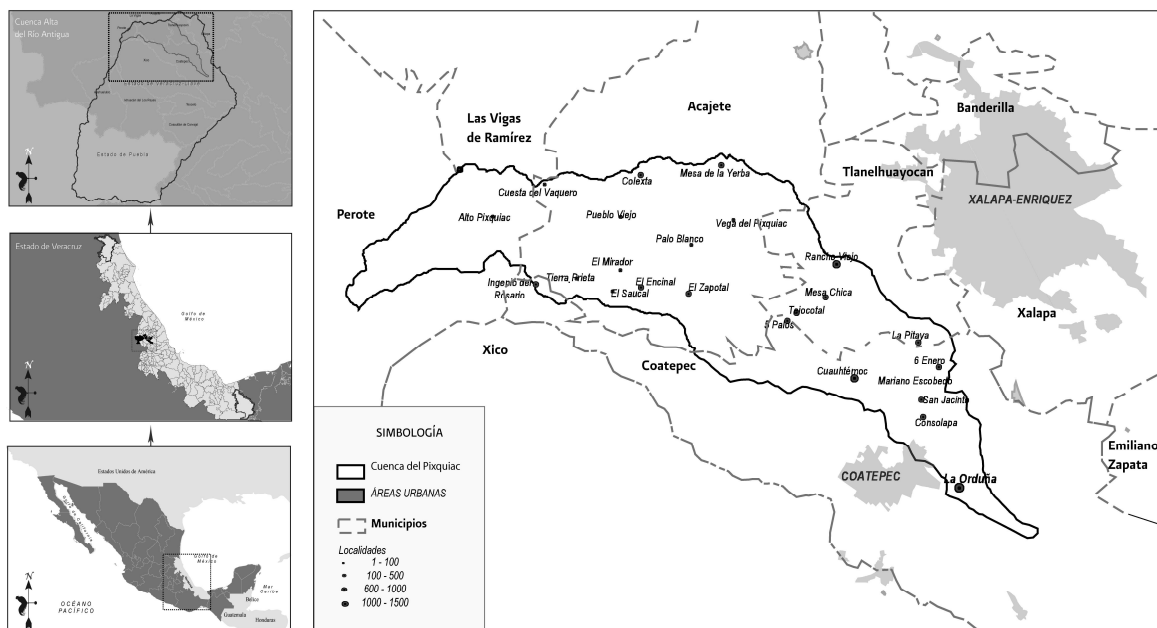


FIGURA 1.2. UBICACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, EN VERACRUZ Y CUENCA ALTA DEL RÍO LA ANTIGUA (Dibujó: Georgina Vidriales Chan).

La zona de estudio, la subcuenca del río Pixquiac, está ubicada en una zona montañosa, con características ambientales, sociales y productivas de gran heterogeneidad, contiene una alta diversidad biológica tanto en términos de especies endémicas, como a nivel del paisaje (diversidad beta) (Williams-Linera, 2002; Williams-Linera et al., 2013). Es una zona importante por los servicios ecosistémicos que provee a la zona conurbada de Xalapa-Coatepec, en el centro de Veracruz, sobre todo hidrológicos. La propiedad de la tierra es mixta, pues conviven ejidatarios con pequeños propietarios; en ambos domina el minifundismo. La presencia del Parque Nacional Cofre de Perote arriba de la cota de los 3000 m.s.n.m., ha tenido un papel contradictorio respecto a su influencia para conservar los bosques de esta montaña pues su decreto sobre terrenos ejidales no fue acompañado por ningún tipo de regulación sobre el uso de la tierra y de los bosques, ni involucró a las poblaciones locales en su manejo.

La región de estudio está dominada por ecosistemas con diferentes grados de intervención y modificación. En las áreas arboladas sus pobladores aprovechan de forma continua los recursos forestales, generando cambios en la extensión de los bosques y en sus características de composición y estructura (Haeckel, 2006; Ruger et al., 2008; Fuentes, 2013).

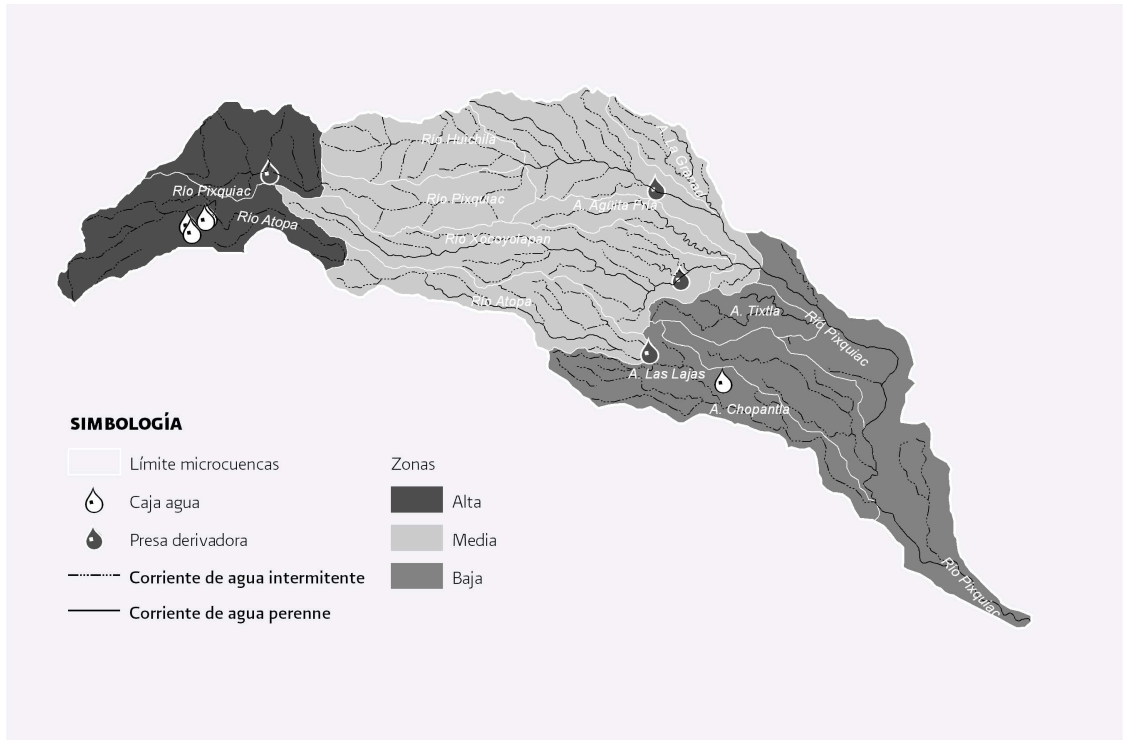


FIGURA 1.3. ZONIFICACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC (Tomado de Paré y Gerez, 2012).

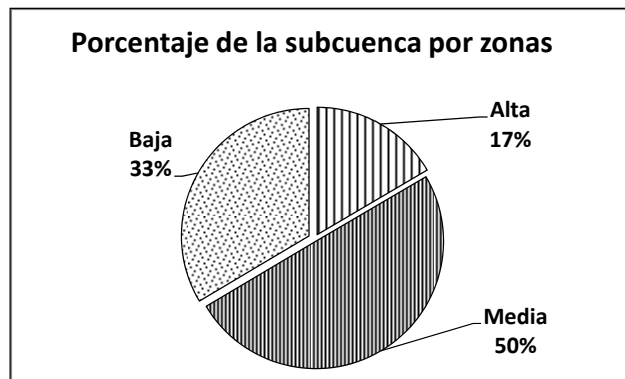


FIGURA 1.4. PROPORCIÓN DE LA SUBCUENCA DE ACUERDO A LA ZONIFICACIÓN HIDROLÓGICO-AMBIENTAL.

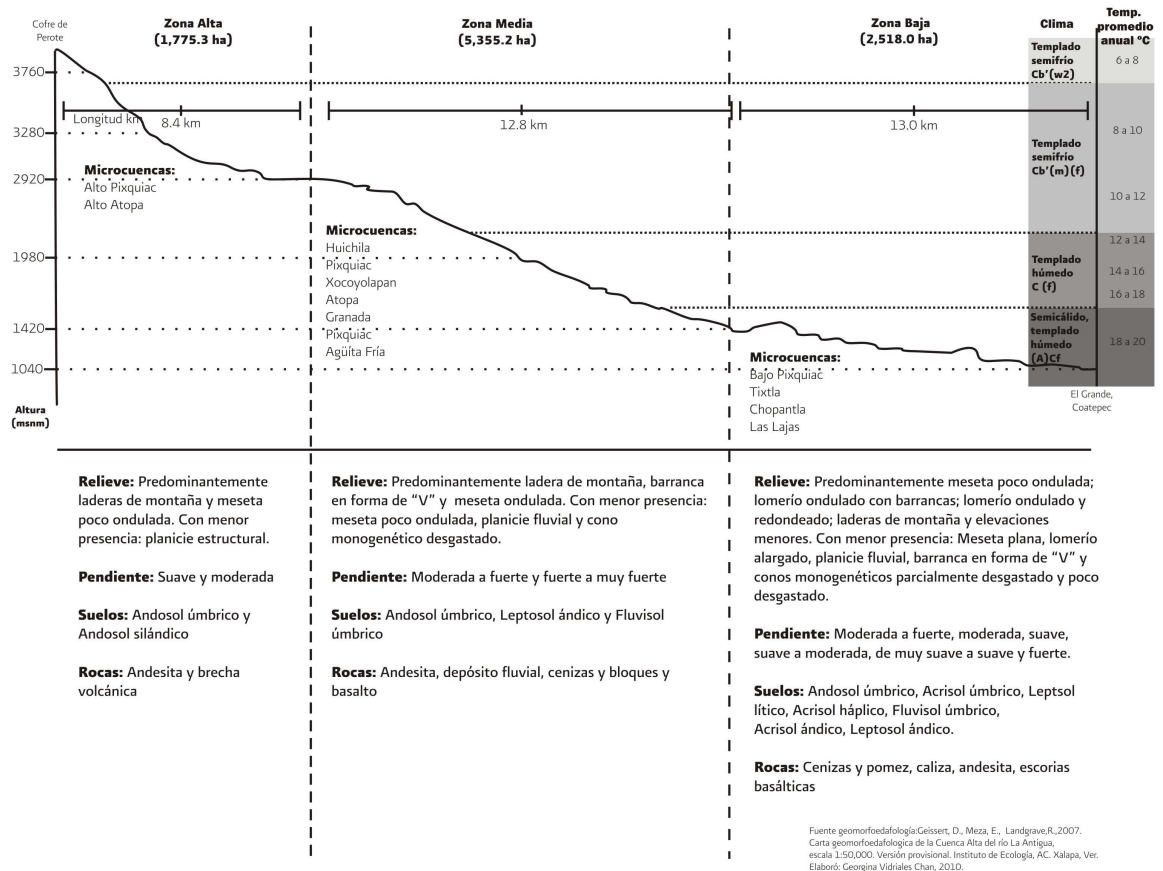


FIGURA 1.5 PERFIL TOPOGRÁFICO CON CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS, CLIMÁTICAS Y EDÁFICAS, SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC (Tomado de: Paré y Gerez, 2012).

La subcuenca se ha dividido en tres zonas a partir de su funcionalidad hidrológica: la zona de cabecera, la zona de captación y tránsito, y la zona de salida (García Coll, *et al.*, 2008) (fig.1.3). La proporción que ocupa cada una de estas zonas es distinta: la zona alta abarca 17%, la media 50% y la baja 33% de la subcuenca (fig. 1.4). Esta delimitación representa a su vez las diferentes condiciones climáticas, topográficas y pisos de vegetación predominantes en esta subcuenca (figs. 1.5 y 1.6).

La zona alta corresponde a una fracción del cono volcánico del Cofre de Perote donde impera un clima frío-húmedo, bosques dominados por especies de los géneros *Pinus* y *Abies*, y zacatonales de altura, en un relieve abrupto a medianamente abrupto; en ella se ubican las dos microcuencas de cabecera que inician esta red hidrográfica (fig. 1.5 y 1.6). Esta zona es importante hidrológicamente por la alta infiltración de la precipitación, dadas las características edáficas y topográficas de la misma (Paré y Gerez, 2012). La zona media corresponde un clima templado-húmedo, dominada por barrancas profundas y topografía muy abrupta; contiene extensos bosques mixtos de *Pinus-Quercus-Alnus* y Bosque Mesófilo de Montaña, así como pastizales (fig. 1.5 y 1.6).

Esta zona está conformada por siete microcuencas que reciben la mayor precipitación y escorrentía de toda la red hidrográfica (García Coll, *et al.*, 2008). Por último, la zona baja conformada por cuatro microcuencas, presenta un clima semi-cálido húmedo, está dominada por cafetales de sombra, pastizales ganaderos, fragmentos de bosque mesófilo de montaña y acahuales en laderas, así como un pequeño fragmento perturbado de selva mediana subcaducifolia (fig. 1.5 y 1.6). Su topografía predominante es de lomeríos suaves donde la infiltración es importante; en esta zona confluye la red hidrológica para dar salida hacia el río Los Pescados, principal afluente del río La Antigua.

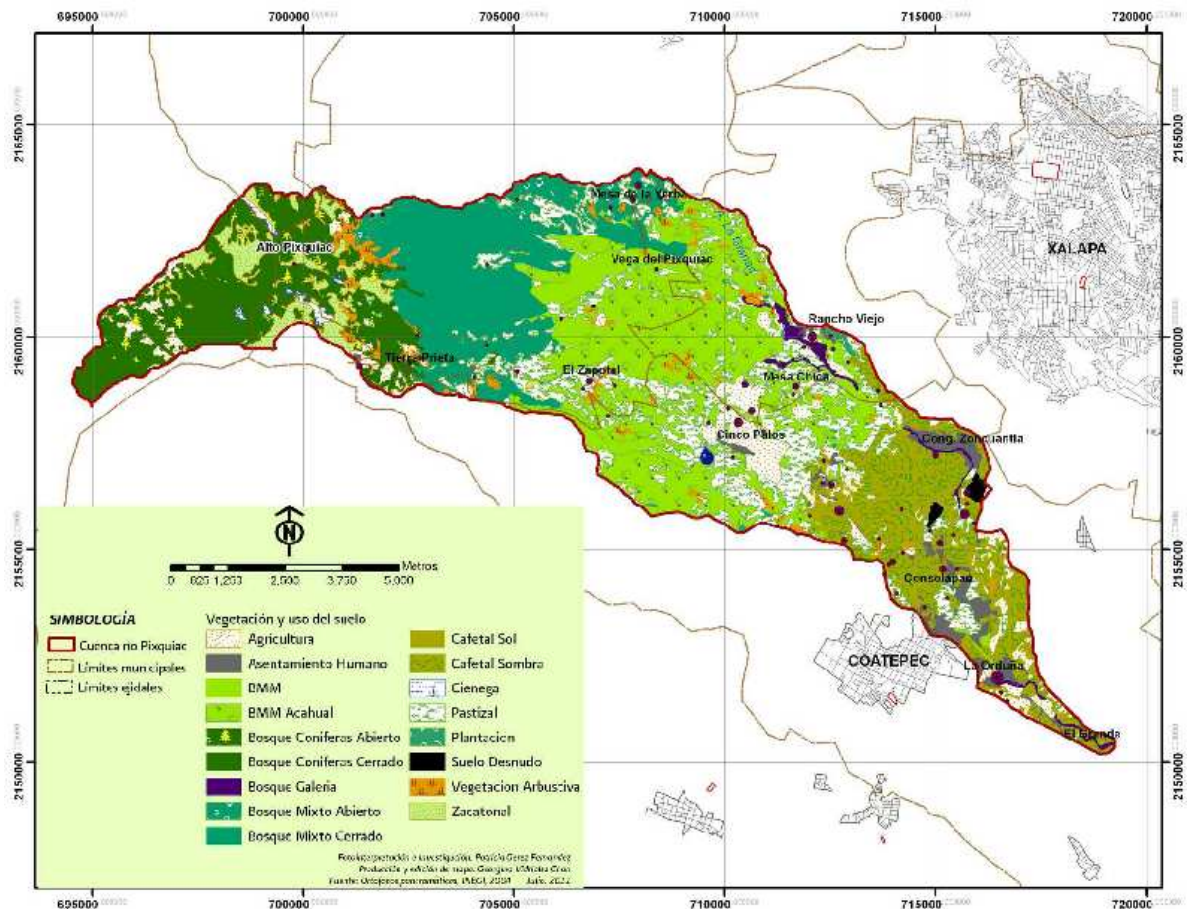


Figura 1.6. Mapa de vegetación y uso del suelo de la subcuenca del río Pixquiac (Elaboración propia, mapa tomado de: Paré y Gerez, 2012).

### 1.3.2. CARACTERÍSTICAS SOCIALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las actividades agro-productivas presentes en la subcuenca coinciden espacialmente con esta zonificación. Este es el caso del tradicional cultivo papa y rebaños de ganado menor (borregos y cabras), actividades predominantes en la zona alta fría; mientras que el cafetal y extensiones pequeñas de caña de azúcar se encuentran en la zona baja; la mayor parte de los pastizales para ganadería lechera y los cultivos de maíz se ubican en la zona media templada (Paré y Gerez, 2012).

Una característica de esta subcuenca es el régimen de propiedad de la tierra, donde 62% corresponde a propiedades privadas y 38% a 12 ejidos (fig. 1.7), lo que es consistente con la estructura agraria que caracteriza al estado de Veracruz (Gerez Fernández y Pineda, 2011)<sup>2</sup>. No hay un catastro actualizado de los predios privados en esta región que permita conocer el número total y su tamaño. A través de entrevistas con diversos dueños, ejidatarios y pequeños propietarios se identificó un amplio rango en el tamaño de estos predios: desde los forestales privados de 60 y 40 hectáreas, hasta pequeñas propiedades agropecuarias y fincas cafetaleras de 1 hectárea o menos (Paré y Gerez, 2012).

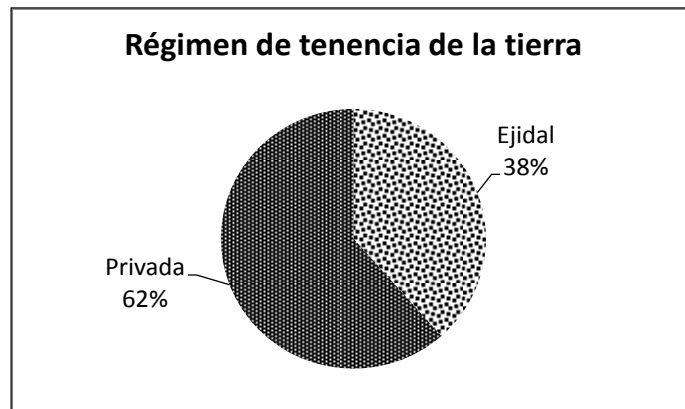


FIGURA 1.7. PROPORCIÓN DE LA SUBCUENCA DE ACUERDO AL TIPO DE RÉGIMEN DE PROPIEDAD DE LA TIERRA.

Los ejidos tienen diferentes proporciones de su territorio dentro de esta subcuenca (fig. 1.8), tres tienen su territorio completo dentro de ella, dos tienen más del 70%, tres entre el 25 y 40%, y otros tres una fracción menor al 10%. Los trece ejidos están parcelados internamente, por lo que funcionalmente son minifundios (cuadro 1.1

<sup>2</sup> Ver capítulo 2 de esta tesis.



y 1.2), sobre todo por el debilitamiento en la vida colectiva ejidal. Esto es más evidente en los ejidos cercanos a la zona urbana de Coatepec, algunos de los cuales han solicitado ya el Dominio Pleno. La parcelación fue formalizada por PROCEDA entre 1994 y 2000, nueve ejidos cuentan con sus certificados parcelarios (cuadro 1.1). Sin embargo dos ejidos (Agua de los Pescados y Col. Agrícola-El Progreso) no fueron certificados por PROCEDA dado que su territorio se ubica dentro del PNCP; si bien internamente están reconocidas las parcelas de cada ejidatario. Solo cinco ejidos han mantenido una parte arbolada como área de uso común.

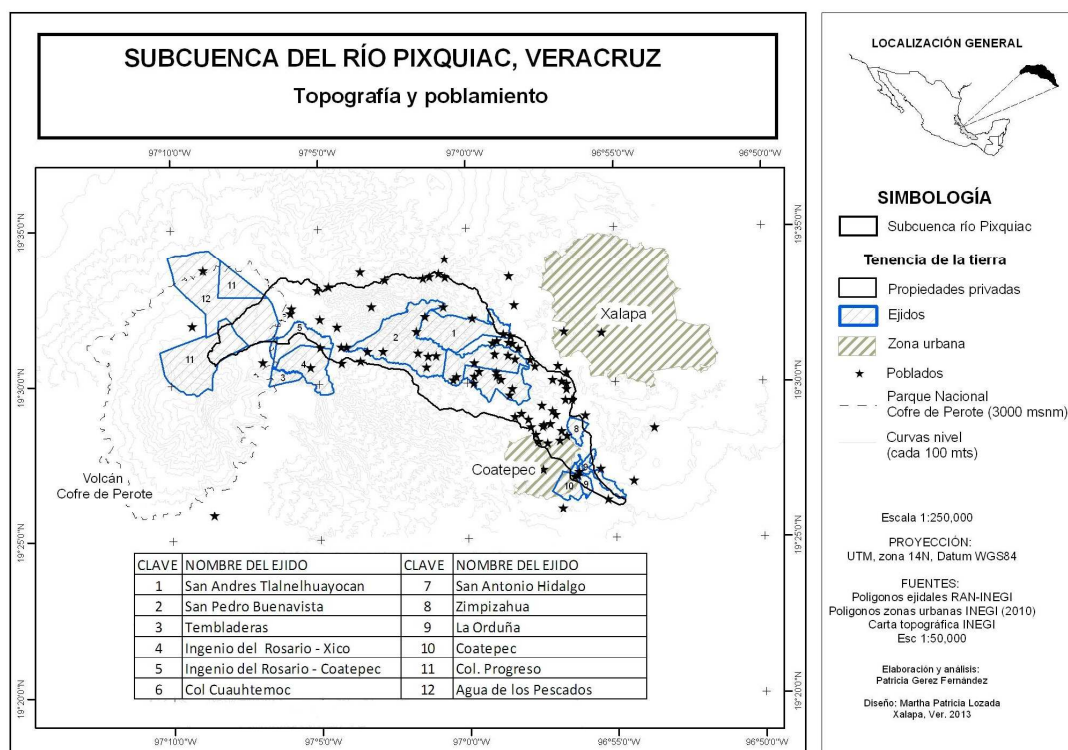


FIGURA 1.8. TOPOGRAFÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, UBICACIÓN DE POBLADOS Y TENENCIA DE LA TIERRA.

Todos los ejidos tienen bien definidos sus linderos, por lo que no hay conflictos sobre la tenencia de la tierra. Sin embargo, entre los predios privados ubicados en la zona boscosa de la zona media, la ausencia de los dueños y la falta de claridad en sus límites genera una situación de "acceso abierto" donde prospera la extracción clandestina de madera desde hace varias décadas. Una proporción importante de estos predios se encuentran embargados por los bancos desde la crisis de 1985; en la última década algunos predios han sido comprados por personas interesadas en promover el manejo forestal. Un elemento de riesgo es la presencia de personas que han solicitado permisos de aprovechamiento para extraer en una sola intervención el volumen autorizado para un periodo de 10 años. En este sentido, no se puede asumir que el manejo silvícola en esta región asegura la recuperación de la productividad forestal de

estos bosques. La dinámica poblacional de esta zona central de Veracruz refleja un gran dinamismo (figs. 1.9 y 1.10), la zona conurbada Xalapa-Coatepec-Tlalnahuayocan se ha caracterizado como una de las regiones con mayor tasa de crecimiento en el estado<sup>3</sup>.

CUADRO 1. 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS EJIDOS CON TERRITORIO DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.

| EJIDO   | No. Ejidatarios (RAN) | Fecha Ejec. presidencial | RAN Sup. Total (ha) | Sup. Uso-común (ha) | PROCEDE |               | Sup. Parcelada (ha) | Dominio pleno | 1975 Act. Prod. | 2004 Act. Prod. | Zona cuenca |
|---|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------|---------------|---------------------|---------------|-----------------|-----------------|-------------|
|   |                       |                          |                     |                     | Fecha   | Parcelado     |                     |               |                 |                 |             |
| Ingenio El Rosario-Coat.  | 26                    | sept. 1937               | 376.59              | 155.00              | 1995    | si            | 213.44              | No            | 1, 2, 3         | 2, 3            | 1           |
| Ingenio El Rosario-Xico   | 27                    | nov. 1935                | 561.68              | 513.51              | 1996    | parte         | 39.43               | No            | 1, 2            | 1               | 1           |
| Tembladeras   | 34                    | feb. 1949                | 152.97              | 122.28              | 1998    | parte         | 30.69               | No            | 1, 2, 3         | 2, 3            | 1           |
| Agua de Los Pescados  |                       | feb. 1937                | 1622.00             | 614.00              | no      | No, (interno) | s.d.                | No            | 1, 2, 3         | 2, 3            | 1           |
| Col. El Progreso  | s.d.                  | feb. 1981                | 179.00              | 0.00                | no      | No, (interno) | s.d.                | No            | 1, 2, 3         | 2               | 1           |
| San Andrés Tlalnahuayocan   | 127                   | dic. 1935                | 1003.70             | 0.00                | 2000    | si            | 967.01              | Fracc. urbana | 1, 4, 5         | 1, 4, 5         | 2           |
| San Antonio Hidalgo   | 122                   | oct. 1943                | 623.98              | 0.00                | 1999    | si            | 623.98              | No            | 1, 4, 5         | 4, 5            | 2           |
| San Pedro Buenavista  | 141                   | feb. 1936                | 1263.03             | 292.75              | 1999    | si            | 967.00              | No            | 1, 4, 5         | 1, 4, 5         | 2           |
| Cauhtémoc   | 67                    | dic. 1935                | 548.56              | 6.29                | 1996    | si            | 530.49              | No            | 6, 7            | 4, 6, 8         | 2, 3        |
| Coatepec  | 49                    | dic. 1936                | 205.09              | 0.00                | 1998    | si            | 194.32              | Jul-05        | 6, 7, 8         | 6, 8            | 3           |
| La Orduña   | 87                    | nov. 1939                | 258.07              | 0.00                | 1995    | si            | 254.46              | May-05        | 6               | 6, 7, 8         | 3           |
| Zimpizahua_1  | 250                   | feb. 1937                | 417.33              | 0.00                | 1996    | si            | 401.05              | No            | 6               | 6, 7, 8         | 3           |
| El Grande   | 79                    | ene. 1937                | 155.11              | 0.00                | 1994    | si            | 154.33              | No            | 6, 7            | 6, 7, 8         | 3           |
| <b>Actividades productivas:</b> 1 – Corte madera; 2 - Papa; 3 - Borregos; 4 - Ganadería lechera; 5 - Milpa; 6 - Cafetal; 7 - Caña; 8 - Urbano             |                       |                          |                     |                     |         |               |                     |               |                 |                 |             |
| <b>Ubicación en la subcuenca:</b> 1 - Zona alta; 2 - Zona media; 3 - Zona baja  |                       |                          |                     |                     |         |               |                     |               |                 |                 |             |
| <b>Fuentes:</b> RAN: <a href="http://phina.ran.gob.mx/phina2/">http://phina.ran.gob.mx/phina2/</a> Consultado 12 abril 2012; y entrevistas a ejidatarios. |                       |                          |                     |                     |         |               |                     |               |                 |                 |             |

En términos demográficos las localidades rurales de esta subcuenca son pequeñas, la mayor parte de ellas están ubicadas en la zona media. En la zona baja hay localidades sub-urbanas que crecen bajo la influencia de la expansión de Coatepec y de Xalapa, la capital del estado. Los censos poblacionales registran que durante el periodo analizado (1975-2005) en las tres zonas ha habido localidades con tasas negativas de crecimiento. La figura 1.11 muestra la tasa de crecimiento geométrico por año para las

<sup>3</sup> Delimitación de las zonas metropolitanas de México (2004). SEDESOL, CONAPO e INEGI. Estudio citado en el Plan Municipal de Desarrollo 2008-2010. H. Ayuntamiento de Tlalnahuayocan, Ver. 168 p.

localidades ubicadas dentro de la subcuenca, se incluyen las que tienen información completa sobre la población total para 1995, 2000 y 2005; no se incluye el periodo anterior (1970-1990) porque los datos están incompletos para la mayor parte de las localidades.

CUADRO 1. 2. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PARCELAMIENTO EJIDAL EN LA ZONA DE ESTUDIO.

| EJIDO  | Num. Total   | Sum total (ha) | Sup. max. (ha) | Sup. min. (ha) | Promedio (ha) |
|--|--|----------------|----------------|----------------|---------------|
| San Pedro Buenavista                               | 317  | 947.88         | 15.55          | 0.032          | 2.99          |
| San Andrés Tlalnahuayocan                          | 504  | 956.01         | 15.86          | 0.003          | 1.90          |
| San Antonio Hidalgo                                | 145  | 618.69         | 5.93           | 0.019          | 4.27          |
| Coatepec   | 186  | 186.37         | 3.84           | 0.011          | 1.00          |
| Cuauhtemoc   | 299  | 522.49         | 8.89           | 0.005          | 1.75          |
| El Grande  | 175  | 148.72         | 3.58           | 0.023          | 0.85          |
| Ingenio del Rosario-C                              | 51   | 211.23         | 12.70          | 0.414          | 4.14          |
| La Orduña  | 354  | 241.70         | 3.24           | 0.006          | 0.68          |
| Zimpizahua   | 635  | 394.63         | 5.39           | 0.006          | 0.62          |
| Ingenio del Rosario-X                              | 57   | 39.19          | 2.98           | 0.090          | 0.69          |
| Tembladeras  | 48   | 29.86          | 3.93           | 0.006          | 0.62          |
| Agua de Los Pescados                               | Sin datos de PROCEDE, porque su territorio se ubica dentro del PNCP. |                |                |                |               |
| Col. Agrícola El Progreso                          | Sin datos de PROCEDE, porque su territorio se ubica dentro del PNCP. |                |                |                |               |
| Fuente: Datos de INEGI (shapes parcelas ejidales). |  |                |                |                |               |

Algunos pequeños caseríos rurales registraron un despoblamiento completo; en otras localidades rurales la población disminuyó por emigración hacia poblados más comunicados. En este sentido, las localidades que registran mayores crecimientos son resultado de este movimiento interno, así como de la nueva inmigración desde la ciudad hacia zonas sub-urbanas o rur-urbanas bien comunicadas con Coatepec y Xalapa.

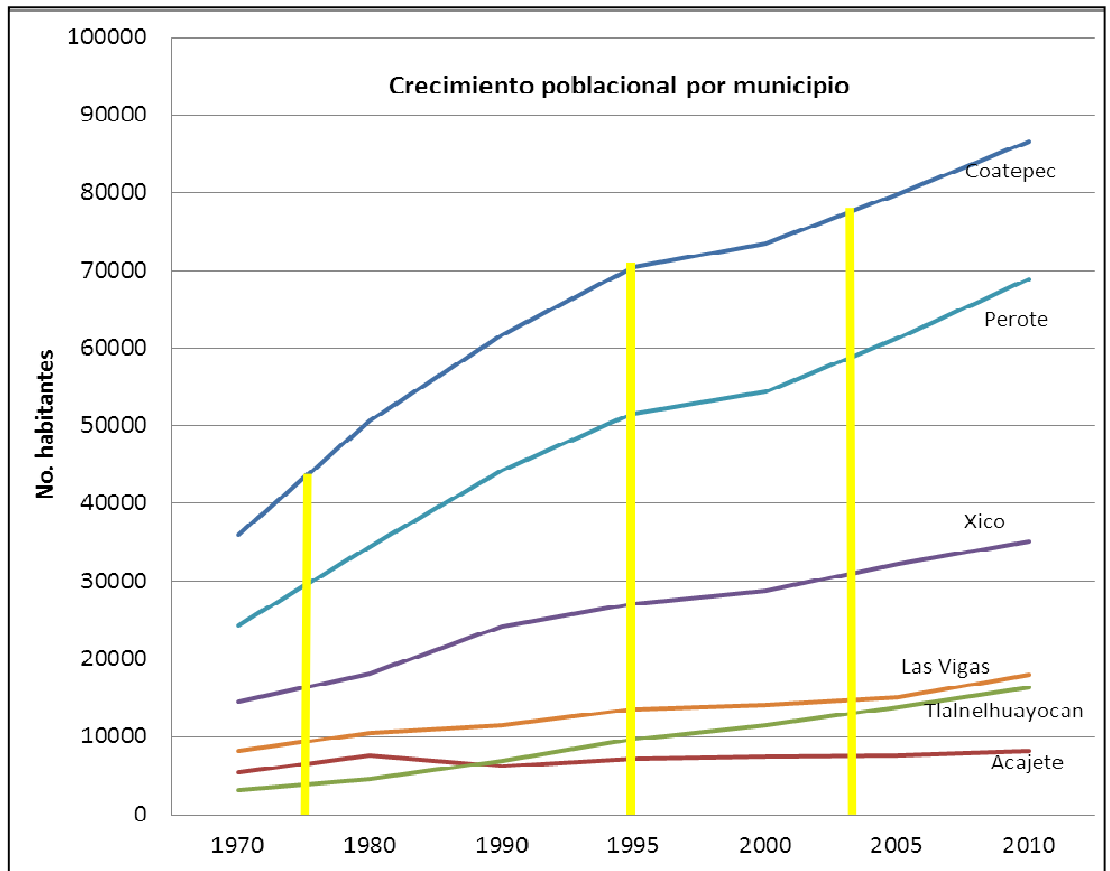


FIGURA 1.9. CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LOS MUNICIPIOS DONDE SE UBICA LA ZONA DE ESTUDIO. (Líneas amarillas verticales indican los años analizados en el estudio de cambio de uso del suelo). Fuentes: Censo de Población y Vivienda 1995 y 2005, y Censos poblacionales 1970, 1980, 1990, 2000 y 2010, de INEGI.

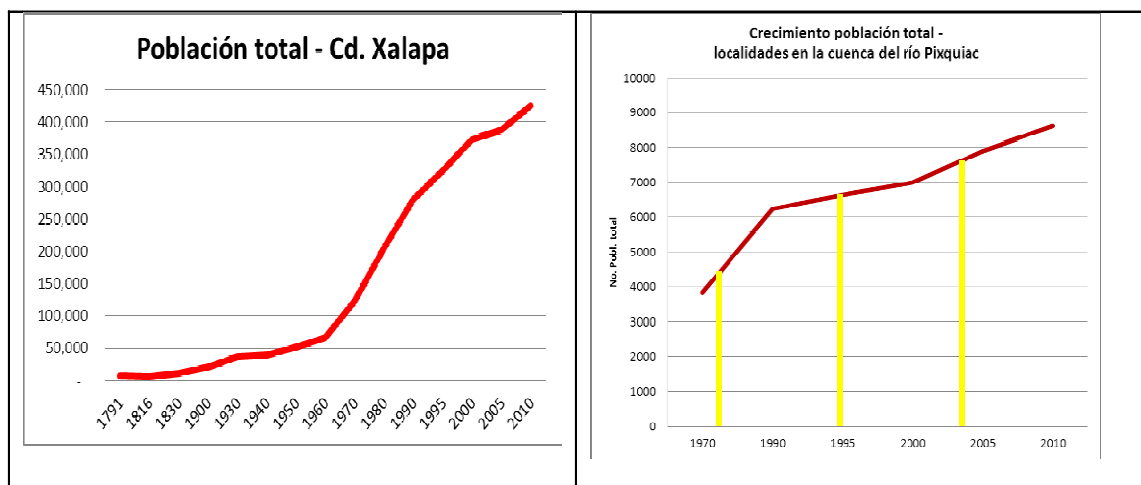


FIGURA 1.10. CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LA CIUDAD DE XALAPA Y LOCALIDADES UBICADAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC. (Líneas amarillas verticales indican los años analizados en el estudio de cambio de uso del suelo). Fuentes: Censo de Población y Vivienda 1995 y 2005, y Censos poblacionales 1970, 1980, 1990, 2000 y 2010, de INEGI; y estudios históricos.

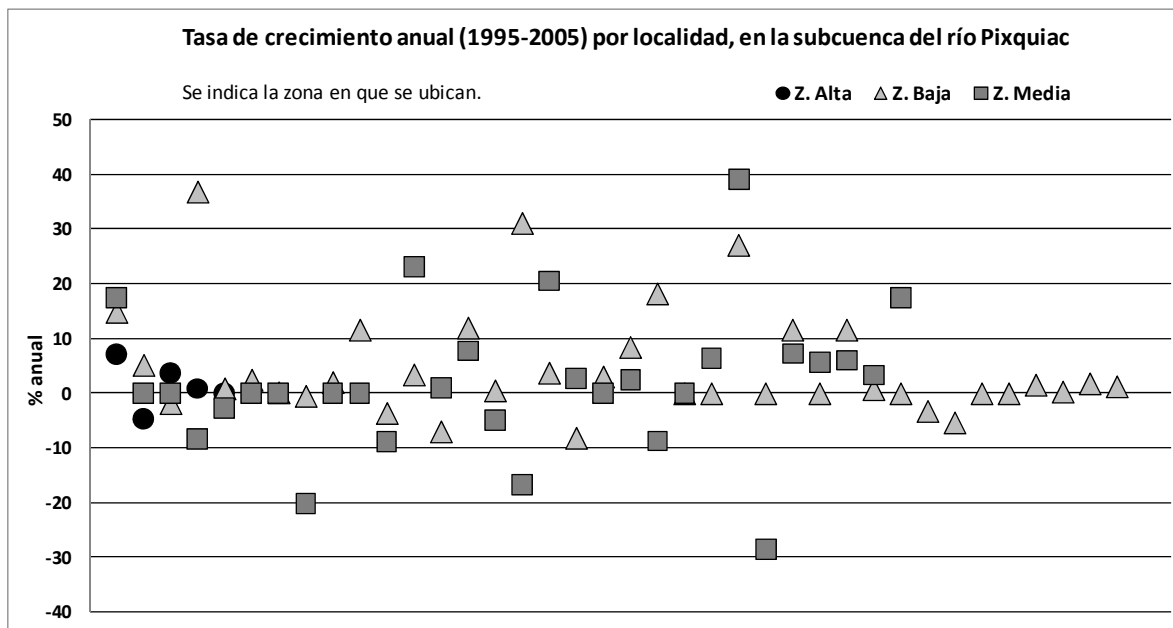


FIGURA 1.11. TASA DE CRECIMIENTO ANUAL (1995-2005) DE LAS LOCALIDADES UBICADAS DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC. Fuentes: Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 1995, 2000 y 2005, INEGI.

## 1.4 PROBLEMÁTICA SOCIO-AMBIENTAL DE ESTA SUBCUENCA

Se estima que en la cuenca alta del río La Antigua (de la que forma parte esta subcuenca) se encuentra la mayor parte de BMM del estado de Veracruz, aproximadamente 32,000 hectáreas (CONABIO, 2010). El mapa de vegetación y cobertura 2004 (Paré y Gerez, 2012), registra una superficie continua de 2100 hectáreas de BMM, además de numerosos fragmentos, donde se incluyen bosques maduros y secundarios o acahuals, que albergan una alta heterogeneidad biológica y presencia de varias especies endémicas (CONABIO, 2010; Williams-Linera, 2002a; Williams-Linera, 2002b). Esta cobertura arbolada se complementa con una importante extensión de cafetales de sombra que proveen de hábitat para numerosas especies de fauna local, endémica y migratoria, además que protegen pendientes y representan un almacén de carbono escasamente valorado (Moguel, 1999; Ortíz Ceballos, 2004; Cruz-Angón, 2005; Pineda-López et al., 2005; López-Gómez, 2008; Manson et al., 2008; Leyequien et al., 2009).

Existe un genuino interés por mantener la aportación de estos servicios ecosistémicos en la región, lo que ha generado la presencia de tres esquemas de

compensación por los servicios hidrológicos de origen local y federal: FIDECOAGUA, PROSAPIX y el de CONAFOR (Paré y Gerez, 2013). Algunos incorporan aspectos de conservación biológica y manejo sustentable de bosques (Guzmán, 2005; Paré-Ouellet, 2011).

Esta riqueza, sin embargo, está amenazada cotidianamente por la extracción irregular de madera para la industria de la construcción, leña y carbón (Haeckel, 2006; Ruger, 2008), así como por prácticas silvícolas y reforestaciones que promueven la sustitución del BMM y de los bosques mixtos *Pinus-Quercus* naturales por plantaciones de casi uniespecíficas de *Pinus patula* (Merino, 1997; Fuentes, 2013).

Por otra parte, el crecimiento acelerado de la zona conurbada Xalapa-Coatepec hacia zonas rurales, además de ocupar espacios agroproductivos y desplazar estas actividades (Benítez, et al., 2012), genera una creciente demanda de agua potable y de materiales de construcción baratos (Allé-Ando, 2004; Paré-Ouellet, 2011). Las actividades agropecuarias enfrentan una situación de precariedad ligado al bajo precio de sus principales productos desde hace varias décadas. Particularmente notables son las bruscas fluctuaciones y caída en los precios del café y de la papa, cultivos dominantes en la zona baja y en la zona alta respectivamente, así como el bajo valor de la leche, al mismo tiempo que se promueve la expansión del cultivo de caña de azúcar ligado a políticas de fomento a los biocombustibles en la zona baja. La región se distingue por una escasez de fuentes de empleo, altos índices de marginación en la población rural y suburbana, y desinterés de los jóvenes por el trabajo en el campo. Todo ello ha impulsado un flujo migratorio hacia la ciudad en busca de mejores opciones. Este contexto lleva a cuestionarnos sobre el impacto de esta situación en los bosques de esta subcuenca.

Los efectos de esta dinámica socio-ambiental se reportan en un estudio desarrollado a nivel regional en la Cuenca Alta del Río La Antigua, cuya extensión total es de 2326 km<sup>2</sup> y un rango altitudinal 100-4200 msnm. En esta cuenca alta se ha reportado una pérdida importante de bosque mesófilo de montaña y de cafetales de sombra, acompañados por la expansión de los pastizales ganaderos sobre las áreas de agricultura, durante el periodo 1990-2003 (Muñoz-Villers, et al., 2008). Sin embargo, la dinámica de cambio de uso del suelo no es unidireccional pues detectaron procesos de cambio diferentes en las zonas altas frías, respecto a las zonas medias y bajas de esa cuenca: la mayor parte de la deforestación se ubicó en las altitudes medias (entre 1400 y 2600 msnm), mientras que los bosques templados presentaron signos de recuperación. Las áreas con recuperación de bosques se concentraron

predominantemente en las laderas altas del Cofre de Perote (Muñoz-Villers *et al.*, *op.cit.*).

Estos procesos contrastantes pasan sin notoriedad cuando se enmarcan dentro de estudios con un enfoque regional en superficies muy extensas, o en los que se orientan hacia documentar la deforestación. Se concluye así que la recuperación de esos bosques “no tiene consecuencias”, pues esa superficie es superada por la pérdida de cobertura arbolada registrada en otras áreas de la misma zona de estudio (Muñoz-Villers, *et al.*, *op.cit.*: 84).

En este mismo sentido, el periodo abarcado también influye en el tipo de procesos identificados, sobre todo por la influencia que ejercen algunas políticas públicas o fenómenos económicos acotados en un momento específico. Un estudio realizado en el volcán Cofre de Perote (García-Romero, *et al.*, 2010), identificó que la deforestación más activa se presentó entre la década de 1960 hasta inicios de 1980, coincidiendo con el periodo en el que estuvo vigente una veda forestal estatal. En este mismo periodo se dio un fuerte impulso a la industrialización forestal en varias regiones del país (Gerez, 1995; Bray, 2004). Sin embargo en las siguientes décadas, entre 1980 y 2003, García Romero y colaboradores (*op.cit.*) registraron un incremento en la extensión de bosques cerrados y de bosques abiertos secundarios de alta montaña, coincidente con el inicio de la promoción del manejo forestal regulado y de otras acciones para la recuperación de los bosques (González Azuara, *et al.*, 1995; Merino, 2004).

Un elemento a destacar es que los numerosos estudios ecológicos realizados en el bosque mesófilo de esta región central de Veracruz, han documentado su importancia para conservar la diversidad biológica de este tipo de vegetación (Muñiz-Castro, 2012; Williams-Linera, *et al.*, 2013). Por lo mismo resalta la importancia de analizar el efecto que han generado las continuas intervenciones humanas en estos bosques.

Entre el nivel local de una subcuenca, como la del río Pixquiac que nos ocupa, o el nivel regional como el de la cuenca alta del río La Antigua, puede haber diferencias en los procesos que se detectan lo cual tiene implicaciones sobre las políticas de conservación y reforestación que se impulsan. Los procesos de cambio de uso del suelo se llevan a cabo a nivel local que es donde los dueños de la tierra responden o no a ciertos incentivos para conservar o para modificar el uso del suelo. En este sentido, los proyectos de conservación, los esquemas de compensación por servicios ambientales, y el monitoreo de procesos de deforestación y degradación forestal, necesitan tener

como referencia una línea base confiable y bien definida, con los indicadores de *adicionalidad* que faciliten evaluar sus resultados.

## **1.5 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

En las condiciones de bosques sujetos a intervención humana constante, como es el caso de estudio:

- 1) ¿Cuáles son los procesos de cambio dominantes en esta subcuenca?, ¿Cuáles de estos procesos han perdurado largo tiempo y cuáles pueden ser recientes o temporales?
- 2) Los bosques existentes ¿son relictos de bosques maduros?, ¿son bosques de segundo crecimiento?, o ¿en proceso de degradación?
- 3) ¿Cuáles son los factores de cambio que han impulsado la pérdida, la recuperación o la estabilidad de la cobertura arbórea en la región de estudio?
- 4) ¿Qué papel tiene la heterogeneidad físico-ambiental de esta subcuenca en los procesos de cambio de uso del suelo y cobertura presentes?
- 5) ¿Hay un comportamiento diferente en las tendencias de cambio, de acuerdo al régimen de tenencia de la tierra?

## **1.6 OBJETIVOS DE LA TESIS**

### **1.3.3. OBJETIVO GENERAL**

Identificar los procesos dominantes de cambio en la cobertura arbolada y del uso del suelo en la subcuenca del Río Pixquiac y los factores que los ocasionan, para proponer acciones de conservación específicas a la dinámica de esta zona de estudio.

### **1.3.4. OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Determinar las tendencias y estimar las tasas de cambio de cobertura y uso del suelo en los últimos 30 años (1975 a 2004) en la subcuenca del Río Pixquiac, centro de Veracruz.
2. Identificar los factores directos e indirectos que han impulsado estas tendencias de cambio.



## 1.7 BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aguilar-Støen, M., A. Angelsen, y S. R. Moe. 2011. Back to the Forest. Exploring Forest Transitions in Candelaria Loxicha, Mexico. *Latin American Research Review* 46:194-216.
- Aide, T. M., y H. R. Grau. 2004. Globalization, Migration, and Latin American Ecosystems. *Science* 305:1915-1916.
- Aide, T. M., J. K. Zimmerman, J. B. Pascarella, L. Rivera, y H. Marcano-Vega. 2000. Forest Regeneration in a Chronosequence of Tropical Abandoned Pastures: Implications for Restoration Ecology. *Restoration Ecology* 8:328-338.
- Allé-Ando, Y. 2004. "An integrated resource management approach to mitigating water quality and quantity degradation in Xalapa, Mexico". Tesis de Maestría. University of British Columbia, Canada.
- Barsimantov, J., y J. Kendall. 2012. Community Forestry, Common Property, and Deforestation in Eight Mexican States. *Journal of Environment & Development*: 1-24.
- Benítez, G., A. Pérez-Vázquez, M. Nava-Tablada, M. Equihua, and J. L. Álvarez-Palacios. 2012. Urban expansion and the environmental effects of informal settlements on the outskirts of Xalapa city, Veracruz, Mexico. *Environment & Urbanization* 24:149-166.
- Boege, E. 2008. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. INAH, CNDI, México.
- Bonilla-Moheno, M., D. J. Redo, T. M. Aide, M. L. Clark, y H. R. Grau. 2013. Vegetation change and land tenure in México, a country wide analysis. *Land Use Policy* 30:355-364.
- Bray, D. B. 2010. "Forest Cover Dynamics and Forest Transitions in Mexico and Central America: Towards a 'Great Restoration'?" Págs. 85-120. En: H. Nagendra and J. Southworth, editors. Reforesting Landscapes. Linking Pattern and Process. Springer Science+Business Media, N.Y.
- Bray, D. B., E. Duran, V. H. Ramos, J. F. Mas, A. Velazquez, R. B. McNab, D. Barry, y J. Radachowsky. 2008. Tropical Deforestation, Community Forests, and Protected Areas in the Maya Forest. *Ecology and Society* 13:56.
- Bray, D. B., y L. Merino. 2004. La experiencia de las comunidades forestales en México. Veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias. INE, SEMARNAT, CCMSS, México.
- Cairns, M. A., P. K. Haggerty, R. Alvarez, B. H. J. De Jong, y I. Olmsted. 2000. Tropical Mexico's recent land-use change: A region's contribution to the global carbon cycle. *Ecological Applications* 10:1426-1441.
- Castillo-Santiago, M., A. Hellier, R. Tipper, y B. de Jong. 2007. Carbon emissions from land-use change: an analysis of causal factors in Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12:1213-1235.
- CCMSS. 2012. "Determinantes del cambio de uso del suelo en terrenos forestales". CCMSS, México.
- CONABIO. 2008. Capital Natural de México. Volumen 1. "Conocimiento actual de la biodiversidad". SEMARNAT, México D.F.
- CONAFOR. 2010. "Visión de México sobre REDD+". Comisión Nacional Forestal, SEMARNAT, México, D.F. 57 Págs.
- CONAFOR. 2012. "Estrategia Nacional para REDD"+. SEMARNAT, México. 100
- CONANP. 2000. "Estrategia de conservación para el desarrollo". SEMARNAT, México. 52 Págs.
- Cotler, H. 2003. "Características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña". Instituto Nacional de Ecología. Ponencia inédita. 16 p., México, D.F.
- Cruz-Angón, A., y R. Greenberg. 2005. Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment. *Journal of Applied Ecology* 42:150-159.
- de Jong, W. 2010. Forest Rehabilitation and Its Implication for Forest Transition Theory. *Biotropica* 42:3-9.
- Díaz, S., A. Hector, y D. A. Wardle. 2009. Biodiversity in forest carbon sequestration initiatives: not just a side benefit. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1:55-60.

- Dirzo, R., y M. C. García. 1992. Rates of Deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in Southeast Mexico. *Conservation Biology* 6:84-90.
- Dupuy-Rada, J. M., J. A. González-Iturbe, S. Iriarte-Vivar, L. M. Calvo-Irabien, C. Espadas-Manrique, F. Tun-Dzul, y A. Dorantes-Euán. 2007. Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas, Bol. Inst. Geog. UNAM* 62:104-124.
- Duran, E., J. F. Mas, y A. Velázquez. 2007. "Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas en México". Págs. 267-299. En: D. B. Bray, L. Merino, y D. Barry (eds.) Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales. SEMARNAT, INE, IG-UNAM, CCMSS, FIU, Mexico, D.F.
- Edwards, D. P., B. Fisher, y E. Boyd. 2010. Protecting degraded rainforests: enhancement of forest carbon stocks under REDD+. *Conservation Letters* 3:313-316.
- Ellis, E. A., K. A. Baerenklau, R. Marcos-Martinez, y E. Chavez. 2010. Land use/land cover change dynamics and drivers in a low-grade marginal coffee growing region of Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 80:61-84.
- Ellis, E. A., y L. Porter-Bolland. 2008. Is community-based forest management more effective than protected areas? A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico. *Forest Ecology and Management* 256:1971-1983.
- FAO. 2006. "Global Forest Resources Assessment 2005". Main Report. FAO, Rome.
- FAO. 2010. "Global Forest Resources Assessment 2010. Global table statistics". Libro excel con estadísticas por países. FAO, Rome.
- Flores-Villela, O., y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México. Vertebrados, vegetación y uso del suelo. 2a. edition. CONABIO y Fac. Ciencias, UNAM, México, D.F.
- Fuentes P., T. 2013. "Usos tradicionales de la madera del bosque mesófilo de montaña en la subcuenca del río Pixquiac". Tesis de Maestría en Manejo del Recurso Forestal. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- García Coll, I., A. Martínez Otero, y G. Vidriales Chan. 2008. "Balance Hídrico de la Cuenca del Río Pixquiac". SENDAS, A.C. Xalapa, Ver. Informe técnico inédito.
- García-Barrios, L., Y. M. Galván-Miyoshi, I. A. Valdivieso-Perez, O. R. Masera, G. Bocco, y J. Vandermeer. 2009. Neotropical Forest Conservation, Agricultural Intensification, and Rural Out-migration: The Mexican Experience. *Bioscience* 59:863-873.
- García-Romero, A., Y. Montoya, M. V. Ibarra, y G. G. Garza. 2010. Economía y política en la evolución contemporánea de los usos del suelo y la deforestación en México: El caso del volcán Cofre de Perote. *Interciencia* 35:321 - 328.
- Geissert, D., E. Meza, y R. Landgrave. 2007. "Carta geomorfológica de la Cuenca Alta del río La Antigua". Digitalizada en formato shape, esc. 1:50,000. INECOL, A.C., Xalapa, Ver.
- Gerez Fernández, P., and M. R. Pineda-López. 2011. Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD+. *Madera y Bosques* 17:7-27.
- Gerez, P., L. Merino, y G. Alatorre. 1995. "En la búsqueda de un manejo sostenible de los bosques: El ejido Ingenio del Rosario, Xico". Págs. 179-195. En: E. Boege S., H. García Campos, y P. Gerez Fernández, (eds.) Alternativas al manejo de laderas en Veracruz. Fund. Friedrich Ebert y SEMARNAP, Xalapa, Ver.
- GOFG-GOLD. 2009. "A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation"., GOFG-GOLD Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, Canada.
- González Azuara J.A., Zedán C., y Gerez Fernández, P. 1995. Ordenamiento del manejo de ovinos y caprinos en una zona forestal: La experiencia del Cofre de Perote. Págs. 235-246. En: E. Boege S., H. García Campos, and P. Gerez Fernández, eds. "Alternativas al manejo de laderas en Veracruz". Fund. Friedrich Ebert y SEMARNAP, Xalapa, Ver.

- Guzmán, G. 2005. "Estudio de caso sobre el desarrollo de mercados de servicios ambientales en México, Cofre de Perote-Coatepec, Veracruz. El FIDECOAGUA". Informe final inédito. Consultoría realizada por CCMSS, A.C. para CONAFOR y BM, México, D.F. 44 Págs.
- Haeckel, I. 2006. "Firewood use, supply, and harvesting impact in cloud forests of central Veracruz, Mexico". Tesis de Maestría. Columbia University, New York.
- Hecht, S. 2010. The new rurality: Globalization, peasants and the paradoxes of landscapes. *Land Use Policy* 27:161-169.
- Kull, C. A., C. K. Ibrahim, y T. C. Meredith. 2007. Tropical Forest Transitions and Globalization: Neo-Liberalism, Migration, Tourism, and International Conservation Agendas. *Society & Natural Resources* 20:723-737.
- Lambin, E. F., H. J. Geist, y E. Lepers. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources* 28:205-241.
- Lambin, E. F., y P. Meyfroidt. 2010. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy* 27:108-118.
- Leyequien, E., y V.M.Toledo. 2009. Floras y aves de cafetales: Ensamblajes de biodiversidad en paisajes humanizados. *Biodiversitas*: 7 -10.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velázquez, y J. R. Aguirre-Rivera. 2006. Peasant migration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems* 90:62-78.
- López-Gómez, A. A., G. Williams-Linera, y R. H. Manson. 2008. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, Mexico. *Agriculture Ecosystems & Environment* 124:160-172.
- Manson, R. H. 2004. Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques* 10:3-20.
- Manson, R. H., V. Hernández Ortiz, S. Gallina, y K. Mehlreter, editors. 2008. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Mas, J. F., A. Velázquez, J. R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández, and A. Pérez-Vega. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multidecade spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5:249-261.
- Mather, A. S., y C. L. Needle. 1998. The forest transition: a theoretical basis. *Area* 30:117-124.
- Merino, L. 1997. El manejo forestal comunitario en México y sus perspectivas de sustentabilidad. UNAM, CRIM, SEMARNAT, WRI, CCMSS, México, D.F.
- Merino, L. 2004. Conservación o Deterioro. El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en los usos de los bosques en México. SEMARNAT, INE, CCMSS, México, D.F. 1a. edición.
- Moguel, P., y V. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:1-21.
- Muñiz-Castro, M. A., G. Williams-Linera, y M. Martínez-Ramos. 2012. Dispersal mode, shade tolerance, and phytogeographical affinity of tree species during secondary succession in tropical montane cloud forest. *Plant Ecology* 213:339-353.
- Muñoz, C., A. Guevara, J.M. Bulás, J. M. Torres, y J. Braña. 2006. "Pagar por los servicios hidrológicos del bosque en México". Págs. 165-205. En: S. Pagiola, J. Bishop, y N. Landell-Mills, eds. La venta de servicios ambientales forestales. SEMARNAT, INE, Méx. D.F.
- Muñoz-Villers, L. E., y J. López-Blanco. 2008. Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing* 29:71-93.
- Nagendra, H., y J. Southworth. 2010. "Reforestation: conclusions and implications". Págs. 357-367. In: H. Nagendra y J. Southworth, eds. Reforesting landscapes: Linking pattern and process. Springer Science+Business Media, N.Y.

- Ortíz Ceballos, G. 2004. "El agroecosistema café: crisis de mercado y sustentabilidad". Tesis de Doctorado. Colegio de Posgraduados, Veracruz, Méx.
- Pacheco, P., M. Aguilar-Stoen, J. Borner, A. Etter, L. Putzel, y M. C. V. Diaz. 2011. Landscape Transformation in Tropical Latin America: Assessing Trends and Policy Implications for REDD+. *Forests* 2:1-29.
- Paré, L., y P. Gerez. 2012. Al Filo del Agua: cogestión de la cuenca del río Pixquiac, Veracruz. UNAM, SENDAS, UV, SEMARNAT, INE, U.Iberoamericana-Puebla, Juan Pablos ed., Xalapa, Ver.
- Paré-Ouellet, L., P. Gerez-Fernández, T. Fuentes-Pangtay, G. Vidriales-Chan, y M. Á. Muñiz-Castro. 2011. "Hacia la cogestión integral de la cuenca del río Pixquiac, en el centro de Veracruz". Págs. 145-165. En: A. Contreras-Hernández y E. F. Kauffer-Michel, eds. Recursos naturales, instituciones locales y políticas ambientales: las encrucijadas de la conservación en México. Asociación Mexicana de Estudios Rurales, México, D.F.
- Pineda-López, M. R., G. Ortíz-Ceballos, y L. R. Sánchez-Velásquez. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques* 11:3-14.
- Putz, F. E., y K. H. Redford. 2010. The Importance of Defining 'Forest': Tropical Forest Degradation, Deforestation, Long-term Phase Shifts, and Further Transitions. *Biotropica* 42:10-20.
- Redford, K. H. 1992. The Empty Forest. *Bioscience* 42:412-422.
- Redo, D. J., H. R. Grau, T. M. Aide, y M. L. Clark. 2012. Asymmetric forest transition driven by the interaction of socioeconomic development and environmental heterogeneity in Central America. *PNAS* 109:8839-8844.
- Rudel, T. K., O. T. Coomes, E. Moran, F. Achard, A. Angelsen, J. Xu, y E. Lambin. 2005. Forest transitions: towards a global understanding of land use change. *Global Environmental Change* 15:23-31.
- Ruger, N., G. Williams-Linera, W. D. Kissling, y A. Huth. 2008. Long-Term Impacts of Fuelwood Extraction on a Tropical Montane Cloud Forest. *Ecosystems* 11:868-881.
- Sasaki, N., y F. E. Putz. 2009. Critical need for new definitions of "forest" and "forest degradation" in global climate change agreements. *Conservation Letters* 2:226-232.
- SEMARNAT. 2009. "Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012". En: Comisión Intersecretarial para el Cambio Climático, editor. SEMARNAT, México, D.F. 118 Págs.
- Shrader-Frechette, K. S., y E. D. McCoy. 1993. Method in Ecology: Strategies for Conservation. Cambridge Univ. Press, London, U.K.
- Southworth, J., y H. Nagendra. 2010. "Reforestation: Challenges and themes in reforestation research". Págs. 1-14. En: H. Nagendra and J. Southworth, eds. Reforesting landscapes: Linking pattern and process. Springer Science+Business Media, N.Y.
- Southworth, J., and C. Tucker. 2001. The influence of accessibility, local institutions and socioeconomic factors on forest cover change in the mountains of western Honduras. *Mountain Research and Development* 21:276-283.
- Stake, R. E. 1994. "Case Studies". Págs. 236-247. En: N. K. Denzin y Y. S. Lincoln, eds. Handbook of Qualitative Research. Sage Publ, California, EUA.
- Takaki, F. 2010. "Información básica para la construcción de la tasa de deforestación". <http://www.inegi.org.mx/rne/docs/Pdfs/Mesa3/20/FranciscoTakaki.pdf>. INEGI, México.
- Tejeda, A., M.E. Guadarrama, C.A. Ochoa, A. Medina, M.E. Equihua, A. Cejudo, C.M. Welsh, S. Salazar, L.A. Gutiérrez, E. López, T. García, y M. Marín. 2008. Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC). Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología, Embajada Británica, UNAM, INECOL, Xalapa, Ver., Méx.
- UNFCCC. 2006. "Background paper for the Workshop on Reducing Emissions from Deforestation in Developing Countries". Workshop on reducing emissions from deforestation in developing countries. United Nations, Rome, Italy.

- Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, y J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*: 21-37.
- Velázquez, A., E. Durán, I. Ramírez, J. F. Mas, G. Bocco, G. Ramírez, y J. L. Palacio. 2003. Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13:175-184.
- Velázquez, A., E. Durán, J. F. Mas, D. B. Bray, y G. Bocco. 2005. "Situación actual y prospectiva del cambio de la cubierta vegetal y usos del suelo en México". Págs. 391-416. En: E. Zuñiga Herrera, ed. México, ante los desafíos de desarrollo del milenio. CONAPO, México, D.F.
- Villers, L., y I. Trejo. 2004. "Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales". Págs. 239-254. En: J. Martínez y A. Fernández-Bremauntz, eds. Cambio climático: Una visión desde México. INE, SEMARNAT, Méx. D.F.
- Williams-Linera, G. 2002. Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation* 11:1825-1843.
- Williams-Linera, G., R. H. Manson, and E. Isunza. 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso de suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 8:73-79.
- Williams-Linera, G., M. Toledo-Garibaldi, and C. G. Hernández. 2013. How heterogeneous are the cloud forest communities in the mountains of central Veracruz, Mexico? *Plant Ecology*.

---

## CAPÍTULO 2. LOS BOSQUES DE VERACRUZ EN EL CONTEXTO DE UNA ESTRATEGIA ESTATAL REDD+

---

Artículo publicado: Gerez-Fernández, P. y M.R. Pineda-López, 2011. “Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD+”. En: *Madera y Bosques* 17(3):7-27.<sup>4</sup>

Autor de correspondencia: [pgerez@gmail.com](mailto:pgerez@gmail.com)

INBIOTECA, U.V. CA-UVER-173

Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana.  
Av. de las Culturas Veracruzanas No. 101, Campus para la Cultura, las Artes y el Deporte, Col.  
Emiliano Zapata, C.P. 91090, Xalapa, Veracruz, México.

---

<sup>4</sup> Una versión preliminar de este documento se presentó como ponencia oral en la Consulta Pública del Programa Veracruzano de Cambio Climático (PVCC). Xalapa, Ver., 27 de marzo del 2009.

## **RESUMEN**

Los bosques han sido reconocidos como pieza fundamental para mitigar uno de los impactos que más afecta a la vida sobre el planeta: el calentamiento global. El conocimiento generado en las últimas décadas sobre los procesos ecosistémicos y los servicios que estos brindan para el bienestar humano, así lo confirman. Dentro de las estrategias nacionales y regionales REDD+, enfocadas hacia la reducción y mitigación de los gases con efecto invernadero, las opciones más efectivas y económicas incluyen mejorar el manejo forestal y la conservación de bosques. Estas opciones, además, contribuyen a mejorar las condiciones de vida de los poseedores de bosques y al desarrollo sustentable de las regiones forestales, frecuentemente zonas marginadas. Si bien Veracruz ha elaborado una Ley y un Plan Veracruzano de Acción frente al Cambio Climático, la perspectiva REDD+ es novedosa y constituye una oportunidad para impulsar acciones de colaboración académica e interinstitucional con los tres niveles de gobierno, y de vinculación entre la investigación interdisciplinaria y los involucrados en la actividad forestal del estado. En este contexto, se presenta un diagnóstico general de la situación del sector forestal de Veracruz y de las ANP, para identificar las áreas de oportunidad que nos permitan conjuntar esfuerzos entre los académicos y dueños de bosques, y que deriven en acciones para mejorar el manejo de estos ecosistemas.

Palabras clave: bosques, manejo forestal, deterioro, REDD+, ANP, Veracruz

## **ABSTRACT**

Nowadays, forests have a key role to mitigate the effects global warming has on our planet. Scientific knowledge on ecosystem processes and services to human wellbeing confirm this. As an important component on REDD+ national and regional strategies, which will guide the actions needed to reduce and mitigate the greenhouse gases emissions, forest management and forest conservation are the most effective and less costly measures. This kind of strategies will contribute directly to improve the life conditions of forest owners, and socioeconomic development conditions of forest regions. Even though Veracruz state has developed a Law and an Action Plan towards Climate Change, a REDD+ perspective is still a novelty. It constitutes an opportunity for academic collaboration with government institutions on the three levels, with forest owners, and with those involved in forestry activity along the state. In this context, we present a general analysis on Veracruz' forests situation, pointing out the deforestation and degradation trends and active processes, to outline certain aspects as opportunity areas to develop collective efforts between academia and forest owners, to improve the management of our forest ecosystems for the benefit of society.

Key words: forests, forest management, degradation, protected areas, REDD+, Veracruz

## 2.1. INTRODUCCIÓN

En las acciones de mitigación y adaptación que se están identificando y promoviendo a nivel global para reducir la emisión de los gases con efecto invernadero (GEI), la atención prioritaria se dirige a la modificación mundial de las pautas de consumo de los energéticos fósiles, a través de reducirlo o fomentando mayor eficiencia y tecnologías alternativas. En términos del porcentaje de GEI<sup>5</sup> que aportan los diferentes sectores productivos y económicos a la atmósfera, el 30.9% proviene de los procesos de deforestación y de actividades relacionadas con ganadería y agricultura (IPCC, 2007).

Es por ello que los bosques tienen un papel fundamental en las acciones de mitigación propuestas a nivel mundial; específicamente por su función de capturar bióxido de carbono de la atmósfera y almacenarlo a mediano y largo plazo en la madera y biomasa del suelo (De Jong et. al 2004, Jaramillo, 2004; Rosa *et al.*, 2004). En este contexto se reconoce que entre las acciones propuestas como medidas de mitigación de los GEI, las relacionadas con los bosques son, a corto y mediano plazo, las más prácticas y efectivas en términos económicos, sobre todo porque contribuyen directamente a las economías regionales, a la conservación de suelos y de cuencas altas, y al bienestar de los habitantes del campo y dueños de los bosques (The Forests Dialogue, 2008).

En nuestro país las tasas de deforestación y de degradación de las áreas forestales indican que tenemos un gran reto para reducir estas emisiones y para transformar al sector forestal en un aliado activo en las acciones que se están identificando (CEIBA, 2010). En el proceso de elaborar una Estrategia Nacional de Cambio Climático<sup>6</sup> se han impulsado procesos estatales piloto, como el de Chiapas (Vargas Guillén et al., 2009) y de el Veracruz (CICC, 2007; PVCC, 2008; Ley # 878 de Veracruz); los cuales se insertan en un proceso mundial para impulsar estrategias nacionales, regionales y locales, junto con marcos legales novedosos que nos permitan prever e identificar los cambios que se avecinan y sus efectos, así como proponer acciones para mitigarlos o reducirlos.

Desde el sector forestal, en 2008 CONAFOR convocó a varios sectores para impulsar una Estrategia para la Reducción de Emisiones por Deforestación y

---

<sup>5</sup> GEI - Gases de Efecto Invernadero.

<sup>6</sup> SEMARNAT, 2010. "Visión de México sobre REDD+", es la plataforma nacional para construir la Estrategia Nacional REDD+ desde CONAFOR.



Degradación (REDD)<sup>7</sup>, acorde con el marco de una estrategia mundial, con el fin de revisar los incentivos que han operado hasta ahora e incluir nuevos proyectos que permitan reducir la deforestación y la degradación de los bosques con un enfoque novedoso (De Jong y Olgún, 2008). De manera paralela en 2009 se constituyó el Programa Mexicano del Carbono (PMC), por iniciativa de la SEMARNAT y el INE, como una asociación civil constituida por académicos, investigadores y estudiantes de diversas instituciones del país, que “busca coordinar, desarrollar, impulsar y sistematizar la investigación científica relativa a los estudios del ciclo del carbono en los diversos ecosistemas terrestres y acuáticos a nivel nacional, y los impactos ecológicos, económicos y sociales, bajo el contexto del cambio climático global”, incorporando las actividades agrícolas, pecuarias y forestales (PMC, 2011) .

El desarrollo de una estrategia para el cambio climático de nivel estatal ofrece la oportunidad para revisar lo que está sucediendo en las regiones forestales de los estados, con el fin de identificar los indicadores básicos necesarios para establecer *líneas base o de referencia* que nos permitan monitorear los efectos del CC, al mismo tiempo que se impulsen acciones concretas de mitigación a través de proyectos productivos.

## 2.2. EL CONCEPTO REDD

Con la puesta en marcha del Protocolo de Kyoto se integro un órgano responsable de revisar y tomar decisiones sobre la implementación de acuerdos emitidos por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), denominado Conferencia de las Partes (COP), que se reúne anualmente desde 1995. Dicho órgano emitió el concepto RED a través de “un grupo de científicos que desarrollaron el mecanismo como un enfoque nacional para reducir la deforestación llamado *reducciones compensadas* (UN-REDD Program, 2009a). El concepto básico de la propuesta RED (Reducción de Emisiones por Deforestación) es que los países serían compensados por la reducción medible en su tasa de deforestación (comparada con un nivel de referencia nacional histórico de deforestación), donde el país generaría créditos que podría vender en los mercados de carbono si su tasa de deforestación estaba por debajo de la tasa de referencia. Este mecanismo logró despertar el interés de los mercados de carbono, los cuales se dirigieron fundamentalmente hacia las plantaciones comerciales, pues al mismo tiempo que sumaba superficie forestal, capturaba CO<sub>2</sub> en una de las etapas de mayor crecimiento de los árboles.

---

<sup>7</sup> En los documentos oficiales del IPCC se promueven estrategias REDD, refiriéndose a acciones que reduzcan emisiones por deforestación y por deterioro de las masas forestales, y REDD+ cuando incluyen a los almacenes de carbono en bosques existentes.

Sin embargo, pronto fue evidente la necesidad de diseñar un mecanismo más amplio, que evitará fugas y que incluyera la posibilidad de estimular procesos de restauración de bosques naturales. En este contexto se promovió REDD, cuyo planteamiento básico es que “aquellos países dispuestos y en posibilidad de reducir emisiones por evitar la deforestación y la degradación de sus bosques, deberían ser compensados financieramente por dichas acciones” (UN-REDD Program, 2009a). Recientemente este concepto se ha ampliado para dar lugar a REDD+, refiriéndose a “las actividades que reducen las emisiones por evitar la deforestación y degradación forestal (REDD) y que contribuyen a la conservación, manejo sostenible de los bosques y mejoramiento de las existencias de carbono forestal que tienen el potencial de generar significativos co-beneficios sociales y ambientales” (UN-REDD Program, 2009a).

Esta última estrategia ofrece una ventana de oportunidad interesante para incidir en las condiciones de los bosques mexicanos, ya que los dueños de bosque y los profesionistas asociados podrían acceder a fondos para proyectos que vinculen la conservación de servicios ambientales, con un aprovechamiento ordenado y de largo plazo de los bosques, generando empleos e ingresos locales. Lo relevante de este mecanismo es que ofrece la posibilidad de articular varios aspectos prioritarios para el país, como el desarrollo social y comunitario, diversificación de alternativas para la conservación biológica, de suelos, agua, paisajes y bosques, así como la producción de bienes como madera, etc., que generan cadenas productivas regionales (CEIBA, 2010). Sin embargo, para que esto sea operativo será necesario que las acciones de intervención, los objetivos y metas, se establezcan acorde a las condiciones regionales e incluso locales, pues hay llamadas de atención hacia las implicaciones sociales negativas que tendría una falta de participación efectiva y de compromiso de los dueños de las tierras forestales para controlar el cambio de uso del suelo y otras causas de deforestación y degradación (CEIBA, 2010; CCMSS, 2010).

### **2.3. LA ESTRATEGIA REDD+ EN LAS CONDICIONES REGIONALES Y LOCALES DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES**

En el diseño de una estrategia estatal para reducir y mitigar los GEI es necesario reconocer la función que tienen los bosques, selvas y plantaciones forestales, donde la composición de especies influye en las tasas de captura y almacenamiento del CO<sub>2</sub>. Es por esto que varios autores empiezan a proponer una perspectiva sinérgica donde se reconoce el efecto integral de la biodiversidad con la captura y almacenes de CO<sub>2</sub>, así como otros servicios ambientales fundamentales para la sociedad, tales como provisión de agua de calidad, protección de suelos y de cuencas altas y amortiguación de tormentas (Balvanera y Cotler, 2007; Díaz et al., 2009). Es desde esta perspectiva, que una estrategia REDD+ debe incluir actividades diversas que incorporen medidas para reducir deforestación, junto con mejoras a las actividades silvícolas, agrícolas y pecuarias, como contraparte indispensable en las

acciones propuestas para los sectores energético, industrial y de protección civil, como se reconoce en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (CICC, 2007).

Diversos estudios indican que a través del manejo forestal sustentable, se pueden incrementar las reservas de carbono en los bosques y en los suelos forestales y, paralelamente, reducir las tasas de degradación (Putz et al., 2008). Acciones dirigidas para lograr estos objetivos permitirían resolver varios asuntos pendientes en el manejo de los bosques de las diferentes regiones de México, particularmente en Veracruz. Entre ellos están la incorporación al manejo regulado de las zonas con extracción ilegal, mejorar la calidad del manejo forestal, fomentar la regeneración natural de los bosques con permisos persistentes y el crecimiento de las plantaciones forestales, e impulsar actividades económicas de mayor valor agregado y menor desperdicio para beneficio directo de sus dueños y de las industrias asociadas. Proyectos piloto, como el PECSE<sup>8</sup> en Chiapas, han logrado compaginar medidas de mitigación del CC con el desarrollo de capacidades locales y de oportunidad económica para las comunidades campesinas (Vargas Guillén et al. 2009).

A partir de identificar las condiciones actuales de los bosques en cada región del país se pueden utilizar los indicadores requeridos para una propuesta de monitoreo REDD+ de nivel estatal. Entre los procesos locales a considerar para generar esos indicadores están la tasas de pérdida de la cobertura arbolada y los procesos locales/regionales que inciden en el cambio de uso del suelo, la degradación y fragmentación de los bosques, la superficie incorporada al manejo regulado versus la que se mantiene bajo extracción irregular, la productividad/hectárea, el uso de madera como energético, la derrama económica regional de estas actividades, el grado de conservación de los bosques, el tipo y valoración de los servicios ambientales que brindan a las sociedades regionales, las características de tenencia de la tierra y organización social y productiva en estas regiones forestales. A continuación se presentan algunos elementos de la problemática general de las zonas forestales, enfatizando en ciertos procesos que inciden directamente sobre las condiciones de los bosques.

## **2.4. DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN EN LAS ZONAS FORESTALES EN MÉXICO**

Si bien es conocido el tema de las altas tasas de deforestación del país, las cifras varían dependiendo el período analizado y la metodología utilizada (García Barrios et al., 2009; FAO, 2005; Takaki, 2010; Velázquez et al., 2002). Menos conocida y analizada es la cifra sobre la degradación o deterioro de los bosques y selvas, problema igualmente urgente de atender y muy complejo para monitorear ya que tiene

---

<sup>8</sup> PECSE - Programa Estatal para la Compensación por Servicios Ecosistémicos. Una propuesta para Chiapas.

causas diversas que pueden pasar desapercibidas. A nivel nacional, CONAFOR estima que la degradación forestal tiene tasas similares a las registradas para la deforestación; de hecho, INEGI esta detectando un incremento mayor en las tasas de “secundarización” de los bosques (cuadro 2.1).

CUADRO 2. 1. TASAS DE DETERIORO DE LOS RECURSOS FORESTALES EN MÉXICO

|                           | CONAFOR, 2008  | FAO, 2005       | INEGI, 2010    |
|---------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Deforestación (1993-2002) | 512,500 ha/año | 260,400 has/año | 336,523ha/año  |
| Degradación (1993-2002)   | 457,700 ha/año |                 | 405,155 ha/año |

Fuentes: Iglesias, et al. 2008.; FAO, 2005; Takaki, 2010.

Es importante considerar que estas cifras no son estáticas, ni van en un solo sentido. Los cambios no van únicamente en términos de reducción en la cobertura arbolada, pues hay flujos entre los diferentes usos del suelo, generando procesos de revegetación y degradación más complejos; algunos de los cuales ya se han empezado a documentar en diferentes regiones de nuestro país y del trópico (Velázquez et al. 2002; Klooster, 2003; Lambin et.al., 2003; Muñoz-Villers y López-Blanco, 2007; García Barrios, et al., 2009; Bray, 2010). En estos procesos locales y regionales de desforestación-regeneración es clave identificar la dinámica de la vegetación y procesos de regeneración natural y asistida. Particularmente para los bosques mixtos de pino-encino y otros como el bosque mesófilo y los bosques tropicales, identificar los procesos específicos de regeneración en el contexto del cambio climático dará pistas sobre su efecto en la estructura y diversidad de las especies (Villers y Trejo, 2004), pues su capacidad para capturar y almacenar carbono depende de ello (Díaz et al. 2009).

En el diseño de las estrategias para reducir y mitigar GEI, la degradación o deterioro es de interés porque se trata de un proceso generalmente paulatino, pero permanente, en el que los bosques pierden biomasa y, con frecuencia se genera un cambio en la composición de las especies dominantes, generalmente hacia unas de menor densidad de madera y tamaño. Dentro de esta categoría caben los bosques secundarios o en proceso de regeneración natural, catalogados como “vegetación secundaria” en los inventarios forestales y en los mapas de vegetación (Takaki, 2010).

La degradación forestal en bosques productivos tiene efectos económicos, pues reduce el valor de los bosques al disminuir el volumen y/o la presencia de especies comerciales. Tiene también efectos ecológicos, pues se modifica la estructura y composición del bosque hacia estadios sucesionales tempranos. En estos casos, el efecto sobre la biomasa arbórea y la capacidad del bosque para capturar y acumular CO<sub>2</sub> (Putz et al. 2008) es un importante indicador para una estrategia REDD+. Este proceso involucra un incremento en volumen, solo que falta información sobre la composición de especies o calidad de esta biomasa. Para estos bosques secundarios es necesario desarrollar estudios sobre su estructura, composición y contenido de C con el fin de valorar su función como sumideros y almacenes de Carbono.

En México la estrategia de reforestación impulsada por CONAFOR, se ha centrado fundamentalmente en la promoción de plantaciones de pino y de algunas especies de rápido crecimiento. Se ha apoyado anualmente la siembra de 199,790 hectáreas, con una inversión anual equivalente a \$31'951,831 dólares (OCDE, 2003); aunque se ha reconocido que su tasa de sobrevivencia es menor al 50%<sup>9</sup> y que no se tiene registro exacto de la superficie efectivamente sembrada, por lo que no se puede contabilizar en los inventarios forestales. El seguimiento de esta inversión requiere de capacidades locales y procedimientos claros entre las instituciones y grupos académicos con el fin de intercambiar información y optimizar recursos financieros y humanos, pues a pesar de los grandes montos invertidos hasta el momento no hay registros geográficos, agronómicos y ambientales de dónde, cuánto, quién, qué especies, edades y condiciones de salud tienen las plantaciones y las reforestaciones<sup>10</sup>.

En términos de servicios ambientales, las plantaciones y reforestaciones pueden favorecer la restauración pasiva mediante la recolonización de especies nativas de plantas y animales (Sánchez-Velásquez et al., 2009). Sin embargo, su aportación como sumideros y almacenes de carbono debe cuantificarse, pues a la fecha solo se cuenta con las estimaciones derivadas de referencias en la literatura, pero faltan datos de su contribución a la mitigación de los gases de efecto invernadero en las condiciones en las que están creciendo.

## **2.5. LOS BOSQUES DE VERACRUZ: CONDICIONES DE VULNERABILIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO**

### **a) Cambio de uso del suelo**

Veracruz se enfrenta al fenómeno del cambio climático en situación muy precaria respecto a la condición de sus recursos naturales. En el Plan Sectorial Forestal de Veracruz 2006-2028 se reconocía el deterioro evidente en la calidad de los recursos naturales del estado: salinización en las zonas bajas cercanas a la costa, compactación de suelos en potreros ganaderos con la consecuente baja productividad, los suelos deteriorados por erosión pérdida de fertilidad, y contaminación por excesivo uso de agroquímicos (SEDARPA, 2006).

En las últimas cinco décadas el estado perdió la mayor parte de sus bosques, selvas y vegetación de zonas inundables, y por tanto, de su diversidad biológica. El

---

<sup>9</sup> El Plan Sectorial Forestal de Veracruz registró una sobrevivencia entre 12 y 29% en las reforestaciones (SEDARPA, 2006).

<sup>10</sup> Para CONAFOR, plantación y reforestación están ubicados en distintos rubros de apoyo y se les considera con objetivos diferentes.

Inventario Nacional Forestal (INF) del 2000 estimaba que 75% de la superficie del estado estaba dominada por pastizales ganaderos y por la agricultura, y 25% mantenía la cubierta forestal con distintos grados de deterioro. Esta última conformada por 312,625 has de bosques templados y 975,948 ha de selvas (SEDARPA, 2006)<sup>11</sup>.

De acuerdo a lo registrado en el Plan Sectorial Forestal de Veracruz (SEDARPA, 2006), las tendencias de cambio de uso del suelo en el estado seguían activas. En el cuadro 2 la última columna muestra con flechas gruesas las tasas de cambio altas, mientras que las flechas delgadas se refieren a tasas menores. Los inventarios forestales nacionales de 1994 y 2000 revelaban para Veracruz tres situaciones particulares: a) La mayor actividad de cambio de uso del suelo se ubicaba en las selvas secas, matorrales semiáridos, manglares y las áreas inundables, con una pérdida de 9% en dicho periodo; fundamentalmente debido a la creación de distritos de riego, expansión urbana, ampliación de zonas industriales y minería a cielo abierto. b) En la década 1990-2000, los bosques y selvas húmedas aminoraron su tendencia decreciente, con una pérdida del 1%; lo que puede explicarse porque la mayor parte de las tierras aptas para cultivos y ganadería ya están ocupadas, y porque fenómenos sociales y económicos, como la emigración rural y el bajo valor de los productos agrícolas de temporal, han generado el abandono de tierras agropecuarias con la consecuente recuperación de áreas forestales en la forma de acahuales. c) La expansión de la ganadería seguía activa pues se incrementó 13% en el periodo, fundamentalmente a costa de la superficie agrícola, cuya ampliación se ha aminorado en este período (cuadro 2.2.).

CUADRO 2. 2. CAMBIOS EN COBERTURA DEL USO DEL SUELO EN VERACRUZ 1994-2000

| Tipo de cobertura del suelo          | 1994 (%) | 2000 (%) | Tasa de cambio | Tendencia |
|--------------------------------------|----------|----------|----------------|-----------|
| Agricultura                          | 31       | 28       | - 3%           | ↓         |
| Bosques y selvas                     | 19       | 18       | - 1%           | ↓         |
| Otros usos (inundables y semiáridos) | 16       | 7        | - 9%           | ↓         |
| Ganadería                            | 34       | 47       | + 13%          | ↑         |
| Total                                | 100      | 100      |                |           |

Fuentes: SEDARPA, 2006; con datos de SARH, 1994; y del Inventario Nacional Forestal (INF) INEGI, 2001.

Las plantaciones forestales, tanto de especies templadas, como tropicales, se han sembrado fundamentalmente en zonas ocupadas por pastizales ganaderos, algunas parcelas agrícolas y, en menor escala, en áreas forestales deterioradas, tanto en el norte, centro y sur, como en la zona montañosa del estado (SEDARPA, 2006). Recientemente se están promoviendo con gran ímpetu las plantaciones para biodiesel a partir de cultivos anuales. Aunque se ha generado una polémica sobre su efectividad

<sup>11</sup> Al escribir este documento no se había hecho público el Inventario Forestal de Veracruz 2010, los comentarios indican que registra una fuerte reducción en la cobertura forestal del estado.

como medida para reducir GEI, dado que en otros países se registran “fugas<sup>12</sup>” para mudar el uso ganadero y agrícola hacia otras tierras, por lo que es necesario establecer un monitoreo puntual para evitarlas. Lo mismo aplica para las plantaciones forestales comerciales sembradas en Veracruz, no se puede confirmar aún si se está promoviendo un incremento en el área forestal neta, o si existen “fugas” sin detectar.

CUADRO 2. 3. COBERTURA FORESTAL EN LAS UNIDADES REGIONALES DE MANEJO FORESTAL DEL ESTADO.

| Unidad Regional de Manejo Forestal | Sup. total UMAFOR <sup>2</sup> (ha.) | No. Municipios | Cobertura forestal <sup>1</sup> 2001 (ha) | Sup. reforest. y plantación <sup>2</sup> (ha) |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------|---|---|
| P. Orizaba / S. Zongolica          | 458,841                              | 50             | 229,875                                   | 36,061  |
| Uxpanapa                           | 437,894                              | 3              | 182,507                                   | 10,980  |
| Huayacocotla                       | 249,450                              | 8              | 93,519                                    | 2,873   |
| Cofre de Perote                    | 270,354                              | 19             | 101,627                                   | 25,637  |
| Las Choapas                        | 700,632                              | 9              | 251,676                                   | 19,856  |
| Veracruz                           | 588,200                              | 22             | 125,653                                   | 11,581  |
| S. Misantla / Chiconquiaco         | 431,460                              | 20             | 65,372                                    | 16,143  |
| Los Tuxtlas                        | 496,645                              | 11             | 61,227                                    | 18,376  |
| Sierra de Otontepec                | 772,601                              | 18             | 101,329                                   | 12,878  |
| Rodríguez Clara                    | 800,478                              | 14             | 87,974                                    | 15,143  |
| Pánuco                             | 778,323                              | 6              | 84,528                                    | 3,054   |
| Papantla                           | 454,834                              | 16             | 155,556                                   | 8,335   |
| Cuenca del Papaloapan              | 632,969                              | 14             | 53,951                                    | 4,973   |
| Total                              | 7,072,681                            | 210            | 1'454,800                                 | 185,890                                       |

Fuentes: / <sup>1</sup>INEGI, 2001 - incluye bosques templados, selvas secas y húmedas, vegetación inundables y manglar. / <sup>2</sup> SEDARPA, 2006. - Datos hasta 2005, suma de ambos rubros.

En los diversos registros de la cobertura forestal no se ha detectado aún la superficie sembrada con plantaciones forestales. Estas se iniciaron en la década de 1990 y su extensión se ha incrementando de forma notable a partir del 2001. Se tiene el registro de que entre 1997 y 2005 se apoyó el establecimiento de 49,435 has en plantaciones forestales; el cuadro 2.3 muestra las superficies hasta 2005 (SEDARPA, 2006). Estas cifras, sin embargo, requieren precisarse y actualizarse pues estudios recientes han encontrado que la densidad de siembra y la sobrevivencia de la reforestación y plantaciones no coincide con los registros oficiales (Paré et al., 2011).

<sup>12</sup> En el contexto de los proyectos para captura de carbono, “por fuga se entiende el cambio neto de las emisiones antropogénicas por las fuentes de gases de efecto invernadero que se produce fuera del ámbito del proyecto y que es mensurable y se puede atribuir a la actividad del proyecto, por ejemplo: desplazamiento de actividades agrícolas que provoquen cambios de uso de suelo o reducción de las existencias de biomasa fuera del área o ámbito del proyecto. El ámbito del proyecto abarca todas las emisiones antropogénicas por las fuentes de gases de efecto invernadero que están bajo el control de los participantes en el proyecto y son significativas y se pueden atribuir razonablemente a la actividad del proyecto”.

## **b) Procesos de degradación forestal**

La cubierta forestal en el estado se caracteriza por estar sumamente fragmentada, excepto en algunas regiones donde los macizos forestales cubren superficies extensas y continuas (cuadro 3), entre estas la Sierra de Zongolica y Pico de Orizaba, Uxpanapa, Huayacocotla, Cofre de Perote y Las Choapas. Otras zonas con presencia importante de fragmentos de bosques y selvas son la Sierra de Chiconquiaco y de Misantla, Sierra de Otontepec y Los Tuxtlas.

Los procesos que mantienen a los bosques y selvas en Veracruz en diversos grados de degradación son: 1) extracción ilegal de madera fundamentalmente dirigida a la industria de la construcción (cimbra), al uso como combustible doméstico y comercial (leña y carbón), así como a la elaboración de muebles con bajo valor agregado y transformación con maquinaria poco eficiente; 2) manejo forestal simulado, eminentemente extractivo, que solo en casos excepcionales promueve un incremento en las existencias de volumen y en la productividad por hectárea; 3) escasa capacitación de los dueños de bosques, selvas y plantaciones forestales para llevar a cabo un buen manejo de su biomasa; 4) pastoreo libre y extensivo dentro de las áreas forestales; 5) extracción hormiga de productos forestales no maderables; 6) conversión a otros usos del suelo por crecimiento urbano e industrial.

Este panorama es el resultado directo de las políticas de desarrollo económico impulsadas en Veracruz durante décadas, dirigidas a promover la actividad agrícola y ganadera de forma preponderante (Skeritt, 1993). El efecto indirecto fue la desvalorización del recurso forestal, pues los bosques y selvas no se incorporaron a como zonas productivas a la economía regional, pero se generó una cultura de la extracción ilegal o de la sustitución de éstos por otros usos del suelo.

A estos procesos de degradación se suman sus efectos sobre las condiciones socio-económicas y productivas de los dueños de los bosques. Estas condiciones son parte del entorno en el cual se deberán identificar e impulsar las acciones propuestas dentro de cualquier estrategia REDD+, y particularmente en la Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático de Veracruz.

## **c) Sobre la tenencia de la tierra y el tamaño de los predios: un mosaico fragmentado**

La tenencia de la tierra en el campo veracruzano, incluyendo sus zonas forestales, le imprimen características particulares que deben considerarse para que las acciones de reducción y mitigación de los GEI tengan el efecto esperado y cuenten con la aceptación y compromiso de sus dueños.

El régimen de tenencia de la tierra difiere de la media nacional y de lo que se registra para otros estados. En Veracruz predominan las pequeñas propiedades, abarcan 51% del territorio estatal, los ejidos y comunidades cubren 42%, y únicamente 7% son tierras públicas estatales o federales (SEDARPA, 2006). Otra característica que imprime condiciones específicas es que el 70% de los ejidos son predios con dimensiones pequeñas (cuadro 2.4).



CUADRO 2. 4. TAMAÑO DE LOS EJIDOS Y COMUNIDADES AGRARIAS EN VERACRUZ

| Tamaño - Ha.     | No. polígonos ejidos y comunidades | %   |
|------------------|------------------------------------|-----|
| < 500            | 3786                               | 68  |
| 500 <1000        | 1072                               | 19  |
| 1000 < 1500      | 398                                | 7   |
| 1500 < 2500      | 208                                | 4   |
| 2500 < 3500      | 50                                 | 1   |
| 3500 > 4000      | 57                                 | 1   |
| Total - Veracruz | 5571                               | 100 |

Fuente: INEGI, 2006.

Más de la mitad (68%) de los ejidos tienen una superficie menor a 500 hectáreas y solo 2% tienen superficies mayores a 2500 has (cuadro 4). Si bien esta información se restringe a los núcleos agrarios (ejidos, colonias agrícolas y comunidades agrarias), pues no hay datos disponibles sobre las dimensiones de las pequeñas propiedades, el panorama en éstas es similar pues en regiones forestales como la Sierra de Zongolica predominan las pequeñas propiedades minifundistas (INEGI, 2007).

En las 2.75 millones de hectáreas del estado con régimen de propiedad ejidal y comunitario, el tamaño pequeño de los núcleos agrarios es solo una parte de la ecuación pues se reporta que 90% se encuentra parcelada internamente (INEGI, 2006) incluyendo bosques y selvas, a pesar de que la Ley Agraria y Forestal lo prohíben (cuadro 2.5). En términos de acuerdos para lograr compromisos de los dueños sobre las condiciones de manejo del bosque, este carácter de minifundismo significa que una multiplicidad de actores sociales individuales deben incorporarse en los procesos de diseño de una estrategia, de planeación de metas y de mecanismos para el Monitoreo, Registro y Verificación<sup>13</sup>.

CUADRO 2. 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS NÚCLEOS AGRARIOS DE VERACRUZ

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| Superficie agraria parcelada (ha)    | 2'480,007.176 |
| Superficie agraria en uso común (ha) | 202,022.087   |
| Asentamientos humanos (ha)           | 68,423.062    |
| Total (ha)                           | 2'750,452.325 |

Fuente: INEGI, 2006.

#### d) Sobre las áreas bajo manejo forestal

En número de permisos de aprovechamiento expedidos, en Veracruz cerca del 80% corresponden a autorizaciones únicas para cortar árboles en las zonas agropecuarias, si bien el volumen autorizado por este concepto corresponde solo al

<sup>13</sup> MRV: UN-REDD, 2009b

20% del total estatal. Por otra parte, el 10% de los permisos persistentes autorizados en bosques (que abarcan un periodo entre 5 a 10 años) cubren el 76% de la superficie total registrada con manejo forestal en el estado; en esta superficie se extrae 62% del volumen producido en el estado (SEDARPA, 2006). Es difícil conocer con exactitud la superficie total bajo aprovechamiento regular y persistente, puesto que el formato con el que se registran estos datos en SEMARNAT se presta a duplicar estas cifras, pero se estima que hay 69,624.98 has (cuadro 2.6).

La información disponible permite identificar una tipología de las áreas que tienen permisos con aprovechamiento persistente de bosques naturales, selvas y plantaciones. Los registros disponibles (SEDARPA, 2006) muestran que 84% de estos permisos persistentes se expiden a predios pequeños con superficies igual o menores a 50 ha; 12% son predios entre 51 y 300 ha; y el 4% restante lo tienen predios mayores a 300 ha. Respecto a la superficie total sembrada con plantaciones comerciales y con reforestación, el cuadro 2.3 presenta estos datos hasta 2005, agregados por UMAFOR. Destaca que para ese año, Veracruz tenía reportadas un acumulado de 185,890 hectáreas sembradas bajo estos rubros. Una proporción de esta superficie corresponde a fracciones de tierra que se encuentran dentro de las áreas bajo manejo forestal persistente, por lo que no se trata de áreas recuperadas en sentido estricto; una cierta proporción correspondería a tierras ganaderas o agrícolas abandonadas que han sido destinadas a la producción forestal a mediano plazo, aunque la información disponible no permite estimar su magnitud.

Estas cifras indican nuevamente que se requieren políticas específicas para un sector dominado por pequeños predios forestales y, en particular, se requieren acciones para mitigar o reducir los GEI diseñadas a partir de esta característica. Las propuestas para mejorar las prácticas de manejo y para capacitar a los dueños en medidas de manejo sustentables, deben dirigirse a este tipo de beneficiarios. Por otra parte, las inundaciones de los últimos años, así como los escenarios de sequía para ciertas regiones del estado, son un llamado de atención para verificar la situación de estas plantaciones, puesto que en algunos casos será necesario modificar las especies que se han recomendado hasta ahora.

#### **e) Sobre la productividad y la calidad del manejo forestal**

El estado presenta condiciones ambientales excepcionalmente diversas, considerando el amplio rango altitudinal que cubre desde el nivel del mar, hasta los 5000 msnm; latitudinalmente abarca un rango de poco más de 5°grados N; topográficamente está conformado por amplias planicies inundables, laderas suaves y abruptas, barrancas, sierras y montañas de diversos orígenes geológicos; a lo largo de su territorio hay zonas con marcada estacionalidad en las lluvias, mientras que otras presentan lluvias durante todo el año. Estas son las características del medio físico que determinan la productividad y composición de los bosques y selvas del estado. Sin embargo, las condiciones actuales en términos de biomasa/hectárea y de estructura, son resultado directo del tipo de intervenciones que se han llevado a cabo.

A través de un manejo forestal de largo plazo se pueden incrementar las reservas de carbono en los bosques (incluyendo los suelos forestales) y, paralelamente, reducir las tasas de degradación (Putz et al. 2008). Acciones dirigidas para lograr estos objetivos permitirían resolver varios asuntos pendientes en el manejo de los bosques de Veracruz. Entre ellos están incorporar a las zonas con extracción ilegal en esquemas regulares, monitorear la calidad del manejo en los bosques y en las plantaciones forestales con permisos persistentes, e impulsar actividades económicas de mayor valor agregado y eficiencia, para beneficio directo de sus dueños y de la economía regional. La actividad forestal regulada funciona con reglas y procedimientos establecidos, conocidos y aceptados por los dueños de los predios con manejo. Algunos de estos procedimientos podrían ser útiles para el establecimiento de una línea de base en proyectos para reducir y mitigar GEI, e iniciar el monitoreo para detectar tanto los efectos del cambio climático sobre la productividad de los bosques, selvas y plantaciones, así como para supervisar los resultados de una estrategia REDD+ en las condiciones de Veracruz en los términos requeridos por los procedimientos MRV (UN-REDD, 2009b).

Algunos indicadores útiles para identificar y establecer una línea base, forman parte de los datos contenidos en las bases de información de todos los predios con permiso forestal; si bien es necesario hacer una verificación fina para identificar la precisión y rigor requeridos. Para elaborar una línea base estatal y detectar cambios en el volumen producido y en la productividad por hectárea, ya sea por efecto del cambio climático, o como resultado de medidas impulsadas para promover una mayor biomasa a través de REDD+, será necesario desagregar datos como los presentados en el cuadro 2.6, por zona climática, región forestal y grupos de especies. Esto permitiría establecer indicadores y parámetros precisos que permitan llevar a cabo el monitoreo de las tendencias a corto, mediano y largo plazo.

CUADRO 2. 6. INDICADORES GENERALES DE LA PRODUCCIÓN FORESTAL DE VERACRUZ 1993-2008

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| Superficie total en producción forestal        | 69,624.98 has.                   |
| Volumen total producido                        | 2'213,725.587 m <sup>3</sup> rta |
| Volumen promedio producido por hectárea        | 3.179 m <sup>3</sup> /ha/año     |
| No. Total predios con manejo persistente       | 1371                             |
| Fuente: Base de datos prediales, SEDARPA, 2006 |                                  |

#### f) Sobre el uso de la madera como energético

El uso de leña y carbón, además de ser un producto común, es parte intrínseca del bienestar familiar en el campo para cocinar alimentos, bañarse, calentar la casa en las zonas frías. Por ello, en las estrategias para impulsar sustitutos para los materiales combustibles de altas emisiones de GEI, es importante reconocer que la producción de madera para leña y carbón en forma sustentable podría ayudar a mantener un equilibrio en esas emisiones. Medidas de este tipo, incrementarían la capacidad de los bosques y suelos forestales para ajustarse al cambio climático y generarían actividades

económicas que pueden mejorar las condiciones de vida de los habitantes en las zonas rurales más necesitadas (The Forests Dialogue, 2008).

CUADRO 2. 7. CLASIFICACIÓN DE MUNICIPIOS DE ACUERDO A SU PRIORIDAD POR DÉFICIT EN LA RELACIÓN OFERTA-DEMANDA DE LEÑA

| Prioridad                   | No. Municipios (nacional) | No. Mpios. Veracruz | % del nacional |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------|----------------|
| Alta                        | 262                       | 60                  | 22.9 %         |
| Medio-alta                  | 389                       | 57                  | 14.6 %         |
| Media                       | 461                       | 45                  | 9.7 %          |
| Fuente: Maserá et al., 2003 |                           |                     |                |

Maserá y colaboradores (2003) analizaron la oferta y demanda de leña y carbón a nivel municipal en todo el país, identificando las áreas prioritarias donde es necesario impulsar acciones debido a la presión que existe sobre los bosques. En su trabajo identifican a 162 municipios (80%) del estado de Veracruz que se encuentran dentro de los niveles críticos deficitarios de materia prima para leña y carbón, productos que sus usuarios obtienen de las áreas forestales en sus regiones (cuadro 2.7).

En ciertas localidades se están realizando estudios detallados para cuantificar la cantidad de leña y carbón que proviene de bosques bajo aprovechamiento regulado. Es necesario ampliar estos estudios para determinar las cantidades, las temporadas y las especies preferentemente utilizadas, así como sus tasas de crecimiento, para incorporarlas en plantaciones dendroenergéticas. A partir de observaciones locales se ha detectado que la mayor parte de la leña y carbón se extrae de forma constante, pero en baja intensidad, causando cambios en la composición de especies y en la biomasa de esos bosques (Haeckel, 2006). Este es uno de los componentes con mayor influencia sobre la lento degradación de los bosques pues reduce su productividad en el largo plazo, aunque no está suficientemente documentado.

Los altos precios del gas doméstico y el bajo ingreso de las familias, tanto en las zonas rurales, como en las sub-urbanas de las principales ciudades del estado, indican que esta tendencia va a permanecer. Por ello es necesario promover paralelamente proyectos que impulsen estufas ahorradoras de leña y plantaciones dendroenergéticas, así como monitorear los efectos de este uso sobre la biomasa de los bosques.

#### **g) Sobre la importancia económica de la actividad forestal**

En términos económicos la actividad forestal primaria en el estado, que incluye el aprovechamiento, reforestación, establecimiento de plantaciones y producción de no maderables, durante el período 1996-2005 generó una derrama económica local y regional estimada en 202.6 millones de pesos anuales (SEDARPA, 2006). En este periodo, el sector forestal presentaba una escasa integración vertical, situación que esta modificándose positivamente en los últimos años. La capacidad de transformación y agregación de valor económico es un elemento fundamental para cuantificar los almacenes de carbono a lo largo de la cadena productiva.

La información sobre la actividad industrial del sector en relación con la transformación de la madera es confusa, incompleta, desactualizada y se encuentra dispersa, por lo que es necesario impulsar estos censos para estimar la eficiencia de los procesos de transformación, su aportación económica y generadora de empleos, e impulsar medidas para reducir desperdicios, incrementar la eficiencia en la transformación del recurso y dar mayor valor agregado a los productos.

## **2.6. LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DE VERACRUZ Y SU SUSCEPTIBILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

El concepto de conservación ha tenido que evolucionar para conjugar dos objetivos que aun generan polémica: la conservación del patrimonio natural y la disminución de la pobreza en los habitantes de las Áreas Naturales Protegidas (ANP). Los criterios sobre lo que se debe conservar y donde, también se han modificado con el transcurso del tiempo. Prueba de ello son los cambios en la conceptualización de los objetos de conservación, inicialmente dirigidos hacia especies particulares y paisajes excepcionales, incorporando después ciertos hábitats, ecosistemas específicos, e incluso prácticas de uso tradicional milenarias; y más recientemente los servicios ecosistémicos. En este contexto, se reconoce ahora la función de las áreas naturales protegidas como un instrumento más para la mitigación del cambio climático (Bezauri-Creel, 2009).

Desde su inició el Programa del Hombre y la Biosfera (MAB) de UNESCO reconoció la necesidad de incorporar a los habitantes de estas zonas, pues son actores activos en la conservación de dichos recursos. En los últimos 10 años han aparecido otros tipos de áreas de protección menos institucionales, pero más ajustados a los objetivos de los pobladores, estas son las áreas comunitarias de protección y las áreas privadas de conservación. Boege (2009) indica que 15.2 millones hectáreas de los bosques y selvas se encuentran en los territorios de diferentes etnias indígenas, lo que significa que casi una cuarta parte de estos (23%) son su responsabilidad. Hasta ahora, sin embargo, la concepción de conservación que se aplica representa una camisa de fuerza que impide a los pobladores involucrarse en esquemas de manejo sustentable de sus bosques, y por tanto ejercer acciones de conservación activa (Paré y Fuentes, 2007).

Actualmente Veracruz cuenta con 48 Áreas Naturales Protegidas abarcando una superficie total de 880,894 has. En términos del régimen de protección, 15 fueron decretadas por gobierno federal representando el 95% del total de la superficie bajo protección en el estado; 19 áreas tienen un decreto del gobierno estatal protegiendo 5% del total de la superficie bajo protección, y 14 áreas privadas protegen una superficie correspondiente al 1% del total estatal (cuadro 2.8).

CUADRO 2. 8. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL ESTADO DE VERACRUZ.

|                                    | Total estatal | Régimen federal | Régimen estatal | Áreas privadas |
|------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Superficie (ha)                    | 880,894       | 835,612         | 37,617          | 7,665          |
| % del total                        | 100           | 95%             | 4%              | 1%             |
| Núm. áreas                         | 48            | 15              | 19              | 14             |
| Fuente: CEMA, 2005; CONABIO, 2009. |               |                 |                 |                |

Aproximadamente el 30% de la superficie protegida del estado corresponde a bosques templado-fríos; 8% corresponde a distintas asociaciones de bosque mesófilo; los manglares y vegetación de dunas costeras, incluyendo los arrecifes, están representados en el 8% protegido en el estado; un 24% contiene diversos tipos de selvas tropicales; y un 30% de estas áreas presenta condiciones de degradación grave e irreversible pues predominan zonas urbanas e industriales. Considerando que el Inventario Nacional Forestal (INEGI, 2001) estimó que Veracruz tiene 1'288,573 has de bosques y selvas, una proporción nada desdeñable (42%) de la superficie boscosa del estado se encuentra dentro de alguna categoría de protección. Esto representa una oportunidad para conservar el patrimonio natural del estado y para contribuir a mejorar la calidad de vida de quienes en ellas habitan.

Las áreas protegidas pueden tener una función importante para monitorear los efectos del calentamiento global, dado que las modificaciones en la temperatura y la precipitación generarán cambios en la composición de especies y en su crecimiento (Villers y Trejo, 1998). En este contexto, conocer la composición de las especies y condiciones de los bosques, permitirá desarrollar líneas base para analizar el impacto de los diferentes escenarios de cambio climático e identificar los grupos de especies que podrían desplazar a otros tipos de vegetación (Díaz y Cabido 1977; Lavorel y Garnier, 2002; Pineda *et al* 2008).

Varios estudios han documentado que no hay diferencias significativas en las condiciones de bosques dentro de un ANP y en los bosques bajo aprovechamiento regulado y vigilados por reglas definidas por las propias comunidades (Hayes, 2006; Ellis y Porter-Bolland, 2008; Bray et al., 2007; Porter-Bolland et al., 2011). Es por ello imprescindible revisar a fondo el marco regulatorio que sustentan el manejo del SINANP, con la finalidad de incorporar medidas que promuevan la compatibilidad entre la conservación de nuestro patrimonio natural y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

## **2.7. UNA ESTRATEGIA PARA EL MONITOREO DE LOS BOSQUES Y PLANTACIONES FORESTALES**

En noviembre de 2008 SEMARNAT inició la operación del Sistema Nacional de Gestión Forestal (SNGF) en todo el país. Se trata de un esfuerzo por integrar en una base única los datos productivos básicos de cada predio que cuentan con permiso de aprovechamiento forestal. La creación de este SNGF permite suponer que en los

próximos años se habrá generado una base de datos de nivel predial lo suficientemente detallada como para permitir meta-análisis sobre el comportamiento de la producción y productividad por hectárea, por especie y por región.

Lo cierto es que la información forestal disponible en la actualidad contiene tal divergencia en los datos registrados que no es posible determinar con precisión cuales son las existencias en biomasa, la productividad de los bosques y la de las plantaciones forestales. Tanto los programas de manejo autorizados, como las propuestas económicas incluidas en los proyectos de plantaciones forestales, se elaboran con base en ciertos supuestos productivos que requieren ser verificados en campo. Más aún cuando algunos de estos predios llevan más de 15 años con manejo forestal de forma ininterrumpida.

En el proceso de elaborar estas líneas base, los datos contenidos en los programas de manejo son un primer punto de referencia para el análisis de las condiciones locales y de su posible comportamiento con proyectos REDD+. Al revisar las estimaciones silvícolas iniciales se podrán identificar los ajustes necesarios, de acuerdo a las respuestas y condiciones de los bosques para fundamentar los valores de *adicionalidad* esperados. En algunas regiones se prevé que se mantendrá la cubierta arbolada, con modificación en la composición de las especies que hoy dominan (Benítez Badillo et al., 2008). Las plantaciones forestales y bosques bajo manejo, además de un incremento en la presencia de plagas y enfermedades (Pineda López et al., 2008), presentarán cambios en su crecimiento, alterando los resultados planteados en las propuestas técnicas productivas y económicas que originalmente las sustentaron. Ante estos posibles efectos, las políticas forestales en el contexto de una estrategia REDD+, deben prever el tipo de acciones que permitirían hacer los ajustes necesarios para mantener la productividad y la generación de ingresos para los dueños de los bosques.

### **2.7.1. VINCULACIÓN ENTRE SECTORES: BASE PARA UNA ESTRATEGIA REDD+ EN VERACRUZ**

La vulnerabilidad del sector forestal de Veracruz ante el cambio climático está directamente relacionada con los escenarios elaborados (PVCC, 2008): sequías en el norte e inundaciones en sur, donde se han establecido miles de hectáreas de plantaciones forestales; migración de las nubes en las montañas, afectando los regímenes de lluvias y por tanto el crecimiento de estas masas forestales, con un consecuente efecto en la biomasa y productividad por hectárea. Todo cambio en temperatura y cantidad de humedad conlleva un cambio en la composición de especies.

Un esquema de monitoreo conjunto entre el sector forestal, las ANP, sus habitantes y las instituciones académicas, en el contexto de una estrategia REDD+, permitiría tener acceso a fondos conjuntos para establecer una red estatal con predios ubicados en un transecto altitudinal y climático único en el país: desde el nivel del mar

hasta los 5000 msnm. Avances en este sentido están siendo promovidos por el Programa Mexicano del Carbono, para desarrollar una base científica sólida vinculada con los sectores gubernamentales involucrados en la cuantificación de emisiones y desarrollo de políticas públicas (PMC, 2011).

## 2.8. CONCLUSIONES

En el ámbito de las políticas públicas estatales en marcha, donde se incluyen los proyectos estratégicos señalados en el Plan Sectorial Forestal del estado, los ejes establecidos en el Programa Veracruzano ante el Cambio Climático, y las directrices indicadas en la Ley Estatal de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático<sup>14</sup>, se reconocen elementos para impulsar una Estrategia Estatal REDD+ hecha a la medida del estado para impulsar mejoras en el sector forestal y en las condiciones de sus bosques y de la calidad de vida de sus habitantes.

Una estrategia estatal permite definir las acciones concretas que deben impulsarse para determinadas zonas prioritarias, atender de forma específica las zonas con mayor potencial productivo, y aquellas donde es urgente propiciar la recuperación de bosques deteriorados, e incluso incorporar mejoras en las prácticas ganaderas para fomentar una actividad productiva de bajas emisiones. De forma paralela, se pueden generar vínculos y coordinar la creación de una red estatal de monitoreo, verificación y registro que mantenga un seguimiento cercano con los dueños de los predios comprometidos con estas medidas. A través de aliados locales se puede operar con menor costo un programa de este tipo, enfatizando en el desarrollo de recursos humanos y de capacidades para analizar las situaciones específicas de cada región y para establecer compromisos factibles y verificables. Impulsar este tipo de colaboración facilitaría la coordinación con los esfuerzos de nivel nacional en marcha, y posteriormente con la red global que está en desarrollo.

## 2.9. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Balvanera, P., y H. Cotler. 2007. Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica* Jul-Dic. (84 - 84):8-15.
- Benítez Badillo, G., A. Hernández, M. Equihua, A. Medina, J.L. Álvarez, S. Ibáñez y C. Delfín. 2008. Biodiversidad y cambio climático. Contribución al Programa Veracruzano ante el Cambio Climático. Xalapa, Ver. 56 p.
- Bezaury-Creel J. E. 2009. El Valor de los Bienes y Servicios que las Áreas Naturales Protegidas Proveen a los Mexicanos. The Nature Conservancy Programa México - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. The Nature Conservancy – Programa México. 36 p.
- Bray, E.D., Duran, M.E., Merino, P.L., Torres, R.S., y Velázquez, M.A. 2007. Nueva evidencia: los bosques comunitarios de México, protegen el ambiente, disminuyen la pobreza y promueven la paz social. Informe de Investigaciones. UNAM. Centro de Investigación y

---

<sup>14</sup> Ley 878, Artículos 7, 11, 15, 23, 27 y 29. Gobierno del Estado de Veracruz.



- Docencia Económica, IPN, Universidad Internacional de Florida, Consejo Civil Mexicano para la Agricultura Sostenible. Ofset Santiago, Eds. México. 90 p.
- Bray, D.B. 2010. Forest Cover Dynamics and Forest Transitions in Mexico and Central America: Towards a "Great Restoration"? Pp: 85-120. In: Reforesting Landscapes. Linking Pattern and Process., Nagendra, H., and J. Southworth (eds.). Springer Netherlands
- Boege, E. 2009. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agro diversidad en los territorios indígenas. INAH, CONABIO. México. Pp: 231-237.
- CCMSS, 2010. El Manejo forestal sostenible como estrategia de combate al cambio climático: Las comunidades nos muestran el camino. CCMSS, Iniciativa para los Derechos y Recursos. Méx. 21 p.
- CEIBA, 2010 "Aplicación de Mecanismos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD) en Ejidos y Comunidades". Elaborado por: Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, A.C. Reporte a USAID/México Competitiveness Program, Contract EEM-I-00-07-00004-00. Méx, D.F. 20 Jul., 2010. 49 p.
- CEMA, 2005. Áreas Naturales Protegidas del estado de Veracruz. Coordinación Estatal de Medio Ambiente. Gobierno del estado. Manuscrito inédito. 7 p. Xalapa, Ver.
- CICC, 2007. Hacia una Estrategia Nacional de Acción Climática. Síntesis Ejecutiva. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, SEMARNAT. México. 50 p.
- CONABIO, 2009. Áreas Naturales Protegidas. Consultado en: [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx), 15 de marzo 2009.
- De Jong, B.H.J., Masera, O., Henández-Tejeda, T. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. In: J. Martínez y A. Fernández (comp.). Cambio Climático: una Visión desde México. INE-SEMARNAT. Pp: 369-380
- De Jong, B.H.J. y M. Olguín. 2008. 2º Informe de resultados de los trabajos relativos a la estrategia REDD-México. ECOSUR, CONAFOR. 22 p. <http://reddmexico.org>
- Díaz, S. y M. Cabido. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science* 8:463-474.
- Díaz, S., A. Hector, y D.A. Wardle. 2009. Biodiversity in forest carbon sequestration initiatives: not just a side benefit. *Curr. Op.in Environmental Sustainability* 1:55-60.
- Ellis, E. y L. Porter-Bolland. 2008. Is community-based forest management more effective than protected areas? A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico. *Forest Ecology and Management* 256: 1971-1983.
- FAO, 2005. Situación de los bosques en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 153 p.
- García Barrios, L., Y. M. Galván Miyoshi, I. A. Valdivieso-Pérrer, O.R. Masera, G. Bocco, J. Vandermeer. 2009. Neotropical forest conservation, agricultural intensification, and rural out-migration: the Mexican Experience. *BioScience* 59: 863-873.
- Hayes, T.M. 2006. Parks, People, and Forest Protection: An Institutional Assessment of the Effectiveness of Protected Areas. *World Development*. Vol. 34, No. 12, Pp: 2064-2075.
- Haeckel, I. 2006. Firewood use, supply, and harvesting impact in cloud forests of central Veracruz, Mexico. Bachelor Thesis. Center for Environmental Research and Conservation, and Earth Institute. Columbia University. 60 p.
- Iglesias G., L.; B.H.J. de Jong y J.A. Alanis-de la Rosa. 2008. Incorporating lessons learned from Community Forestry and Payment for Environmental Services Programs in Mexico's REDD strategy. Anexo 4. CONAFOR, México.
- INEGI, 2001. Mapa de Vegetación Nacional. Serie 1. Escala 1:1 millón. Aguascalientes, México.
- INEGI, 2006. Núcleos Agrarios. Tabulados básicos por municipio, PROCEDE 1992-2006. Veracruz. 218 Págs. Documento en pdf obtenido de: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx). Junio, 2006.
- INEGI, 2007. Censo Agrícola Ganadero y Forestal. [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados\\_Agricola/default.aspx](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx), documento consultado 28 junio del 2011.
- IPCC, 2007. Climate Change: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 52 p.

- Klooster, D. 2003. Forest transitions in Mexico: institutions and forests in a globalized countryside. *Prof Geogr* 55(2):227-237.
- Jaramillo, V. 2004. El ciclo global del carbono. In: J. Martínez y A. Fernández, comps. *Cambio Climático: una Visión desde México*. INE-SEMARNAT. Pp: 77-85.
- Lambin, E., H.J. Geist, E. Lepers. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Ann.Rev.Environ.Resour.* 28: 205-241.
- Lavorel, S. y E. Garnier. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* 16: 545-556.
- Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático. XV Legislatura del Congreso del Estado de Veracruz. 3 Nov.2010. Ley No. 878.
- Masera, O.R., Guerrero, G., Ghilardi, A., Velázquez, A., Mas, J.F., Ordoñez, M. J., Drigo, R. y M.A. Trossero. 2003. Fuelwood 'Hot Spots' in Mexico. A case study using WISDOM. FAO-UNAM.
- Muñoz-Villers, L.E. y J. López-Blanco. 2007. Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing* 29:1, 71-93.
- OECD, 2003. Evaluación del desempeño ambiental: México. OECD, México. 287 p.
- Paré, L. y T. Fuentes. 2007. Gobernanza ambiental y políticas públicas en Áreas Naturales Protegidas: lecciones desde Los Tuxtlas. Cuadernos de Investigación # 38. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. Méx. 263 p.
- Paré, L., P. Gerez, T. Fuentes, M.A. Muñiz-Castro. (En prensa). "Los programas de reforestación y pago por servicios ambientales de CONAFOR: reflexiones a partir de una experiencia de co-gestión de cuenca en el centro de Veracruz". En: *Memorias del 7° Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales (AMER)*.
- PMC. 2011. Programa Mexicano del Carbono. Relatoria del seminario "Hacia una estrategia REDD++: integración de políticas forestales y agropecuarias". UAEM. 5 p. (<http://pmcarbono.org/base/index.php>); y consulta en línea el 20 junio 2010: [http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/pmc/espanol/estructura.html](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/pmc/espanol/estructura.html)
- Pineda López, M.R., L.R. Sánchez-Velázquez, J.C. Noa Carrazana, N. Flores Estevez, F. Días Fleischer, L. Iglesias Andreu, G. Ortíz Ceballos, G. Vázquez Domínguez y S.G. Vázquez Morales. 2008. Adaptación de la biodiversidad y cambio climático. Aportación al Programa Veracruzano ante el Cambio Climático. Xalapa, Ver. 57 p.
- Porter-Bolland, L., E.A. Ellis, M.R. Guariguata, I. Ruiz-Mallén, S. Negrete-Yankelevich, and V. Reyes-García. 2011. Community managed forests and forest protected areas: An assessment of their conservation effectiveness across the tropics. *For. Ecol. Manage.* 2011 (In press).
- PVCC. 2008. Programa Veracruzano ante el Cambio Climático. Compiladores: A. Tejeda, M.E. Guadarrama, C.A. Ochoa, A. Medina, M.E. Equihua, A. Cejudo, C.M. Welsh, S. Salazar, L.A. Gutiérrez, E. López, T. García, M. Marín. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología, Embajada Británica, UNAM, INECOL. 169 p.
- Putz, F., P. Zuidema, M. Pinard, R. Boot, J. Sayer, D. Sheil, P. Sist, J. Vanclay. 2008. Improved tropical forest management for carbon retention. *PLoS Biology*, doi:10.1371/Journal.pbio.0060166
- Rosa, H., S. Kandel y L. Dimas. 2004. Compensación por Servicios Ambientales y Comunidades Rurales: Lecciones de las Américas y Temas Críticos para Fortalecer Estrategias Comunitarias. INE, SEMARNAT, PRISMA, CCMSS. México. 124 p.
- Sánchez-Velásquez, L.R., Pineda-López, M.R., Galindo-González, J., Díaz-Fleischer, F., Zúñiga González, J.L. 2009. Opportunity for the study of critical successional processes for the restoration and conservation of mountain forest: the case of mexican pine plantations. *Interciencia*. Vol.34. No.7. pp.518-522.
- SEDARPA, 2006. Plan Sectorial Forestal Estatal 2006-2028. Gobierno del Estado de Veracruz, SEDARPA-DGDF. Xalapa, Ver.
- SEMARNAT, 2010. "Visión de México sobre REDD+". Documento oficial presentado ante la COP 16. Diciembre, 2010. CONAFOR, SEMARNAT, INE, CONABIO.
- Skerrit, D. 1993. La tentación de la ganadería. In: *Desarrollo y Medio Ambiente en Veracruz. Impactos económicos, ecológicos y culturales de la ganadería en Veracruz*. Barrera, N. y

- H. Rodríguez, coords. F. Friedrich Ebert, CIESAS-Golfo, INECOL. Xalapa, Ver. Pp: 109-116.
- Takaki, F.F. 2010. Información básica para la construcción de la tasa de deforestación. INEGI. <http://www.inegi.org.mx/rne/docs/Pdfs/Mesa3/20/FranciscoTakaki.pdf>
- The Forests Dialogue. 2008. Beyond REDD: The Role of Forests in Climate Change. A Statement. Oct., 2008. Yale University. [www.theforestsdialogue.org/climate.html](http://www.theforestsdialogue.org/climate.html)
- UN-REDD. 2009a. Newsletter. [www.un-redd.org](http://www.un-redd.org), consultado el 13 de noviembre del 2009. UN-REDD Programme
- UN-REDD. 2009b. Framework for Action 2009-2014 on Measurement, Reporting and Verification (MRV). FAO, UNDP, UNEP. 13 p.
- Vargas Guillén, A., S. Aguilar Martínez, M.A. Castillo Santiago, E. Esquivel Bazán, M.A. Hernández Vázquez, A.M. López Gómez, and S. Quechulpa Montalvo. 2009. Programa Estatal para la Compensación por Servicios Ecosistémicos. Una propuesta para Chiapas. CONABIO. Corredor Biológico Mesoamericano. 58 p.
- Velázquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J.L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica 62. INE, México.
- Villers, L., I. Trejo. 1998. El impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. Interciencia 23:10-19.
- Villers, L., and I. Trejo. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales. P. 239-254. In: Cambio climático: Una visión desde México, Martínez, J., and A. Fernández-Bremauntz (eds.). INE, SEMARNAT, Méx. D.F.

---

# CAPITULO 3. CONFORMACIÓN DEL PAISAJE SOCIO-AMBIENTAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC

---

## 3.1 PRESENTACIÓN

El paisaje natural de una región tiene como base al relieve y, en segundo término, a las condiciones climáticas prevalecientes. Sobre estas características físicas se establecerá la vegetación con las especies de flora y fauna que pueden habitar en dichas condiciones. Así se conforma un paisaje físico-natural en el que los diversos ecosistemas presentes responden a la variedad topográfica y altitudinal (Mateo, 2004). Sobre este territorio físico se establecen las poblaciones humanas cuyas actividades van dejando registros en el paisaje, se conforma así el paisaje socio-ambiental característico que hoy observamos. En la lectura de estos paisajes antrópicos, la perspectiva histórica permite identificar los procesos dinámicos que han antecedido a las actividades actuales. A través de enfoque se pueden establecer relaciones directas entre las condiciones socioeconómicas históricas, con los impactos marcados en el paisaje (Fairhead y Leach, 2002). En este capítulo se explora esta perspectiva histórica como base para comprender la dinámica socio-ambiental que ha imperado en la subcuenca del río Pixquiac.

En la región central de Veracruz, el volcán Cofre de Perote, con una altitud de 4240 ms.n.m, impone las características físico-ambientales particulares que distinguen a esta zona. En la ladera occidental contrastan las pendientes fuertes y el inicio del altiplano en el Valle de Perote, a una altitud de 2200 msnm; en esta vertiente el efecto de sombra de montaña (vientos Foehn) genera un clima semiárido y frío. La ladera oriental, donde se ubica la subcuenca del río Pixquiac, se distingue por un abrupto relieve y condiciones climáticas de gran humedad, varios pisos altitudinales y una gran heterogeneidad biológica (Williams-Linera, 2002; Williams-Linera, 2007).

En este territorio serrano se establecieron poblados que tienen sus orígenes en la época prehispánica, como Xalapa, Coatepec, Tlalnahuayocan, Xico, y otros más. Sin embargo, la mayor parte de los actuales poblados se fundó en las primeras décadas del siglo XX originados fundamentalmente por las actividades productivas de las haciendas, por el Reparto Agrario y, más recientemente, por expansión de las zonas urbanas. En particular, la antigua ocupación de esta zona estuvo ligada a las actividades de dos grandes haciendas fundadas en la época colonial: la Hacienda San José de los Molinos

que abarcaba desde la zona alta fría de la montaña, hasta los llanos secos del valle de Perote al oeste, con una extensión total de 17,244 hectáreas; y la Hacienda de La Orduña, con 7,713 has, ubicada en la zona baja de la ladera oriental (Cambrey y Lazcurain, 1992). Entre estos dos territorios, en la zona media-alta de la subcuenca, había un extenso territorio de topografía abrupta, donde se ubicaban las tierras de los poblados nahuas de San Salvador Acajete y de Tlalnelhuayocan.

Los cambios observados en el uso del suelo y tipo de cobertura son el producto de las actividades que los habitantes realizan sobre este paisaje natural. La intensidad, dirección y tipo de transformación llevada a cabo es resultado de la influencia que diversos factores han ejercido sobre las decisiones de los dueños de la tierra. Los factores que influyen en los cambios pueden ser directos o indirectos de acuerdo a su origen. Los primeros provienen de las actividades humanas sobre los ecosistemas con un efecto directo en el tipo de uso del suelo o de cobertura. Por su parte, las causas indirectas o subyacentes no son tan evidentes en el nivel local, pues se trata de fuerzas externas que ejercen influencias indirectas sobre el comportamiento de los dueños de la tierra. Estos factores subyacentes pueden generarse en contextos internacionales, nacionales o regionales (sub-nacional), y ser de carácter económico, social, político o incluso climático (Lambin, *et al.*, 2003).

Las condiciones biofísicas presentes en una región determinan la presencia o ausencia de ciertas actividades humanas, sobre esta base natural se desarrollaran diferentes procesos de cambio. En cada región puede estar actuando ciertas combinaciones de factores que ha influido/está influyendo en las tendencias específicas de uso del suelo; éstas dinámicas deben reconocerse para evitar caer en generalizaciones poco objetivas. Fairhead y Leach (2002) han demostrado con sus estudios en África que la perspectiva histórica sobre la dinámica regional del paisaje permite evitar interpretaciones erróneas sobre la extensión de los bosques o sobre su reducción, dado que los procesos de uso del territorio pueden diferir de las dinámicas dominantes documentadas en la literatura científica. En este sentido el enfoque histórico-ambiental permite construir una línea base sólida para identificar adecuadamente la problemática particular de una región, sobre la cual se podrán establecer propuestas de manejo del paisaje.

En este capítulo se presenta una revisión documental con el objetivo de reconstruir los procesos externos e internos que influyeron en el uso del suelo y de los recursos forestales de la subcuenca del Pixquiac. A partir de esta reconstrucción se identifican los factores que se incluyen en el análisis del cambio de uso del suelo que se presenta en el capítulo 4. La metodología empleada en este capítulo consistió en la

revisión de trabajos publicados, estadísticas estatales y nacionales, tesis, y entrevistas con funcionarios y dueños de la tierra, con las que se documentan ciertas condiciones sociales, económicas y políticas que estuvieron presentes en esta región. A continuación se exponen los diferentes momentos históricos que marcaron la conformación del paisaje social y ambiental de esta subcuenca, con el fin de identificar los principales factores económicos, sociales y políticos que han influido en los procesos de cambio de uso del suelo y tipo de cobertura.

### **3.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL POBLAMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La diversidad ambiental que abarcaba la hacienda San José de los Molinos (zona fría húmeda y zona semiárida) le permitió tener una producción variada: maíz, cebada, trigo, centeno, haba, papa, pulque, lana, raíz de zacatón y madera, además contaba con dos aserraderos (uno al pie de la estación Rubín del FFCC y otro en la montaña), un taller para la producción de brea de pino y una fábrica de hilados (Juárez Martínez, 1987). El territorio de esta hacienda estuvo ubicado dentro del Cantón de Jalacingo, actual municipio de Perote, por lo que solo una fracción de la misma se ubicó dentro de la zona de estudio.

El Ferrocarril Interoceánico empezó a funcionar en 1909, impulsó una profunda transformación pues conectó a esta región con el país. Su construcción localmente generó una extracción en gran escala de madera proveniente de los bosques del Cofre de Perote y su semi-industrialización (Gerez Fernández, 1982). Este evento vinculó a las haciendas y poblados con el mercado nacional, imprimiendo un gran dinamismo a la producción agropecuaria e industrial de la región.

En el extremo oriental y zona baja de la subcuenca se encontraba la hacienda de La Orduña, cuyo casco se ubica en las afueras de la ciudad de Coatepec. Esta propiedad incluyó porciones de los actuales municipios de Coatepec, Xalapa, Tlalnelhuayocan y Acajete, abarcando un rango altitudinal desde 1200 hasta 2800 ms.n.m. El territorio de esta hacienda ocupaba por completo la zona baja y casi la mitad de la zona media de la subcuenca del río Pixquiac como la hemos definido en este trabajo. Su límite superior estaba demarcado por los terrenos del poblado San Salvador Acajete. Los registros históricos indican que esta hacienda tenía básicamente dos zonas productivas: la zona baja, de topografía suave, se dedicaba fundamentalmente al cultivo de caña y a la ganadería, actividades establecidas desde el siglo XVI; y la zona media-alta, de topografía abrupta, donde se extraía madera para la construcción, leña y carbón, aunque esta hacienda no tuvo un aserradero. Hay registros que indican que la caña y el

ganado bovino habrían provocado un importante desmonte del bosque mesófilo y del bosque tropical subperennifolio en las haciendas La Orduña, Zimpizahua, Mahuixtlán y El Grande desde el S. XVII (Marchal, 1985; Hoffmann, 1993: 60).

Hacia finales del siglo XIX y principios del XX, una nueva actividad agrícola impulsó una segunda fase en la transformación del paisaje de esta zona: el establecimiento de extensos cafetales y la producción de cítricos, sobre todo en las laderas y suelos pedregosos (Cambrey y Lazcurain, 1992). La hacienda de Consolapan, una pequeña propiedad colindante con La Orduña, al borde del río Pixquiac, se especializó en la cafeticultura.

La dinámica de poblamiento y uso de los recursos naturales de la zona media de la subcuenca está poco estudiada, se asume que los pueblos de San Salvador Acajete y Tlalnelhuayocan tenían una densidad poblacional baja, y las condiciones topográficas abruptas y de alta nubosidad dificultaban el acceso y constituyeron un freno a la colonización (Cambrey y Lazcurain, *op.cit.*: 53}. Sus pobladores nahuas se dedicaban básicamente a la agricultura tradicional de milpa y a la extracción de leña, carbón y tejamanil en pequeña escala. Es probable que también existieran caseríos de pastores de cabras y borregos, con pequeñas parcelas de cultivos de autoconsumo. De esta zona se tienen registros de la extracción comercial de productos no maderables del bosque caducifolio o mesófilo de montaña, como la Raíz de Xalapa (*Ipomea purga*), que representó un porcentaje importante de las exportaciones que salían del puerto de Veracruz, durante la Colonia y primeros años de la Independencia (Hoffmann, 1993:63).

Estas actividades productivas y tipo de poblamiento conformaron el paisaje socio-ambiental que presentaba esta subcuenca en los inicios del Siglo XX. Estos antecedentes son necesarios para comprender los factores, tanto locales como externos, que han influido en la conformación de este territorio, ocupado y transformado desde hace varios siglos. Se trata de un territorio que sobrevivió a una extensiva deforestación, donde actualmente dominan bosques de segundo crecimiento. Los fragmentos y grandes manchones de bosque maduro existentes actualmente en esta cuenca contienen restos de grandes tocones y trozas en el suelo en proceso de pudrición, evidencia silenciosa que revela los tiempos en que los pobladores se dedicaban a la extracción de madera de grandes dimensiones.

La figura 3.1 muestra gráficamente los diferentes eventos que han marcado el paisaje socio-ambiental que hoy observamos. La explicación de los eventos y su relación con los factores subyacentes se expone a continuación. Al inicio de las siguientes secciones se incluye un recuadro gris donde se identifican las condiciones

subyacentes que estaban imperando en cada periodo, a manera de contexto sobre lo que local y regionalmente se discute.

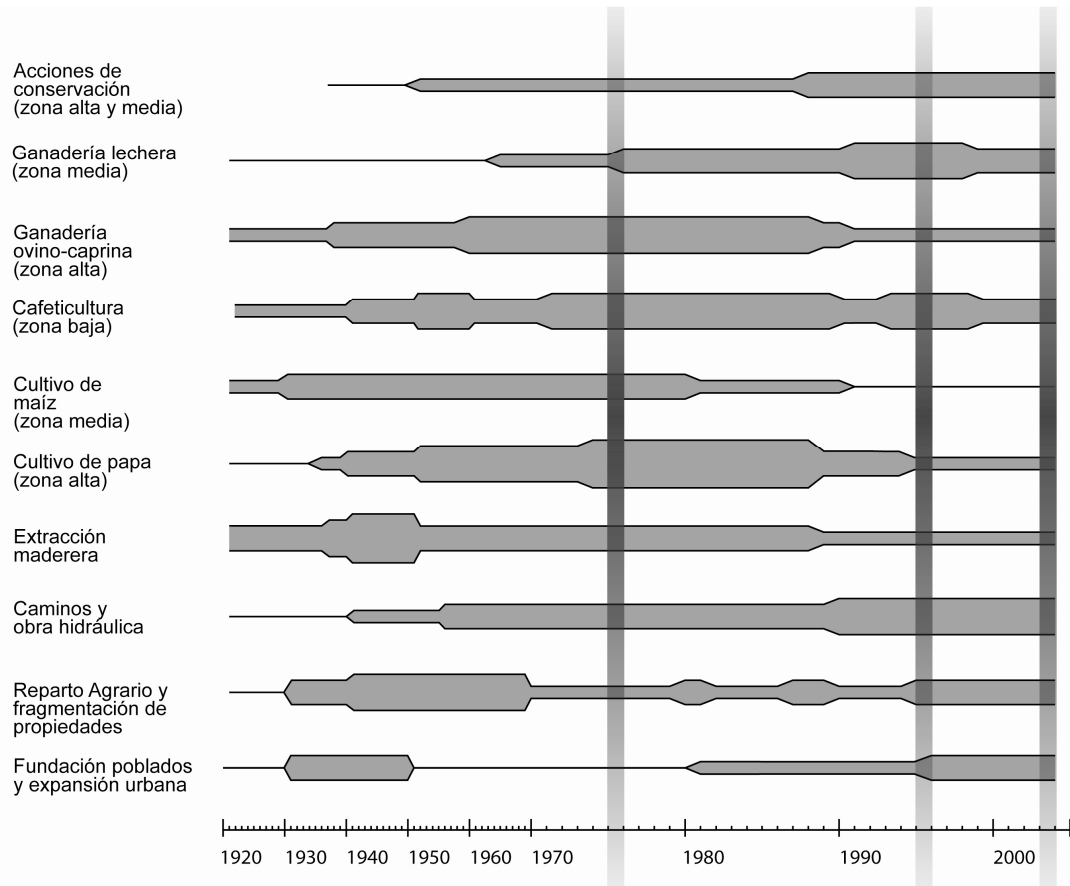


FIGURA 3. 1. EVENTOS LOCALES QUE GENERARON CAMBIOS EN EL PAISAJE DEL COFRE DE PEROTE. (Líneas verticales indican las fechas del análisis de cambio en cobertura y uso del suelo, cap.4.)

Es importante ubicar esta región dentro de una variedad de situaciones entre los paisajes dominados por áreas intocadas y los que presentan la mayor transformación (Angelsen y Rudel, 2013). En este sentido, las condiciones actuales de esta región no son las de “bosques de frontera” donde impera un gran dinamismo en la expansión de la superficie agropecuaria, como sucede en varias regiones del país (Trejo y Dirzo, 2000; Ochoa-Gaona y Espinoza, 2000; Reyes-Hernández, *et al.*, 2006; Ellis y Porter-Bolland, 2008). Tampoco se trata de una zona remota y aislada, sin presiones que influyan en las condiciones de los bosques. Por el contrario, corresponde a una región habitada y transformada desde hace largo tiempo, donde domina un paisaje mixto de bosques con áreas agrícolas, ganaderas, y localidades rurales y sub-urbanas.



### 3.3 REPARTO AGRARIO, EXTRACCIÓN FORESTAL Y POBLAMIENTO DE LA CUENCA: 1920-1950

#### **Factores subyacentes: Políticas públicas federales y eventos económicos internacionales con influencia en la zona**

- Reparto Agrario, se distribuye la tierra de las haciendas y otro tipo de propiedades privadas en todo el país.
- Ley Forestal 1926 promoviendo la extracción forestal por contratistas; contratos de un año; prohibición para que los campesinos aprovecharan los bosques (Merino-Pérez y Segura, 2007).
- Miguel Ángel de Quevedo promueve la creación de Parques Nacionales, como medida para conservar los bosques y detener la deforestación en las zonas montañosas del país.
- II Guerra Mundial abre mercado norteamericano a los productos mexicanos, se impulsa la exportación de madera y de otros productos agropecuarios.
- Ley Forestal 1940 establece concesiones madereras durante 25 años, crea empresas paraestatales, bosques al servicio de la industria nacional para abasto de materias primas a bajos precios (Merino-Pérez y Segura, 2007).

La actividad forestal en esta parte del Cofre de Perote estuvo dominada por dos mercados regionales. En la zona alta, los aserraderos, uno en la ladera oeste perteneciente a la hacienda San José de los Molinos, y otro en Las Vigas sobre la carretera Perote-Xalapa, demandaban grandes cantidades de madera de pino y encino que compraban a precios bajos, y que se extraían de los bosques de coníferas y mixtos de pino-encino ubicados en las tierras de la zona alta y parte de la zona media. Estos dos surtían tanto a mercados regionales, como nacionales. Estos aserraderos estaban en plena producción en 1920, antes del Reparto Agrario. El otro polo comercial, en la zona baja, eran las ciudades de Xalapa y Coatepec con rápido crecimiento poblacional, demandantes de vigas, maderas duras para estructura de casas y muebles, cuadrados y tablas para cimbra, mango de herramientas, bates, tejamanil, carbón y leña, provenientes básicamente del bosque mesófilo de la zona media de esta cuenca.

En la zona alta, durante la década de 1920-1930 hubo una intensa actividad forestal extractiva caracterizada por la corta selectiva de los árboles más grandes y mejor conformados. En los terrenos de la hacienda San José de los Molinos el aserradero que estuvo funcionando en El Conejo se trasladó a Los Pescados (Lima Muñiz, 1977). Otros aserraderos estuvieron funcionando en El Llanillo, en el Plan de Atopa (donde se ubicaba el predio Ingenio del Rosario) y en Tembladeras (Hoffmann, 1989). Esta actividad impulsó la apertura de una red de brechas en toda la montaña, para facilitar la extracción de madera con carretas y mulas. En cada lugar se establecía un campamento de trabajadores, que más adelante daría lugar a poblados (Gerez Fernández, 1982; Hoffmann, 1989). Las familias de estos trabajadores sembraban

pequeñas parcelas de papa para autoconsumo, cuidaban rebaños de ovinos y caprinos, elaboraban tejamanil y carbón de encino. Los buenos rendimientos del cultivo de papa en Los Pescados y El Conejo generaban excedentes que se comercializan a través de los vínculos de la hacienda de Los Molinos con los mercados regionales (Juárez Martínez, 1987).

En la década de 1930-1940 se impulsaron cambios profundos en el poblamiento y utilización de los recursos de este territorio. Por un lado se inauguró una nueva carretera México-Veracruz que promovió la comunicación y los vínculos con los mercados agropecuarios nacionales. En esta década el territorio de las haciendas se fragmentó para dar paso a varios ejidos: nueve estarán ubicados en terrenos de la zona de estudio y otros en las colindancias (cuadro 3.1). En la zona alta de la subcuenca se crearon los ejidos Agua de Los Pescados, Ingenio del Rosario-Coatepec e Ingenio del Rosario-Xico; en la zona media los ejidos San Pedro Buenavista y San Andrés Tlalnelhuayocan; y en la zona baja, los ejidos Cuauhtémoc, Coatepec, El Grande y Zimpizahua. En la zona media, como parte de la ocupación del ejido San Pedro Buenavista, recientemente creado, se fundaron los poblados El Zapotal, El Encinal II y El Saucal (Entrevistas realizadas entre 2008 y 2010 a: Sr. Ángel Morales, Pedro Morales, Leobardo Saldaña, Darío Morales).

Por otra parte, al momento de iniciar el reparto agrario gran parte de los pobladores que habitaban los campamentos de aserraderos y los vecinos de los pueblos indígenas, se anotaron en las “listas” promovidas como requisito para adjudicarles tierras. Varios de estos ejidos fundaron nuevos poblados con lo que se impulsó una siguiente fase en el poblamiento de la región. La actividad forestal continuó con gran ímpetu a través de contratistas particulares que con sus aserraderos móviles cortaban madera en diferentes manchones boscosos. Se trataba de una actividad meramente extractiva pues no tenía respaldo técnico, ni financiamiento para capacitación. A pesar de los bajos precios que pagaban por las trozas, las ganancias eran suficiente motivación para que los nuevos ocupantes de estas tierras cortaran madera por toda la montaña (Gerez Fernández, 1982; Hoffmann, 1993).

En la zona media, dominada por bosque mesófilo de montaña, los pobladores recién llegados a El Zapotal, Encinal II y Palo Blanco (en el ejido San Pedro Buenavista) recuerdan cuando entre 1930 y 1950 cortaron los árboles de gran tamaño (de hasta 2 m de diámetro de tronco y 40 m de altura) para vender como vigas, tablones, leña y carbón de encino y roble (*Quercus corrugata*, *Q. laurina*, *Q. xalapensis*), zapotes (*Sideroxylum sp.*), vara negra (*Ocotea disyunta*), palo blanco (*Meliosma alba*), romerillo (*Taxus globosa*), palo zopilote (*Oreomunnea mexicana*) y otras especies de bosques

maduros, para dar paso a la agricultura y ganadería en las zonas con pendientes más suaves (SENDAS, 2008; Paré y Gerez, 2012).

CUADRO 3. 1. CAMBIO EN LAS PROPIEDADES Y PROCESO DE FRAGMENTACIÓN EN LA TENENCIA DE LA TIERRA EN LA ZONA DE ESTUDIO (Fuentes: RAN-PHINA, INEGI).

| <b>Propiedad original</b><br>(hasta 1930)        | <b>Proceso de división por reparto agrario</b><br>(1930-1970)                   | <b>Parcelado por PROCEDE</b><br>(1992)                     |
|--|---|--|
| Hacienda San José de los Molinos (Perote)        | Ejido Los Molinos (fuera de la cuenca)  |  |
|  | Ejido Sierra de Agua (fuera de la cuenca)                                       |  |
|  | Ejido Perote (fuera de la cuenca)   |  |
|  | Ejido El Conejo (colinda con la cuenca)   | Formalmente no por estar en el PNCP; si parcelado interno. |
|  | Ejido Agua de Los Pescados (porción dentro de la cuenca)                        | Formalmente no por estar en el PNCP; si parcelado interno. |
|  | Colonia Agrícola El Progreso (porción dentro de la cuenca)                      | Formalmente no por estar en el PNCP; si parcelado interno. |
| Propiedades privadas de varios tamaños (Acajete) | División y venta de un número desconocido de propiedades privadas forestales.   | No aplica  |
| Ranchos en propiedad privada en Coatepec y Xico  | Ejido Ingenio del Rosario-Coatepec (porción dentro de la cuenca)                | Si, parte en área de uso común                             |
|  | Ejido Ingenio del Rosario-Xico (porción dentro de la cuenca)                    | No, solo fracción agrícola.                                |
|  | Ejido Tembladeras (porción dentro de la cuenca)                                 | Si, parte (fracción dentro del PNCP).                      |
| Hacienda La Orduña (Coatepec)                    | Ejido San Pedro Buenavista  | Si, parteen área de uso común                              |
|  | Ejido San Andrés Tlalnelhuayocan (2 polígonos, uno ubicado dentro de la cuenca) | Sí.  |
|  | Ejido San Antonio Hidalgo   | Sí.  |
|  | Ejido Cuauhtémoc  | Si, dominio pleno  |
|  | Ejido Zimpizahua (porción dentro de la cuenca)                                  | Si, dominio pleno  |
|  | Ejido La Orduña (porción dentro de la cuenca)                                   | Si, dominio pleno  |
|  | Ejido Coatepec (porción dentro de la cuenca)                                    | Si, dominio pleno  |
| Ejido El Grande (porción dentro de la cuenca)    | Si, dominio pleno   |  |

Frente a la deforestación generalizada en los bosques de esta región, fenómeno que se presentaba en todas las altas montañas del país, durante esta década se decretaron la mayor parte de los Parques Nacionales. Esta fue una política pública federal dirigida a proteger las principales montañas del país, abastecedoras de agua, y para detener la extensa explotación forestal de la que eran objeto. De esta forma en abril de 1937 se decretó el Parque Nacional Cofre de Perote (PNCP) estableciendo su límite inferior en la cota de los 3000 m.s.n.m. El polígono del PNCP se sobreponía con el territorio de varios ejidos recientemente decretados, habitados con anterioridad; en

ausencia de una normatividad y de acciones de conservación concretas, en los hechos, se convirtió en un parque de papel durante las siguientes cuatro décadas.

Durante la década 1940-1950 hubo inversión en mejorar la red de caminos por parte de los aserraderos que aun funcionaban. El aserradero ubicado en Las Vigas se convierte en el principal comprador de la madera de pino de la zona alta. En la zona media, dentro del ejido SBP, con el declive en las maderas duras del BMM, empiezan a cortar pino (*Pinus spp.*) para vender como cimbra en Xalapa y en Coatepec (SENDAS, 2008).

En los ejidos recién conformados (cuadro 3.1, y fig. 1.8) de la zona alta se incrementa la superficie cultivada con papa, la que a pesar de un entorno de precios variables, resultaba muy redituable pues los rendimientos por hectárea eran altos y los costos de producción bajos. Las tierras recién desmontadas eran fértiles, no había plagas y no se utilizaban agroquímicos (Biarnes, 1995). Paralelamente, la ganadería de ovinos y caprinos aumento su presencia en los ejidos de la zona alta (Agua de Los Pescados, Ingenio del Rosario-Xico, Ingenio del Rosario-Coatepec, San Pedro Buenavista y Tembladeras).

En los ejidos de la zona media y baja la ganadería era una actividad secundaria. En este periodo, en las tierras otrora pertenecientes a la hacienda La Orduña se llevaba a cabo un cambio de uso del suelo impulsado por la expansión de los cafetales sobre tierras cultivadas con caña y pastizales ganaderos. El alto precio del café promovió la expansión de este cultivo hacia tierras marginales de laderas en los predios privados, En consecuencia con este boom, los ejidatarios sembraron pequeñas fincas dentro de sus tierras, como complemento a sus ingresos.

### 3.4 VINCULACIÓN REGIONAL CON LA ECONOMÍA NACIONAL: 1950-1970

#### **Factores subyacentes: Políticas públicas federales y eventos económicos internacionales con influencia en la zona**

- A nivel internacional, altos precios del café y subsecuente sobreproducción con caída en los mismos (OIC en línea).
- Organización Internacional del Café establece cuotas por país productor. En México se crea INMECAFÉ para promover el cultivo del aromático.
- Fuerte impulso a la producción agropecuaria para abasto de una creciente población urbana. Inserción de la agricultura en el proceso industrial. Subsidios gubernamentales a la producción agropecuaria. Bajos precios de los insumos agrícolas (Rubio, 1999).
- Ley Forestal 1960 cancela las empresas paraestatales e impulsa las concesiones madereras a empresas privadas; énfasis en la extracción maderera (Merino-Pérez y Segura, 2007).

Hacia principios de la década de 1950, Veracruz presentaba signos de una alta deforestación generada por la expansión de la agricultura y ganadería; esto lleva al gobierno federal a decretar una veda forestal en el estado en diciembre de 1952 (SARH-Veracruz, 1992). En esta fecha se cierra el aserradero de Agua de Los Pescados y se clausura el de Las Vigas y otros; no obstante, la actividad extractiva de madera se mantiene de forma clandestina, abasteciendo mercados locales, al amparo de cuotas a los guardas forestales. Varios ejidos de la zona alta y media continuaron complementando sus ingresos con la extracción de madera ilegal (IRC, IRX, ALP, SPB, SAT, SAH) (Merino, 1997: 110).

El desmonte generalizado en la zona alta y media produjo capital suficiente para financiar otras actividades, como la papa y la siembra de pastos para ganado bovino (Bouquet, 1995). De esta manera, durante la década de 1950 se expandió el cultivo de papa en las tierras recién desmontadas de la zona alta (ALP, IRC, Tem). Los rendimientos generaban buenas ganancias, lo que permitió que en 1952, algunos ejidatarios de Agua de Los Pescados compraran los primeros camiones para el traslado de este producto (SENDAS, 2010). En términos técnicos, los agroquímicos en el cultivo de la papa empezaron a utilizarse durante la década de los 60's (Biarnes, 1995); en estos años continuaba la ampliación del mismo a través de desmontes pequeños en la zona alta, sobre todo en los ubicados dentro del PNCP (en los ejidos Agua de Los Pescados, Tembladeras) y otros de los municipios de Ayahualulco, Perote y Las Vigas (ver cap.1). A nivel nacional, entre 1960 y 1975, se registraba un incremento

importante en la producción de papa, que tendría consecuencias en los precios (García Mata y Rodríguez, 1995; Santiago Cruz y García Salazar, 2001).

Durante la década de 1950-60 se mantuvieron los precios altos del café y por tanto continuó la expansión de este cultivo en la zona baja. Sin embargo, a partir de 1956 y años siguientes la sobreproducción mundial generada por los altos precios de la década anterior, ocasionó una fuerte caída en el precio internacional del café afectando directamente a los productores en todo el mundo. En respuesta se crea la Organización Internacional del Café (OIC) como mecanismo para fijar cuotas de exportación a los países productores. En México, esta medida impulsa la creación del INMECAFÉ por parte del gobierno federal, con el objetivo de distribuir las cuotas de exportación entre los productores, apoyar con asistencia técnica y comercialización a los cafeticultores, y promover variedades mejoradas (Marchal, 1985). En este periodo (1956) se construyó la fábrica Nestlé en terrenos que pertenecieron a la Hacienda La Orduña, zona baja de la subcuenca; su presencia, sin embargo, no motivó una rápida expansión de la ganadería lechera porque competía con los buenos precios del café. Los ejidatarios y pequeños propietarios que se involucraron en esta actividad lo hicieron en pequeña escala.

Mientras esto sucedía, el rápido crecimiento demográfico de Xalapa y de localidades vecinas (ver fig.1.10) empezaba a demandar mayores volúmenes de agua. Por ello, en 1955 se entubaron los manantiales ubicados en el paraje Agua Escondida del ejido Agua de Los Pescados, y se construyó un acueducto desde el paraje conocido como Alto Pixquiac.

### 3.5 EFECTOS DE LOS MERCADOS GLOBALIZADOS Y DE LA CRISIS ECONÓMICA: 1970-1995

#### **Políticas públicas federales y eventos económicos internacionales con influencia en la zona:**

- Vínculo industria-agricultura como base para la industrialización y producción de alimentos de bajo precio (Rubio, 1999).
- Estímulo a la producción campesina, promoción de la autosuficiencia alimentaria SAM (1977) (Rubio, 1999).
- Crisis de la deuda en América Latina (1980), caída de precios internacionales de productos agropecuarios, fin de la relación industria-agricultura, marginalización de la producción campesina (Rubio, 1999).
- México entra al GATT (1986), importación de productos agropecuarios e industriales a menor precio. Fin de la producción para autoconsumo, competencia con mercados internacionales (Merino-Pérez y Segura, 2007).
- Ley Forestal 1986 cancelación de las concesiones forestales y reconocimiento del derecho de las comunidades para manejar sus bosques (Merino-Pérez y Segura, 2007).
- Políticas de ajuste estructural, retiro de las inversiones del Estado y de los subsidios a la producción agropecuaria (1988) (Rubio, 1999; Merino-Pérez y Segura, 2007).
- Reforma a la Ley Agraria para dar autonomía al ejido y facilitar su inserción en los mercados de tierras (1992).
- Ley Forestal (1992) cierre de los servicios técnicos y capacitación ofrecida por SARH, éstos pasan a manos de profesionistas privados. Flexibilizan las regulaciones a la industria y transportación de madera. Se promueven las plantaciones forestales por primera vez (Merino-Pérez, 2007).
- Apertura de las fronteras a los productos agropecuarios y forestales (TLC) en 1994. Importación de madera barata y de otros productos agroindustriales.

En la zona alta de la montaña el único producto agrícola comercial era el cultivo de papa, intensivo en mano de obra e insumos, por lo que se enfrentó con fuertes fluctuaciones y un desplome en el precio en los mercados regionales y nacionales entre 1970 y 1995, en respuesta a la sobreproducción e importaciones (fig. 3.1).

A inicios de la década de 1970 la producción de papa de color (principal producto del Cofre de Perote) mantenía su rentabilidad económica, aun cuando ya registraba una reducción paulatina en su rendimiento (Biarnes, 1995). Entre 1978 y 1988 se observó un apogeo en el cultivo de la papa, impulsado por la disponibilidad de créditos de BANRURAL, esto promovió la ampliación de la superficie cultivada y se generaron numerosos empleos a jornaleros provenientes de predios vecinos y de las zonas bajas (Biarnes, *op.cit.*). Sin embargo, hacia 1975 en Los Pescados y ejidos vecinos se diagnosticó la plaga del nematodo dorado, como causa de los bajos rendimientos y mala calidad del producto; el efecto inmediato fue la caída del precio de la papa proveniente de esta región (SENDAS, 2010). Los ejidatarios que no sembraban papa optaron por incrementar sus hatos de ovinos y caprinos (González Azuara, *et al.*, 1995), mientras que en la zona media se empezó a expandir la ganadería lechera (SENDAS, 2008).

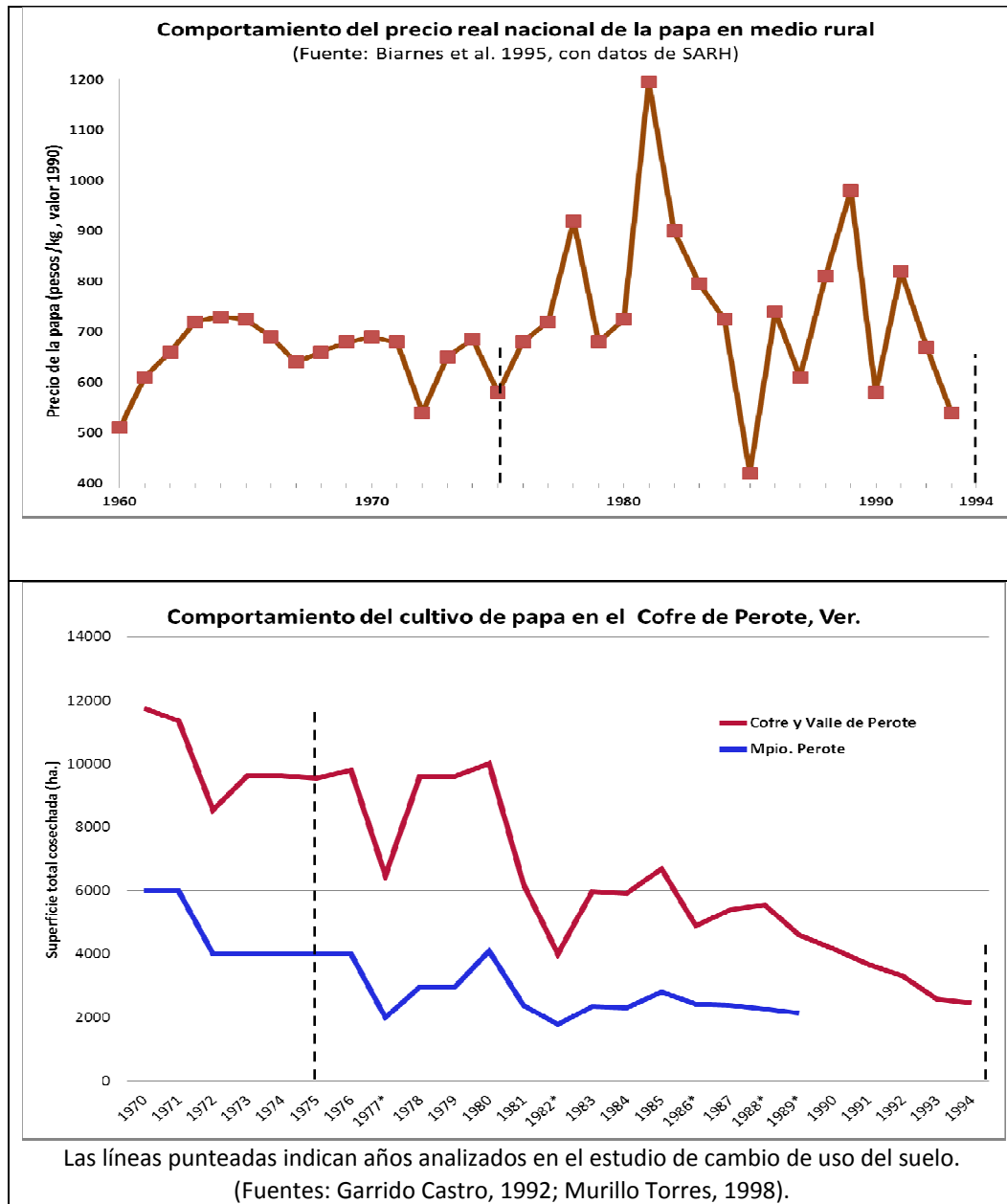


FIGURA 3. 2. FLUCTUACIÓN EN LOS PRECIOS DE LA PAPA A NIVEL NACIONAL Y EN LA SUPERFICIE COSECHADA EN EL COFRE DE PEROTE.

Los productores de papa de color de la zona alta pasaban por un periodo crítico; su entorno productivo se estaba modificando con la introducción del riego en el Valle de Perote para producir papa blanca, que tenía mejores precios y gran demanda en el mercado nacional. Esta inversión inicial contó con créditos de FIRA y de bancos privados. La producción tradicional de la papa de color no era competitiva, pues enfrentaba precios bajos en los mercados, tenía altos costos de producción ligados al incremento en el precio de los agroquímicos y bajos rendimientos por la presencia del nematodo dorado. Ante esta situación hubo un abandono de un gran número de parcelas, quedando la región marginalizada de la producción nacional de papa (Colin,



1995). En 1994 la apertura de las fronteras y la importación de papa excediendo las cuotas establecidas tuvo un fuerte impacto en la región (Murillo Torres, 1998), la superficie cultivada de esta hortaliza registró una dramática reducción de casi 80% en toda la región del Cofre de Perote; particularmente el municipio de Perote perdió el 60% de la misma (fig. 3.2) (Murillo Torres, *op.cit.*).

Durante la década 1980-90 los mercados nacionales presentaron una gran fluctuación en los precios de la papa, los años con precios altos promovían sobreproducción, ocasionando que en los siguientes años éstos cayeran (Fig. 3.2). Esta situación coincidió con condiciones económicas difíciles para un número importante de productores de esta región que estaban descapitalizados; el precio de los agroquímicos se había incrementado, BANRURAL cerró los créditos con numerosas carteras vencidas (Santiago-Cruz, 1995; Santiago Cruz y García Salazar, 2001). El resultado fue que la baja competitividad de la producción de temporal de la montaña, no pudo competir con las nuevas tierras de riego en el Valle de Perote, provocando que salieran del mercado y abandonarían las parcelas.

El panorama para la cafecultura entre 1970-1980 también mostraba dificultades, a pesar que se registraba otro incremento en el precio internacional del aromático (Fig. 3.3). Entre 1970-1990 esta actividad estuvo sujeta a una fuerte presencia gubernamental a través del INMECAFÉ, quien intervenía en la comercialización, en la exportación, en la organización social de los minifundistas cafecultores, controlaba precios de garantía y créditos bancarios (Marchal, 1985). Esta burocracia, sin embargo, generaba problemas de liquidez para los productores quienes sufrían constantes retrasos en sus ingresos. Una respuesta directa a esta situación fue la creación de varias asociaciones privadas exportadoras de café, que empezaron a comprar a los pequeños productores y vender directamente. En Veracruz los productores eran minifundistas fundamentalmente, lo que dificultaba un aumento en la producción y ocasionaba que los rendimientos estuvieran estancados desde 1970. En este contexto, la devaluación del peso en 1982 afectó fuertemente a los pequeños cafecultores, puesto que la mayor proporción de los costos de producción eran el precio de la mano de obra (Marchal, 1985:165).

En la década de 1980-1990 la expansión de la ganadería vacuna en la zona media del área de estudio fue impulsada por políticas productivas promovidas en las tierras bajas tropicales del centro-norte del estado. Se fomentó el establecimiento de plantaciones comerciales de frutales en la planicie costera veracruzana, donde la ganadería de tierra caliente era una actividad tradicional, de esta manera la ganadería

lechera se desplazó hacia tierras altas donde la coyuntura económica y la posibilidad de pasturas lo permitieron (Skerrit, 1993).

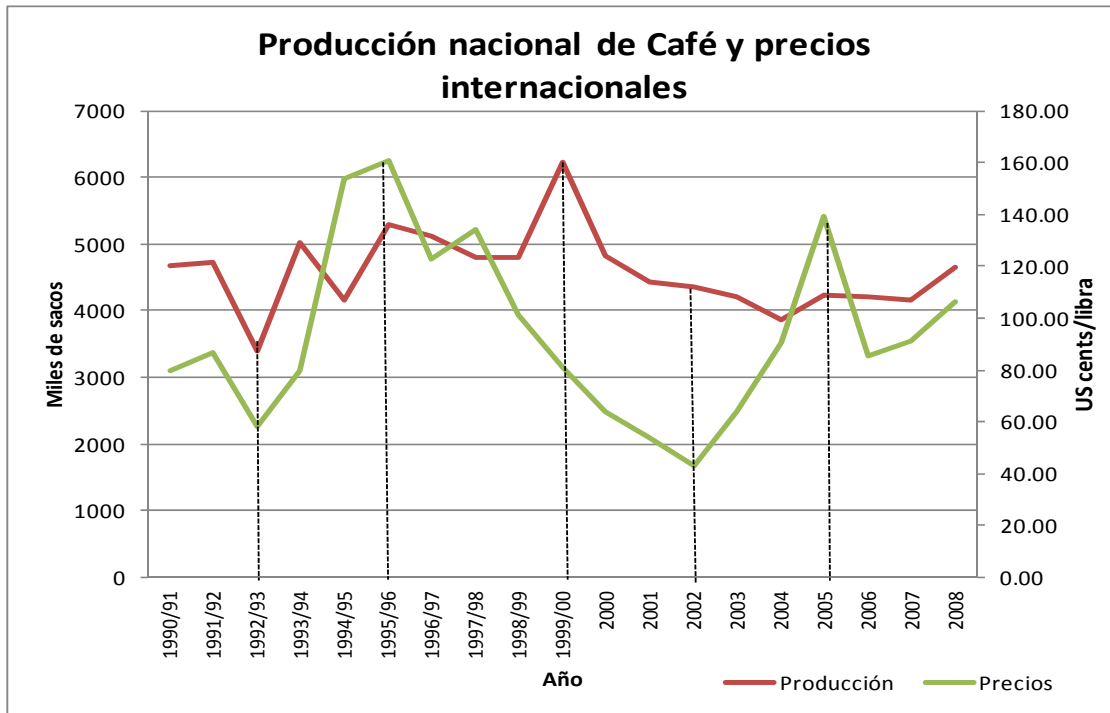


FIGURA 3. 3. FLUCTUACIÓN EN LOS PRECIOS INTERNACIONALES Y EN LA PRODUCCIÓN NACIONAL DEL CAFÉ, 1990-2008 (Fuente: OIC, base de datos en línea).

Una de esas coyunturas fue la caída de los precios del café y las heladas de 1990-1991 que facilitaron la conversión de este cultivo hacia pastizales para ganado vacuno en la región central montañosa de Veracruz (fig.3.3). Este cambio productivo generó transformaciones importantes en el paisaje pues modificó el uso del suelo en áreas agrícolas y boscosas, desplazando cultivos tradicionales como el maíz y el café. Otra consecuencia de este cambio fue que la escasa mano de obra requerida por la ganadería redujo la necesidad de jornaleros, iniciando un proceso de “emigración en forma más o menos permanente hacia la ciudad, o a las zonas de cultivos comerciales” (Skerrit, 1992: 130).

Hacia el fin de la década de 1970 se fue evidenciando que las vedas no detuvieron el deterioro de los bosques del estado, “... las especies de mayor valor comercial, los pinos, se habían empobrecido genéticamente, o habían sido substituidas por especies y arboles poco comerciales por la calidad de sus fustes” (Merino, 1997:110). El 26 de febrero de 1978 se levantó la veda forestal en la región, con la meta de impulsar un esquema de aprovechamiento que a través de la silvicultura se favoreciera el rendimiento sostenible, y la participación y capacitación de los dueños con apoyo de técnicos extensionistas gubernamentales (SARH-Veracruz, 1992).

A principios de 1980 se inicia la promoción de la actividad forestal regulada en todo el estado. Como parte de esta nueva política forestal regional se estableció un vivero en Oxtlapa-Xico, con capacidad para producir 8 millones de plantas anuales, así como otros 3 pequeños viveros comunitarios. Se elaboraron los primeros estudios dasonómicos forestales en la región, en el ejido Ingenio del Rosario-Xico y en otros del municipio de Perote (SARH-Veracruz, 1992; Gerez, *et al.*, 1995; Merino, 1997). Ejidatarios de SPB, sin involucrarse en el manejo forestal, sembraron las primeras reforestaciones con pino (*Pinus patula*) y ciprés (*Cupressus benthamii*) en 1979, y lograron generar acuerdos para el control del ganado libre de ovinos y caprinos (SENDAS, 2008).

Sin embargo, en el Cofre de Perote la apertura de los aprovechamientos forestales legales generó una fuerte oposición en la capital del estado, por lo que en 1982 se suspendieron a 3 años de haberse iniciado en esta montaña (Gerez, *et al.*, 1995). Paradójicamente, esto no detuvo la extracción de madera hacia aserraderos clandestinos, ni el acarreo de madera para cimbra hacia Xalapa y Coatepec, como se hacía desde principios de siglo, pero sí impidió la posibilidad de regular los volúmenes extraídos, y la mejora de las prácticas de extracción utilizadas tradicionalmente (Merino, 1997). Para 1988 era evidente que la veda forestal no estaba ayudando a detener la extracción ilegal y que los bosques perdían valor económico, por lo que se promueve el reinicio de los aprovechamientos legales (SARH-Veracruz, 1992).

A partir de 1989 se levantó la veda y se iniciaron programas para incorporar a los ejidos y pequeños propietarios con bosque en una actividad regulada y legal, mediante capacitación y organización campesina, logrando la participación de 14 ejidos productores en el Cofre de Perote (Fig. 3.1). A través de apoyos financieros del programa federal PRONARE se promovió la reforestación y cercado en la zona alta, mediante pago de salarios temporales (González Azuara, *et al.*, 1995). En 1990 llegaron las primeras motosierras a la región, desplazando a las tradicionales sierras de mano o sardinas, y en 1993 se estableció el primer aserradero ejidal de la región en IRX.

Por primera vez se impulsan acciones coordinadas dirigidas a resolver la degradación de los bosques y recuperar las extensas áreas deforestadas en el Cofre de Perote, se estableció un programa de coordinación interinstitucional entre la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Pesquero (SEDAP) del gobierno estatal, y la delegación federal de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Este Programa de Desarrollo Integral del Cofre de Perote, conocido como PRODICOP, fue la primera

política pública forestal estatal dirigida a reducir la deforestación y atender las necesidades de los productores y habitantes de la montaña<sup>15</sup> (fig. 3.1).

Este programa estuvo dirigido sobre todo a los productores ubicados dentro del PNCP, estableciendo acciones para el control del pastoreo libre de ovinos y caprinos a través de semi-estabularlo con la construcción de establos, la restricción de las áreas de pastoreo, el fomento a la siembra de forrajes de corta, la reducción de los hatos libres, y la prohibición de apertura de nuevas parcelas de cultivo en zonas arboladas o con regeneración de bosque (González Azuara, *et al.*, 1995). Uno de los resultados de este programa fue que las parcelas de papa abandonadas donde se había regenerado el bosque, y que estaban ubicadas dentro del polígono del PNCP (entre ellas las del ejido Los Pescados), no volvieron a cultivarse dadas las restricciones establecidas. Al mismo tiempo, estos ejidatarios tomaron el acuerdo de evitar el pastoreo en el paraje Agua Escondida, con el fin de promover la regeneración del bosque (SENDAS, 2010).

De manera paralela, se impulsaron otras actividades generadoras de empleo temporal, como la reforestación en zonas críticas, la construcción de presas filtrantes en la zona alta para control de erosión y promoción de la infiltración, y mejoramiento de ciertas prácticas agrícolas (González-Azuara, *op.cit.*). Este programa PRODICOP fue el antecesor de la primera Dirección de Desarrollo Forestal del gobierno del estado de Veracruz, creada en 1994.

En los ejidos ubicados en la zona media con bosque mesófilo de montaña a inicios de 1990 ya se registraba la reducción del arbolado de gran tamaño, particularmente en los bosques de San Pedro Buenavista y de San Andrés Tlalnelhuayocan. Pero también se presentaba un proceso de recuperación natural del BMM en ciertas áreas con parcelas abandonadas por emigración, como en Palo Blanco, Pueblo Viejo, Colexta y Mesa de la Yerba (com.pers. Sr. Ángel Morales y Plácido Martínez, junio 19, 2010).

Los ejidos y predios privados cafetaleros enfrentaron la crisis de los precios de café y el retiro de los apoyos cafetaleros con dificultades. Una de los primeros efectos fue en los flujos migratorios y el abandono de parcelas para buscar trabajo en la ciudad o en otras regiones (Hoffmann *et al.*, 1994).

Hacia el final de este periodo, una nueva política nacional incidió en la propiedad de la tierra impulsando la parcelación de las tierras agrícolas ejidales. En

---

<sup>15</sup> Entrevistas a Ing. José Antonio González Azuara, Ing. Raúl Álvarez Oseguera y Mtro. Héctor Narave, exfuncionarios de dicho programa.

términos legales, la Ley Agraria y la Ley Forestal de 1992, prohibían la división de las áreas forestales arboladas en todo el país; sin embargo, en Veracruz y particularmente en la zona de estudio, PROCEDE fue muy eficiente en delimitar las parcelas de todos los ejidos y expedir certificados individuales, incluyendo las áreas forestales. En la zona de estudio, únicamente dos ejidos mantuvieron áreas de uso común forestal (San Pedro Buenavista y Los Pescados). Esta condición de bosques parcelados dificulta la posibilidad de establecer proyectos para el manejo sustentable dado que se trata de fragmentos pequeños. Para los ejidos cafetaleros en su mayoría y colindantes con las zonas urbanas, la solicitud del Dominio Pleno les permitió fraccionar sus parcelas para venta.

### **3.6 CRISIS AGROPECUARIA, EXPANSIÓN DE LAS ZONAS URBANAS Y PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN: 1995-2004**

#### **Políticas públicas federales y eventos económicos internacionales con influencia en la zona:**

- Expansión de los acuerdos de libre comercio, dominancia de los mercados internacionales.
- Entorno de apertura de la frontera a productos agropecuarios e industriales. Reducción de los subsidios a la producción de alimentos e insumos agropecuarios, genera una disminución en la producción agrícola nacional (Rubio, 1999).
- Retiro del Estado como agente salvaguarda de los recursos ejidales.
- Ley Forestal 1997, impulsa y regula las plantaciones forestales a gran escala para producción de celulosa de papel. Se establece programa de subsidios a plantaciones forestales. Regresan los controles al transporte de madera y a la industria para reducir la tala clandestina. Organizaciones campesinas logran ampliar los subsidios a otros ámbitos forestales, se crea PRODEFOR y PROCYMAF (1996) (Merino-Pérez y Segura, 2007).
- Retiro del Estado como promotor de la capacitación y mejoramiento de prácticas agropecuarias y forestales (extensionistas).
- A nivel nacional, impulso a la reforestación a través de grandes viveros productores de plántulas en varias regiones del país.

Durante este último periodo en la zona alta los productores de papa que lograron mantenerse productivos empezaron a modificar sus prácticas agronómicas con el fin de controlar las plagas en el suelo, mejorar los rendimientos y la calidad de su producto; entre éstas la rotación de cultivos y el descanso de las parcelas. Sin embargo, la superficie cultivada en la región se había reducido drásticamente perdiendo casi 75% en el municipio de Perote (Garrido Castro, 1992) (fig. 3.1), y el mercado nacional estaba entrando en un proceso de desregulación arancelaria donde se incluyó la importación de papa (Murillo Torres, 1998). Se generó otro proceso de emigración en los ejidos

paperos y en predios vecinos debido a la escasez de trabajo en estas zonas generadoras de empleo temporal; este es el caso de Agua de Los Pescados, Ingenio del Rosario-Coatepec y otros. Consecuentemente en las parcelas abandonadas por la emigración, el bosque se regeneró de forma natural.

Los predios con manejo forestal legal son pocos, en un principio había reticencia de parte de los ejidos para involucrarse por temor a promover una nueva ola de deforestación. Sin embargo, la política de CONAFOR de promover y financiar la elaboración de programas de manejo forestal ha generado que un mayor número de predios se involucren. Los dueños están comprobando que el bosque bien manejado puede mantener una producción sostenida de madera con rendimientos económicos muy atractivos, sobre todo porque en esta zona la tasa de crecimiento de los árboles es muy alta (Pedraza, *et al.*, 2007).

En la subcuenca del Pixquiac el ejido Ingenio del Rosario-Xico ha mantenido su producción forestal desde 1978; asimismo, varios dueños de predios privados en la zona media-alta se han involucrado en el manejo regulado. Sin embargo, los bosques de la zona alta (del ejido Agua de Los Pescados y Colonia El Progreso) no son sujetos a permisos de aprovechamiento legal por estar dentro del polígono del PNCP. No se logró obtener información para comprobar cuál es la proporción de la subcuenca bajo manejo forestal. Un elemento importante a considerar es que aun cuando un predio boscoso no tenga un programa de manejo forestal, hay una constante extracción de madera para cimbra, leña y carbón, así como de bromelias, aves canoras y otro tipo de plantas de ornato de estos bosques, lo que indica que son bosques intervenidos permanentemente (CONABIO, 2010). Hasta el momento no se tiene una evaluación clara del efecto que tiene esta extracción continua de especies y de biomasa, en la habilidad de estos ecosistemas para proveer de los servicios que aportan a la sociedad regional.

Entre 1994 y 2000 se llevó a cabo la parcelación de la mayor parte de los ejidos ubicados en esta cuenca. PROCEDE formalizó la fragmentación de estos territorios al parcelar incluso las áreas forestales de los ejidos, a pesar que la Ley Agraria y la Ley Forestal lo prohibían explícitamente. Solo tres ejidos mantuvieron una fracción de su bosque bajo uso común (Fig. 3.1). En 2005, dos ejidos colindantes con Coatepec solicitaron pasar a Dominio Pleno, con lo que terminaron su vida colectiva para avanzar en la fragmentación de la tierra y venta de lotes para crecimiento urbano (cuadro 1.2).

En los predios privados, sin embargo, ocurrió otro tipo de proceso. Una vez que se detuvo la extracción forestal a gran escala en 1978, estos terrenos quedaron abandonados permitiendo que el bosque se recuperará (dadas las excelentes

condiciones climáticas prevaletentes). Entre 1991 y 1996 varios predios fueron embargados por Banrural y Bancomer por incumplimiento en el pago de compromisos hipotecarios<sup>16</sup>. El resultado del embargo fue su abandono en la práctica, generando una situación de “acceso abierto” que fue aprovechado por los cortadores abastecedores de cimbra para la industria de la construcción en Xalapa y Coatepec. La tala ilegal, por tanto, prosperó en los predios sin presencia de sus dueños. En los últimos 6 años algunos predios han sido comprados a los bancos por personas interesadas en el manejo forestal regular o para proyectos de conservación. Ellos se han convertido en los vigilantes de una zona donde otrora dominaba el ausentismo y la tala ilegal. No obstante, hay signos claros que las antiguas prácticas de extracción poco sustentables siguen presentes; al menos se han detectado 3 predios comprados a los bancos para cortar todo el arbolado comercial en una sola intervención, sin compromisos para recuperar su productividad, menos para conservar su diversidad biológica (Sr. Cutberto Martínez y Sr. Roberto Luna, com. pers. y observación de campo, 2008). Por su parte en los ejidos con BMM de la zona media-alta, hay diversos grupos que extraen PFNM, como orquídeas, bromelias y aves, o bien se dedican al corte de madera para carbón, leña y madera para cimbra sin permiso legal (Fuentes, 2013). Esto indica que aun cuando no haya permisos de aprovechamiento forestal, los bosques siguen siendo sujetos a diversas intensidades de extracción de sus recursos, no siempre de forma sustentable.

En la zona baja aun cuando los precios del café se incrementaron durante unos años (fig. 3.2), los pequeños productores descapitalizados no lograban responder con mayores volúmenes. Este cultivo requiere de 3 a 4 años después de sembrarse para empezar a producir. En 2004 se registró el precio más bajo de la última década. En este periodo se observó una acelerada expansión en la zona conurbada Xalapa-Coatepec-Tlalnelhuayocan generando un mercado de tierras con precios altos y atractivos para los productores marginados de la actividad cafetalera.

El incremento en la población urbana demanda siempre volúmenes crecientes de agua potable, para asegurar su abasto por largo tiempo el municipio de Coatepec impulso en 2003 el primer esquema piloto de compensación a los dueños de bosque que mantuvieran la cobertura arbolada (Guzmán, 2005). Así se originó el primer programa de servicios ambientales hidrológicos (PSAH), que fue retomado por CONAFOR-SEMARNAT para lanzarlo a nivel nacional.

---

<sup>16</sup> Entrevistas a dueños de predios forestales en esta zona: R. Luna Guevara, C. Martínez y L. Bello.

Respecto a la propiedad de la tierra, en este último periodo se consolidó la parcelación de los ejidos a través de la solicitud del Dominio Pleno en varios de ellos (cuadro 1.2), alimentado un creciente mercado de tierras para urbanización. En la zona media y baja de la subcuenca se ha registrado un fenómeno de “peri-urbanización” con un cambio demográfico hacia pobladores que habitan localidades rurales, pero con actividades económicas ligadas a la ciudad. Un efecto de esto ha sido el interés de varios por comprar tierras con bosque para conservarlo, esto se observa tanto en las parcelas ejidales, como en los predios privados.

### **3.7 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Los procesos detectados en este análisis muestran que los factores que impulsaron el cambio en el uso del suelo en la zona de estudio han sido generados fundamentalmente por fenómenos externos, entre los que destacan las políticas públicas hacia el campo, manifestadas en esta zona por el efecto de la apertura de mercados a la importación de la papa, las cuotas de producción y fluctuaciones en los precios internacionales del café fundamentalmente. Otras políticas públicas nacionales con fuerte influencia en la forma como se fue ocupando el territorio de esta zona fueron el Reparto Agrario, la promoción de la producción agropecuaria para el mercado interno, programas gubernamentales (PRONARE) y leyes forestales federales. En ciertos momentos algunas políticas estatales, como la veda forestal y el programa PRODICOP, influyeron de forma decisiva en las decisiones de los dueños.

Esta subcuenca muestra de forma muy clara que los procesos que impulsan el cambio de uso del suelo y de cobertura son muy dinámicos y de gran complejidad, pues paralelamente pueden promover procesos opuestos, que no son lineales, ni generan forzosamente una deforestación constante y evidente. La cuenca del río Pixquiac, al igual que lo que sucede en otras regiones del país, indica que estamos ante situaciones muy dinámicas impulsadas por factores externos, tales como políticas públicas económicas (como la apertura de la frontera a productos agropecuarios, la reducción de los subsidios a la agricultura), programas gubernamentales y las fluctuaciones de los mercados en los precios de los productos agropecuarios; así como por factores internos relacionados con la dinámica poblacional regional y local, la rentabilidad de los cultivos, las migraciones y el crecimiento urbano (cuadro 3.2).



CUADRO 3. 2. SÍNTESIS DE LOS FACTORES SOCIALES, ECONÓMICOS Y POLÍTICOS QUE HAN INFLUIDO EN EL USO DEL SUELO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC. (Simbología: deforestación (-); recuperación (+)).

| Origen del evento | Factores que han impulsado los cambios en el uso del suelo   | Zona alta | Zona media | Zona baja |
|-------------------|--|-----------|------------|-----------|
| Local             | Actividad extractiva maderera y construcción de brechas y caminos (1920-1952)                                    | -         |            |           |
| Regional-local    | Reparto Agrario, nuevos pueblos, apertura de tierras para cultivo y venta de madera                              | -         | -          | -         |
| Estatad           | Veda forestal 1952-1978  | -         | -          |           |
| Regional          | Baja rentabilidad en la producción de papa por plagas y altos costos de producción, abandono de parcelas (1994)  | +         |            |           |
| Nacional          | Importación de papa, fluctuaciones y caída del precio en mercados nacionales y regionales. Abandono de parcelas. | +         |            |           |
| Local             | Proyecto de estabulación del ganado ovino-caprino en Parque Nacional Cofre Perote (1990)                         | +         |            |           |
| Estatad           | Derogación veda forestal y promoción del aprovechamiento forestal legal (1989)                                   | +         | +          |           |
| Local             | Control de la ganadería libre en ovinos y caprinos, fomento a la semi-estabulación (1990)                        | +         | +          |           |
| Nacional          | Impulso a la reforestación, a través de viveros y Empleo Temporal (1994)   | +         | +          |           |
| Estatad-Nacional  | Promoción al manejo forestal legal (desde 1989)  | +         | +          |           |
| Local             | Abandono de la agricultura de subsistencia   | +         | +          | +         |
| Local             | Emigración de poblados rurales a la ciudad (abandono de localidades)   |           | +          |           |
| Regional          | Expansión de la ganadería vacuna   |           | -          | -         |
| Regional          | Crecimiento de las ciudades medias   |           | -          | -         |
| Internacional     | Fluctuación y baja en los precios del café (1990-91)   |           |            | -         |

Los procesos documentados en este capítulo indican que los factores que han incidido y que siguen influyendo sobre las decisiones de los dueños de la tierra para optar por mantener la cobertura arbolada o modificarla, tienen cierta especificidad con las condiciones locales, pero que también responden a eventos externos de nivel nacional. Algunos factores de política agropecuaria y conservacionista tuvieron un efecto sinérgico para explicar la actual cobertura arbolada de la montaña, en este caso la crisis local en la producción de papa que generó un abandono de parcelas, mismas que no pudieron volver a utilizarse porque coincidió con el programa de recuperación forestal en el PNCP.

Las tendencias observadas no son estáticas y pueden ser modificadas por nuevos cambios en los factores involucrados, ya sea a favor o en contra de la extensa

cubierta arbolada de esta cuenca. En este sentido, la línea base de referencia indica que en esta región es importante impulsar acciones de manejo con los dueños de la tierra para mejorar las prácticas de aprovechamiento de los recursos, con el objetivo de promover la recuperación de bosques maduros a mediano plazo. En esta subcuenca, el objetivo a lograr como resultado de los programas de compensación por servicios ambientales es mejorar la calidad de la cobertura arbolada, más que detener la deforestación.

### 3.8 BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Angelsen, A. y T. K. Rudel. 2013. "Designing and implementing effective REDD+ policies: A forest transition approach." *Rev. Environ. Econ. Policy* 7(1): 91-113.
- Biarnes, A. 1995. "Lógicas de producción y funcionamiento de las explotaciones en el volcán Cofre de Perote". En: Agroeconomía de la papa en México. A. Biarnes, J.-P. Colin y M. J. Santiago Cruz (eds.). México, ORSTOM y Colegio de Posgraduados: 77-97.
- Biarnes, A., J.-P. Colin, Santiago Cruz, M. J. 1995. Agroeconomía de la papa en México. México, ORSTOM y Colegio de Posgraduados.
- Biarnes, A. y T. Duchenne. 1995. "El manejo agronómico del cultivo de papa: un control difícil." En: Agroeconomía de la papa en México. A. Biarnes, J.-P. Colin y M. J. Santiago Cruz (eds.). México, ORSTOM y Colegio de Posgraduados: 19-33.
- Bouquet, E. 1995. "Diferencial agroecológico y dinámicas económicas, un estudio de caso (Guadalupe Victoria, Pue.)." En: Agroeconomía de la papa en México. A. Biarnes, J.-P. Colin y M. J. Santiago Cruz. (eds.). Mexico, ORSTOM y Colegio de Posgraduados: 67-76.
- Cambrey, L. y B. Lascuráin. 1992. Crónicas de un territorio fraccionado, de la Hacienda al Ejido (Centro de Veracruz). Xalapa, Ver., Larousse, ORSTOM, CEMCA.
- Colin, J.-P. 1995. "Diversidad regional y crisis de la producción de papa en Puebla y Veracruz". En: Agroeconomía de la papa en México. A. Biarnes, J.-P. Colin y M. J. Santiago-Cruz (eds.). Montecillos, Edo. Méx. México, ORSTOM y Colegio de Posgraduados: 35-66.
- CONABIO. 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. México, D.F., Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Ellis, E. A. y L. Porter-Bolland. 2008. "Is community-based forest management more effective than protected areas? A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico." *Forest Ecology and Management* 256: 1971-1983.
- Fairhead, J. y M. Leach. 2002. "The dynamic forest landscapes of West Africa. Their shaping in relation to natural and anthropogenic process". En: *TBI Proceedings Understanding and capturing the multiple values of tropical forests*. Tropenbos International. Wageningen, Neth. Pp: 21-35.
- Fuentes P., T. 2013. "Usos tradicionales de la madera del bosque mesófilo de montaña en la subcuenca del río Pixquiac". Fac. Ciencias Agrícolas. Xalapa, Veracruz., Universidad Veracruzana. Maestría en Manejo del Recurso Forestal: 145.
- García Mata, R. y E. Lorenzo Rodríguez. 1995. "Comercialización de la papa en la Ciudad de México." En: Agroeconomía de la papa en México. A. Biarnes, J.-P. Colin y M. J. Santiago Cruz (eds). Mexico, ORSTOM y Colegio de Posgraduados: 143-177.
- Garrido Castro, M. A. 1992. "Una visión de economía campesina en el cultivo de la papa, zona Perote, Veracruz". Facultad de Economía. Xalapa, Ver., Universidad Veracruzana. Tesis Lic. en Economía: 109.
- Gerez Fernández, P. 1982. "Historia del uso del suelo en la zona semiárida poblano-veracruzana". Facultad de Ciencias. México, UNAM. Tesis Licenciatura.
- Gerez, P., L. Merino y G. Alatorre. 1995. "En la búsqueda de un manejo sostenible de los bosques: El

- ejido Ingenio del Rosario, Xico." En: Alternativas al manejo de laderas en Veracruz. E. Boege S., H. García Campos y P. Gerez Fernández (eds.). Xalapa, Ver., Fund. Friedrich Ebert y SEMARNAP: 179-195.
- González Azuara J.A., Zedán C., y P. Gerez. 1995. "Ordenamiento del manejo de ovinos y caprinos en una zona forestal: La experiencia del Cofre de Perote." En: Alternativas al manejo de laderas en Veracruz. E. Boege S., H. García Campos y P. Gerez Fernández (eds.). Xalapa, Ver., Fund. Friedrich Ebert y SEMARNAP: 235-246.
- Guzmán, G. 2005. "Estudio de caso sobre el desarrollo de mercados de servicios ambientales en México, Cofre de Perote-Coatepec, Veracruz. El FIDECOAGUA". Informe final inédito. Consultoría realizada por CCMSS, A.C. para CONAFOR y BM. México, D.F.: 44.
- Hoffmann, O. 1989. "De los hacendados a los forestales: manejo del espacio." *La Palabra y el Hombre* (70): 87-116.
- Hoffmann, O. 1993. Rumbos y paisajes de Xico. Geografía de un municipio de la sierra de Veracruz. Xalapa, Ver., ORSTOM e INECOL.
- Hoffmann, O., B. Portilla y E. Almeida. 1994. "Crisis cafetalera y recomposición de la población (centro de Veracruz, México). *Regiones (Rev. Interdisc. Estudios Regionales)* 2(4): 91-107.
- Juárez Martínez, A. 1987. "El trabajo en la hacienda de San José de los Molinos (1890-1910)." *La Palabra y el Hombre* Ene-Marzo(61): 35-48.
- Lambin, E. F., H. J. Geist y E. Lepers. 2003. "Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions." *Annual Review of Environment and Resources* 28(1): 205-241.
- Lima Muñiz, L. (1977). "Dos haciendas veracruzanas en el Siglo XIX." *Estudios de Historia Moderna y Contemporánea de México* 6: 69-96.
- Mateo, J. 2002. Geografía de los paisajes. Facultad de Geografía. Univ. de la Habana, Cuba. 200p.
- Marchal, J.Y. y R. Palma Grayeb. 1985. Análisis gráfico de un espacio regional en Veracruz. INIREB, ORSTOM, Xalapa, Ver.
- Merino, L. (1997). El manejo forestal comunitario en México y sus perspectivas de sustentabilidad. México, D.F., UNAM, CRIM, SEMARNAT, WRI, CCMSS.
- Merino-Pérez, L. y G. Segura-Warnholtz. 2007. "Las políticas forestales y de conservación y sus impactos en las comunidades forestales en México." En: Los bosques comunitarios de México. D. B. Bray, L. Merino y D. Barry (eds.). México, D.F., SEMARNAT, INE, Inst. Geografía-UNAM, CCMSS, Florida State University: 77-98.
- Murillo Torres, J. 1998. "Producción y comercialización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Valle de Perote, del estado de Veracruz". Facultad de Economía. Xalapa, Ver., Universidad Veracruzana. Tesis Lic. en Economía 106 p.
- Ochoa-Gaona, S. y M. González-Espinosa. 2000. "Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico." *Applied Geography* 20(1): 17-42.
- Paré, L. y P. Gerez. 2012. Al Filo del Agua: cogestión de la cuenca del río Pixquiac, Veracruz. Xalapa, Ver., UNAM, SENDAS, UV, SEMARNAT, INE, U.Iberoamericana-Puebla, Juan Pablos ed.
- Pedraza, R. A., R. Álvarez y A. Hoyos. 2007. "Diagnóstico y propuesta para la gestión del manejo sustentable de los ecosistemas de la montaña Cofre de Perote (Naucampatepetl)". Xalapa, Ver., CEDRO, S.A. Inédito.
- Reyes-Hernández, H., S. Cortina-Villar, H. Perales-Rivera, E. Kauffer-Michel, J.M. Pat-Fernández. (2003). "Efecto de los subsidios agropecuarios y apoyos gubernamentales sobre la deforestación durante el período 1990-2000 en la región de Calakmul, Campeche, México." *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (51): 88-106.
- Reyes-Hernández, H., M. Aguilar-Robledo, J.R. Aguirre-Rivera, 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." *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (59): 26-42.
- Rubio, B. (1999). "Globalización, reestructuración productiva en la agricultura latinoamericana y vía campesina 1970-1995." *Cuadernos Agrarios Nueva época* (17-18): 29-60.
- Santiago Cruz, M.J. y J.R. Limón. 1995. Estructura y dinámica del mercado de trabajo en el cultivo de la papa. Págs. 119-142. En: Agroeconomía de la papa en México. A. Biarnes, J.-P. Colin y M. J. Santiago Cruz (eds.). México, ORSTOM y Colegio de Posgraduados

- Santiago Cruz, M. J. y J. García Salazar. 2001. "Economía de la Agroindustrialización de la Papa en México." *Revista Latinoamericana de la Papa*, Vol.Especial: 21-43.
- SARH-Veracruz. 1992. "La situación forestal de Veracruz: antecedentes, problemática, perspectivas." En: *Desarrollo y Medio Ambiente en Veracruz*. E. Boege y H. Rodríguez (eds.). Xalapa, Ver., CIESAS-Golfo, INECOL, Fund. Friedrich Ebert: 199-207.
- SENDAS. 2008. "Diagnóstico participativo para un programa de desarrollo microregional en el ejido San Pedro Buenavista, municipio de Acajete, Veracruz". Informe a PROCODES – CONANP. Xalapa, Ver., SENDAS, A.C.: 70. Inédito.
- SENDAS. 2010. "Diagnóstico socioambiental y planeación participativa en el ejido Agua de los Pescados, Municipio de Perote, Veracruz". Informe presentado a PROCODES-CONANP y FMCN. Xalapa, Ver., SENDAS, A.C.: 50. Inédito.
- Skerrit, D. 1993. "La tentación de la ganadería." En: *Desarrollo y Medio Ambiente en Veracruz. Impactos económicos, ecológicos y culturales de la ganadería en Veracruz*. N. Barrera y H. Rodríguez (eds.). Xalapa, Ver., F. Friedrich Ebert, CIESAS-Golfo, INECOL.
- Trejo, I. y R. Dirzo. 2000. "Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico." *Biological Conservation*(94): 133-142.
- Williams-Linera, G. 2002. "Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest." *Biodiversity and Conservation* 11: 1825-1843.
- Williams-Linera, G. 2007. El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. Xalapa, Ver., INECOL y CONABIO.

---

# CAPÍTULO 4. TENDENCIAS EN LA COBERTURA ARBOLADA Y USO DEL SUELO, Y FACTORES DE CAMBIO EN LA CUENCA DEL PIXQUIAC (1975-2004)

---

## 4.1. INTRODUCCIÓN

El proceso de la deforestación en México ha sido documentado en análisis tanto a nivel nacional, como en regiones específicas. Las tasas estimadas son tan altas que lo ubica entre los países con mayor velocidad en la pérdida de su cobertura arbolada (FAO, 1999; FAO, 2005; FAO, 2011). Este proceso se dio sobre todo entre 1950-1990, años en los cuales se han identificado los mayores niveles de pérdida de la cobertura vegetal. En esos momentos el país se distinguía por un fuerte crecimiento económico nacional donde se promovía la ocupación agropecuaria de las tierras bajas y tropicales con la idea de cubrir la demanda de alimentos de una sociedad con alto crecimiento poblacional (Rubio, 1999). Estas políticas también buscaban promover la ocupación de territorios a través del reparto agrario y beneficiar a un alto porcentaje de población rural que exigía tierras para trabajar.

Esa dinámica nacional ha cambiado en las últimas dos décadas, las zonas urbanas se han convertido en atrayentes de migración poblacional y la expansión de la frontera agropecuaria se ha reducido en gran parte del país, aun cuando ciertas regiones tienen procesos de deforestación activa, como en el sureste y las zonas costeras. Esto lo corroboran las estadísticas de INEGI que muestran una reducción en las tasas de deforestación a nivel nacional y un incremento en la superficie cubierta por vegetación secundaria (ver cap. 1, fig.1.1.). Este último es un proceso poco estudiado en nuestro país, donde es necesario revisar las categorías utilizadas para identificar lo que está sucediendo pues el término “vegetación secundaria” se presta a interpretaciones ambiguas. Los mapas de INEGI incluyen en esta categoría a una variedad de condiciones muy diferentes: se agregan las áreas con regeneración secundaria de bosques templados y de selvas, junto con otras tres subcategorías: secundaria arbórea, arbustiva y herbácea. Desde la perspectiva de los estudios de cambio de cobertura y uso del suelo es esencial identificar cuando la vegetación secundaria corresponde a un proceso de recuperación arbolada, de degradación, o de pérdida, pues su significado ecológico es totalmente opuesto para determinar las

tendencias prevalecientes, y los efectos de diversos factores sobre la cobertura local y la conservación de los ecosistemas boscosos naturales.

Como se expuso en el capítulo 1, el fenómeno de recuperación forestal se refiere al proceso natural de regeneración del bosque después de una perturbación que destruyó o modificó la cobertura arbolada original. Para los objetivos de los estudios sobre cambio de uso del suelo, la recuperación forestal es resultado de un proceso de sucesión secundaria, que puede responder a fenómenos de abandono de parcelas agropecuarias, o de recuperación a través de plantaciones forestales (Aide, *et al.*, 2000). Los factores socio-ambientales que impulsan la recuperación natural de los bosques dependen de las condiciones locales y regionales; es un proceso que no ha sido suficientemente estudiado por lo que nuestra comprensión sobre él es incipiente (Southworth, 2010).

En un nivel local y regional<sup>17</sup>, los procesos de deforestación-recuperación pueden estar respondiendo a diferentes factores, entre ellos la emigración del campo a la ciudad, cambios demográficos (por la transición de población rural hacia urbana, y por la forma de la pirámide de edades), cambios tecnológicos en las actividades agropecuarias, mejoras en la economía familiar, influencia de los mercados internacionales sobre ampliación (o reducción) de ciertos cultivos (Aide y Grau, 2004), abandono y marginalización de los habitantes (Kull, 2007), y otros. En algunos casos pueden ser procesos estables hacia la recuperación de los bosques, pero también puede tratarse de fenómenos temporales o coyunturales por efecto de cambios sociales o económicos (Díaz, *et al.* 2009; Villers, 2004; Ellis, 2010).

Los paisajes que muestran signos de recuperación en su cobertura arbolada son resultado de transformaciones en los sistemas socio-ambientales, para determinar si se trata de un fenómeno estable o coyuntural es necesario comprender la dinámica y funcionamiento de los mismos. La recuperación natural o reforestación pasiva generalmente se lleva a cabo de forma discontinua, en pequeños fragmentos y en extensiones menores a las originalmente deforestadas (Nagendra, 2010), por eso es un fenómeno prácticamente invisible (Hecht, 2010) dentro del contexto de las tendencias generales de deforestación, si bien cada vez más común en diversas regiones tropicales.

---

<sup>17</sup> Regional en este trabajo se refiere a un nivel de análisis superior al local, puede ser subestatal o subnacional.

En este capítulo se expone el núcleo del estudio de caso en tres secciones: la primera presenta la metodología empleada; la segunda los resultados del análisis de los procesos de cambio de uso del suelo, en términos de los mapas elaborados; la tercera presenta los procesos de cambio identificados; y la cuarta corresponde al análisis e identificación de los factores que impulsaron esos procesos.

## 4.2. MÉTODOS

El proceso de generación de los mapas y de los análisis realizados se presenta en el siguiente esquema (Fig. 4.1). A continuación se describe cada fase del trabajo realizado.

### 4.2.1. ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO

Se utilizaron fotografías aéreas pancromáticas digitalizadas de 1975, 1995 y 2004 para obtener los mapas de cobertura. Las ortofotos digitales de 1995 y 2004 fueron generadas por INEGI; mientras que las fotografías de 1975 fueron escaneadas y orto-rectificadas para obtener un archivo digital (cuadro 4.1). Cada ortofoto se interpretó visualmente en pantalla delimitando polígonos correspondientes a los diferentes usos del suelo y cobertura arbolada, a partir de las diferencias en textura y tono (ver anexo 2). Esto se realizó en un sistema de información geográfica (para esta fase se utilizó el programa ArcView 3.2). Cuando hubo dudas se revisaron las fotografías originales con el estereoscopio de escritorio para depurar la identificación de algunos polígonos y su clasificación. El polígono de la subcuenca se definió sobre la carta digital topográfica de INEGI, escala 1:50,000, siguiendo los parteaguas de la red hidrológica.

CUADRO 4. 1. FUENTES UTILIZADAS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO

| Características   | 1975  | 1995  | 2004  |
|---|---|---|---|
| Tipo de imagen  | Fotografía aérea pancromática, escaneada y ortorectificada. | Ortofoto digital a partir de fotografía aérea pancromática. | Ortofoto digital a partir de fotografía aérea pancromática. |
| Proveedor   | INEGI   | INEGI   | INEGI   |
| Escala  | 1:50,000  | 1:75,000  | 1:20,000 (vuelo 1:40,000)                                   |
| Fecha vuelo   | agosto 1975   | mayo 1995   | noviembre 2004  |
| Clases de cobertura y uso del suelo identificadas (no.) | 11  | 7   | 13  |
| Tamaño mínimo de polígono generado                      | 1 ha  | 1 ha  | 0.5 ha  |

El periodo del estudio concluye en 2004 por dos razones, porque es la fecha de las fotografías aéreas más recientes disponibles para la zona de estudio, y porque coincide con el inicio del Programa PSAH de CONAFOR en esta subcuenca permitiendo que los resultados de este estudio constituyan la línea base sobre la que podrán evaluarse los efectos de dicho programa a mediano plazo.

Una bondad de las fotografías aéreas como fuente de información es que las ortofotos tienen una alta densidad de información lo que facilita trabajar en escalas mayores, entre 1:10,000 y 1:20,000. En este sentido, como las tres fuentes de información se trabajaron digitalmente en pantalla fue posible generar mapas de trabajo en el mismo nivel de resolución fina, delimitando polígonos de 0.5-1 hectárea mínimo. En el proceso de elaboración de los mapas CUS finales y de los mapas de cambio, los polígonos pequeños quedaron inmersos en la matriz donde se encontraban (anexo 2).

A partir de los mapas vectoriales de trabajo se cuantificaron las superficies de las categorías de cambio de uso del suelo (CUS) y se estimaron las tasas de cambio en tres periodos. Para fines de representación en esta tesis, los mapas vectoriales se transformaron a una escala 1:120,000.

Para identificar los cambios en cobertura y uso del suelo entre los tres años analizados, los tres mapas vectoriales se reclasificaron en categorías agregadas (anexo 2) y se transformaron a formato raster en el SIG, y se sobrepusieron para generar las matrices de cambio e identificar los procesos de cambio (esto se hizo con ArcGis 9.2). Este procedimiento se expone a continuación.



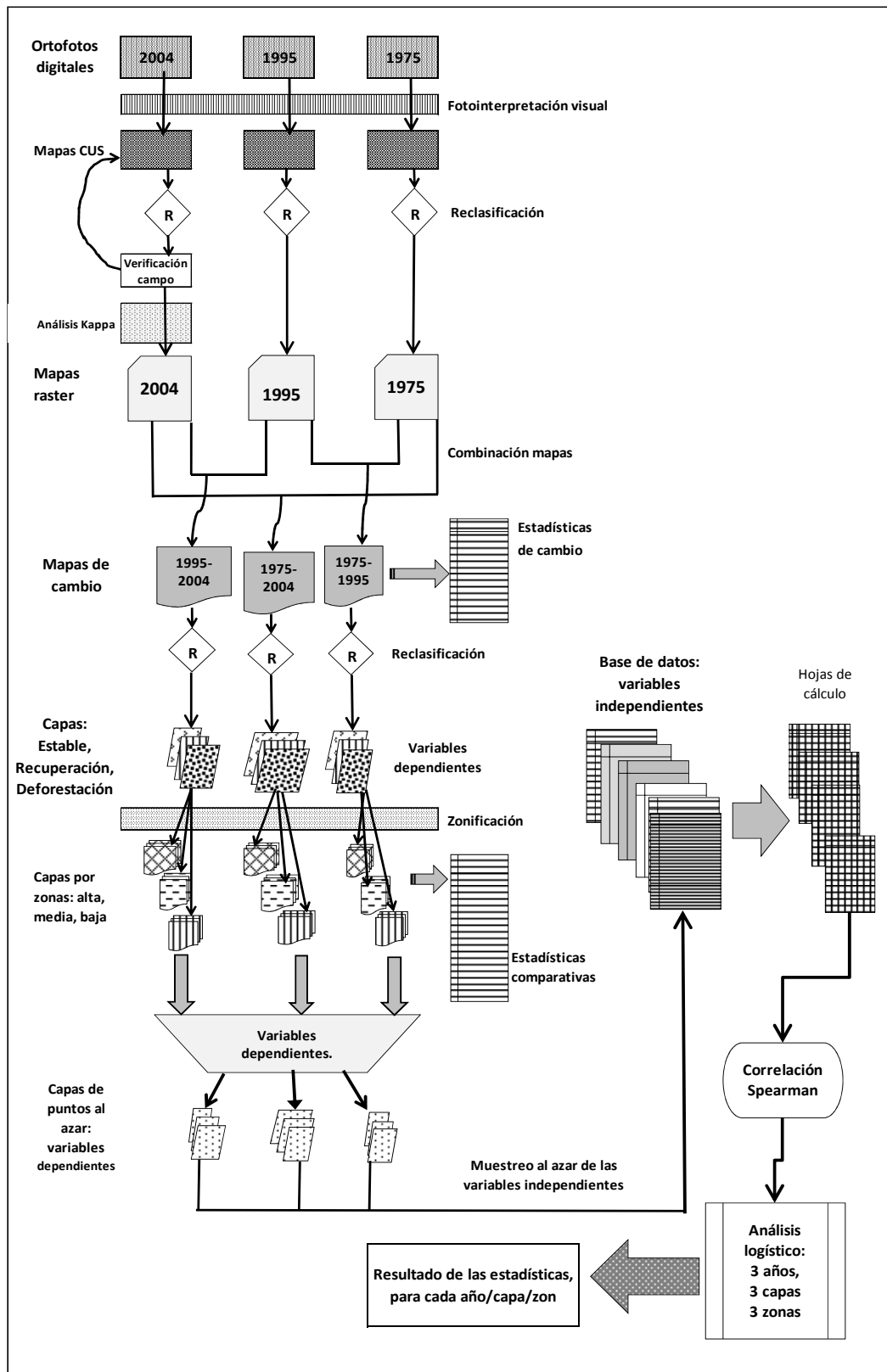


FIGURA 4. 1. ESQUEMA DEL PROCESO DE ANÁLISIS GEOGRÁFICO DEL CCUS.

## 4.2.2. RECLASIFICACIÓN DE LOS MAPAS EN CATEGORÍAS AGREGADAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO (CUS)

A pesar de que las ortofotos permitieron delimitar polígonos pequeños con precisión, fue imposible distinguir los diferentes tipos de bosques. Por esta razón se decidió utilizar categorías de cobertura como bosque cerrado y bosque abierto, en donde se agregaron los diferentes tipos de bosque presentes en la zona: bosques de *Abies religiosa*, bosques de *Pinus hartwegii*, *P. montezumae*, *P. patula*, y otras especies, bosques mixtos de *Pinus-Quercus* y bosque mesófilo de montaña (BMM). En la categoría de bosque cerrado fueron incluidos los cafetales de sombra y otras coberturas arboladas y arbustivas (anexo 2). Asimismo se utilizaron clases de uso del suelo como agropecuario, usos urbanos e infraestructura, y áreas sin vegetación aparente.

CUADRO 4. 2. RECLASIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO PARA EL ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DEL SUELO.

| Categorías reclasificadas para el análisis de CUS | Clases por Tipo de Cobertura y Uso del Suelo |  |  |
|---|--|--|--|
|   | Mapa 2004                                    | Mapa 1995  | Mapa 1975  |
| Bosque cerrado                                    | Bosque cerrado (coníferas, mixto y bmm)      | Arbolado cerrado (bosque y cafetal de sombra)            | Bc – Coníferas, Mixto y BMM                        |
|   | Bosque de galería-ripario                    |  | Bc – Ripario                                       |
|   | Cafetal de sombra                            |  | Cafetal de sombra                                  |
| Bosque abierto                                    | Bosque abierto (coníferas, mixto y bmm)      | Bosque abierto   | Ba – Coníferas, Mixto y BMM                        |
|   | Bosque abierto galería - ripario             |  | Ba – Ripario                                       |
|   | Plantación forestal                          |  | Plantación árboles                                 |
|   | Vegetación arbustiva                         |  |  |
| Agropecuario                                      | Agricultura y agropecuario                   | Agricultura  | Agricultura  |
|   | Cafetal sol                                  | Cafetal sol  | Cafetal sol  |
|   | Pastizal inducido (potreros)                 |  | Pastizal inducido (potreros) y natural (zacatonal) |
|   | Pastizal natural (zacatonal)                 | Pastizal(inducido y zacatonal)                           |  |
| Zonas urbanas, sin vegetación aparente y caminos  | Zona urbana y rural, caminos                 | Asentamientos humanos (urbanos y rurales) y caminos      | Zonas urbanas y caminos                            |
|   | Minas de material, suelo desnudo             | Suelo desnudo sin vegetación aparente, minas de material | Sin vegetación aparente                            |

El cuadro 4.2 presenta las clases de cobertura y uso del suelo que se identificaron en los mapas de trabajo (anexo 2) y su correspondencia con las categorías de cobertura y uso del suelo utilizadas en el análisis de cambio (columna 1).

Una vez generados los tres mapas de polígonos vectoriales, se probaron varias opciones de reclasificación para tener categorías comparables de tipo de cobertura y uso del suelo en las tres fechas estudiadas (fig. 4.1, cuadro 4.2 y Anexo 2). La clasificación que tuvo mayor precisión fue la de cuatro tipos de cobertura, misma que se describe a continuación:

- i. **Bosque cerrado:** corresponde a una cobertura donde el dosel del arbolado es compacto de forma tal que no es posible ver el suelo. En esta categoría se agregan varias condiciones forestales dadas por la altura del arbolado y homogeneidad en la textura de las fotos: bosque maduro con árboles emergentes, acahual con mosaico de texturas y tamaños, bosque joven homogéneo y de baja altura, y bosque de galería o ripario. La definición de bosque cerrado utilizada en este trabajo corresponde a un dosel arbolado continuo en un rango de cobertura del suelo entre 70 y 100% (desde las fotografías aéreas). Esta clase se incluye las zonas con cafetal de sombra, pues su textura y tonalidad es igual a la del bosque mesófilo de montaña. En el análisis de los factores de cambio se utilizó una capa con la presencia de predios cafetaleros, generada mediante extensos recorridos de campo verificando el rango altitudinal, con entrevistas a conocedores de la región y con el apoyo de un padrón reciente de cafeticultores<sup>18</sup>.
- ii. **Bosque abierto:** corresponde a una condición donde la cobertura arbolada domina pero no es compacta, pues presenta aperturas en el dosel que permiten distinguir el suelo. Esta categoría corresponde a polígonos con una cobertura entre 50 y 70%, donde están agregadas zonas arboladas de distintos tamaños, texturas y condiciones. Se incluyen polígonos identificados con: a) vegetación arbustiva, que en la zona alta corresponden a parcelas de cultivo o pastizales abandonados cubiertos por escobo (*Bacharis conferta*) especie nodriza para la regeneración de pinos (Sánchez-Velásquez, *et al.*, 2011); b) vegetación arbustiva de la zona media y baja correspondiente a parcelas agropecuarias abandonadas cubiertas por el helecho conocido como pesma (*Pteridium sp*), c) etapa inicial de regeneración de bosques jóvenes de tamaño bajo y fragmentos pequeños; d) plantaciones forestales jóvenes con árboles pequeños, e) rodales con cortas de aclareos donde se distingue el distanciamiento entre los árboles, y f) plantaciones de árboles frutales, como macadamia y cítricos, sin cobertura completa del suelo.

---

<sup>18</sup>Se tuvo acceso al padrón de los cafeticultores que colaboran con el proyecto BioCafé, del INECOL; esta información fue aportada generosamente por el Dr. Robert H. Manson.

- iii. **Agropecuario:** Esta categoría incluye los usos del suelo correspondientes a la agricultura, pastizales ganaderos o potreros, y las áreas con zacatonales amacollados de la zona alta (o páramo de altura). Estos dos últimos no se presentaron diferencias en tono y textura en las fotografías aéreas. Por lo que considerando que los zacatonales en esta región están sujetos a pastoreo de borregos y cabras, se les incluyó dentro de esta categoría. En la clase Agricultura se pudieron identificar ciertos cultivos con texturas y tonos diferentes, como la caña de azúcar y el cafetal de sol, cuya condición de plantación con árboles pequeños y suelo visible lo distingue fácilmente; sin embargo, el cultivo de papa y el de maíz, dominantes en esta subcuenca, no pudieron diferenciarse. Por ello todos los cultivos se agregaron en una sola clase. Otra condición encontrada son las parcelas agrícolas y pastizales con árboles aislados, es decir en densidades bajas. En estos casos se ponderó el uso predominante agrícola y pecuario, con una densidad de árboles entre 30 y 50%, y presencia de parcelamiento, para diferenciarlos del “Bosque abierto”. En otras áreas de esta subcuenca fue imposible distinguir a las parcelas agrícolas de los pastizales ganaderos, por lo que se clasificaron como polígonos agropecuarios. Al momento de hacer una reclasificación agregada se determinó unir todas estas clases en una única categoría “Agropecuaria” para facilitar la comparación entre los periodos analizados.
- iv. **Sin vegetación aparente, zonas urbanas y caminos:** Esta categoría incluye las clases con mayor impacto humano y transformación del paisaje, como son las minas de material (arena y piedras), las áreas sin vegetación aparente, las zonas urbanas y localidades rurales, y los caminos (carreteras, brechas, veredas).

### 4.2.3. VERIFICACIÓN DE CAMPO

La verificación del mapa vectorial del 2004 se realizó con recorridos en el campo realizados entre noviembre del 2009 y julio del 2011 (fig. 4.2), a través de 598 puntos de verificación de la vegetación y uso del suelo en diferentes tipos de cobertura (cuadro 4.3 y fig. 4.2).

En algunas categorías se encontraron diferencias entre lo cartografiado y lo observado en campo, fundamentalmente debido al lapso entre las fechas de las fotografías con respecto a las visitas de campo. Esto representó un problema metodológico que se resolvió aceptando que la vegetación y el uso del suelo son dinámicos, en este sentido se decidió respetar el año de la fotografía manteniendo la clasificación realizada en gabinete. Otras dudas se resolvieron entrevistando a los dueños de las parcelas, a quienes se preguntó sobre los cambios ocurridos en los

últimos 5-7 años. El tipo de cobertura que mostró mayor dificultad para verificar e identificar en campo fue el bosque abierto; se trata de una categoría con un comportamiento de transición, que en algunos casos cambió hacia agricultura con árboles aislados, pero en otros se convirtió en bosques jóvenes densos o en vegetación arbustiva.

CUADRO 4. 3. NÚMERO DE PUNTOS DE VERIFICACIÓN DE CAMPO CORRESPONDIENTES A LAS CATEGORÍAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO.

| Categoría CUS-4  | No. Puntos | %  |
|--|------------|----|
| Bosque cerrado   | 270        | 45 |
| Bosque abierto   | 95         | 16 |
| Agricultura y pastizales   | 180        | 30 |
| Sin vegetación aparente, zonas rurales, urbanas, caminos y minas de material | 53         | 9  |

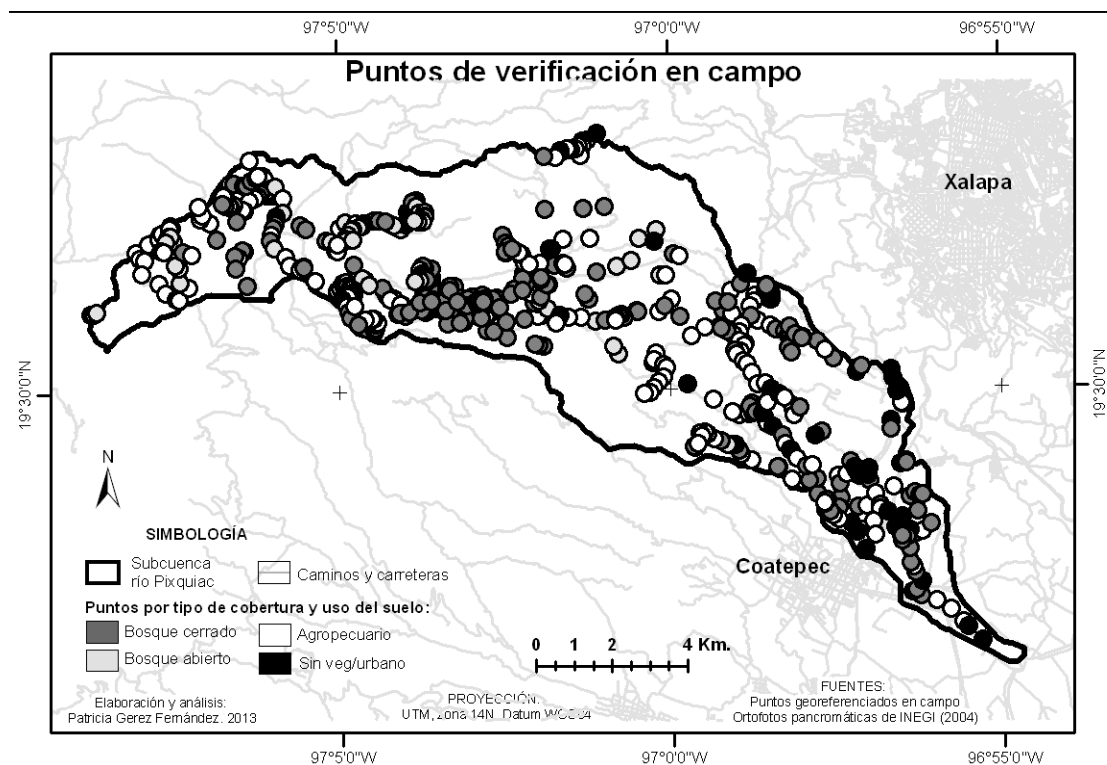


FIGURA 4. 2. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE VERIFICACIÓN DE CAMPO PARA EL MAPA 2004.

#### 4.2.4. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DEL MAPA 2004 PARA ESTIMAR LA TASA DE CAMBIO

La confiabilidad de una tasa de cambio de uso del suelo depende de la calidad de las fuentes de información utilizadas y de la precisión de los mapas base elaborados (Couturier y Mas, 2009; Mas, *et al.*, 2009). Para analizar la confiabilidad de los mapas obtenidos se generó una matriz de error o confusión con los datos del mapa de 2004. Este procedimiento calcula el porcentaje de aciertos del mapa y genera un índice de confiabilidad del mismo, a través de un procedimiento que comparara los puntos de verificación de campo con la clasificación del mapa.

Este análisis se realizó utilizando el Índice Kappa (Jenness y Wynne, 2007), que mide la diferencia entre el valor observado en campo (*productor*) y el valor predictivo del mapa (*usuario*), y estima diferentes tipos de error. El Índice Kappa (KHAT) fluctúa entre 0 y 1, donde los valores cercanos a 1 representan la mayor correspondencia entre lo observado y lo esperado, es decir, la exactitud con la que el mapa predice lo que se va a encontrar en campo; en otras palabras, que tan confiable es la clasificación utilizada en el mapa para el usuario (Jenness y Wynne, *op.cit.*:11). Las estadísticas de este índice miden la probabilidad de que el modelo se comporte mejor que una predicción al azar, respecto a la distribución de las clases de cobertura presentes en el paisaje.

CUADRO 4. 4. DOS NIVELES DE AGREGACIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE COBERTURA Y USO DEL SUELO, UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DEL MAPA 2004.

| Categorías agregadas (CUS – 4)  | Categorías desagregadas (CUS- 12)                               |
|---|---|
| bd – bosque cerrado   | bd – bosque cerrado   |
|   | cfc – cafetal de sombra   |
| ba – bosque abierto   | ba – bosque abierto   |
|   | bavar – bosque abierto con vegetación arbustiva                 |
|   | var – vegetación arbustiva                                      |
| agr – agropecuario (agricultura y pastizales ganaderos y zacatonales) | agr–uso agropecuario  |
|   | agraa – uso agropecuario con árboles aislados                   |
|   | agrvar – uso agropecuario con vegetación arbustiva              |
|   | zac – zacatonal de altura (pastizal natural)                    |
|   | zaca – zacatonal con árboles aislados                           |
|   | zacvar – zacatonal con vegetación arbustiva                     |
| sv_zu – sin vegetación aparente, zonas urbanas y caminos.             | sv_zu – sin vegetación aparente, minas, zonas urbanas y caminos |

Este procedimiento se utilizó para evaluar dos opciones de clasificación de cobertura y uso del suelo (cuadro 4.4. y Anexo 3): una con 12 categorías donde se

incluían fases de transición entre los usos del suelo y la cobertura arbolada (CUS-12); y otra agregada con 4 categorías (CUS-4). A partir de este análisis se eligió la que presentó mayor precisión (cuadro 4.4) para continuar con el estudio de cambio.

#### **4.2.5. ESTIMACIÓN DE LA TASA ANUAL DE CAMBIO 1975-1995-2004**

Para estimar la tasa anual de cambio de uso del suelo en el periodo 1975-1995-2004 en la subcuenca del río Pixquiac, se utilizó la siguiente ecuación (FAO, 1996; Trejo y Dirzo, 2000; Mas, *et al.*, 2009). Esta se aplicó a las superficies de los cuatro tipos de cobertura y uso del suelo de los polígonos vectoriales para estimar la tasa de cambio.

$$t.c. = \left( 1 - \frac{(S1-S2)}{S1} \right)^{1/n} - 1$$

*Dónde:*

*t.c.* = tasa anual de cambio,

*S1* = superficie cubierta en el tiempo 1,

*S2* = superficie cubierta en el tiempo 2, y

*n* = número de años entre los dos periodos analizados.

Para facilitar la interpretación de las tendencias identificadas en este estudio, los resultados se multiplicaron por -1, de manera que las cifras en positivo correspondieran a la tasa de ganancia en superficie, y en negativo se muestren las de reducción o pérdida.

#### **4.2.6. GENERACIÓN DE LOS MAPAS DE CAMBIO**

Para generar los mapas de cambio, se hizo una reclasificación de las categorías de los mapas vectoriales (polígonos) para convertirlas en la tipología de cuatro clases; una vez reclasificadas, los mapas se transformaron a formato raster (resolución de pixel 1m) para facilitar el proceso de sobreposición. Este se llevó a cabo en un SIG, en el siguiente orden: 1975-1995, 1995-2004 y 1975-2004. El resultado fueron tres nuevos mapas donde se identifican las áreas con 16 diferentes combinaciones de tipo de cambio (cuadro 4.5). Este procedimiento permite identificar la dirección y tamaño de los cambios, qué categoría se transformó hacia qué y cuánta superficie.

CUADRO 4. 5. COMBINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE CUS Y RECLASIFICACIÓN EN EL SIG, PARA IDENTIFICAR EL TIPO DE CAMBIO Y PROCESO DOMINANTE.

|   |               | Tiempo (2)               |        |        |       |       |
|---|---------------|--------------------------|--------|--------|-------|-------|
| Tiempo (1)                                  | Categoría CUS | Bd                       | Ba     | Agr    | Sv_zu |       |
|   |               | Bd                       | 0c     | 0c(Dg) | 1 (D) | 1 (D) |
|   |               | Ba                       | 2 (R)  | 0c     | 1 (D) | 1 (D) |
|   |               | Agr                      | 2 (R)  | 2 (Rv) | 0ap   | 1     |
|   |               | Sv_zu                    | 2 (Rv) | 2 (Rv) | 0ap   | 0ap   |
| Claves de proceso dominante:                |               |                          |        |        |       |       |
| 0c = Estable - arbolado                     |               | R = Recuperación bosques |        |        |       |       |
| 0ap = Antrópico Estable – productivo/urbano |               | Rv = Revegetación        |        |        |       |       |
| 1 = Pérdida/Deforestación/de-vegetación     |               | Dg = Arbolado degradado  |        |        |       |       |
| 2 = Recuperación                            |               | D = Deforestación        |        |        |       |       |

Estas combinaciones se reclasificaron para identificar cuatro categorías de cambio: áreas que conservaron su cobertura arbolada (sin cambio o estables), áreas con pérdida de cobertura arbolada o deforestación, áreas con ganancia de cobertura arbolada o recuperación, y áreas agro-productivas y urbanas sin cambio. El procedimiento utilizado generó dos tipos de resultados: a) los mapas que muestran espacialmente las zonas con cambio, y b) los cuadros con los resultados cuantitativos de las superficies modificadas. Los mapas de cada categoría de cambio conformaron la variable dependiente para el análisis logístico de los factores promotores de cambio.

CUADRO 4. 6. DEFINICIÓN DE LOS PROCESOS DE CAMBIO DOMINANTES IDENTIFICADOS EN LA CUENCA DEL RÍO PIXQUIAC

| Tipo de proceso                              | Definiciones  |
|--|---|
| <i>Conservado (C)</i>                        | Zonas de cobertura arbolada cerrada sin cambios durante el periodo analizado, incluye el bosque cerrado y las zonas con bosque abierto estable.             |
| <i>Degradación (Dg)</i>                      | Zonas boscosas con cambio hacia reducción en la densidad de la cobertura arbolada (puede incluir cambio de especies).                                       |
| <i>Recuperación (R)</i>                      | Zonas donde la cobertura arbolada cerrada se incrementó a partir del bosque abierto, crecimiento de acahuals, vegetación arbustiva y bosques jóvenes.       |
| <i>Revegetación (Rv)</i>                     | Zonas de incremento de la cobertura arbolada cerrada o abierta, desde usos del suelo como agropecuario y sin vegetación, urbano o minas de material.        |
| <i>Deforestación (D)</i>                     | Pérdida de la cobertura arbolada cerrada y abierta, incluye también la pérdida de superficie agropecuaria hacia infraestructura urbana y minas de material. |
| <i>Antrópico (agropecuario y urbano) (A)</i> | Zonas agropecuarias y otros usos del suelo antrópicos, como suelo desnudo, minas de material, asentamientos humanos e infraestructura de caminos.           |



Los resultados cuantitativos en forma de tablas se reclasificaron para mostrar la dirección de los cambios, e identificar hacia qué tipo de cobertura y cuánta superficie sufrió transformaciones (Velázquez, *et al.*, 2002). Así se construyeron las matrices de cambio donde se registra el tipo de transformaciones y las hectáreas involucradas.

Por las características geográficas y ambientales de esta subcuenca, de su cercanía a la capital del estado y su zona conurbada y porque en ella hay varios proyectos de conservación y de compensación por servicios ambientales, se consideró necesario hacer un análisis más detallado sobre la dirección de los cambios, con el fin de comprender cuál ha sido la dinámica de esta zona. Para ello se identificaron seis procesos dominantes de cambio que se definen en el cuadro 4.6.

#### 4.2.7. REGRESIÓN LOGÍSTICA PARA IDENTIFICAR FACTORES DE CAMBIO

Los cambios en uso del suelo y cobertura detectados han sido promovidos por factores de diverso origen e intensidad, algunos pueden estar respondiendo directamente a condiciones ambientales locales particulares, a la dinámica socio-demográfica, económica, o incluso a políticas gubernamentales. Paralelamente pueden responder de forma indirecta a fenómenos externos y lejanos de la zona de estudio, originados en el ámbito nacional o internacional (Lambin, *et al.*, 2003). Para identificar el peso de estos factores promotores del cambio se llevó a cabo un análisis de regresión logística con el que se determinó la relación entre la variable dependiente y diversas variables independientes (Ellis y Porter-Bolland, 2008).

CUADRO 4. 7. ESQUEMA DE LA MATRIZ DE ESTRATOS UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS DE REGRESIÓN LOGÍSTICA COMO VARIABLE DEPENDIENTE.

| Combinaciones | Variables dependientes |            |            |
|---------------|------------------------|------------|------------|
|               | Deforestado            | Recuperado | Conservado |
| 1975-2004     | Zona Alta (ZA)         | Zona Alta  | Zona Alta  |
|               | Zona Media (ZM)        | Zona Media | Zona Media |
|               | Zona Baja (ZB)         | Zona Baja  | Zona Baja  |
| 1975-1995     | Zona Alta              | Zona Alta  | Zona Alta  |
|               | Zona Media             | Zona Media | Zona Media |
|               | Zona Baja              | Zona Baja  | Zona Baja  |
| 1995-2004     | Zona Alta              | Zona Alta  | Zona Alta  |
|               | Zona Media             | Zona Media | Zona Media |
|               | Zona Baja              | Zona Baja  | Zona Baja  |

En este estudio el análisis de regresión logística binaria se hizo por separado para tres variables dependientes: las áreas deforestadas, las áreas con recuperación de la

cobertura arbolada, y las áreas con cobertura arbolada estable o conservada. Cada capa correspondiente a las áreas de deforestación, recuperación y conservación se estratificó en las tres zonas geo-ecológicas de la subcuenca, generando en total 9 capas que conformaron las variables dependientes. En cada una se realizó una regresión logística por separado, generando así 9 diferentes salidas para los tres periodos estudiados. De esta forma, en total se hicieron 27 regresiones logísticas, utilizando el programa XLStat 2009, módulo Modelo Logit (cuadro 4.7).

Para cada variable dependiente se generaron capas con puntos al azar, a los que se les hizo un análisis de autocorrelación utilizando el Índice Moran para verificar que efectivamente estuvieran distribuidos azarosamente (Anexo 4). Con este procedimiento se generaron capas con 45, 40 y 35 puntos por zona, según fue necesario, para obtener una distribución al azar en cada variable dependiente.

CUADRO 4. 8. VARIABLES INDEPENDIENTES UTILIZADAS EN LA REGRESIÓN LOGÍSTICA

| <b>Categoría socio-ambiental</b>     | <b>Variables independientes</b>  | <b>Tipo de Valor</b> |
|--------------------------------------|--|----------------------|
| Medio físico                         | Isotermas  | T° media anual       |
|                                      | Isoyetas   | PP media anual       |
|                                      | Tipos de suelo (9 clases)  | clases               |
|                                      | Altitud  | msnm                 |
|                                      | Exposición pendientes  | grados (NSEW)        |
|                                      | Inclinación pendientes   | grados               |
|                                      | Distancia a arroyos y ríos   | continua             |
| Tenencia de la tierra                | Tipo de tenencia de la tierra (ejidal/privada)                               | Ejido 1, privada 0   |
|                                      | Ejidos parcelados (si/no)  | Si 1, No 0           |
|                                      | Área comunal ejidal (si/no)  | Si 1, No 0           |
| Demografía                           | Tasa anual de crecimiento pobl 1970-2005 (distancia a localidades)           | continua             |
|                                      | Tasa anual de crecimiento pobl. 1970-1995 (distancia a localidades)          | continua             |
|                                      | Tasa anual de crecimiento pobl. 1990-2000 (distancia a localidades)          | continua             |
|                                      | Tasa anual de crecimiento pobl. 1995-2005 (distancia a localidades)          | continua             |
|                                      | Población total por localidad 2005 (distancia a localidades)                 | continua             |
|                                      | Población total por localidad 1995 (distancia a localidades)                 | continua             |
| Programas gubernamentales            | Parque Nacional Cofre de Perote (si/no)                                      | Si 1, No 0           |
|                                      | Distancia de localidades con Programa de manejo forestal regular (1990-2005) | metros               |
|                                      | Distancia a localidades con acciones de PRODICOP (1989-1994)                 | metros               |
|                                      | Predios en PSAH-CONAFOR 2003 y 2004 (si/no)                                  | Si 1, No 0           |
| Actividades agropecuarias dominantes | Predio cafetaleros registrados (si/no)                                       | Si 1, No 0           |
|                                      | Zonificación actividades agropecuarias dominantes 1975 (4 clases)            | clases               |
|                                      | Zonificación actividades agropecuarias dominantes 2004 (4 clases)            | clases               |
| Infraestructura de caminos           | Distancia a carreteras pavimentadas y calles                                 | continua             |
|                                      | Distancia a terracerías y brechas  | continua             |
|                                      | Distancia a veredas  | continua             |
|                                      | Distancia a caminos (todos)  | continua             |

Por su parte, las variables independientes se conformaron con una batería de datos transformados a capas raster georreferenciadas, representando las características del

medio físico, demográficas, productivas y sociales de la subcuenca. Inicialmente se elaboraron capas en formato raster correspondientes a 27 variables independientes en total, que se presentan en el Anexo 4.

Las capas de las variables dependientes con los puntos al azar se utilizaron para “tomar muestras” en cada capa de variable independiente. Con esto se elaboró la base de datos en formato dbf, exportado a Excel, conteniendo la variable dependiente y las variables independientes. Se realizó un análisis para buscar redundancias a través de la Correlación Spearman, de manera que dependiendo del periodo se seleccionaron entre 11 y 13 variables para el análisis logístico (cuadro 4.8). Las variables independientes utilizadas en cada regresión variaron según correspondieran con las fechas del periodo analizado; este fue el caso en las variables demográficas, en los proyectos gubernamentales y en las actividades agroproductivas que están referidas a años específicos. Finalmente la regresión logística se utilizó la opción Mejor Modelo (Wald) o *BestModel*, con el programa XLStat 2009.

## 4.3. RESULTADOS

### 4.3.1. SOBRE LA CONFIABILIDAD DEL MAPA 2004

El resultado del análisis de confiabilidad del mapa 2004 indicó que la clasificación con cuatro categorías obtuvo un índice de exactitud general del 69.2%, mientras que la de doce categorías fue de 51%. Por ello para el análisis del cambio de uso del suelo se utilizó la clasificación agregada. Los resultados comparativos entre las dos clasificaciones (cuatro y doce categorías) utilizando el Índice Kappa se presentan en el Anexo 3.

En la clasificación de cuatro categorías, tres de ellas obtuvieron valores superiores al 70%. Los valores de cada categoría para el productor fueron: agropecuario 75%, bosque cerrado 77% y zonas urbanas/sin vegetación 74%; y para el usuario, respectivamente, valores de 66%, 75% y 76%. La categoría *bosque abierto* mostró menor exactitud: 34% para el productor y 48% para el usuario (cuadro 4.9). Estos bajos valores reflejan la dificultad para identificar esta condición en campo derivada en parte por la diferencia de fechas entre las fotografías aéreas (2004) y las verificaciones de campo (2009 y 2010), en una región donde la vegetación es muy dinámica; también porque esta categoría incluye una gran diversidad de condiciones, como ya se expuso en la metodología (cuadro 4.2).

En términos generales, dado que tres de las categorías obtuvieron valores por arriba de 70%, consideramos aceptable la exactitud del mapa 2004. Si bien el valor total de Kappa fue 54%, el índice general de exactitud de este mapa de 69.2% indica que puede considerarse aceptable (Mas, *et al.*, 2009). Este nivel de agregación con cuatro categorías permite realizar el análisis de las tendencias de cambio de uso del suelo y la identificación de los factores promotores.

CUADRO 4. 9. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DEL MAPA 2004 (CUS – 4): MATRIZ DE ERROR Y ESTADÍSTICAS KAPPA

| Clasificación del Mapa 2004 (CUS-4)  | Puntos de verificación (campo) |    |     |       |       | Exactitud del Productor (%) |
|--|--------------------------------|----|-----|-------|-------|-----------------------------|
|  | Agr                            | ba | bc  | sv_zu | Total |                             |
| Agropecuario (agr)   | 135                            | 25 | 37  | 7     | 204   | 75                          |
| Bosque abierto (ba)  | 15                             | 32 | 18  | 2     | 67    | 34                          |
| Bosque cerrado (bc)  | 25                             | 38 | 208 | 5     | 276   | 77                          |
| Sin veget/z.urbanas (sv_zu)  | 5                              | 0  | 7   | 39    | 51    | 74                          |
| Total  | 180                            | 95 | 270 | 53    | 598   | 100                         |
| Exactitud del Usuario (%)  | 66                             | 48 | 75  | 76    | 100   |                             |
| <b>Exactitud general (414/598) = 69.2%; Kappa 54 %; Varianza= 0.00077655; Z= 19.245; P= &lt;.00001</b> |                                |    |     |       |       |                             |

#### 4.3.2. MAPAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO (1975-1995-2004) Y TASAS DE CAMBIO

Se generaron tres mapas para 1975, 1995 y 2004 donde se muestran la distribución espacial por tipo de cobertura arbórea y uso del suelo (figuras 4.3, 4.4 y 4.5). La escala de salida de estos mapas fue de 1:50,000, si bien la representación incluida en este trabajo corresponde a 1:120,000.

El cuadro 10 presenta la superficie correspondiente a cada categoría de cobertura y uso del suelo, e indica el porcentaje de cobertura correspondiente a la superficie total de la subcuenca. Destaca que en los tres años estudiados, la cobertura arbolada cerrada ha dominado la mayor parte de la cuenca, por arriba del 50%, y en segundo lugar el uso del suelo agrícola y ganadero. En la figura 9 se presenta esta información de forma gráfica comparando los tres períodos analizados.

La subcuenca del río Pixquiac mantiene una cobertura arbolada importante, más de la mitad de su superficie se encuentra cubierta por bosques. Si se suman las dos categorías de bosque cerrado y abierto, resulta que la superficie con cubierta arbolada se ha incrementado, del 63% en 1975, a 66% en 1995, y 72% en 2004 (fig. 4.6). Esta tendencia es indicativa de un proceso diferente a lo que sucede en otras regiones del país, dominadas por procesos de deforestación. En las áreas donde se ha mantenido la

cobertura arbolada o se ha recuperado, se incluyen las que presentan condiciones de bosque abierto, por lo que podría haber procesos de degradación forestal en curso.

CUADRO 4. 10. SUPERFICIE Y PORCENTAJE DE COBERTURA COMPARATIVA 1975, 1995 Y 2004, EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.

| <b>Categorías de Cobertura y Uso del Suelo (CUS)</b> | <b>1975</b>            |          | <b>1995</b>            |          | <b>2004</b>            |          |
|--|------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|----------|
|  | <i>Superficie (Ha)</i> | <i>%</i> | <i>Superficie (Ha)</i> | <i>%</i> | <i>Superficie (Ha)</i> | <i>%</i> |
| <b>Bosque cerrado</b>                                | 5756.82                | 53.66    | 6249.21                | 58.25    | 6763.48                | 63.04    |
| <b>Bosque abierto</b>                                | 1015.37                | 9.46     | 929.36                 | 8.66     | 1020.78                | 9.52     |
| <b>Agropecuario</b>                                  | 3866.25                | 36.04    | 3334.48                | 31.08    | 2586.49                | 24.11    |
| <b>Urbano/sin veget.</b>                             | 89.36                  | 0.83     | 214.68                 | 2.00     | 357.40                 | 3.33     |
| <i>Sup. Total</i>                                    | 10727.80               | 100.0    | 10727.73               | 100.0    | 10728.15               | 100.0    |

Las tendencias de cambio para los tres años analizados muestran el incremento constante en las áreas cubiertas por bosque cerrado, zonas urbanas y áreas sin vegetación; la reducción en superficie se detecta en la agricultura y ganadería; y una condición de estabilidad en la superficie de Bosque abierto (fig. 4.7).

Durante los 29 años del período analizado, los bosques incrementaron considerablemente su extensión, con un total de 1006 hectáreas recuperadas, a una tasa anual de 0.56%. En el primer periodo analizado (1975-1995) la cobertura de bosque cerrado se recuperó a una tasa anual de 0.41%; no obstante, en los últimos nueve años, entre 1995 y 2004, esta tasa se duplicó presentando una expansión de 0.88% anual (cuadro 4.11, figura 4.7). Por su parte, las áreas de los asentamientos humanos, caminos y áreas sin vegetación mostraron una expansión de 268 ha durante el período completo, con un crecimiento notable a una tasa anual de 4.9% (cuadro 4.11). Esta categoría de CUS mantuvo tasas muy elevadas, se expandió a un ritmo de 4.5% entre 1975-1995, y aún más rápido entre 1995 y 2004 al 5.8% anual.

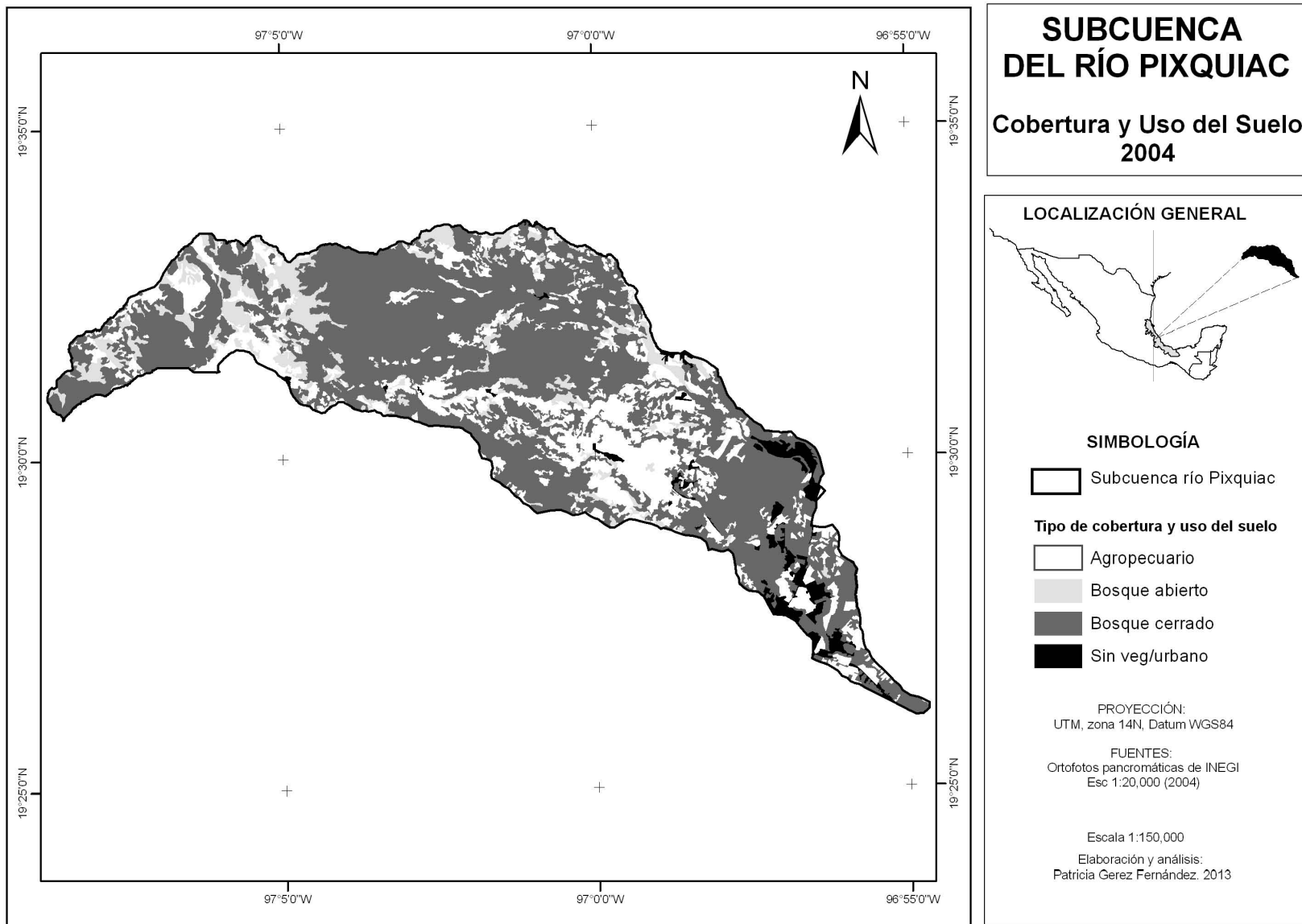


FIGURA 4. 3. MAPA 1 - COBERTURA ARBOLADA Y USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, 2004.

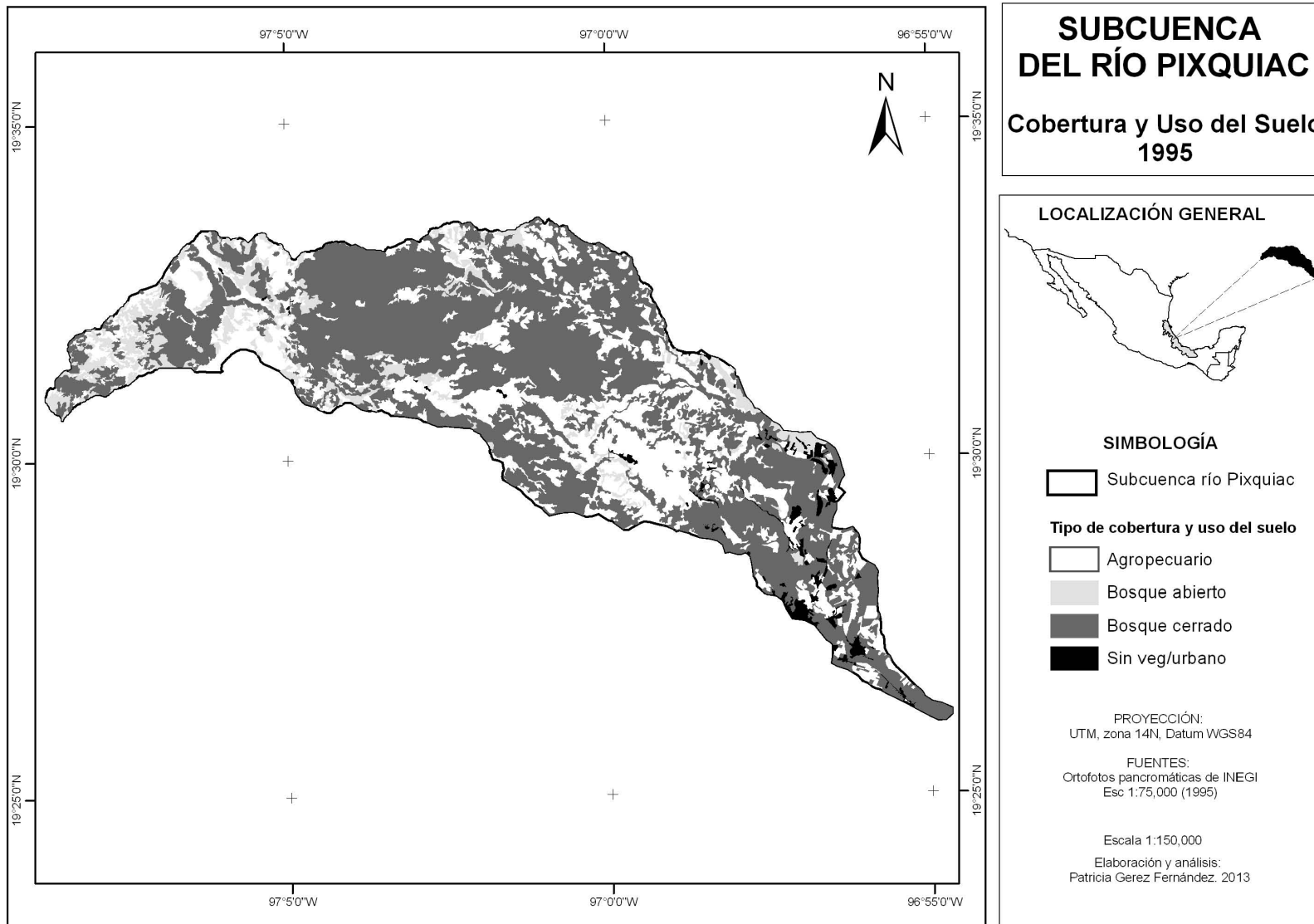


FIGURA 4. 4. MAPA 2 - COBERTURA ARBOLADA Y USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, 1995.

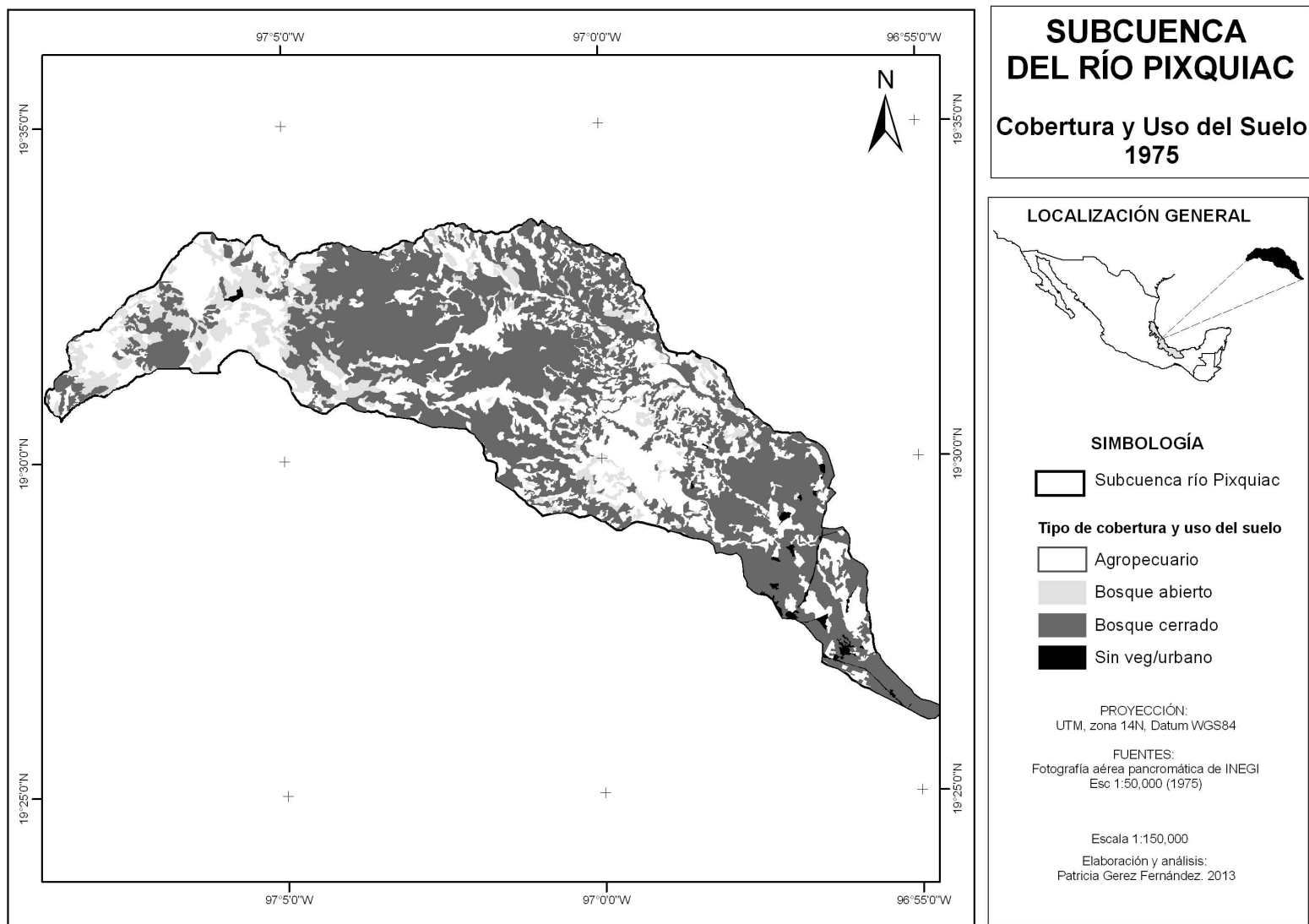


FIGURA 4. 5. MAPA 3 - COBERTURA ARBOLADA Y USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, 1975.



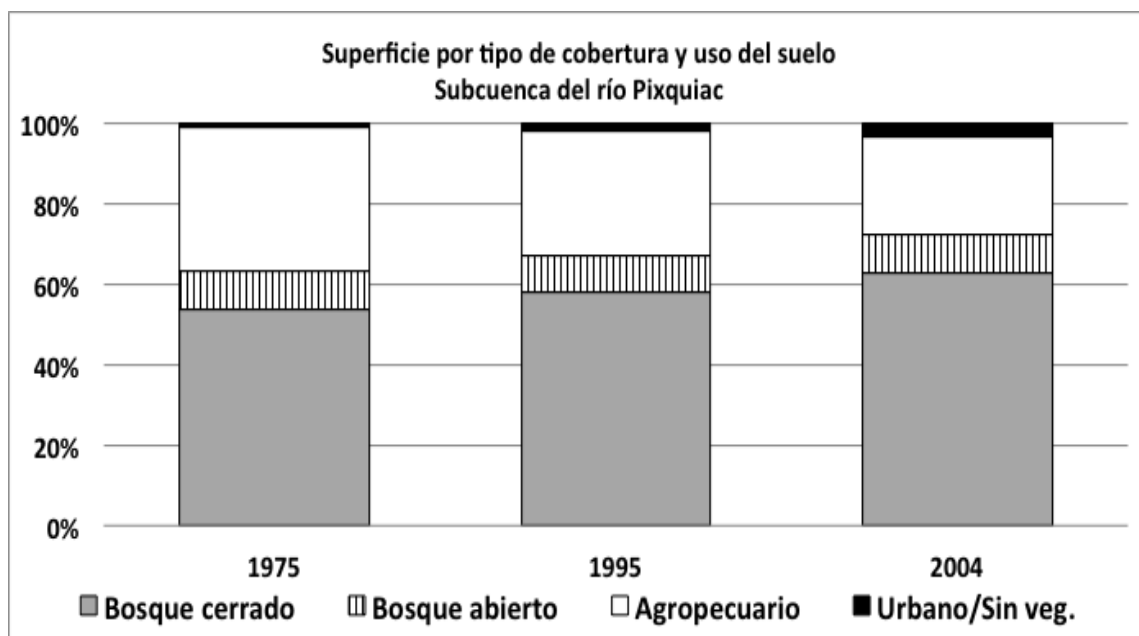


FIGURA 4. 6. CAMBIOS EN LA PROPORCIÓN OCUPADA POR TIPO DE COBERTURA PARA CADA AÑO ANALIZADO.

Finalmente, el uso agropecuario mostró una constante reducción durante todo el periodo de 29 años, perdiéndose 1280 hectáreas a una tasa de -1.38% anual. El periodo con mayor pérdida fue entre 1995-2004 a una tasa de cambio de -2.78% anual, mientras que entre 1975 y 1995 fue más lento de -0.74% anual (cuadro 4.11).

En términos generales la subcuenca presenta una recuperación neta de la cobertura arbolada, con una tasa anual de 0.48%, mientras que los usos antrópicos se han reducido a una tasa anual de 1.02%, como se muestra en la gráfica 4.8.

CUADRO 4. 11. CAMBIOS CUS, POR SUPERFICIE Y TASA ANUAL DE CAMBIO EN EL PERIODO ANALIZADO

| Cobertura y Uso del Suelo | 1975 -1995  |              | 1995-2004   |              | 1975-2004   |              |
|---------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                           | Cambio (ha) | Tasa anual % | Cambio (ha) | Tasa anual % | Cambio (ha) | Tasa anual % |
| Bosque cerrado            | 492.39      | 0.41         | 514.27      | 0.88         | 1006.66     | 0.56         |
| Bosque abierto            | -86.01      | -0.44        | 91.43       | 1.05         | 5.41        | 0.02         |
| Agropecuario              | -531.77     | -0.74        | -747.99     | -2.78        | -1279.76    | -1.38        |
| Urbano y sin veget.       | 125.32      | 4.48         | 142.71      | 5.83         | 268.03      | 4.90         |

*Cambio* – corresponde a la superficie que se perdió o se ganó durante el periodo analizado, en hectáreas.  
*Tasa anual de cambio (T.a.c.)*- estimada a partir de la ecuación utilizada por FAO (1996) y Trejo y Dirzo (2004), modificada para expresar en forma negativa la pérdida, y en positivo el incremento en superficie para cada tipo de cobertura y uso del suelo.

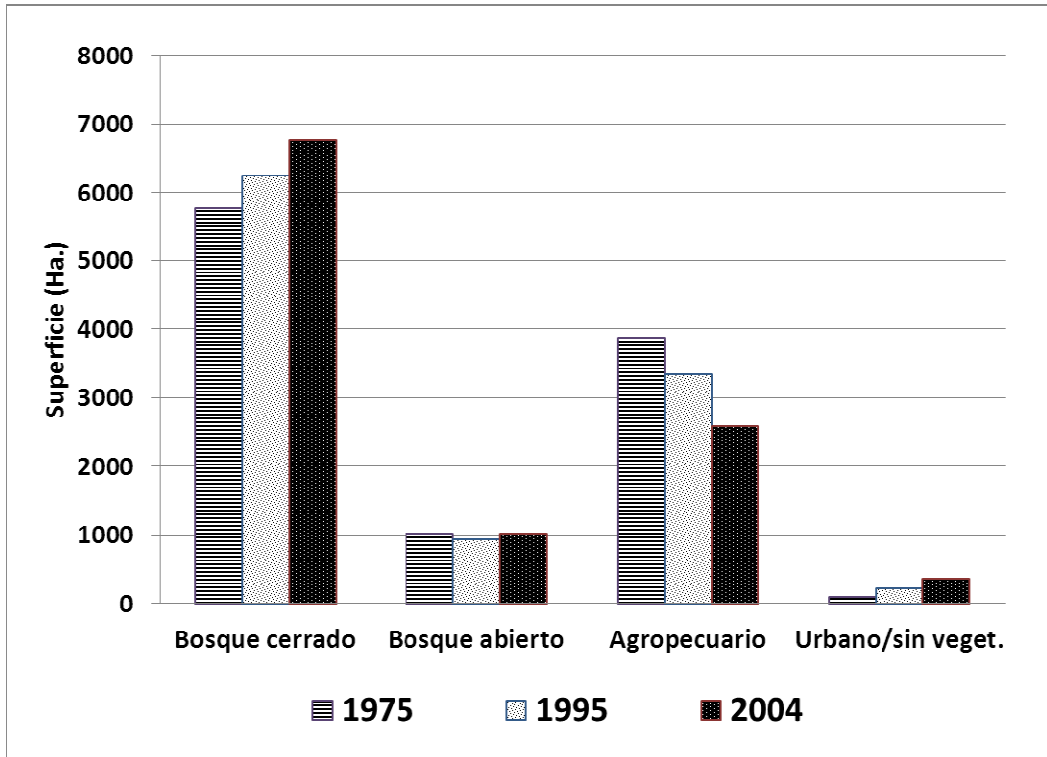


FIGURA 4. 7. CAMBIOS EN SUPERFICIE POR TIPO DE COBERTURA, 1975-1995-2004.

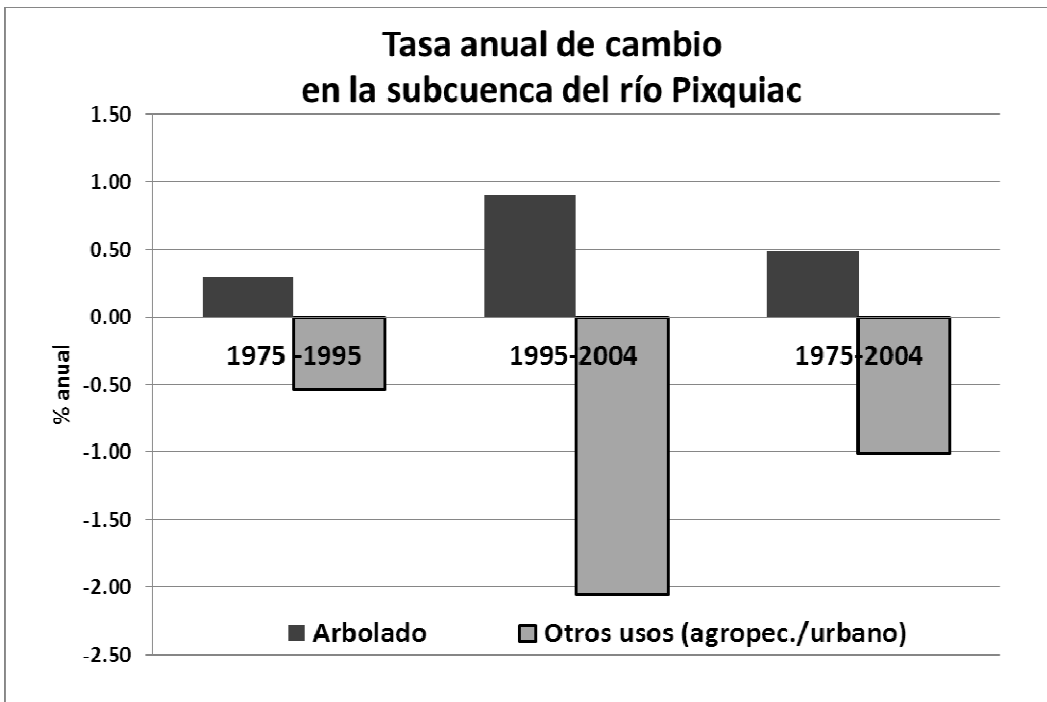


FIGURA 4. 8. TASA ANUAL DE CAMBIO PARA LOS TRES PERIODOS ANALIZADOS, 1975-1995-2004.

### 4.3.3. PROCESOS DOMINANTES DE CAMBIO

El análisis de los cambios de uso del suelo y cobertura brinda información detallada acerca del origen y destino de esas transformaciones, por ejemplo que categorías han contribuido al incremento del bosque cerrado y de las áreas urbanas. También permite identificar si los procesos dominantes de cambio se mantienen a lo largo del periodo estudiado, sobre todo porque se trata de una región montañosa con una larga historia de cambios en el uso del suelo, donde se están impulsando varios proyectos de conservación y de compensación por servicios ambientales, y cercana a la zona conurbada de la capital del estado.

CUADRO 4. 12. RESUMEN DE LAS SUPERFICIES DEFORESTADAS, RECUPERADAS, CONSERVADAS, Y SIN CAMBIOS (ESTABLE) PARA LOS PERIODOS ANALIZADOS (A PARTIR DE LOS MAPAS DE CAMBIO, FIG. 4.11).

| Procesos Cambio de Cobertura y Uso del Suelo (CCUS) identificados: |           |        |           |        |           |        |
|--|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
|  | 1975-2004 |        | 1975-1995 |        | 1995-2004 |        |
|  | Sup. (ha) | %      | Sup. (ha) | %      | Sup. (ha) | %      |
| <b>Conservado</b> (arbolado estable)                               | 4921.3    | 45.9   | 4888.1    | 45.6   | 5800.9    | 54.1   |
| <b>Recuperación</b>  | 2522.1    | 23.5   | 2009.2    | 18.7   | 1619.1    | 15.1   |
| <i>Subtotal arbolado</i>   | 7443.4    | 69.4   | 6897.3    | 64.3   | 7420.0    | 69.2   |
| <b>Deforestado</b>   | 876.5     | 8.2    | 1048.2    | 9.8    | 534.7     | 5.0    |
| <b>Arbolado degradado</b> (menor densidad)                         | 336.1     | 3.1    | 281.2     | 2.6    | 359.4     | 3.4    |
| <i>Subtotal con pérdida</i>  | 1212.6    | 11.3   | 1329.4    | 12.4   | 894.1     | 8.4    |
| <b>Productivo (estable)</b>  | 1890.3    | 17.6   | 2379.5    | 22.2   | 2160.6    | 20.1   |
| <b>Infraestructura/sin vegetación</b>                              | 181.5     | 1.7    | 121.5     | 1.1    | 252.9     | 2.4    |
| <i>Total</i>   | 10727.8   | 100.00 | 10727.7   | 100.00 | 10727.7   | 100.00 |

La extensión y proporción ocupada por los seis procesos dominantes de cambio identificados en esta subcuenca (cuadro 4.12) muestran que hay una extensa cobertura arbolada constituida por una amplia superficie donde se mantuvo estable, y por otra donde se han recuperado los bosques. Los tres mapas de cambio, elaborados para los periodos 1975-95, 1995-2004 y 1975-2004 representan geográficamente la ubicación de estos procesos de cambio (figura 4.9).

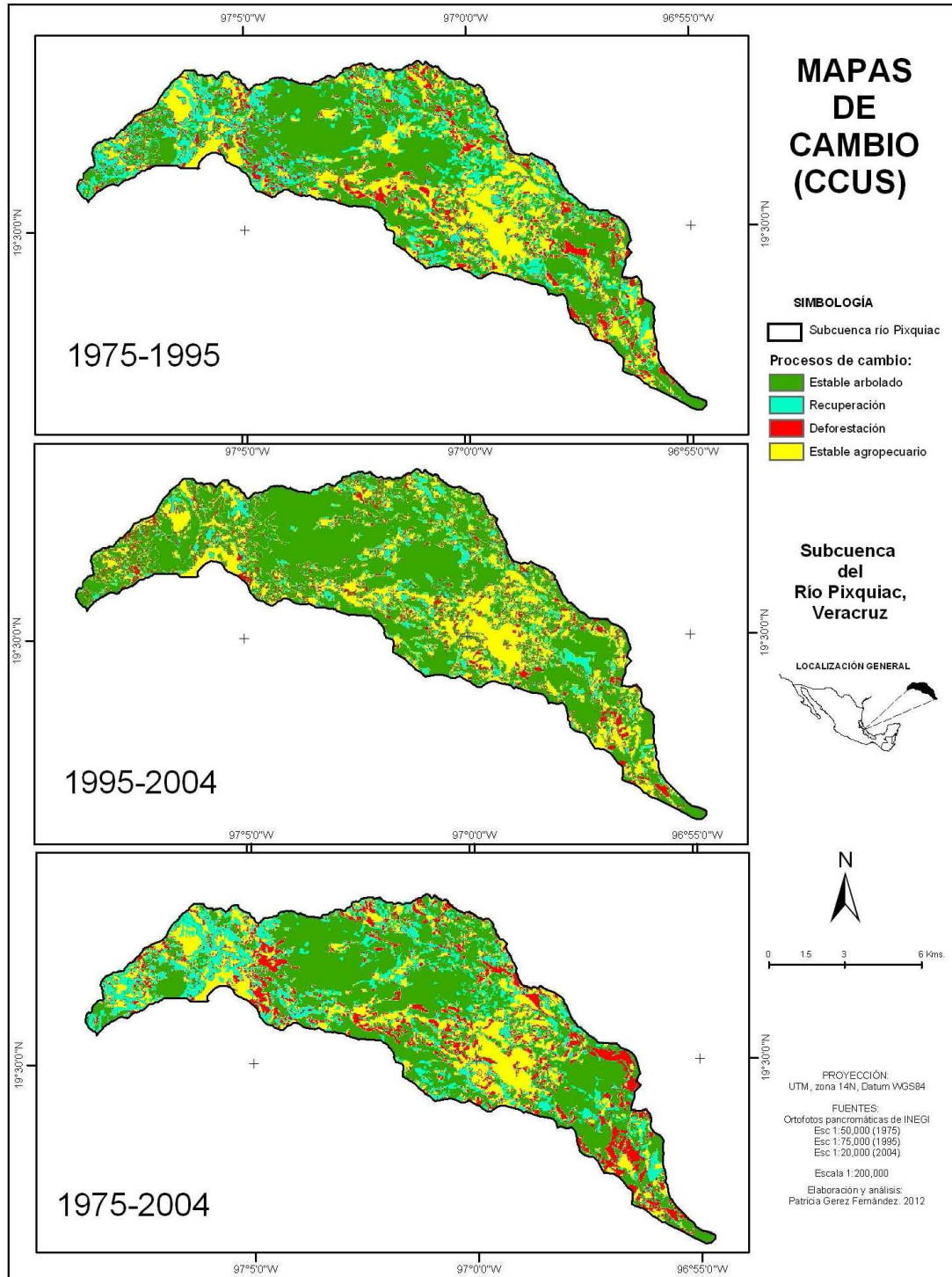


FIGURA 4. 9. MAPAS DE CAMBIO PARA LOS PERIODOS 1975-1995, 1995-2004 y 1975-2004. Clave de colores: rojo=deforestación y degradación; verde oscuro=arbolado conservado; azul=recuperación arbolada; amarillo=estable agropecuario y urbano.

Para el periodo completo de 29 años destaca que: a) se conservó la cobertura arbolada sin cambios dominó en el 46% de la subcuenca, y 24% mostró procesos de recuperación, lo que indica que 70% estuvo arbolada; b) un 3% presenta condiciones de degradación evidente por reducción en la densidad de cobertura arbolada; y, c) la deforestación representa una proporción pequeña, 8% del territorio durante el periodo analizado (cuadro 4.12). Las áreas de deforestación y de recuperación se distribuyen en toda la subcuenca (fig. 4.9).

Las matrices de cambio (figuras 4.10, 4.11 y 4.12) muestran de forma gráfica la dirección de esos cambios en hectáreas transformadas; las cajas representan la superficie de cada categoría que se mantuvo sin cambios durante el periodo. La dirección de las flechas hacia la derecha muestra los procesos de deforestación y degradación (D y Dg), mientras que las flechas hacia la izquierda registran los cambios positivos hacia procesos de revegetación (Rv) y recuperación (R) de la biomasa vegetal y arbórea. Estos últimos procesos estarían incidiendo en procesos de recuperación de la diversidad biológica y carbono capturado en los ecosistemas locales. El grosor de las flechas indica la importancia en términos de la proporción de superficie modificada.

#### **4.3.3.1. DIRECCIÓN DE LOS CAMBIOS 1975 - 1995**

La transformación más importante en el primer periodo (1975-1995) fue la recuperación neta de bosque cerrado a partir de tierras agropecuarias (1064 ha), correspondiente a 71%, y del bosque abierto en un 28% (555 ha). Esto indica un proceso generado por el abandono de parcelas y por el incremento en la densidad arbolada en zonas de bosques abiertos (fig. 4.10). Paralelamente hubo zonas deforestadas donde se registró una pérdida de cobertura arbolada cerrada hacia uso agropecuario (735 ha). La otra tendencia importante fue el crecimiento de las zonas urbanas sobre áreas con cobertura arbolada cerrada (90 ha) y sobre tierras agropecuarias (71 ha), que corresponde a 55% y 43% respectivamente. Cabe recordar que la categoría de bosque cerrado incluye las parcelas de cafecultura con sombra, que colindan con las zonas urbanas.

En síntesis, en términos de la superficie involucrada, en este periodo la recuperación de la cobertura arbolada fue mayor que la deforestación, pues 1455 hectáreas presentaron signos de recuperación, mientras que 1048.4 ha fueron deforestadas. El proceso de deforestación presente durante este periodo fue impulsado por la expansión de la superficie agropecuaria en un 91% y, en una proporción menor (9%) por el crecimiento urbano o de zonas sin vegetación. Otro proceso importante en la subcuenca es el área que mantuvo una cobertura arbolada estable (45.6%) y la de uso agropecuario sin cambios (22.3%).

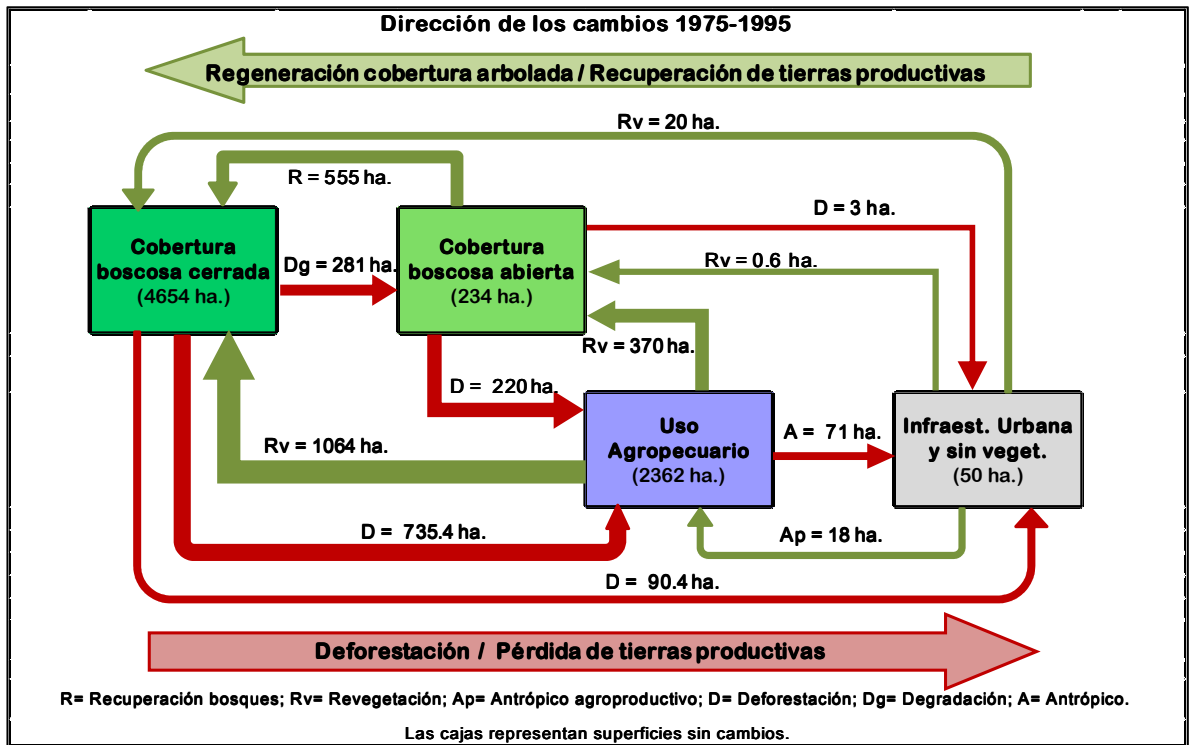


FIGURA 4. 10. FLUJO DE LOS CAMBIOS Y PROCESOS DOMINANTES DURANTE 1975-1995 EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.

#### 4.3.3.2. DIRECCIÓN DE LOS CAMBIOS 1995 – 2004

En estos últimos 9 años del periodo analizado la superficie que se mantuvo sin cambios correspondió a la mayor parte del territorio de esta subcuenca: se conservó la cobertura arbolada en el 54% de su territorio y en tierras con usos agropecuarios el 20% de la misma (fig. 4.11). Las áreas que registraron cambios importantes correspondieron al incremento de la cobertura arbolada cerrada, con 711 hectáreas recuperadas de tierras agropecuarias y 483 ha provenientes de bosques abiertos. Esto indica que 68% concierne al abandono de tierras agropecuarias y 30% a un incremento en la densidad de la cobertura arbolada del bosque abierto. Una pequeña superficie mostró un proceso de recuperación productiva de zonas sin vegetación o asentamientos humanos abandonados (21 ha) que se transformaron a usos agropecuarios. En términos brutos 1618 hectáreas registraron un proceso de recuperación arbolada, mientras que 534 hectáreas se deforestaron. La superficie que mantuvo estabilidad en la cobertura arbolada fue el 54%, y en el uso agropecuario el 20%.

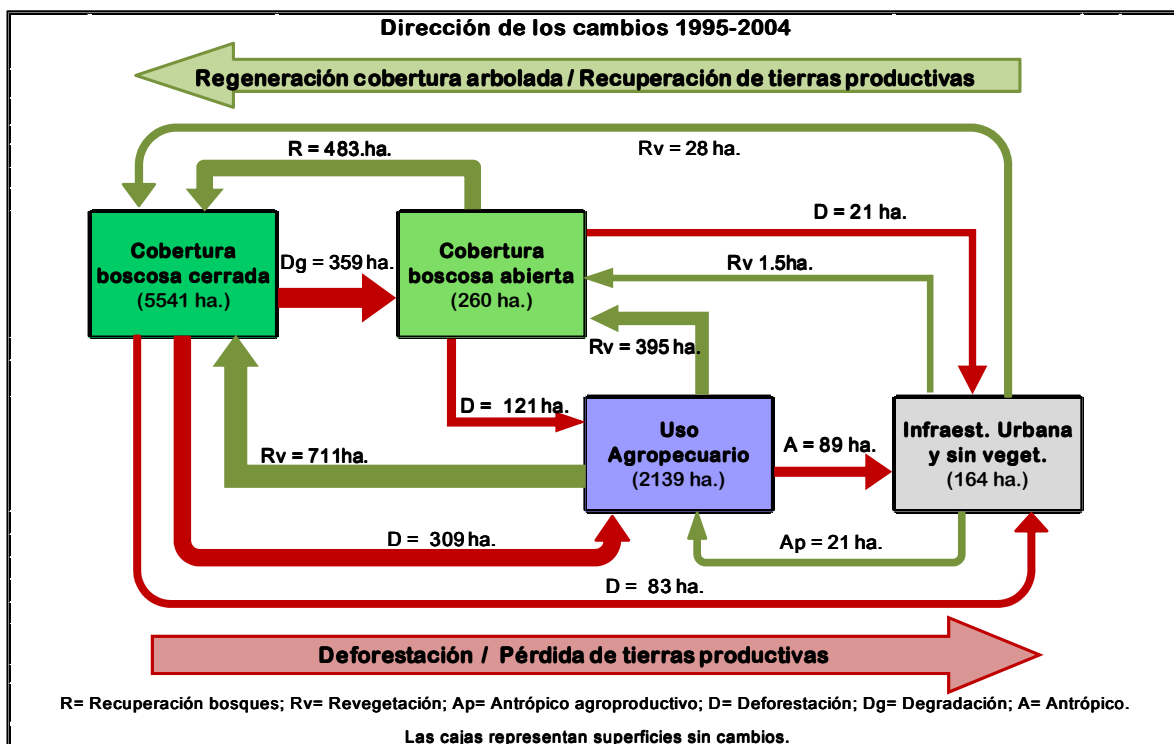


FIGURA 4. 11. FLUJO DE LOS CAMBIOS Y PROCESOS DOMINANTES DURANTE 1995-2004 EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.

Al igual que en el periodo anterior hubo un proceso paralelo de deforestación conformado por dos tendencias: a) deforestación por ampliación de las áreas agropecuarias hacia el bosque cerrado (309 ha) y bosque abierto (121 ha), juntos abarcan el 80% de las tierras deforestadas; y b) deforestación por expansión de las zonas urbanas y sin vegetación aparente, sobre tierras con cobertura arbolada cerrada (83 ha), bosques abiertos (21 ha) y tierras agropecuarias (89 ha), que abarca el 20% de tierras deforestadas.

#### 4.3.3.3. DIRECCIÓN DE LOS CAMBIOS 1975 – 2004

La síntesis de los procesos ocurridos durante los 29 años del periodo analizado se presenta en la fig. 4.12, donde las tendencias de cambio identificadas fueron:

1) Incremento en la superficie del bosque cerrado proveniente del abandono de tierras agropecuarias (1409 ha), de la recuperación de bosques abiertos (638 ha) y del abandono de zonas sin vegetación o urbanas (16 ha). Proporcionalmente, 74% de la recuperación arbolada provino de la regeneración de los bosques sobre parcelas abandonadas y 25% de la recuperación de bosques abiertos. Esto último puede estar indicando que hay un proceso de vegetación secundaria que avanza hacia bosques cerrados.

2) Incremento en la superficie del bosque abierto por dos vías contrarias: por la degradación de los bosques cerrados (336 ha) con un efecto de reducir la densidad de cobertura; y otra por vegetación secundaria arbolada en tierras agropecuarias abandonadas (456 ha), es decir un proceso de revegetación.

3) Expansión de tierras agropecuarias por deforestación de bosques cerrados (550 ha) y de bosques abiertos (150 ha) principalmente, aunque en proporción pequeña (8% de la subcuenca).

4) Expansión de las áreas urbanas y sin vegetación sobre tierras arboladas (175 ha) y agropecuarias (123 ha), proporcionalmente 58% de la primeras y 41% de las segundas.

5) Áreas estables correspondientes a zonas arboladas conservadas sin cambios en bosque cerrado y abierto correspondiente al 44% (4700 ha) de la subcuenca, y a zonas agropecuarias estables 18% (1880 ha).

6) La deforestación activa durante el periodo analizado fue impulsada en 80% por la ampliación de las tierras agropecuarias, y en 20% por crecimiento de las zonas urbanas o sin vegetación.

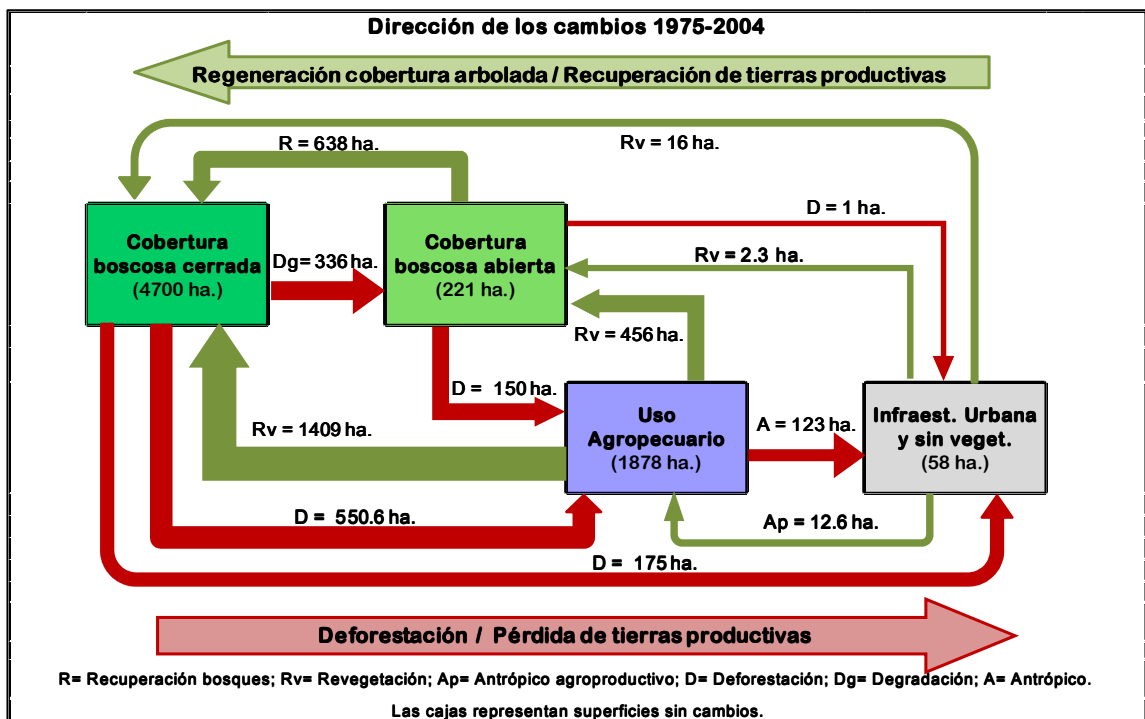


FIGURA 4. 12. FLUJO DE LOS CAMBIOS Y PROCESOS DOMINANTES DURANTE 1975-2004 EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.



#### 4.3.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ÁREAS DE CAMBIO

##### 4.3.4.1. COMPORTAMIENTO DEL CAMBIO RESPECTO A LA ZONIFICACIÓN DE LA SUBCUENCA

Al estimar la tasa anual de cambio estratificando la subcuenca en las tres zonas en las que está dividida (cap. 1, fig. 1.3), se encontró que muestran un comportamiento claramente diferenciado respecto a la velocidad y dirección de los cambios (fig. 4.13). Por ello en las siguientes secciones se presentan los resultados de los análisis manteniendo esta zonificación.

En la zona alta (cuadro 4.13 y fig. 4.14) el bosque cerrado ha sido el único tipo de cobertura con tasa positiva durante los 29 años (fig. 4.14), registrando un incremento notable particularmente durante la segunda parte del periodo analizado, entre 1995 y 2004 (cuadro 4.13). Consecuente el bosque abierto y la superficie dedicada a actividades agropecuarias se redujeron con mayor velocidad, indicando que estas dos categorías son el territorio hacia el cual se expandió el bosque cerrado. En contraste con las zonas media y baja, en la zona alta de la subcuenca las áreas urbanas y sin vegetación aparente se redujeron de forma constante durante el periodo completo analizado. Los censos de población registran este fenómeno pues ha habido una reducción en el número de habitantes, e incluso la desaparición de algunas localidades en esta zona (capítulo 1, fig. 1.11).

La zona media mostró una dinámica distinta (cuadro 4.13 y fig. 4.14); aquí destaca la velocidad con la que se incrementaron las áreas urbanas, cuyas tasas de crecimiento positivo (12% anual para todo el periodo 1975-2004) superaron con mucho a las otras categorías. Otro proceso notable fue el comportamiento de los bosques abiertos, durante la primera parte del periodo mostraron una reducción del 1%, pero entre 1995 y 2004 su expansión se disparó hasta alcanzar 6% anual. En esta zona el bosque cerrado, correspondiente a los bosques mixtos *Pinus-Quercus*, BMM y a acahuals de éste último, presentó una tasa de expansión pequeña pero constante. En consecuencia, las áreas agropecuarias son las únicas con tasas negativas todo el periodo, acelerando su pérdida en el periodo más reciente 1995-2004.

Finalmente, en la zona baja dominó un crecimiento constante de la zona urbana durante todo el periodo analizado, con una aceleración notable entre 1995-2004 que coincide con el crecimiento de la zona conurbada (ver capítulo 1). La cobertura de bosque cerrado en esta zona, fundamentalmente cafetales de sombra y algunos fragmentos pequeños de bosque mesófilo, mostró un incremento muy ligero durante

todo el periodo. Tanto el bosque abierto, como las áreas de usos agropecuario presentaron una reducción constante con tasas muy similares (cuadro 4.13 y fig. 4.14).

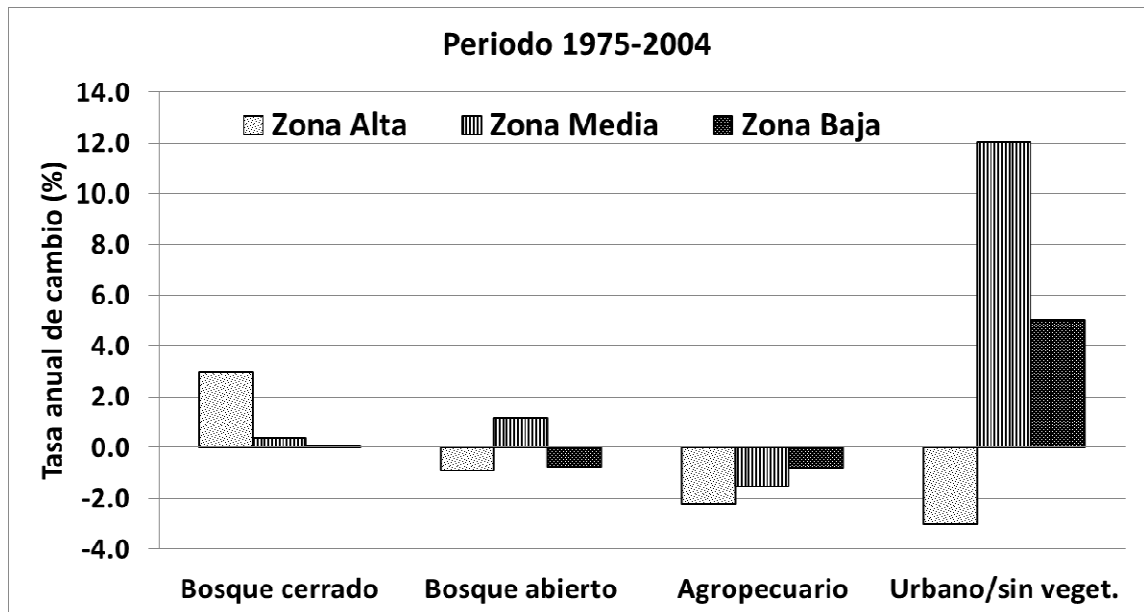


FIGURA 4. 13. TASA ANUAL DE CAMBIO POR ZONA Y CATEGORÍA CUS, PARA EL PERIODO COMPLETO (29 AÑOS).

CUADRO 4. 13. TASA ANUAL DE CAMBIO POR CATEGORÍA CUS, DE ACUERDO A LA ZONIFICACIÓN DE LA SUBCUENCA.

| Zonificación de la subcuenca | Tipo de Cobertura y Uso del Suelo | Tasa anual de cambio % |            |           |
|------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------|-----------|
|                              |                                   | 1975-2004              | 1975 -1995 | 1995-2004 |
| Zona Alta                    | Bosque cerrado                    | 3.00                   | 2.75       | 3.56      |
|                              | Bosque abierto                    | -0.91                  | -0.50      | -1.83     |
|                              | Agropecuario                      | -2.21                  | -1.56      | -3.63     |
|                              | Urbano/sin veget.                 | -2.99                  | -2.83      | -3.34     |
| Zona Media                   | Bosque cerrado                    | 0.38                   | 0.33       | 0.50      |
|                              | Bosque abierto                    | 1.20                   | -0.99      | 6.24      |
|                              | Agropecuario                      | -1.53                  | -0.57      | -3.62     |
|                              | Urbano/sin veget.                 | 12.05                  | 11.02      | 14.36     |
| Zona Baja                    | Bosque cerrado                    | 0.12                   | 0.04       | 0.29      |
|                              | Bosque abierto                    | -0.76                  | -0.43      | -1.51     |
|                              | Agropecuario                      | -0.80                  | -0.47      | -1.52     |
|                              | Urbano/sin veget.                 | 5.04                   | 4.77       | 5.64      |

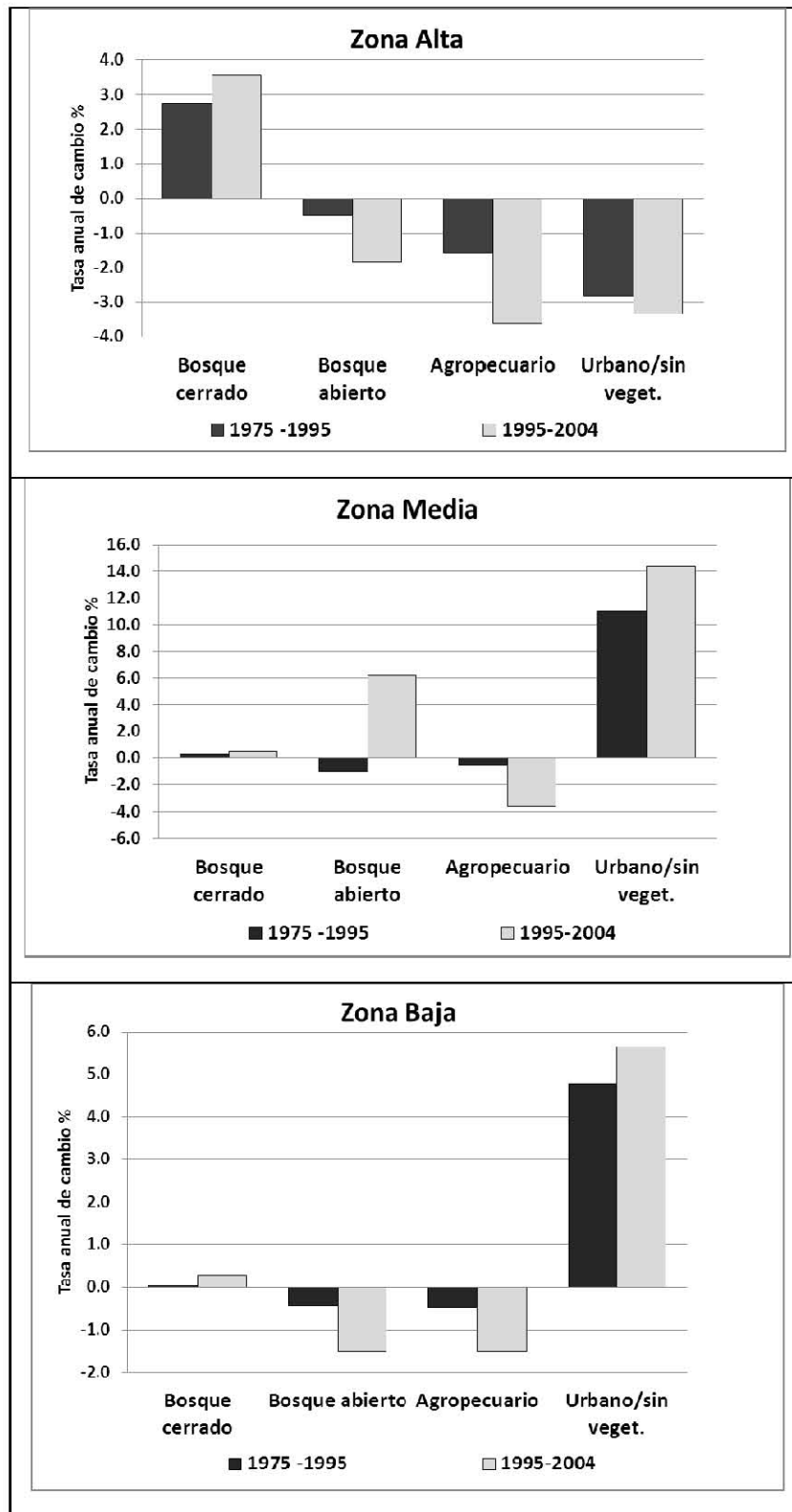


FIGURA 4. 14. TASA ANUAL DE CAMBIO PARA LAS CUATRO CATEGORÍAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO, EN LAS TRES ZONAS, PERIODOS 1975-1995 Y 1995-2004.

#### 4.3.4.2. COMPORTAMIENTO RESPECTO AL RÉGIMEN DE PROPIEDAD DE LA TIERRA

Las tendencias y las tasas de cambio referentes a los bosques cerrados se comportan de forma diferente según el régimen de propiedad de la tierra y el periodo analizado.

En el primer periodo analizado, entre 1975-1995, hubo una mayor velocidad en el incremento del bosque cerrado dentro de las tierras privadas. Pero en el siguiente periodo (1995-2004) la tasa de expansión de este tipo de cobertura casi se triplicó en las tierras ejidales (cuadro 4.14 y fig. 14). Este impulso fue tan fuerte que cuando se analiza el comportamiento de la tasa anual de cambio para el periodo completo analizado (1975-2004), destaca una mayor velocidad de recuperación en las tierras ejidales. La pequeña propiedad por su parte mostró tasas de cambio similares durante los tres periodos.

Los bosques abiertos mostraron un comportamiento distinto, pues la dinámica de cambio ha sido contrastante según el régimen de tenencia. Durante la primera fase (1975-1995) hubo una elevada tasa de pérdida de bosques abiertos en las tierras privadas, y un crecimiento pequeño en los bosques ejidales. Este comportamiento se revierte en la siguiente fase (1995-2004) donde las tierras privadas registraron una tasa de crecimiento muy alta, mientras que los ejidos registraron una ligera reducción. Cuando se analiza el periodo completo (1975-2004) no se detecta esta dinámica pues las tasas estimadas enmascaran estos procesos y aunque positivas, son muy pequeñas.

CUADRO 4. 14. TASA ANUAL DE CAMBIO POR CATEGORÍA CUS, DE ACUERDO AL RÉGIMEN DE PROPIEDAD DE LA TIERRA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC.

| Clase de CUS      | Tipo de Propiedad | Tasa anual de cambio % |              |              |
|-------------------|-------------------|------------------------|--------------|--------------|
|                   |                   | 1975-2004              | 1975 -1995   | 1995-2004    |
| Bosque cerrado    | Ejidal            | 0.58                   | 0.22         | <b>1.37</b>  |
|                   | Peq. Prop.Privada | 0.47                   | <b>0.57</b>  | 0.48         |
| Bosque abierto    | Ejidal            | 0.001                  | 0.35         | <b>-0.77</b> |
|                   | Peq. Prop.Privada | 0.03                   | <b>-1.36</b> | <b>3.17</b>  |
| Agropecuario      | Ejidal            | -0.97                  | -0.43        | -2.16        |
|                   | Peq. Prop.Privada | -3.93                  | -1.04        | <b>-3.43</b> |
| Urbano/sin veget. | Ejidal            | 5.34                   | <b>4.67</b>  | <b>6.83</b>  |
|                   | Peq. Prop.Privada | 1.93                   | <b>4.42</b>  | <b>5.52</b>  |

Las tasas negativas en las zonas agropecuarias presentes en ambos regímenes de tenencia, se mantuvieron durante todo el periodo analizado; sin embargo, en las tierras privadas se registró consistentemente una reducción más rápida que en las

tierras ejidales, y una mayor aceleración en la pérdida de las zonas agropecuarias entre 1995-2004 (cuadro 4.14 y fig. 4.15). La velocidad de expansión de las zonas urbanas/sin vegetación fue alta en ambos regímenes de propiedad a lo largo de todo el periodo analizado. En este caso, las tierras ejidales presentaron mayor velocidad de crecimiento que las tierras privadas durante la segunda fase, 1995-2004, esto podría ser un efecto de los cambios al Art. 27 Constitucional y de la parcelación de los ejidos. Cabe señalar que hay tres ejidos colindantes con la ciudad de Coatepec, de los cuales dos tienen Dominio Pleno, lo que facilita la venta de lotes para construcción (ver cap. 3).

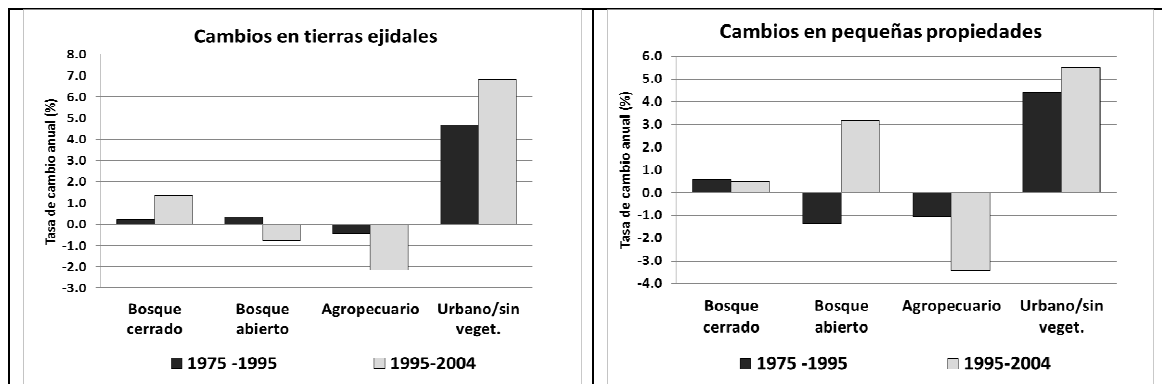


FIGURA 4. 15. TASA ANUAL DE CAMBIO (1975-1995 Y 1995-2004) PARA CADA TIPO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO, EN RELACIÓN AL RÉGIMEN DE TENENCIA DE LA TIERRA.

#### 4.3.4.3. TENENCIA DE LA TIERRA Y PROCESOS DE CAMBIO

Los resultados de sobreponer los mapas de cambio de CUS (fig.4.9), con la tenencia de la tierra (cap.1), se transformaron para mostrar proporcionalmente la superficie ejidal y privada que presentan condiciones de estabilidad, deforestación y recuperación de la cobertura arbolada (fig.4.16).

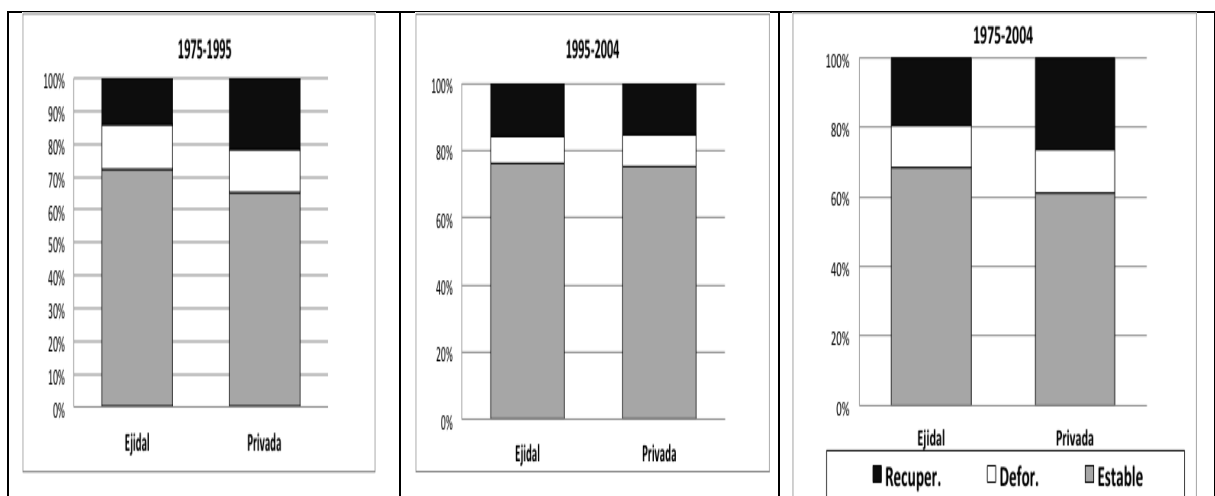


FIGURA 4. 16. PROPORCIÓN DE LA SUPERFICIE EJIDAL Y PRIVADA CON LOS PROCESOS DE CAMBIO IDENTIFICADOS: COBERTURA ESTABLE, DEFORESTACIÓN Y RECUPERACIÓN FORESTAL.

Para el primer periodo analizado (1975-95) tanto las tierras ejidales, como las privadas presentaron más de la mitad de su territorio sin cambios o con condición estable; no obstante la proporción de cobertura estable entre los ejidos fue un poco mayor pues alcanzó el 70%. En este periodo las áreas que presentaron recuperación de la cobertura arbolada proporcionalmente cubrieron mayor extensión dentro de las propiedades privadas, cerca del 22% presentó esta condición; mientras que en las tierras ejidales alcanzó una proporción aproximada de 15%. Durante el segundo periodo (1995-2004) no se observan diferencias sustanciales entre los tipos de propiedad, pues la superficie recuperada abarcó una proporción similar del 16% aproximadamente y un 10% de superficie deforestada; la superficie sin cambios en ambos regímenes de propiedad se mantuvo en 76%.

La última figura muestra la síntesis de los cambios durante el periodo completo de los 29 años analizado, por lo que las proporciones corresponden a lo indicado para el primer periodo: casi el 70% de las tierras ejidales se mantuvo sin cambio en tipo de uso del suelo o en cobertura, un 20% presentó recuperación arbolada y solo un 10-12% fue deforestado. Para el caso de las propiedades privadas, el 60% del territorio cubierto por ellas mantuvo estable, casi el 30% presentó condiciones de recuperación forestal y solo un 10-12% se deforestó.

Para comprender el significado de estas cifras es importante recordar que dentro de la categoría de bosque cerrado se encuentran los cafetales de sombra, los que mayoritariamente son pequeñas propiedades privadas. Por otra parte, los procesos de recuperación de bosques podrían estar vinculados con las zonas altas de la subcuenca donde se ha detectado un abandono de tierras cultivadas y reducción en la densidad demográfica, procesos documentados por otros autores (Muñoz-Villers y López-Blanco 2008; García-Romero, *et al.*, 2010). El comportamiento de estas variables con respecto a los procesos de cambio se analiza en las siguientes secciones.

#### **4.3.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO**

Los factores que han impulsado los cambios identificados en esta subcuenca son de diverso tipo y origen. Algunos cambios responden directamente a las condiciones físico-ambientales de la zona, otros sin embargo son más complejos pues están vinculados con las actividades económico-productivas, con la dinámica social y demográfica, la presencia de infraestructura, e incluso con las políticas gubernamentales de nivel estatal. A estos factores se pueden sumar otros menos

evidentes, conocidos como factores subyacentes, que no actúan directamente en la zona pero que influyen de forma indirecta, como la fluctuación de precios en mercados nacionales e internacionales, las políticas gubernamentales de nivel federal, y otros.

Mediante un análisis de regresión logística se identificaron los factores más importantes que influyeron en tres de los principales procesos de cambio identificados, éstos fungieron como variable dependiente: a) la recuperación de áreas con cobertura arbolada, b) la pérdida por deforestación y por degradación, y c) la estabilidad de la cobertura arbórea. Dado que se identificaron diferentes comportamientos para cada zona de la subcuenca, los factores de cambio se determinaron por separado en cada una y en cada periodo.

#### **4.3.5.1. FACTORES CAUSANTES DE CAMBIO EN LA ZONA ALTA**

##### **a) Proceso de Recuperación de la cobertura arbolada**

En la Zona Alta la variable dependiente *Recuperación Arbolada* durante el periodo completo 1975-2004 (cuadro 4.15) se encontró relacionada significativamente de forma inversa (negativa) con la variable “Distancia a Localidades-Tasa crecimiento poblacional 1970-2005”. Esta variable representa una tasa de crecimiento demográfica negativa en este periodo. El modelo logístico seleccionó también a la variable “Distancia a Localidades – Población total 2005” con una relación inversa-negativa, aunque no resultó significativa ( $p < 0.05$ ). Estos resultados son consistentes con la reducción de la población registrada en la zona alta (ver cap. 3), promoviendo el abandono de las parcelas agropecuarias e induciendo la recuperación de los bosques en esta parte de la subcuenca durante los 29 años analizados.

Durante la primera parte del periodo 1975-1995, la “Presencia de áreas comunes ejidales” resultó ser significativa de forma inversa, indicando que la recuperación de la cobertura arbolada se dio en tierras que no se encuentran dentro de las áreas comunes ejidales, es decir en las tierras parceladas. La “Inclinación de las pendientes” tuvo una influencia positiva, aunque no significativa estadísticamente ( $p < 0.05$ ). Entre 1995-2004 no se encontraron variables de influencia significativas, aunque el modelo seleccionó a la “Altitud” y de forma negativa al “Parque Nacional Cofre de Perote”, lo que concuerda con los mapas de cambio (fig. 4.9) pues en esta zona ha habido una notable recuperación de la cobertura arbolada densa en áreas cultivadas anteriormente.

CUADRO 4. 15. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA RECUPERACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA ALTA DEL PIXQUIAC:  
 RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO  
 (\* significativo P <0.05).

| <b>Zona Alta: Recuperación de la cobertura arbolada (1975-2004)</b>  |        |         |                       |                       |
|--|--------|---------|-----------------------|-----------------------|
| Variables seleccionadas por el modelo  | Beta   | S.E.    | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -1.049 | 761.877 | 0.000002              | 0.999                 |
| Distancia Localidades - Tasa crec. Pobl.1970-2005 *  | -2.393 | 1.238   | 3.738                 | <b>0.053 *</b>        |
| Distancia Localidades - Pob. total 1995  | -0.077 | 0.045   | 2.926                 | 0.087                 |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 9.307; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.010*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.290  |        |         |                       |                       |
| <b>Zona Alta:- Recuperación de la cobertura arbolada (1975-1995)</b>   |        |         |                       |                       |
| Variables seleccionadas por el modelo  | Beta   | S.E.    | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -0.998 | 2.656   | 0.141                 | 0.707                 |
| Presencia de áreas comunes ejidales *  | -2.054 | 0.869   | 5.586                 | <b>0.018 *</b>        |
| Pendientes (inclinación)   | 0.052  | 0.030   | 2.993                 | 0.084                 |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 10.544; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.005*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.294 |        |         |                       |                       |
| <b>Zona Alta: Recuperación de la cobertura arbolada (1995-2004)</b>  |        |         |                       |                       |
| Variables seleccionadas por el modelo  | Beta   | S.E.    | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -6.875 | 7.989   | 0.740                 | 0.390                 |
| Altitud (MDT_CUENCA)   | 0.002  | 0.003   | 0.594                 | 0.441                 |
| PNCP (zona dentro)   | -1.534 | 1.039   | 2.180                 | 0.140                 |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 2.462; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.292; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.084   |        |         |                       |                       |

Estos resultados corroboran que en la zona alta (cuadro 4.15), el principal factor de cambio que impulsó la recuperación boscosa fue la reducción en la tasa de población de las localidades ubicadas en ella, por la emigración hacia la zona baja y ciudades vecinas, sobre todo en tierras parceladas no comunales con uso agropecuario, ejidales y privadas. Asimismo influyeron en la recuperación, sin llegar a ser significativas estadísticamente, las pendientes fuertes, las áreas con mayor altitud y las que no están dentro del PNCP.

### **b) Proceso de Deforestación**

Dado que en la Zona Alta las áreas con pérdida de cobertura arbolada son pequeñas (ver cuadro 4.13), el modelo no encontró variables estadísticamente (cuadro 4.16). Para los periodos 1975-1995 y 1975-2004 el modelo seleccionó la “Presencia de áreas comunes ejidales” con una influencia positiva y la “Distancia a veredas” con influencia inversa o negativa, aunque ninguna de éstas resultó significativa.



CUADRO 4. 16. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA DEFORESTACIÓN, ZONA ALTA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO

(\* significativo P <0.05).

| <b>Zona Alta: Deforestación (1975-2004)</b>  |         |          |                       |                      |
|--|---------|----------|-----------------------|----------------------|
| Variables seleccionadas por el modelo  | Beta    | S.E.     | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -1.506  | 548.344  | 0.000                 | 0.998                |
| Presencia de áreas comunes ejidales  | 1.951   | 1.276    | 2.338                 | 0.126                |
| Distancia a veredas  | -0.003  | 0.002    | 2.159                 | 0.142                |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 3.808; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.149; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.190   |         |          |                       |                      |
| <b>Zona Alta:- Deforestación (1975-1995)</b>   |         |          |                       |                      |
| Variables seleccionadas por el modelo  | Beta    | S.E.     | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -1.148  | 757.969  | 0.000                 | 0.999                |
| Presencia de áreas comunes ejidales  | 1.968   | 1.117    | 3.105                 | 0.078                |
| Distancia a veredas  | -0.003  | 0.002    | 2.671                 | 0.102                |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 4.727; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.094; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.195   |         |          |                       |                      |
| <b>Zona Alta: Deforestación (1995-2004)</b>  |         |          |                       |                      |
| Variables seleccionadas por el modelo  | Beta    | S.E.     | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -10.154 | 1236.208 | 0.000                 | 0.993                |
| Distancia a Localidades - Pobl.total 2005  | 0.164   | 0.109    | 2.254                 | 0.133                |
| Pendientes (inclinación)   | -0.111  | 0.105    | 1.116                 | 0.291                |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 11.611; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.003*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.587 |         |          |                       |                      |

En el periodo 1995-2004 se identificó la “Distancia a Localidades- Pobl.total 2005” con efecto positivo, y la “Inclinación de pendientes” con influencia negativa, ambas sin llegar a ser significativas. Los factores que explicarían con mayor probabilidad las pequeñas zonas con deforestación serían las tierras ubicadas dentro de las zonas comunales, cercanas a las veredas, con menor inclinación y alejadas de las poblaciones.

### c) Estabilidad de la Cobertura arbolada

En la Zona Alta los factores que favorecieron la conservación de una proporción importante de cobertura arbolada varían según las fechas analizadas (cuadro 4.17). En el periodo completo (1975-2004) la variable que resultó significativa (p<0.05) fue la “Distancia a caminos”, así como las “Distancia a localidades con programa de manejo forestal” aunque ésta no fue significativa. Respecto a la primera parte del periodo (1975-1995) dos variables resultaron significativas: la “Distancia a veredas” y la

“Inclinación de las pendientes”, lo que concuerda con las condiciones físicas de esta zona, ubicada en la parte más elevada y escarpada del volcán Cofre de Perote.

En la última parte del periodo analizado (1995-2004) las variables “Distancia a localidades-tasa de crecimiento poblacional” fue significativa de forma negativa-inversa, y la presencia del Parque Nacional Cofre de Perote (PNCP) resulto significativa positivamente. Esto indica que la perdida de pobladores en esta zona y la ubicación dentro del PNCP fueron factores que explican la conservación de la cobertura arbolada.

CUADRO 4. 17. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA ALTA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO (\* significativo P <0.05).

| <b>Zona Alta: Conservación cobertura arbolada (1975-2004)</b>  |        |        |                       |                       |
|--|--------|--------|-----------------------|-----------------------|
| VARIABLES  | Beta   | S.E.   | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -4.892 | 5.007  | 0.955                 | 0.329                 |
| Distancia a caminos *  | 0.009  | 0.003  | 8.876                 | <b>0.003 *</b>        |
| Localidades con PMF (1990-2005)  | 7.242  | 11.513 | 0.396                 | 0.529                 |
| Mejor Modelo - Wald:<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 14.141; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.001*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.505 |        |        |                       |                       |
| <b>Zona Alta: Conservación cobertura arbolada (1975-1995)</b>  |        |        |                       |                       |
| VARIABLES  | Beta   | S.E.   | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -4.098 | 4.812  | 0.725                 | 0.394                 |
| Distancia a veredas *  | 0.003  | 0.001  | 5.468                 | <b>0.019 *</b>        |
| Pendientes (inclinación) *   | 0.078  | 0.040  | 3.817                 | <b>0.051 *</b>        |
| Mejor Modelo - Wald:<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 9.512; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.009*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.341  |        |        |                       |                       |
| <b>Zona Alta: Conservación cobertura arbolada (1995-2004)</b>  |        |        |                       |                       |
| VARIABLES  | Beta   | S.E.   | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -2.198 | 3.013  | 0.532                 | 0.466                 |
| Parque Nacional Cofre de Perote (fracción dentro de la cuenca) *   | 2.197  | 0.900  | 5.954                 | <b>0.015 *</b>        |
| Distancia Localidades - Tasa pobl. 1995-2005 *   | -0.578 | 0.261  | 4.881                 | <b>0.027 *</b>        |
| Mejor Modelo - Wald:<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 14.400; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.001*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.451 |        |        |                       |                       |

#### 4.3.5.2. FACTORES CAUSANTES DE CAMBIO EN LA ZONA MEDIA

##### a) Proceso de Recuperación de la cobertura arbolada

Si bien las tasas anuales de recuperación en esta Zona Media son menores a las registradas en la zona alta (cuadro 4.13), es aquí donde se registra la ampliación de la superficie en los bosques abiertos y las variables dependientes presentan un comportamiento distinto al proceso identificado para la zona alta (cuadro 4.18).

Durante el periodo completo analizado (1975 a 2004), el principal factor que influyó en la recuperación de la cobertura arbolada fue la altitud de forma negativa (inversa) y estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ); es decir en las altitudes bajas de esta zona media se registra una mayor probabilidad de que se presente la recuperación arbolada. Esto concuerda con lo observado pues en las tierras bajas de esta zona media, donde se encuentra la mayor extensión de áreas ganaderas y agrícolas, se ha registrado la aparición de acahuals de BMM. Destaca que la “Distancia a localidades-población total 2005” tuvo una relación negativa (inversa) en la recuperación, a pesar de que esta variable no resultó significativa para el modelo logístico. Estos resultados indican que los factores promotores de la recuperación de bosques en la zona media, se ubican en las tierras cercanas a las localidades y en altitudes bajas.

Desagregando el periodo analizado, entre 1975 y 1995 no se identificaron factores con influencia significativos; sin embargo el modelo seleccionó dos variables con influencia débil para la recuperación de la cobertura arbolada, la “Distancia a localidades-población total 1995” con una relación negativa o inversa, y la “Inclinación de las pendientes” en relación positiva. Esto sugiere que la recuperación se dio en tierras cercanas a las localidades, que se encontraban en pendientes abruptas.

Finalmente en el último periodo 1995-2004, fue significativa la influencia de la altitud en la recuperación arbolada de esta zona media, nuevamente de manera negativa o inversa. Otra variable significativa fue la “Distancia a carreteras pavimentadas” con una relación positiva. Esto indica que en el último periodo la recuperación arbolada en esta Zona Media es más probable que sucediera en tierras bajas, alejadas de las carreteras y de las áreas urbanas, y en laderas de inclinación fuerte (ésta última sin ser significativa).

CUADRO 4. 18. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA RECUPERACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA MEDIA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO (\* Significativo P <0.05)

| <b>Zona Media: Recuperación de cobertura arbolada (1975-2004)</b>   |        |          |                       |                       |
|---|--------|----------|-----------------------|-----------------------|
| Variables seleccionadas por el modelo   | Beta   | S.E.     | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección  | 6.635  | 44.395   | 0.022                 | 0.881                 |
| Altitud (MDT_CUENCA) *  | -0.003 | 0.001    | 4.825                 | <b>0.028*</b>         |
| Distancia a Localidades - Pobl.total 2005   | -0.031 | 0.020    | 2.324                 | 0.127                 |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud) GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 6.508; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.039*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.229  |        |          |                       |                       |
| <b>Zona Media: Recuperación de cobertura arbolada (1975-1995)</b>   |        |          |                       |                       |
| Variables seleccionadas por el modelo   | Beta   | S.E.     | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección  | -1.367 | 3.570    | 0.147                 | 0.702                 |
| Distancia a Localidades - Pobl.total 1995   | -0.021 | 0.019    | 1.262                 | 0.261                 |
| Pendientes (inclinación)  | 0.031  | 0.028    | 1.178                 | 0.278                 |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 2.498; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.287; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.099  |        |          |                       |                       |
| <b>Zona Media: Recuperación de cobertura arbolada (1995-2004)</b>   |        |          |                       |                       |
| Variables seleccionadas por el modelo   | Beta   | S.E.     | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección  | 9.475  | 5743.750 | 0.000                 | 0.999                 |
| Altitud (MDT_CUENCA) *  | -0.010 | 0.005    | 4.463                 | <b>0.035*</b>         |
| Distancia a carreteras pavimentadas y calles *  | 0.002  | 0.001    | 4.893                 | <b>0.027*</b>         |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 6.836; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.033*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.281 |        |          |                       |                       |

## b) Proceso de Deforestación

Respecto al proceso de deforestación en la Zona Media no se encontraron variables con influencia para el periodo completo analizado (1975-2004). Sin embargo entre 1975-1995 se identificaron dos variables, la “Distancia a localidades (población total 1995)” con influencia positiva y la “Distancia a veredas” de forma negativa o inversa (cuadro 4.19), aunque ninguna resultó con significancia estadística (P <0.05). Esto indica que durante el primer periodo la deforestación se presentó en tierras alejadas de las localidades (de 1995), pero cercanas a las veredas (pues éstas son utilizadas por los cortadores de cimbra para acarrear sus productos con mulas).

Durante la segunda parte 1995-2004 dos variables relacionadas con el crecimiento poblacional, la tasa de crecimiento 1995-2005 y la población total 2005, fueron seleccionadas por el modelo; solo la primera resultó con una relación positiva significativa, lo que concuerda con la dinámica de la expansión urbana identificada en esta zona (ver cuadro 4.13).

CUADRO 4. 19. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA DEFORESTACIÓN, ZONA MEDIA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO

(\* significativo P <0.05).

| <b>Zona Media: Deforestación (1975-2004):</b> El modelo no identificó ninguna variable con influencia.   |        |          |                       |                      |
|--|--------|----------|-----------------------|----------------------|
| <b>Zona Media: Deforestación (1975-1995)</b>   |        |          |                       |                      |
| Variables seleccionadas por el modelo  | Beta   | S.E.     | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -2.099 | 4.353    | 0.232                 | 0.630                |
| Distancia a Localidades - Pobl.total 1995  | 0.028  | 0.018    | 2.348                 | 0.125                |
| Distancia a veredas  | -0.005 | 0.003    | 2.434                 | 0.119                |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 4.243; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.120; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.190 |        |          |                       |                      |
| <b>Zona Media: Deforestación (1995-2004)</b>   |        |          |                       |                      |
| Variables seleccionadas por el modelo  | Beta   | S.E.     | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -0.575 | 1092.492 | 0.000                 | 1.000                |
| Distancia a Localidades - Tasa crec. 1995-2005 *   | 0.091  | 0.046    | 3.934                 | <b>0.047 *</b>       |
| Distancia a Localidades - Pobl.total 2005  | -0.043 | 0.031    | 1.905                 | 0.168                |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 5.324; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.070; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.247 |        |          |                       |                      |

### c) Estabilidad de la Cobertura arbolada

Para el periodo completo analizado (1975-2004) la cobertura arbolada conservada en la Zona Media resulto relacionada de forma positiva y significativa con las pendientes (cuadro 4.20), lo que se explica por la presencia de las dos grandes barrancas que cubren una extensión importante de esta zona (ver cap. 1). El modelo identificó a la distancia de caminos como otra variable de influencia positiva, aunque no fue significativa.

Analizando por partes el periodo, durante la primera (1975-95) se identificaron dos variables significativas, la inclinación de las pendientes de manera positiva, y con una relación negativa o inversa a la “Distancia a localidades con actividad del programa gubernamental PRODICOP”. Para la última fase del periodo 1995-2004 la estabilidad arbolada se explica por la presencia de pendientes abruptas y, con cierta influencia positiva aunque no significativo, con la tasa de crecimiento poblacional durante este mismo lapso.

CUADRO 4. 20. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA MEDIA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO (\*significativo P <0.05).

| <b>Zona Media: Conservación cobertura arbolada (1975-2004)</b>   |         |         |                       |                       |
|--|---------|---------|-----------------------|-----------------------|
| Variables  | Beta    | S.E.    | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -1.720  | 341.750 | 0.000                 | 0.996                 |
| Pendientes (inclinación) *   | 0.064   | 0.028   | 5.151                 | <b>0.023 *</b>        |
| Distancia a caminos  | 0.002   | 0.002   | 0.866                 | 0.352                 |
| Mejor Modelo - Wald:<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 8.936; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.011*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.301  |         |         |                       |                       |
| <b>Zona Media: Conservación cobertura arbolada (1975-1995)</b>   |         |         |                       |                       |
| Variables  | Beta    | S.E.    | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -0.767  | 2.674   | 0.082                 | 0.774                 |
| Pendientes (inclinación) *   | 0.060   | 0.028   | 4.626                 | <b>0.031 *</b>        |
| Prog. Gubern. (Dist. Localidades con PRODICOP) *   | -10.392 | 5.119   | 4.121                 | <b>0.042 *</b>        |
| Mejor Modelo - Wald:<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 10.217; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.006*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.338 |         |         |                       |                       |
| <b>Zona Media: Conservación cobertura arbolada (1995-2004)</b>   |         |         |                       |                       |
| Variables  | Beta    | S.E.    | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr > Chi <sup>2</sup> |
| Intersección   | -1.207  | 2.578   | 0.219                 | 0.640                 |
| Pendientes (inclinación) *   | 0.055   | 0.026   | 4.334                 | <b>0.037 *</b>        |
| Distancia a Localidades - Tasa crec. 1995-2005   | 0.058   | 0.035   | 2.822                 | 0.093                 |
| Mejor Modelo - Wald:<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 6.893; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.032*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.239  |         |         |                       |                       |

La presencia de una extensa superficie con cobertura arbolada conservada se explica por una condición natural físico-ambiental de esta zona, las pendientes abruptas, y en segundo lugar por la influencia de las localidades donde se impulsó el programa de control del pastoreo libre y la reforestación. Otras variables no significativas pero presentes fueron la distancia a localidades pobladas (1995-2004) y la distancia a caminos.

#### 4.3.5.3. FACTORES CAUSANTES DE CAMBIO EN LA ZONA BAJA

##### a) Proceso de Recuperación de la cobertura arbolada

En esta Zona Baja durante el periodo completo analizado no se encontraron variables con significancia estadística ( $p < 0.05$ ) que expliquen el proceso de recuperación de la cobertura arbolada dado que fue una superficie muy pequeña (ver fig. 4.13 y cuadro 4.13). No obstante el modelo seleccionó dos variables con influencia

débil y positiva, la “Distancia a localidades-Tasa crec. Pobl.1970-2005” y la “Presencia de fincas cafetaleras”, aunque no fueron significativas estadísticamente (cuadro 4.21). En esta zona baja de la subcuenca la principal cobertura arbolada corresponde a fincas de café de sombra, junto con pequeños fragmentos aislados de BMM, colindantes con el área de expansión de la mancha urbana de Coatepec y de otras localidades del municipio.

Durante el periodo 1975-1995 el proceso de recuperación de la cobertura arbolada resulto positivamente relacionada con las actividades agropecuarias dominantes (1975), en este caso corresponden con la expansión del cafetal de sombra; y de forma negativa con la distancia a terracerías y brechas, ambas variables resultaron estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). Esta aparente contradicción se explica porque las fincas cafetaleras, aun cuando sean pequeñas, ejidales o predios privados, necesitan contar con una red de brechas para el mantenimiento y la extracción de la cosecha.

CUADRO 4. 21. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA RECUPERACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA MEDIA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO (\* significativo  $P < 0.05$ ).

| <b>Zona Baja: Recuperación cobertura arbolada (1975-2004)</b>   |        |        |                       |                      |
|---|--------|--------|-----------------------|----------------------|
| Variablen   | Beta   | S.E.   | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección  | -1.511 | 5.285  | 0.082                 | 0.775                |
| Distancia a Localidades - Tasa crec. 1970-2005  | 1.510  | 1.057  | 2.041                 | 0.153                |
| Presencia de fincas de cafetales  | 1.509  | 0.999  | 2.282                 | 0.131                |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 6.337; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.042*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.208 |        |        |                       |                      |
| <b>Zona Baja: Recuperación cobertura arbolada (1975-1995)</b>   |        |        |                       |                      |
| Variablen   | Beta   | S.E.   | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección  | -4.998 | 4.491  | 1.238                 | 0.266                |
| Actividades agropecuarias dominantes 1975 *   | 1.951  | 0.958  | 4.146                 | <b>0.042 *</b>       |
| Distancia a terracerías y brechas *   | -0.004 | 0.002  | 3.718                 | <b>0.054 *</b>       |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 6.696; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.035*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.219 |        |        |                       |                      |
| <b>Zona Baja: Recuperación cobertura arbolada (1995-2004)</b>   |        |        |                       |                      |
| Variablen   | Beta   | S.E.   | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección  | -1.638 | 62.094 | 0.001                 | 0.979                |
| Distancia a Localidades - Tasa crec. 1995-2005 *  | 0.225  | 0.104  | 4.634                 | <b>0.031 *</b>       |
| Distancia a terracerías y brechas *   | -0.005 | 0.002  | 4.330                 | <b>0.037 *</b>       |
| Mejor Modelo (Wald):<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 7.756; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.021*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.250 |        |        |                       |                      |

En el periodo más reciente (1995-2004) el proceso de recuperación de la cobertura arbolada presentó un comportamiento muy diferente. Resultaron estadísticamente significativas dos variables, la distancia a localidades (tasa de crecimiento de la población durante 1995-2005) con una relación positiva, y la distancia a terracerías y brechas de forma negativa; es decir la mayor recuperación arbolada estuvo influida por la lejanía de las localidades, pero cercanía a las brechas y terracerías de las fincas cafetaleras.

#### **b) Proceso de Deforestación**

Respecto al proceso de deforestación en esta zona, el modelo no identificó ninguna variable para los tres periodos analizados. Esto se explica porque la expansión de la zona urbana se ha dado fundamentalmente sobre pequeñas áreas con bosques abiertos y en zonas agropecuarias (ver cuadro 4.13).

#### **c) Estabilidad de la Cobertura arbolada**

Respecto a la cobertura arbolada estable, en el periodo completo no se identificaron variables con significancia estadística (cuadro 4.22), aunque el modelo reconoció una influencia negativa en la “Distancia a localidades-tasa de crecimiento poblacional 1970-2005” y una influencia positiva en la “Distancia a la red de terracería y brechas”. No obstante en la primera parte del periodo (1975-1995) dos variables resultaron significativas con una relación positiva, las dos referentes a la infraestructura de caminos, la distancia a terracería y brechas, y la distancia a veredas. En la segunda fase (1995-2004) resultó significativo en forma negativa el tipo de suelo (las clases de suelo con menor número son Andosol úmbrico, Leptosol lítico, Acrisol andíco y Acrisol háplico). La segunda variable seleccionada por el modelo fue la distancia a localidades - población total del 2005, de forma positiva aunque no significativa. En síntesis, las variables que explican la permanencia de la cobertura arbolada en la zona baja se refieren a los caminos necesarios para mantener las fincas de café, los suelos tipo Andosol, Leptosol y Acrisol, y la distancia a las localidades de mayor población.



CUADRO 4. 22. FACTORES DE INFLUENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA, ZONA MEDIA DEL PIXQUIAC: RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA POR PERIODO (\* significativo P <0.05).

| <b>Zona Baja: Conservación cobertura arbolada (1975-2004)</b>   |        |       |                       |                      |
|---|--------|-------|-----------------------|----------------------|
| Variabes  | Beta   | S.E.  | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección  | -0.859 | 2.238 | 0.147                 | 0.701                |
| Distancia a Localidades - Tasa crec. 1970-2005  | -0.749 | 0.545 | 1.884                 | 0.170                |
| Distancia a terracerías y brechas   | 0.002  | 0.002 | 1.865                 | 0.172                |
| Mejor Modelo - Wald:<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 4.337; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.114; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.158  |        |       |                       |                      |
| <b>Zona Baja: Conservación cobertura arbolada (1975-1995)</b>   |        |       |                       |                      |
| Variabes  | Beta   | S.E.  | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección  | -2.154 | 8.588 | 0.063                 | 0.802                |
| Distancia a terracerías y brechas *   | 0.004  | 0.002 | 4.607                 | <b>0.032 *</b>       |
| Distancia a veredas *   | 0.002  | 0.001 | 4.141                 | <b>0.042 *</b>       |
| Mejor Modelo - Wald:<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 8.324; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.016*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.282 |        |       |                       |                      |
| <b>Zona Baja: Conservación cobertura arbolada (1995-2004)</b>   |        |       |                       |                      |
| Variabes  | Beta   | S.E.  | Wald Chi <sup>2</sup> | Pr> Chi <sup>2</sup> |
| Intersección  | 0.750  | 1.423 | 0.278                 | 0.598                |
| Tipo de suelos (edafología)*  | -0.539 | 0.259 | 4.320                 | <b>0.038 *</b>       |
| Distancia a localidades - Pobl.Total 2005   | 0.005  | 0.003 | 2.831                 | 0.092                |
| Mejor Modelo - Wald:<br>-2 Log(Verosimilitud); GDL: 2; Chi <sup>2</sup> ajustado: 6.029; Pr > Chi <sup>2</sup> : 0.049*; R <sup>2</sup> (Nagelkerke): 0.212 |        |       |                       |                      |

## 4.4. DISCUSIÓN

### 4.4.1. SOBRE LOS MAPAS Y LA ESTRATIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

A pesar de la calidad de las fuentes utilizadas, sobre todo las fotografías aéreas del 2004, en ninguna ortofoto fue posible diferenciar el tono y textura que permitieran distinguir diferencias entre los tipos de bosque, ni entre éstos y los cafetales de sombra presentes en esta región. Por eso se utilizaron clases de cobertura y categorías agregadas para elaborar los tres mapas vectoriales, base de este estudio.

Las dos categorías tradicionalmente utilizadas en los análisis de cambio de uso del suelo, deforestación y cobertura arbolada, simplifican y enmascaran otros procesos de uso del suelo que pueden estar sucediendo en las zonas estudiadas y que merecen

un análisis más detallado. Por ejemplo, para los objetivos de conservación y de monitoreo de los servicios ambientales es importante identificar las áreas que han mantenido estable su cobertura arbolada, pues pueden ser indicadores de zonas con bosques maduros o secundarios avanzados, con condiciones y hábitats para ensamblajes de especies diferentes a los que se encuentran en la vegetación secundaria temprana. Esto aplica también en el monitoreo de la degradación forestal, donde es necesario identificar los procesos de retroalimentación entre los bosques cerrados, bosques abiertos y usos agropecuarios.

La zonificación empleada en esta subcuenca no fue construida a partir de las curvas de nivel para delimitar pisos altitudinales fijos. Esta se generó a partir de un análisis de paisajes geo-ecológicos e hidrológicos (Mateo, 2002), verificada con entrevistas a campesinos, de manera que cada zona representa condiciones bio-físicas, productivas y económicas distintas (García-Coll, 2008; Paré y Gerez, 2012). Durante los análisis de regresión logística esta zonificación mostro ser un instrumento de estratificación sólido pues representó claramente diferentes tendencias. Vale aclarar que inicialmente se realizó un análisis logístico a nivel de la subcuenca como un todo, no se encontró ninguna relación significativa con las variables independientes.

Respecto a la confiabilidad de los mapas, como se indicó anteriormente las fotografías aéreas utilizadas son un material con gran densidad de información por lo que al analizarse digitalmente se pudieron identificar polígonos muy pequeños. Aun cuando los tres vuelos fueron de escalas diferentes, al utilizar la misma clasificación se minimizaron los errores (Mas, *et al.*, 2004; Couturier y Mas, 2009). Evaluar la confiabilidad del mapa 2004 era necesario pues se tiene el objetivo de utilizarlo como línea base para el monitoreo de los proyectos PSAH de CONAFOR y otros que se impulsen en la subcuenca. Esto permitirá contar con una base de información con precisión suficiente.

#### **4.4.2. SOBRE LOS PROCESOS DE CAMBIO DETECTADOS**

Los resultados de este trabajo muestran que en esta subcuenca la dinámica del uso del suelo y cobertura es compleja pues presenta una diversidad de situaciones en distintos niveles: a) por el tipo de procesos de cambio y estabilidad detectados que actúan en forma simultánea, b) por la preeminencia de unos sobre otros dependiendo de la zonificación geo-ecológica de la subcuenca, y c) por el tipo de factores subyacentes y directos que han influido de forma diferencial en cada proceso (o variable dependiente) analizada.

Durante el periodo completo estudiado, esta subcuenca mantuvo más del 45% de su superficie con cobertura arbolada estable. El proceso de cambio más importante por su extensión, 23% de la subcuenca, fue la recuperación del bosque cerrado (bosque de coníferas, bosques mixtos de *Pinus-Quercus* y bosque mesófilo de montaña), con una tasa anual de crecimiento de 0.56% para el periodo completo. Las áreas deforestadas cubrieron el 8% de la subcuenca, impulsada sobre todo por la expansión acelerada de las áreas urbanas que presentaron una tasa anual de crecimiento de 4.9%.

Para el periodo de 29 años, la subcuenca presentó una tasa anual de recuperación de bosques del 0.48%, mientras que la superficie con usos antrópicos presento una reducción de superficie con una tasa anual de -1.01%.

#### **4.4.3. SOBRE LOS FACTORES QUE IMPULSA LA ESTABILIDAD DE LA COBERTURA ARBOLADA**

Las tierras que presentaron cobertura arbolada estable respondieron a factores de diferente índole, según su ubicación geográfica en la subcuenca. Durante el periodo completo la estabilidad de la cobertura boscosa en la zona alta correspondió a las tierras más alejadas de los caminos y veredas, en áreas con pendientes abruptas y en donde había programas de manejo forestal legal. Para el segundo periodo (1995-2004) la estabilidad arbolada reflejó el efecto de las tasas negativas de crecimiento de la población, es decir la emigración, como factor de influencia. En este periodo se observó un efecto sinérgico en la recuperación boscosa de parcelas agropecuarias abandonadas. En estas tierras ubicadas dentro del PNCP, se impulsó el programa PRODICOP (que funcionó de 1989 a 1994) promoviendo la reforestación y control sobre la ganadería extensiva en la montaña. Como se explicó en el capítulo 3, este programa fue operado como una coordinación entre el gobierno estatal y el federal a través del Programa Nacional de Reforestación (PRONARE).

Otro factor significativo para mantener la cobertura boscosa estable en la zona media ha sido la presencia de barrancas con pendientes abruptas, y de áreas alejadas de los caminos. Aun cuando las localidades de la zona media no fueron beneficiarias directas del programa PRODICOP, también hubo una influencia del mismo a través de las pequeñas plantaciones forestales que sembraron ejidatarios y pequeños propietarios. Los bosques también se mantuvieron estables en áreas alejadas de las localidades con altas tasas de crecimiento.

En síntesis, los principales factores que influyeron en la estabilidad de una extensa superficie boscosa de esta subcuenca fueron la topografía abrupta, la emigración de la población y abandono de parcelas agropecuarias, las campañas de

reforestación y la lejanía a poblados. En la zona baja los factores que promovieron la estabilidad de la cobertura arbolada contrastan con lo anterior pues se relacionan con la cercanía a localidades y con la presencia de una red de caminos rurales (terracería y brechas), infraestructura necesaria para la actividad cafetalera.

#### **4.4.4. SOBRE LOS FACTORES QUE IMPULSAN LA RECUPERACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA**

El proceso de cambio más importante fue la recuperación de la cobertura arbolada en una proporción importante de la subcuenca, alrededor del 23% de su territorio. Los principales factores que influyeron en los procesos de recuperación de la cobertura arbolada en esta subcuenca fueron esencialmente de carácter económico-productivo y demográfico, a los que posteriormente se sumaron acciones de protección de bosques, lo que se discute en el capítulo 5. Sin embargo, los factores específicos varían dependiendo de la zona geo-ecológica.

En la zona alta las tierras que presentaron recuperación de bosques fueron parcelas y tierras con uso pecuario y agrícola, no incluidas en las áreas comunales ejidales, y cercanas a las localidades con tasa negativa de crecimiento; es decir donde hubo emigración. Otros factores que influyeron sin ser significativos, fueron las tierras en pendientes abruptas, en zonas altas frías ubicadas en el PNCP. En la zona media, los bosques se recuperaron en tierras cercanas a localidades rurales (1995) con pendientes inclinadas, y en tierras de baja altitud y alejadas de las carreteras; lo que refiere a un abandono de parcelas agropecuarias.

Por su parte en la zona baja, se recuperó una superficie muy pequeña básicamente por ampliación de fincas de café de sombra en el periodo 1975-1995, y por tanto de la red de caminos rurales (terracerías y brechas). En el segundo periodo el incremento de cobertura arbolada se relaciona con cafetales sembrados hacia lugares alejados de las localidades con mayor crecimiento poblacional.

En esta subcuenca del Pixquiac los principales factores indirectos o subyacentes (Lambin, *et al.*, 2003) que han operado de manera difusa y a la distancia han sido la fluctuación en el precio de la papa en los mercados regionales (Xalapa) y nacionales (Cd. México), la apertura de las fronteras para importación de papa, y la inversión en sistemas de riego (1992-94) para cultivo de papa en el Valle de Perote. Esto se dio en un contexto nacional en el que se suspendieron los subsidios a los fertilizantes y se incrementaron los precios de los agroquímicos, afectando fuertemente a cultivos como el maíz y la papa (Rubio, 2004); y en un entorno local de cartera vencida de los productores de la montaña con mayores recursos económicos, sin poder competir con

los costos de producción de las áreas de riego, como se presentó en el capítulo 3. En estas condiciones biofísicas y climáticas no había otro cultivo comercial que pudiera sembrarse, por lo que el bosque se regeneró naturalmente sin impedimentos. Consecuentemente la reducción en el área sembrada de papa tuvo un efecto cascada ocasionando la pérdida de fuentes de empleo local y emigración. Es así que en la zona alta las parcelas abandonadas fueron ocupadas por arbustos (*Baccharis conferta*) que facilitaron la regeneración natural de los bosques de coníferas (Sánchez-Velásquez, *et al.*, 2011).

Simultáneamente varios factores directos empezaron a actuar consolidando esta tendencia de recuperación forestal: una reducción en el crecimiento poblacional de las localidades rurales de la zona alta y media, fundamentalmente por emigración a la ciudad, y la operación de una política del gobierno estatal, PRODICOP 1989-1994, dirigido a reducir la deforestación dentro del PNCP. Este programa restringió el pastoreo libre en los bosques y zacatonales, por tanto las quemadas anuales dentro del Parque Nacional, e impulsó la reforestación y el manejo forestal en los predios colindantes (SARH-Veracruz, 1992; González Azuara, *et al.*, 1995). El abandono de algunas localidades en la zona media y de sus parcelas cultivadas promovió la recuperación de los bosques mixtos *Pinus-Quercus-Alnus* y del BMM. Este proceso condujo al incremento del bosque cerrado en la zona alta y media, entre 1975-1995.

En Oaxaca se ha detectado la revegetación arbolada como efecto de la emigración y del abandono de tierras de cultivo temporal para maíz (Velázquez, *et al.*, 2003), así como en Michoacán (López, *et al.*, 2006). En otras regiones del mundo se ha documentado la regeneración de bosques en tierras productivas marginales abandonadas cuando el entorno económico se vuelve adverso (Ehlers, 2005).

El caso presentado en este trabajo coincide con esta tendencia, la producción agrícola de la zona alta fría no pudo competir con las zonas de suelos planos y riego, cuyos rendimientos por hectárea eran superiores (Biarnes, 1995). En la zona alta y media las pendientes fuertes, presencia de heladas y corta estación de crecimiento son una limitante bio-física para la actividad agrícola. Esto explica porque estas dos zonas fueron afectadas con mayor severidad por los cambios agroeconómicos señalados (ver cap. 3).

En la zona media hay procesos más complejos, pues los factores que influyeron en los cambios son también de carácter demográfico, bio-físico, y de infraestructura (presencia de vías de comunicación). Uno de los factores ambientales determinantes para la recuperación de la cobertura forestal es la influencia de la altitud en forma inversa, es decir la recuperación se presentó en las tierras de baja altitud donde el uso

dominante era de potreros y agricultura, y donde su abandono generó la recuperación de bosques mixtos *Pinus-Quercus*, de *Alnus*, y de acahuales de BMM. En este caso la variable demográfica (población total por localidad) tuvo una influencia inversa o negativa, en el sentido que a menor distancia de las localidades se presentó mayor recuperación forestal, consecuente con lo anterior. La distancia a carreteras tuvo una relación directa y positiva con los procesos de recuperación forestal, como es de esperarse.

Para la zona baja los procesos que influyeron en la recuperación arbolada están directamente vinculados con la actividad cafetalera. Por ejemplo, el área de producción de café de 1975, la presencia de fincas cafetaleras e incluso la presencia de una red de terracería y brechas vinculadas con esta actividad, son necesarias para facilitar su mantenimiento y extracción de la producción. En esta zona se observó una influencia directa y positiva con la distancia a las localidades que presentan altas tasas de crecimiento; es decir habrá mayor probabilidad de recuperación lejos de las que presentan crecimiento poblacional positivo. En otras regiones del país (Sierra Norte de Puebla y Chiapas) se ha documentado que la expansión de los cafetales con sombra durante el periodo 1988-2003 y de los huertos de frutales han sido un factor de ampliación de la cobertura arbolada sobre potreros y sobre vegetación secundaria arbustiva; esto es consistente con los procesos identificados en este estudio (Evangelista-Oliva, 2010).

#### **4.4.5. SOBRE LOS FACTORES QUE IMPULSAN LA DESFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN**

El proceso de deforestación que se presenta en esta subcuenca ha variado en intensidad y mostró un cambio en su origen durante el periodo estudiado. Durante la primera parte del periodo analizado (1975-1995) la deforestación se presentó dentro de las áreas forestales comunales en la zona alta. Se encontró una relación estrecha con la cercanía a las veredas pues éstas se usan para extraer la madera con mulas. Durante la segunda parte (1995-2004), la deforestación se presentó en áreas alejadas de los poblados y en tierras con menores pendientes.

Para la zona media, el análisis de los factores de impulso registra un cambio en el origen de la deforestación. Durante el primer periodo 1975-1995, esta se presentó en tierras distantes de las localidades rurales, pero cerca de las veredas. Sin embargo, durante el periodo 1995-2004 la deforestación se relacionó con el crecimiento de los poblados rurales y de las ciudades colindantes. Es decir, la deforestación pasó de ser un fenómeno rural, hacia uno de origen básicamente urbano.

Es importante aclarar que la degradación forestal se analizó como parte de un proceso de pérdida de la cobertura arbolada, por lo que en los mapas de cambio se incluyó en la categoría de deforestación. Este trabajo trato de dilucidar sobre los cambios de cobertura que podrían llevar hacia la degradación de los bosques, por lo que en un principio se trabajó con una clasificación más detallada, que incluía categorías intermedias, como la cobertura arbustiva y la de árboles aislados en tierras agropecuarias (anexo 2).

La categoría de *bosque abierto*, como clase intermedia, entre los bosques cerrados y el no-bosque, se utilizó con la intención de identificar la presencia de procesos de degradación forestal. Sin embargo los resultados mostraron que la dirección de cambio más importante en los bosques abiertos fue hacia la recuperación de la densidad arbolada (figuras 4.10, 4.11 y 4.12). Estos hallazgos indican la necesidad de monitorear en estudios futuros la evolución de los bosques abiertos para determinar si se trata de un proceso de pérdida, o bien de franca recuperación, dado que casi toda la cubierta arbolada está sujeta a extracción de madera en distintas intensidades. Al respecto en la literatura científica se empieza a documentar ampliamente los procesos de recuperación forestal, revalorando la función de los bosques secundarios (Chokkalingam, *et al.*, 2001; de Jong, *et al.*, 2001)

Los bosques secundarios, o recuperación arbolada, en esta subcuenca presentaron una rápida tasa de expansión del 6% en la zona media durante el periodo 1995-2004; esto coincide con el inicio del manejo forestal regulado en la zona donde se ubica la mayor parte de los predios con permiso de aprovechamiento forestal (cabe aclarar que durante la elaboración de este estudio no fue posible tener acceso a los polígonos de estos predios, por lo que es una tarea pendiente). Los cambios en densidad de la cobertura arbolada (bosques abiertos) pueden ser resultado de los tratamientos silvícolas como parte del proceso de manejo. Sin embargo también pueden indicar un proceso de degradación generado por la continua extracción de madera en pequeños volúmenes para leña, carbón y construcción, tradición local bien establecida en los bosques mixtos de *Pinus-Quercus* y del BMM.

Se ha documentado que hay diferentes formas de trabajo en estos bosques, en algunos casos se cortan árboles aislados para leña y carbón, pero en otros se talan pequeñas superficies donde se aprovecha todo el material (Fuentes, 2013). La mayor parte de los que cortan y venden madera piden permiso a los dueños de los bosques, pero también hay grupos organizados que extraen grandes cantidades de forma ilegal como cimbra para los mercados regionales y la industria de la construcción de Coatepec y Xalapa (Fuentes, 2013). La extracción ilegal de madera en los predios

privados se da en un contexto de confusión entre los límites de varios predios y en ausencia de sus dueños. Esto genera una situación de acceso abierto donde domina la extracción clandestina de madera a gran escala.

Los efectos de la extracción para leña, carbón y madera han empezado a documentarse en los bosques de la zona media. Se ha registrado una modificación en la estructura y composición de los bosques y acahuales por efecto de la corta selectiva y de baja intensidad de ciertas especies de maderas duras y apreciadas por su valor calorífico (Haeckel, 2006; Ruger, *et al.*, 2008). La extracción de madera para cimbra tiene otras características, pues se trata de matarrasas en superficies variables entre 0.5 hectárea hasta más de 5 ha (Fuentes, *op.cit.*), que podrían estimular la regeneración de las especies aprovechadas. Un estudio reciente en esta subcuenca encontró que puede estar presente un fenómeno de “secundarización” permanente, donde la corta de madera constante mantiene el reclutamiento de especies pioneras o intolerantes a la sombra, aunque con cambio en la composición (Pardo-Álvarez, 2013). Ante estas condiciones de aprovechamiento regulado e irregular el monitoreo a mediano plazo permitiría identificar el efecto sobre la biomasa y composición de especies en estos bosques, y las recomendaciones de manejo necesarias para incrementar la productividad y diversidad.

#### **4.4.6. SOBRE LA INFLUENCIA DE LA PROPIEDAD DE LA TIERRA EN LOS PROCESOS DE CAMBIO**

El análisis logístico no identificó relaciones claras entre los procesos de cambio y los regímenes de propiedad de la tierra. Esto podría ser un efecto de la estructura de la base de datos utilizada, así como de los atributos de las variables independientes correspondientes a la propiedad de la tierra, pues se incluyeron con valores categóricos (0/1). No obstante, es posible identificar algunos factores con influencia indirecta al comparar los regímenes de propiedad y las tasas anuales de cambio de cada categoría de uso del suelo, con eventos económico-social y político que estaban ocurriendo en los periodos analizados.

El crecimiento de las zonas urbanas y suburbanas se ha llevado a cabo tanto sobre los ejidos como sobre las pequeñas propiedades; aunque en las zonas ejidales de la zona baja se registraron las tasas de crecimiento un poco mayores en los periodos analizados (cuadro 4.14).

Durante el periodo 1975-1995 se levantó la veda forestal y se empezó a promover el manejo forestal regulado, se fomentó la reforestación y hubo mayor vigilancia en los bosques para detener la tala clandestina (ver cap. 3). Los predios



privados forestales presentaron una recuperación de bosques cerrados a una tasa anual de 0.57% en ese periodo, mientras que en las tierras ejidales la tasa de crecimiento fue más baja, 0.22% anual. Para el siguiente periodo (1995-2004), el bosque en las pequeñas propiedades continuo ampliándose a una tasa un poco menor, 0.48% anual, probablemente impulsada también por el programa de reforestación, así como por el abandono de parcelas agrícolas, pues las localidades donde se registraron tasas de crecimiento negativas (emigración) se ubican en tierras de propiedades privadas.

Destaca en este periodo el fuerte incremento de los bosques cerrados en las tierras ejidales, que alcanzó una tasa anual de 1.37%. Esto coincide con la reducción a los subsidios al campo, la caída en el precio de la papa y del maíz (Rubio, 2004). La actividad de PROCEDE parcelando los ejidos pudo actuar como otro factor de influencia pues en varios ejidos los campesinos sembraron plantaciones forestales en sus parcelas, ya reconocidas por las asambleas ejidales.

El comportamiento de los bosques abiertos durante el periodo completo analizado es contrastante. Entre 1975-1995 su extensión se reduce en las tierras privadas con una tasa anual de -1.36%, mientras que en los ejidos aumentan al 0.35% anual. Esto cambia abruptamente en el siguiente periodo (1995-2004) pues en las tierras privadas los bosques abiertos crecen a una tasa de 3.17% anual, y en los ejidos se reducen a -0.77% anual. Este comportamiento podría confirmar los procesos de abandono de parcelas agrícolas que se enmontan en un principio (cobertura arbustiva, categoría bosque abierto), para después pasar a la categoría de bosque cerrado. Paralelamente podría corresponder a las tierras forestales privadas donde los bosques secundarios han entrado a programas de aprovechamiento forestal, por lo que la densidad arbolada se reduce como efecto temporal de los tratamientos silvícolas.

La categoría "bosque abierto", como se discutió anteriormente, presenta un rango de confiabilidad menor a las otras tres categorías por lo que las interpretaciones que se deriven de su análisis quedan en el nivel de conjeturas o indicativas que requerirán comprobación posterior. En este sentido debe recordarse que esta categoría incluye el renuevo forestal joven, así como áreas agropecuarias cubiertas por arbustos, junto con bosques secundarios o maduros con cobertura de copa abierta.

## **4.5. BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- Aide, T. M. y H. R. Grau. 2004. "Globalization, Migration, and Latin American Ecosystems." *Science* 305: 1915-1916.
- Aide, T. M., J. K. Zimmerman, J.B. Pascarella, L. Rivera y H. Marcano-Vega. 2000. "Forest Regeneration in a Chronosequence of Tropical Abandoned Pastures: Implications for Restoration Ecology."

- Restoration Ecology* 8(4): 328-338.
- Biarnes, A. 1995. "Lógicas de producción y funcionamiento de las explotaciones en el Volcán Cofre de Perote". Págs. 77-97. En: A. Biarnes, J.-P. Colin y M.J. Santiago Cruz, eds. Agroeconomía de la papa en México. ORSTOM y Colegio de Posgraduados. Méx.
- Chokkalingam, U., J. Smith, W.de Jong y C. Sabogal. 2001. "A conceptual framework for the assessment of tropical secondary forest dynamics and sustainable development potential in Asia". *Journal of Tropical Forest Science* 13:577-600.
- Couturier, S. y J. F. Mas. 2009. "¿Qué tan confiable es una tasa de deforestación? ¿Cómo evaluar nuestros mapas con rigor estadístico?" *Investigación Ambiental (INE)* 1(2): 117-135.
- de Jong, W., Chokkalingam, U., J. Smith y C. Sabogal. 2001. "Tropical secondary forests in Asia: introduction and synthesis". *Journal of Tropical Forest Science* 13:563-576.
- Díaz, S., A. Hector y D.A. Wardle. 2009. "Biodiversity in forest carbon sequestration initiatives: not just a side benefit". *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1:55-60.
- Ehlers, E. (2005). "Interactions of society and environment in economically and ecologically marginal lands." En: *Understanding land-use and land-cover change in global regional context*. E. Milanova, Y. Himiyama and I. Bicić. Enfield, NH, EUA, Science Publishers, Inc.: 23-34.
- Ellis, E. A. y L. Porter-Bolland (2008). "Is community-based forest management more effective than protected areas? A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico." *Forest Ecology and Management* 256: 1971-1983.
- Ellis, E.A., K.A. Baerenklau, R. Marcos-Martínez, y E. Chavez. 2010. Land use/land cover change dynamics and drivers in a low-grade marginal coffee growing región of Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 80:61-84.
- Evangelista-Oliva, V., J. López-Blanco, J. Caballero-Nieto y M.A. Martínez-Alfaro. 2010. "Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla." *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (72): 23-38.
- FAO. (1996). "Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes." FAO, Forestry Paper 130. Retrieved 12 mayo 2010. <http://www.fao.org/docrep/007/w0015e00.htm>.
- FAO. (1999). "State of the World's Forests, 1999." Retrieved 27 agosto 2012, 2012, from <http://www.fao.org/docrep/W9950E/w9950e00.htm#TopOfPage>.
- FAO. (2005). "State of the World's Forests, 2005." Retrieved 27 agosto 2012, 2012, from <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5574e/y5574e14.pdf>.
- FAO (2011). State of the World's Forests, 2011. Rome, FAO.
- Fuentes P., T. 2013. "Usos tradicionales de la madera del bosque mesófilo de montaña en la subcuenca del río Pixquiac". Tesis Maestría en Manejo del Recurso Forestal. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 145 p.
- García-Barrios, L., Y. M. Galván-Miyoshi, et al. (2009). "Neotropical Forest Conservation, Agricultural Intensification, and Rural Out-migration: The Mexican Experience." *Bioscience* 59(10): 863-873.
- García Coll, I., A. Martínez Otero, y G. Vidriales Chan. 2008. "Balance Hídrico de la Cuenca del Río Pixquiac". SENDAS, A.C. Xalapa, Ver. Documento técnico inédito.
- García-Romero, A., Y. Montoya, M.V. Ibarra y G.G. Garza. 2010. "Economía y política en la evolución contemporánea de los usos del suelo y la deforestación en México: El caso del volcán Cofre de Perote". *Interciencia* 35: 321-328.
- González Azuara J.A., Zedán C., y Gerez, P. 1995. "Ordenamiento del manejo de ovinos y caprinos en una zona forestal: La experiencia del Cofre de Perote." En: *Alternativas al manejo de laderas en Veracruz*. E. Boege S., H. García Campos, y P. Gerez Fernández (eds.). Fund. Friedrich Ebert y SEMARNAP, Xalapa, Ver. Pag:235-246
- Haeckel, I. 2006. Firewood use, supply, and harvesting impact in cloud forests of central Veracruz, Mexico. Thesis. Columbia University, New York.
- Hecht, S. (2010). "The new rurality: Globalization, peasants and the paradoxes of landscapes." *Land Use Policy* 27: 161-169.
- Jenness, J. y J. J. Wynne. (2007). "Kappa analysis (kappa\_stats.avx) extension for ArcView 3.x." Retrieved 9/noviembre/2011, from [http://www.jennessent.com/arcview/kappa\\_stats.htm](http://www.jennessent.com/arcview/kappa_stats.htm).

- Kull, C.A., C.K. Ibrahim y T. C. Meredith. 2007. Tropical forest transitions and globalization: Neo-liberalism, migration, tourism and international conservation agendas. *Society & Natural Resources* 20:723-737
- Klooster, D. (2003). "Forest transitions in Mexico: institutions and forests in a globalized countryside." *Prof Geogr* 55(2): 227-237.
- Lambin, E. F., H. J. Geist y E. Lepers. (2003). "Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions." *Annual Review of Environment and Resources* 28(1): 205-241.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velázquez, y J. R. Aguirre-Rivera. 2006. "Peasant migration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico". *Agricultural Systems* 90:62-78.
- Mas, J. F., A. Velázquez, J. R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández, and A. Pérez-Vega. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multitemporal spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5:249-261.
- Mas, J.-F., A. Velázquez y S. Couturier. 2009. "La evaluación de los cambios de cobertura / usos del suelo en la República Mexicana." *Investigación Ambiental (INE)* 1(1): 23-39.
- Mateo, J. 2002. Geografía de los paisajes. Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, Habana, Cuba.
- Muñoz-Villers, L. E., y J. López-Blanco. 2008. Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing* 29:71-93.
- Nagendra, H., y J. Southworth. 2010. "Reforestation: conclusions and implications". Págs. 357-367. In: H. Nagendra y J. Southworth, eds. Reforesting landscapes: Linking pattern and process. Springer Science+Business Media, N.Y.
- Pardo-Álvarez, K. A. 2013. Estructura y composición de rodales de *Alnus acuminata* Kunt., a través de una cronosecuencia en el centro del estado de Veracruz. Tesis Licenciatura en Biología. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver.
- Paré, L., y P. Gerez. 2012. Al Filo del Agua: cogestión de la cuenca del río Pixquiac, Veracruz. UNAM, SENDAS, UV, SEMARNAT, INE, U.Iberoamericana-Puebla, Juan Pablos ed., Xalapa, Ver.
- Rubio, B. 1999. Globalización, reestructuración productiva en la agricultura latinoamericana y vía campesina 1970-1995. *Cuadernos Agrarios Nueva época*:29-60.
- Rubio, B. 2004. La fase agroalimentaria global y su repercusión en el campo mexicano. *Comercio Exterior* 54:948-956.
- Ruger, N., G. Williams-Linera, W. D. Kissling, y A. Huth. 2008. Long-Term Impacts of Fuelwood Extraction on a Tropical Montane Cloud Forest. *Ecosystems* 11:868-881.
- Sánchez-Velásquez, L. R., D. Domínguez-Hernández, M.R. Pineda-López, y R. Lara-González. 2011. Does *Baccharis conferta* shrub act as a nurse plant to the *Abies religiosa* seedling? *The Open Forest Science Journal* 4:67-70.
- SARH-Veracruz. 1992. "La situación forestal de Veracruz: antecedentes, problemática, perspectivas." En: *Desarrollo y Medio Ambiente en Veracruz*. E. Boege y H. Rodríguez (eds.). CIESAS-Golfo, INECOL, Fund. Friedrich Ebert, Xalapa, Ver. Pag: 199-207
- Southworth, J., y H. Nagendra. 2010. "Reforestation: Challenges and themes in reforestation research". Págs. 1-14. En: H. Nagendra and J. Southworth, eds. Reforesting landscapes: Linking pattern and process. Springer Science+Business Media, N.Y.
- Trejo, I. y R. Dirzo (2000). "Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico." *Biological Conservation*(94): 133-142.
- Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, y J. L. Palacio. 2002. 2Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México." *Gaceta Ecológica*: 21-37.
- Velázquez, A., E. Durán, I. Ramírez, J. F. Mas, G. Bocco, G. Ramírez, y J. L. Palacio. 2003. Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13:175-184.

Villers, L., y I. Trejo. 2004. "Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales". Págs. 239-254.  
En: J. Martínez y A. Fernández-Bremauntz, eds. Cambio climático: Una visión desde México. INE, SEMARNAT, Méx. D.F.

---

## CAPITULO 5. DISCUSION GENERAL Y CONCLUSIONES

---

Los procesos documentados en este trabajo son una llamada de atención para analizar con más detenimiento lo que sucede en las regiones montañosas del estado y del país, con el fin de comprobar si las tendencias identificadas aquí pueden estar repitiéndose en otras. Esto cobra importancia cuando se considera que Veracruz es uno de los estados más deforestados en el país, donde más del 75% de su territorio ha sido transformado a pastizales o a cultivos, y que menos del 30% está cubierto por bosques y selvas está sujeto a intervenciones de distinta intensidad (cap. 2).

Como se expuso en los capítulos 2 y 3, la cultura del manejo forestal regulado en el estado es relativamente reciente, pues se remonta a la década de 1990, en contraste con tradición agrícola y ganadera fuertemente arraigada y promovida como política pública para la ocupación del territorio en las décadas 1940 y 1950. Actualmente una fracción del territorio estatal se encuentra bajo esquemas de aprovechamiento forestal, por lo que la mayor parte de los bosques son aprovechados localmente sin regulaciones de ningún tipo. En estas condiciones la degradación forestal podría ser el proceso dominante, a pesar que las buenas condiciones climáticas del estado favorezcan la regeneración natural de la cobertura arbolada. Los datos disponibles más recientes indican que la deforestación sigue dominando en Veracruz, aun cuando en los bosques templados ha disminuido la tasa de cambio (SEDAP, 2006).

La predominancia del minifundismo en las regiones forestales del estado (cap. 2), obliga a revisar con detenimiento las estrategias y programas impulsados para mejorar las condiciones de los bosques. El problema no puede resolverse desde el enfoque sectorial pues se requieren esquemas de desarrollo rural donde se incorpore una estrategia de paisajes mixtos, que incluyan una diversidad de actividades para dar valor económico y productivo a los bosques y a otros productos agropecuarios.

Esta problemática es de interés público dado que las políticas federales forestales establecen criterios generales que con dificultad se ajustan a las características regionales o locales de propiedad y tamaño de los predios que presenta el campo veracruzano. Este es el caso del programa PROCYMAF de CONAFOR, donde la mayor parte de los predios forestales son de tamaño pequeño y las áreas de uso común con bosque son escasas en los ejidos; esto ha limitado la incorporación de un número importante de dueños de bosques y de comunidades que están interesados en conservar sus bosques y en recuperar su productividad (Paré *et al.*, 2012). Un esfuerzo

coordinado entre distintos niveles de gobierno (municipal, estatal y federal) para promover la regularización de estas actividades, facilitaría establecer mecanismos de control y supervisión, así como la inserción de estos productos en los mercados legales. Los dueños de los bosques recibirían así un incentivo claro para incorporarse a un manejo sustentable de sus bosques.

Los resultados de este estudio indican que los dueños toman decisiones sobre el uso del suelo y sus bosques impulsados fundamentalmente por factores económicos. En este sentido cualquier propuesta para promover la recuperación productiva los bosques de la región, debe ir acompañada de acciones dirigidas a mejorar las condiciones de vida de los habitantes locales, y a promover mejoras las prácticas agrícolas y pecuarias para incrementar su productividad y arraigo. Los incentivos para incorporar más superficie forestal al manejo regulado necesitan diseñar procedimientos legales ajustados a las condiciones de tenencia y tamaño de los predios, sobre todo a promover técnicas silvícolas adecuadas al manejo de esas propiedades.

Estos bosques han abastecido durante más de un siglo a los mercados regionales urbanos a través de una persistente extracción clandestina de madera, en ella participan tanto los dueños de los bosques, como usuarios diversos. En este contexto, ningún esquema de manejo, o de conservación podrá modificar estas *prácticas convencionales* si no va acompañado por un esquema de gobernabilidad regional generado con la participación de todos los actores. Donde se establezcan mecanismos de control local sobre el acceso a los bosques, a través de redes de vigilancia colectiva.

## **5.1. SOBRE EL NIVEL DEL ANÁLISIS**

El proceso de análisis de cambio de uso del suelo se inició considerando a la subcuenca como una unidad, sin embargo los resultados obtenidos no mostraron ningún patrón espacial claro en la distribución de los cuatro procesos de cambio identificados, ni relaciones entre las variables independientes. Al modificar la estrategia de análisis y optar por la estratificación de la subcuenca, se encontraron patrones claros en el comportamiento de estos procesos, incluso con tendencias contrastantes entre una zona y otra, como se discutió en el capítulo 4.

Se ha documentado que la escala elegida para hacer el análisis CUS influye en los procesos identificados, sobre todo porque ciertos procesos de ámbito local pueden quedar enmascarados en escalas menores. Tal es el caso del estudio realizado en 10 ejidos de Tecpan de Galeana, Gro., donde se encontró que el análisis de cambio de uso

del suelo agregado (toda la zona de estudio) identificó tasas de cambio diferentes a las obtenidas cuando se desagregó la cobertura arbórea por tipos de vegetación (Durán, *et al.*, 2007). Al modificar el enfoque del análisis se reveló que la deforestación estaba presente predominantemente en la selva, mientras que el bosque con manejo forestal mostró una débil deforestación y una recuperación más clara. Otro estudio realizado en la cuenca del lago Cuitzeo, Mich., con un doble análisis, el primero a nivel de la cuenca y el otro a nivel de microcuenca, permitió a los autores identificar diferentes procesos en cada una (Mendoza, *et al.*, 2011). Encontraron que la deforestación dominaba en unas microcuencas, en otras registraron recuperación de la cobertura arbolada, y otras mantuvieron una cobertura estable durante el periodo analizado.

El análisis comparativo de estos estudios ayuda a identificar con claridad las áreas críticas hacia donde deben dirigirse las acciones de reforestación o de restauración de cuencas, mientras que otras áreas requerirán otro tipo de intervención. Se revela también claramente que estos procesos tienen un componente espacial, que es importante documentar. Comprender las dinámicas regionales o locales presentes en las zonas analizadas son elementos vitales para sugerir políticas públicas ajustadas a esas condiciones particulares. Este tipo de enfoque facilita identificar recomendaciones de manejo específicas para cada condición, de manera que los recursos económicos y humanos disponibles se utilicen de forma más efectiva.

## **5.2. SOBRE LOS PROCESOS DE CAMBIO IDENTIFICADOS**

En la subcuenca del río Pixquiac los procesos dominantes de uso del suelo identificados fueron cuatro: 1) un proceso claro de recuperación del bosque cerrado; 2) una expansión considerable de las áreas urbanas, al grado de presentar la mayor tasa de crecimiento durante todo el periodo analizado; 3) una constante reducción en la superficie dedicada a las actividades agropecuarias; y 4) una superficie importante que ha mantenido la cobertura arbolada estable durante los 30 años analizados.

¿Qué tan estables son estos procesos a mediano plazo? Es una pregunta difícil de responder, sobre todo porque entre los factores principales que incitaron los cambios hay componentes estructurales de la economía nacional que exacerbaron las condiciones de marginalidad productiva y social, y fomentaron con ello el abandono de parcelas y la migración. Otro factor de influencia estructural es la expansión urbana, dinámica que difícilmente se podrá modificar en el mediano plazo. Paralelamente funcionaron otros factores que responden a estímulos coyunturales, entre ellos las fluctuaciones en los precios de productos agropecuarios, tales como la papa y el café, que dependen de la oferta-demanda en los mercados nacionales e internacionales, los

bajos precios de la leche y el maíz, y la falta de trabajo en el campo. Estos procesos, los primeros externos o subyacentes, y los segundo internos o directos, pueden modificarse aunque sus ritmos generalmente son de mediano y largo plazo.

En esta zona de estudio, es posible que en las décadas siguientes puedan presentarse cambios en la dinámica del uso del suelo descrita dependiendo de las variaciones en los factores identificados, o en la aparición de otros. La topografía y los suelos son los únicos factores locales sin posibilidad de cambio. En el caso del clima, si bien sus características generales pueden mantenerse estables, los escenarios regionales previstos en torno al fenómeno del cambio climático podrían alterar de forma notable las tendencias identificadas en este trabajo en las próximas décadas, modificando las prácticas agropecuarias e incluso los tipos de cultivos. Entre los factores locales con posibilidad de cambio, las modificaciones al régimen de propiedad de la tierra y expansión urbana son elementos muy dinámicos que tienen efectos perdurables. Las políticas públicas hacia el sector agrícola y pecuario, hacia los bosques y áreas protegidas son factores externos de gran influencia que pueden consolidar las tendencias identificadas o revertirlas. En el cuadro 5.1 se ordenan los factores de acuerdo a su posibilidad para modificarse o permanecer estables.

CUADRO 5. 1. FACTORES PROMOTORES DEL CAMBIO ACTIVOS EN LA ZONA DE ESTUDIO, DE ACUERDO A SU POTENCIAL DE CAMBIO.

| <b>Factores locales (estables)</b> | <b>Factores locales (inestables)</b>                                       | <b>Factores externos (inestables)</b>                          |
|------------------------------------|--|--|
| Topografía                         | Fragmentación de las propiedades rurales                                   | Precio internacional de productos agrícolas: café              |
| Clima (humedad y temperatura) ¿?   | Crecimiento de la población y ampliación de la red de caminos              | Precio nacional de productos agropecuarios: papa, maíz, leche  |
| Suelos                             | Expansión de la mancha urbana y zona peri-urbana                           | Políticas públicas hacia el campo y la producción agropecuaria |
|                                    | Diversificación de los ingresos familiares rurales (vínculo con la ciudad) | Políticas federales restrictivas dentro del PNCP               |
|                                    | Mercados y demanda regional-local de productos de madera y PFNM            | Políticas públicas hacia el sector forestal y conservacionista |

### **5.3. COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS SOBRE RECUPERACIÓN, ESTABILIDAD, DEGRADACIÓN Y PÉRDIDA DE TIERRAS AGROPECUARIAS**

Si bien en otros estudios se han reportado procesos de recuperación natural o pasiva de los bosques en diferentes regiones del país, pocos han analizado las causas y dinámica de este fenómeno (Velázquez, *et al.*, 2005). En la mayor parte de los casos se registra un abandono de tierras agrícolas marginales por emigración de los dueños



(Velázquez, *et al.*, 2003; Dupuy-Rada *et al.*, 2007; Aguilar-Støen, *et al.*, 2011). Se ha documentado una relación entre la recuperación arbolada y arbustiva como efecto de la emigración (López, *et al.*, 2005). En algunas zonas forestales la recuperación arbolada e ha relacionado directamente con la presencia de manejo forestal comunitario (Duran, 2007; Ellis y Porter-Bolland, 2008; Barsimantov y Kendall, 2012).

Este estudio de caso documenta un proceso diferente pues la mayor recuperación de la cobertura arbolada ocurrió en tierras parceladas individuales y en pequeñas propiedades, en una región con reciente cultura forestal. Esto es consistente con el comportamiento de los agricultores que se ven afectados por la caída en los precios de sus productos. El proceso de recuperación forestal no está suficientemente estudiado en el país por lo que falta documentar su importancia en las regiones donde se presenta. Esta dinámica es importante en las zonas donde están operando proyectos de conservación y recuperación de servicios ecosistémicos, para los cuales es esencial definir con precisión las tendencias y línea base de referencia.

Como ya se mencionó es un proceso invisible ante la magnitud de la pérdida de selvas y bosques a nivel nacional (Hecht, 2010). Sin embargo a nivel local, y por consecuencia regional, puede ser un proceso de enorme trascendencia pues está reflejando la presencia de fenómenos socio-ambientales particulares, donde los habitantes han pasado por la etapa de la deforestación, para llegar a un momento en el que reconocen el valor de un recurso que ya vivieron escaso (Berkes, 2004). La estabilidad del fenómeno es incierta, pues podría modificarse en respuesta a condiciones de mercado o de política pública coyunturales. Sin embargo, puede ser un fenómeno indicativo de ciertos cambios estructurales en las condiciones de vida de los habitantes de estas montañas altas. Más estudios se requieren para indagar sobre estos procesos y su fragilidad o estabilidad, y para corroborar si es un fenómeno presente en otras zonas montañosas del país.

La estabilidad de la cobertura arbolada es otro proceso poco analizado en la literatura. En dos regiones diferentes se ha identificado la permanencia de la cobertura arbolada a través de la presencia de cafecultura de sombra, en Veracruz durante el periodo 1973-1989 (Ellis *et al.*, 2010), y en Oaxaca durante 1990-2005 (Aguilar-Støen, *et al.*, 2011). Otros autores han documentado la importancia del manejo forestal comunal como factor de influencia para mantener grandes extensiones de bosques y selvas (Merino, 2004; Duran, 2007; Merino y Segura, 2007; Barsimantov y Kendall, 2012).

Respecto a los procesos de deforestación hay innumerables estudios, algunos identificando diversos factores promotores (Barbier, 1996; Deininger, 1999), otros a los

periodos críticos en los que se han activado. Respecto a los periodos en los que se inician los procesos de deforestación, García Romero, et al., (2010:326), reconoce que en esta región la mayor pérdida de bosques inició antes de la década de 1970 y se mantuvo hasta principios de 1980. Otros autores han encontrado que los periodos de deforestación más intensos se dieron antes de la década de 1980, en las zonas montañosas templadas, así como en las planicies y zonas tropicales (Dirzo y García, 1992; Cairns *et al.*, 2000); sobre todo sigue activa en áreas tropicales bajas, selvas secas y ciertas regiones del sureste mexicano (Trejo y Dirzo, 2000; Ochoa-Gaona, 2000; Castillo-Santiago, *et al.*, 2007).

Un proceso menos estudiado es la degradación de los bosques y selvas. Este tiene efectos económicos para los dueños al reducir su valor y el volumen aprovechable, tiene efectos biológicos pues modifica la estructura, composición del bosque y biomasa, y tiene impacto en la calidad de los servicios ecosistémicos que proveen a la sociedad regional. En esta subcuenca aun cuando se presenta una recuperación de sus bosques y que más del 60% de su superficie ha mantenido una cobertura arbolada estable, es importante considerar que el efecto de la extracción de productos maderables y no maderables de estos bosques no fue notorio en la escala trabajada. Por una parte en los predios con manejo forestal regulado la reducción en la densidad arbolada puede ser un efecto temporal de los tratamientos aplicados. Por otra, en innumerables predios y parcelas ejidales se extrae en pequeña escala madera para leña, carbón o cimbra, sin efectos visibles sobre la densidad de la cobertura arbolada.

El efecto de estas actividades no se ha monitoreado, en el futuro se tiene que estudiar el impacto de estas prácticas sobre la productividad forestal, sobre la diversidad biológica y sobre otros servicios ecosistémicos que brindan a la región. Algunos estudios locales indican la existencia de procesos de degradación forestal (Haeckel, 2006; Pardo-Álvarez, 2013) cuya magnitud está por evaluarse. Por lo mismo, los procesos documentados en este trabajo muestran que más que promover proyectos de “deforestación o emisiones evitadas”, son necesarias acciones e incentivos que fomenten el incremento en los almacenes de carbono, en la biomasa aérea y en el suelo, y que favorezcan el establecimiento de especies de lento crecimiento y de etapas sucesionales avanzadas.

Por último, la pérdida de superficie agropecuaria (López, *et al.*, 2006; Benítez, *et al.*, 2012) es un fenómeno delicado y preocupante por las implicaciones socioeconómicas y de autosuficiencia alimentaria para el futuro cercano. La reducción continua del área dedicada a las actividades agropecuarias en esta subcuenca es

consecuencia de las políticas federales hacia el campo particularmente a partir de que el Estado retiró los apoyos a la producción de alimentos y los subsidios a los insumos utilizados, y se redujeron los precios de estos productos, resultado de la integración a los mercados internacionales (Rubio, 1999). Hoy en día se están impulsando alternativas agroproductivas de pequeña escala, dirigidas hacia nichos de mercado impulsados por habitantes urbanos conscientes de la calidad de los productos que consumen.

#### **5.4. SOBRE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO**

En este estudio se identificó una franca recuperación de los bosques de coníferas. Durante el proceso de poblamiento de la zona alta de esta subcuenca fue evidente la escasa efectividad del Parque Nacional Cofre de Perote (PNCP). Los decretos de creación de los ejidos y del PNCP se expidieron simultáneamente, por lo que el proceso dominante hasta la década de 1980 fue la ampliación de la frontera agrícola y la reducción de la cobertura arbolada hasta situaciones críticas. Esta tendencia no fue aminorada ni evitada por la presencia del PNCP. Los resultados de este estudio indican que los cambios que incitaron la recuperación de los bosques dentro del PNCP provinieron fundamentalmente de las señales del mercado y de la situación de marginación económica y productiva de los productores. El hecho que esta tendencia estaba ya presente facilitó que las medidas de conservación de los bosques promovidas fueran aceptadas por los ejidatarios y dueños de esas tierras.

Este PN es un claro ejemplo de los llamados “Parques de papel”, el cual a pesar del decreto presidencial en sus primeros 50 años no hubo ninguna acción concretas que lo hiciera funcional. Por el contrario, se desconoció la presencia de ejidos, de localidades y de parcelas con actividades agropecuarias, no se promovieron incentivos para detener la deforestación, ni se establecieron reglamentos de uso de los recursos naturales, ni mecanismos para hacerlos valer. Al igual que en otras regiones del país, este instrumento de conservación ha sido poco efectivo para detener los frentes de colonización y la deforestación activa (Bray, *et al.*, 2008), pero sobre todo no ha ayudado a resolver los problemas de gobernabilidad sobre los recursos naturales, ni a mejorar las calidad de vida de sus habitantes (Brenner, 2010).

Actualmente el programa de manejo elaborado para este PN contiene una zonificación con las actividades permitidas donde sigue sin reconocerse la presencia de ejidos y predios privados, ni de sus actividades productivas. Aun cuando formal y operativamente CONANP tiene fondos de apoyo a los habitantes de este PN, el

instrumento es tan restrictivo que resulta inoperante en el contexto social y productivo presente. En los hechos es un instrumento que genera condiciones de inequidad respecto a las opciones de manejo que tienen los predios vecinos, y fomenta un uso encubierto de los recursos naturales y una cultura de la simulación entre los habitantes del PN.

En este caso a partir de 1989 se establecen por primera vez reglas claras sobre el uso del suelo dentro de su polígono, acompañado por acciones de reforestación extensivas, mejoras en el manejo del ganado libre y control sobre otras actividades que deterioraban los bosques en el PNCP, se genera una tendencia positiva en la recuperación de la cobertura forestal. Estas medidas tuvieron éxito porque ya había un campo fértil para ello, los productores habían perdido su lugar en el mercado de papa y sus tierras eran poco propicias para otro tipo de cultivo. Es decir, las regulaciones establecidas para el PNCP llegaron a reforzar una tendencia de recuperación forestal que se había iniciado años atrás.

En contraste con lo anterior, los nuevos mecanismos establecidos en los nuevos esquemas de compensación por Servicios Ambientales (PSAH) en esta subcuenca, si bien todavía limitados en extensión, han empezado a generar una sensibilidad y conciencia regional hacia los otros beneficios no maderables que los bosques proveen. Los dueños de parcelas con fragmentos de bosques en diferentes etapas sucesionales se interesan por cuidarlos porque podrán obtener productos maderables de mayores dimensiones. Estas opciones productivas ligadas a la conservación de los bosques jóvenes generan la participación de los dueños. Asimismo abren la puerta para establecer relaciones de reciprocidad entre los usuarios y beneficiarios de los servicios ecosistémicos, entre ellos los ayuntamientos y los habitantes de las ciudades que se abastecen del agua y de otros productos generados en estos bosques. Las estrategias de conservación diseñadas con este fin permiten establecer compromisos y responsabilidades de parte de los dueños para cuidar los bosques secundarios.

## **5.5. SOBRE LOS ESCENARIOS FUTUROS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA COBERTURA ARBOLADA**

La abrupta topografía del cono del volcán en la zona alta y la preeminencia de dos grandes barrancas en la zona media de esta subcuenca son los factores directos más importantes que han promovido la estabilidad de gran parte de cobertura forestal en la región estudiada. Estos factores son parte de las características físicas (relieve) de esta cuenca, y por tanto de carácter inmutable. El análisis temporal realizado indica que en la zona alta hubo una época donde dominó la actividad agrícola y pecuaria

hasta que los precios en los mercados cambiaron las condiciones de rentabilidad productiva. En este sentido, aun cuando la topografía no se modifica, al considerar los escenarios de Cambio Climático previstos para el estado de Veracruz (Tejeda, *et al.*, 2008), se prevé que en las próximas décadas las condiciones climáticas en las altas montañas podrían modificarse hacia temperaturas menos frías, esto podría favorecer algunas actividades agropecuarias hasta ahora marginales.

La cobertura arbolada de la zona media está conformada por fragmentos de bosques maduros y fundamentalmente por bosques secundarios de diferentes edades, todos sujetos a intervenciones constantes o periódicas (Haeckel, 2006; Fuentes, 2013). En esta zona, las amenazas a la estabilidad de la cobertura arbolada provienen de la extracción forestal ilegal, de la extracción de baja intensidad de carbón y leña, y de la baja calidad de un manejo forestal que promueve matarrasas y reforestaciones con 1 o 2 especies de *Pinus*. Es decir, la amenaza va en el sentido de una degradación de estos bosques húmedos y diversos, en términos de su biomasa y de la composición de especies, no de una reducción en la cobertura.

El papel de la cafecultura de sombra, principal actividad económica en la región es el factor directamente responsable de mantener la cobertura arbolada en la zona baja. En otras regiones del país (Aguilar-Støen, *et al.*, 2011) se ha documentado que la diversificación de la economía local ha favorecido la permanencia de esta actividad, a pesar de las fluctuaciones en los precios de este producto, pues aporta un ingreso extra y seguro por temporadas. Sin embargo, la estabilidad de esta cobertura a futuro en la zona de estudio, además de depender de las condiciones de los mercados y de los precios internacionales del café, está sujeta a una fuerte presión por el crecimiento de las zonas urbanas y de su influencia sobre el precio de la tierra. A esto se suma que en el centro de Veracruz, las tierras dedicadas a la cafecultura compiten con la expansión del cultivo de caña, actividad beneficiada con apoyos económicos atractivos para los dueños. En resumen, a pesar de que ha habido estabilidad en la cobertura arbolada en los últimos 20 años en esta subcuenca, en el futuro cercano ésta tendencia podría cambiar disminuyendo en la zona baja, y con alguna probabilidad en la zona alta.

Considerando los escenarios generados para los próximos 50 años sobre las transformaciones que podría ocasionar el cambio climático en esta región las cuencas altas adquieren una importancia estratégica para mitigar los efectos adversos y reducir la vulnerabilidad económica, social y ambiental.

El aprovechamiento forestal, amparado por programas de manejo, necesita incorporar otros objetivos donde se incluya el incremento en la biomasa como medida

de productividad de estos bosques, se fomente la regeneración de especies nativas, la conservación de las especies raras, endémicas o amenazadas localmente, así como la protección de los cauces de agua y las zonas con pendientes abruptas. Esto es factible pues hay un vasto cuerpo de información y conocimiento científico para establecer las pautas de un manejo sostenible a largo plazo en esta región. A través del monitoreo permanente que se pueden identificar situaciones que requieren mejoras en las prácticas de manejo, con el fin de asegurar la sostenibilidad a futuro. Otro tipo de intervenciones más delicado y complejo es el referente a la extracción irregular de leña, carbón y madera para la construcción, el tipo de actores que llevan a cabo estas actividades y la intensidad en la que las realizan requiere de acciones diferenciadas. Por una parte es necesario encontrar un mecanismo que promueva la regulación de estas actividades con el fin de asegurar un aprovechamiento sostenido; por el otro se requiere impulsar estudios que generen conocimiento para el manejo de los mismos.

La importancia de esta subcuenca, junto con las cuencas vecinas, como generadoras de bienes y servicios ecosistémicos esenciales para la sociedad regional, llama a establecer una estrategia de manejo amplia que surja de las condiciones locales para identificar acciones que puedan impulsarse con los campesinos y dueños de los bosques. Las inundaciones de 2008 mostraron la vulnerabilidad de las zonas montañosas y costeras del estado, por ello cualquier propuesta de manejo de los bosques debe incorporar medidas de mitigación para mantener la cobertura arbolada y los suelos en las cuencas altas. Las cabeceras de cuenca retoman por ello un interés estratégico pues los servicios ecosistémicos que aportan a las regiones son clave para reducir los impactos de esos fenómenos y para proveer insumos para el desarrollo de las ciudades y zonas industriales. Los resultados de este trabajo, junto con otros que van en el mismo sentido, llaman la atención hacia lo que está sucediendo en las áreas arboladas que tiene el estado.

A nivel federal se ha diseñado una estrategia nacional REDD+ como parte de la política gubernamental dirigida a evitar la deforestación, a recuperar la cobertura arbolada y a detener su degradación, sin embargo aún no hay claridad sobre los mecanismos para implementarla, ni las acciones se van a impulsar de manera que sean procesos novedosos que incidan en recuperar los bosques y mejorar las condiciones de vida de los dueños. Este trabajo muestra que para modificar las tendencias de degradación forestal es necesario impulsar medidas a nivel de cada predio, enfocadas en mejorar las prácticas agroproductivas y las de aprovechamiento forestal, de forma paralela que se impulsan instrumentos de regulación colectiva comunitaria y regional para detener la extracción ilegal. La degradación de los bosques es resultado de la marginación socioeconómica de estas regiones, por lo que las tendencias se

modificarán si se promueven políticas de manejo y conservación que impulsen un desarrollo sustentable estas regiones forestales (CCMSS, 2013). Para que REDD+ se convierta en un mecanismo que promueva la recuperación de bosques degradados debe impulsar acciones que tengan sentido mejorando las prácticas de manejo de los bosques a nivel local.

Algunos autores han advertido que un énfasis exclusivo en Carbono desviaría la meta de un desarrollo sustentable en las regiones forestales, pues podría priorizar ciertos usos del suelo, como las plantaciones con especies de rápido crecimiento, que competirían con los bosques naturales, transformando áreas de gran diversidad biológica, y reduciendo otros servicios ecosistémicos vitales (Seymour, 2012). Ejemplos de este tipo de desviaciones ya se han impulsado en Veracruz con financiamiento público, como la producción de biocombustibles y las plantaciones forestales con especies exóticas, cuyos efectos sociales y ambientales beneficiosos están por comprobarse.

## **5.6. IMPLICACIONES DE ESTOS PROCESOS: ¿ESTAMOS ANTE UNA TRANSICIÓN FORESTAL?**

En esta subcuenca se encontró que la recuperación de la cobertura arbolada está estrechamente relacionada con el abandono de las parcelas agropecuarias, que a su vez fue impulsado por la caída de precios en los productos agrícolas, como la papa, el maíz y el café, obligando a las familias rurales, y sobre todo a los jóvenes, a un cambio en su actividad económica vinculándose cada vez más con la economía de las ciudades. Este proceso ha estado acompañado por la migración de campesinos hacia las zonas suburbanas, sobre todo los que habitaban localidades pequeñas sin servicios, estimulando el crecimiento de la mancha urbana. El abandono de las parcelas agropecuarias ha generado un proceso de regeneración natural de los bosques. A este proceso socioeconómico y ambiental, se sumó la presencia de algunos programas gubernamentales que promovían la reforestación y el manejo forestal regulado, y más recientemente los programas gubernamentales de pago por servicios ambientales, promoviendo la estabilidad de la cobertura arbolada.

El fenómeno de la recuperación de bosques en México tiene algunos elementos similares a lo que se reconoce como Transición Forestal. Sin embargo es un proceso diferente que responde a otros factores pues los cambios generados por la dinámica socioproductiva no ha generado mejoramiento tecnológico, ni elevación de la calidad de vida de los habitantes del campo (García-Barrios et al., 2009; Bray, 2010). Esta contradicción fue reconocida por Klooster (2003) en un estudio en Michoacán donde a

pesar de que había un incremento en la superficie de la cobertura arbolada, los bosques estaban siendo degradados por extracción ilegal de madera de baja escala. Por lo mismo, es importante analizar con cautela el proceso de recuperación forestal pues la expansión en la superficie boscosa podría incluir un proceso de degradación paulatino de estos bosques. En el estudio de caso que se presenta en este trabajo, a pesar de que se registra una recuperación neta de la cobertura arbolada hay una constante extracción de madera y otros recursos no maderables, de forma regulada e irregular. Asimismo, los diferentes programas de manejo y de conservación no han incluido mejoras en las prácticas agropecuarias tradicionales o en la productividad, ni se han reducido las condiciones de marginación de los habitantes locales.

La recuperación de los bosques, su mantenimiento y protección es un fenómeno poco estudiado con un continuum de diversos procesos y condiciones (Bray, 2010). En ciertas regiones, por ejemplo, la categoría “cobertura arbolada” puede incluir cafetales de sombra, huertos de frutales (aguacates), bosques bajo manejo forestal y áreas protegidas; cada uno de estos diferentes usos del suelo estará respondiendo a diferentes factores y posibilidades para mantenerse o transformarse. En este sentido son necesarios estudios detallados y en otras regiones que ayuden a comprender la naturaleza de estos procesos, su grado de estabilidad y potencial para la recuperación de las áreas forestales. Sobre todo, profundizar en este proceso generará pistas para identificar si el incremento en la vegetación secundaria en el país significa una recuperación clara de los bosques, o si es un fenómeno con procesos de degradación forestal y de pérdida de diversidad biológica.

## **5.7. CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES**

Algunas regiones empiezan a presentar fenómenos de recuperación de la cobertura arbolada en la forma de vegetación secundaria o de regeneración de bosques jóvenes secundarios. No obstante antes considerar que son buenas noticias, es necesario contar con análisis más detallados puesto que podría estar presente un componente de degradación forestal. Los procesos de degradación de la cobertura arbolada son tan importantes como los de deforestación, pues conducen a una paulatina y a veces desapercibida reducción de la diversidad biológica y de la biomasa, ambos efectos negativos sobre los servicios ecosistémicos.

La perspectiva histórica utilizada en este trabajo permitió comprender el funcionamiento dinámico del paisaje en esta subcuenca. Con este enfoque se pudieron establecer relaciones directas entre las condiciones sociales, económicas y de política pública con los cambios generados en los usos del suelo a nivel local.



En conclusión, este estudio identificó que los cambios ocurridos en el uso del suelo y cobertura durante el período 1975-2004 fueron impulsados por una combinación de situaciones generadas por factores externos o subyacentes, a los cuales se sumaron otros factores internos o directos. Entre los primeros destacan:

a) Los mercados internacionales influyeron a través de la fluctuación de precios del café (demanda-oferta), induciendo una expansión en las décadas anteriores a 1990, y después reducción en la superficie cultivada.

b) Los mercados nacionales y las políticas hacia el campo, a partir de la apertura de la frontera a productos agropecuarios, generaron una mayor oferta que contrajo los precios y modificó el tipo de producto demandado. De manera paralela se redujeron los subsidios gubernamentales afectando negativamente los cultivos en zonas marginales (como la papa y el maíz).

c) Las políticas públicas gubernamentales hacia los bosques durante el primer periodo analizado (1975-1995) promovieron la explotación forestal extensiva y un bajo valor de los productos madereros; en este periodo no se permitió la participación a los propietarios, por lo que no era un recurso valioso para ellos. Sin embargo, en el segundo periodo (1995-2004) estas políticas cambiaron, se promovió la reforestación y el manejo forestal involucrando a los dueños de bosques; estos incentivos estimularon el interés para sembrar árboles e iniciar los aprovechamientos legales.

Por su parte, los factores internos identificados fueron los siguientes:

a) La migración de la población dentro de la cuenca generó el abandono de pequeñas localidades rurales en las zonas altas, hacia poblados de tamaño medio o ciudades colindantes, y desde las ciudades hacia localidades rurales cercanas generando una zona peri-urbana en expansión muy activa. Estos procesos internos han respondido directamente a las políticas públicas hacia el campo.

b) La operación de un programa coordinado entre los dos niveles de gobierno (federal y estatal), cuyo objetivo fue modificar las prácticas tradicionales a través del impulso a la reforestación y al manejo forestal regulado, el control del pastoreo libre del ganado ovino-caprino en los bosques templados de la zona alta, y el impulso de una organización regional de productores forestales. En este contexto se dio atención por vez primera al PNCP estableciendo regulaciones.

c) Las condiciones topográficas agrestes salvaguardaron la estabilidad de una extensa superficie arbolada, el clima húmedo y los suelos favorecieron la rápida recuperación de los bosques secundarios. Y,

d) La presencia de un mercado local-regional bien establecido con alta demanda de madera y de otros recursos PFM ha mantenido el interés de los dueños de la tierra por la siembra de árboles como producto económico.

Algunas recomendaciones derivadas de este estudio son las siguientes:

- Los procesos de recuperación natural de la cobertura arbolada en la forma de bosques secundarios (acahuales) deben incorporarse como parte fundamental de los proyectos de restauración de cuencas para consolidarlos.
- La recuperación de los bosques está relacionada con cambios en la economía familiar rural y con emigración a las ciudades, por lo que es necesario fortalecer los vínculos productivos y generar incentivos para los dueños de los bosques, con el fin de reducir su vulnerabilidad ante los cambios económicos.
- Los factores que incitan la pérdida de cobertura arbórea están directamente relacionados con el crecimiento urbano; en la actualidad la interrelación entre la ciudad y el campo es más compleja. Los planes de desarrollo municipal y los ordenamientos territoriales urbanos deben incorporar esta visión pues los efectos negativos pueden ser vitales para la sobrevivencia de ambos.
- Es necesario el monitoreo periódico para evaluar lo que está sucediendo en estas áreas de recuperación forestal. El monitoreo permitiría detectar cambios en composición de especies y en velocidad de crecimiento generados tanto por modificaciones climáticas, como por manejo forestal o por extracción irregular. Asimismo, a partir de esta información se podrá verificar si la recuperación forestal funciona como proceso para conservar la diversidad biológica, y que tan vulnerable es en las condiciones actuales del campo mexicano.

Los proyectos de compensación por servicios ecosistémicos, los enfocados en el manejo forestal y en la restauración o conservación de recursos naturales, requieren de líneas base que identifiquen con claridad las tendencias de uso del suelo existentes con antelación a su operación. Esta información es fundamental para definir las acciones específicas de manejo y las mejoras prácticas necesarias para consolidar el proceso de recuperación.

La escala en la que se realizan los estudios y se definen las estrategias de acción tiene implicaciones fundamentales para encontrar las opciones de conservación que sean viables, tanto para los ecosistemas, como para las sociedades humanas que cotidianamente los utilizan. Los procesos ecológicos y las instituciones sociales son complejos, por eso es necesario que su estudio se aborde desde múltiples escalas. En cada nivel de análisis emergen propiedades específicas del sistema que debe comprenderse para encontrar soluciones perdurables (Berkes, 2004). La conservación de los ecosistemas, de su diversidad y servicios, tiene sentido práctico cuando se incorporan los procesos locales presentes. Es desde este nivel organizativo, el más bajo, donde las acciones de protección y de manejo pueden captar el interés y compromiso

de los dueños y usuarios de los bosques. El reto es enorme, por eso las soluciones deben iniciarse en un nivel que se inserte en las tendencias locales prevaecientes.

Considerando el contexto futuro del Cambio Climático y las condiciones de alta vulnerabilidad que representan las zonas montañosas de México, es necesario estudiar con más detenimiento los procesos de secundarización de la vegetación, del funcionamiento de los bosques secundarios y de la degradación forestal. Las políticas de conservación y manejo deben reconocer estas condiciones como base para recuperar la capacidad de provisión de servicios ambientales. A través de mejoras en las prácticas agro-forestales con los dueños de la tierra, y del monitorear los efectos de estas intervenciones, es posible que se consolide una recuperación de los bosques y selvas de México.

Este estudio muestra que a nivel local están ocurriendo procesos que son invisibles desde el nivel estatal y nacional. Estas dinámicas necesitan acciones específicas para consolidar la recuperación de los bosques secundarios, entre las que es clave el impulso de mecanismos locales de gobernanza de los bosques con la participación directa de los dueños y de otros usuarios de estos recursos.

## 5.8. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aguilar-Støen, M., A. Angelsen, y S. R. Moe. 2011. "Back to the Forest. Exploring Forest Transitions in Candelaria Loxicha, Mexico." *Latin American Research Review* 46:194-216.
- Barbier, E. B., y J. C. Burgess. 1996. "Economic analysis of deforestation in Mexico." *Environment and Development Economics* 1:203-239.
- Barsimantov, J., y J. Kendall. 2012. "Community Forestry, Common Property, and Deforestation in Eight Mexican States." *Journal of Environment & Development*: 1-24.
- Benítez, G., A. Pérez-Vázquez, M. Nava-Tablada, M. Equihua, and J. L. Álvarez-Palacios. 2012. "Urban expansion and the environmental effects of informal settlements on the outskirts of Xalapa city, Veracruz, Mexico". *Environment & Urbanization* 24:149-166.
- Berkes, F. 2004. "Rethinking Community-Based Conservation". *Conservation Biology* 18(3): 621-630.
- Bray, D. B. 2010. Forest Cover Dynamics and Forest Transitions in Mexico and Central America: Towards a "Great Restoration"? En: *Reforesting Landscapes. Linking Pattern and Process*. H. Nagendra y J. Southworth (eds.). Springer Science, N.Y. Pag: 85-120
- Brenner, L. 2010. "Gobernanza ambiental, actores sociales y conflictos en las Áreas Naturales Protegidas mexicanas". *Revista Mexicana de Sociología* 72: 283-310.
- Cairns, M. A., P. K. Haggerty, R. Alvarez, B. H. J. De Jong, y I. Olmsted. 2000. "Tropical Mexico's recent land-use change: A region's contribution to the global carbon cycle." *Ecological Applications* 10:1426-1441.
- Castillo-Santiago, M., A. Hellier, R. Tipper, y B. de Jong. 2007. "Carbon emissions from land-use change: an analysis of causal factors in Chiapas, Mexico." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12:1213-1235.

- CCMSS. 2013. "Estrategia Nacional REDD+ en México: pendientes por resolver". Nota Informativa 35. Red de Monitoreo de Políticas Públicas. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C. México, D.F. 6 p.
- Deininger K. W., y M. B. 1999. "Poverty, policies, and deforestation: The case of Mexico." *Economic Development and Cultural Change* 47:313-344.
- Dirzo, R., y M. C. Garcia. 1992. "Rates of Deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in Southeast Mexico." *Conservation Biology* 6:84-90.
- Dupuy-Rada, J. M., J. A. González-Iturbe, S. Iriarte-Vivar, L. M. Calvo-Irabien, C. Espadas-Manrique, F. Tun-Dzul, y A. Dorantes-Euán. 2007. Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas*, Bol. Inst. Geog. UNAM 62:104-124
- Duran, E., J. F. Mas, y A. Velázquez. 2007. "Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas en México." En: *Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales*. D. B. Bray, L. Merino, y D. Barry (eds.) SEMARNAT, INE, IG-UNAM, CCMSS, FIU, Mexico, D.F. Pags: 267-299.
- Ellis, E. A., K. A. Baerenklau, R. Marcos-Martínez, y E. Chavez. 2010. "Land use/land cover change dynamics and drivers in a low-grade marginal coffee growing region of Veracruz, Mexico." *Agroforestry Systems* 80:61-84.
- Ellis, E. A., and L. Porter-Bolland. 2008. "Is community-based forest management more effective than protected areas? A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico." *Forest Ecology and Management* 256:1971-1983.
- Fuentes P., T. 2013. Usos tradicionales de la madera del bosque mesófilo de montaña en la cuenca del río Pixquiác. Tesis Maestría en Manejo del Recurso Forestal. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 145 p.
- García-Barríos, L., Y. M. Galván-Miyoshi, I. A. Valdivieso-Perez, O. R. Masera, G. Bocco, y J. Vandermeer. 2009. Neotropical Forest Conservation, Agricultural Intensification, and Rural Out-migration: The Mexican Experience. *Bioscience* 59:863-873.
- García-Romero, A., Y. Montoya, M. V. Ibarra, y G. G. Garza. 2010. "Economía y política en la evolución contemporánea de los usos del suelo y la deforestación en México: El caso del volcán Cofre de Perote." *Interciencia* 35: 321-328.
- Haeckel, I. 2006. Firewood use, supply, and harvesting impact in cloud forests of central Veracruz, Mexico. Thesis. Columbia University, New York.
- Hecht, S. 2010. "The new rurality: Globalization, peasants and the paradoxes of landscapes." *Land Use Policy* 27:161-169.
- Klooster, D. 2003. "Forest transitions in Mexico: institutions and forests in a globalized countryside." *Prof Geogr* 55(2):227-237.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velázquez, y J. R. Aguirre-Rivera. 2006. "Peasant migration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico". *Agricultural Systems* 90:62-78.
- Mendoza, M. E., E. L. Granados, D. Geneletti, D. R. Pérez-Salicrup, y V. Salinas. 2011. "Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975-2003)." *Applied Geography* 31:237-250.
- Merino, L. 2004. *Conservación o Deterioro. El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en los usos de los bosques en México*. 1a. edición. SEMARNAT, INE, CCMSS, México, D.F.

- Merino Pérez, L., y G. Segura-Warnholtz. 2007. "Las políticas forestales y de conservación y sus impactos en las comunidades forestales en México." En: *Los bosques comunitarios de México*. D. B. Bray, L. Merino, y D. Barry (eds.). SEMARNAT, INE, Inst. Geografía-UNAM, CCMSS, Florida State University, México, D.F. Pag: 77-98.
- Ochoa-Gaona, S., y M. González-Espinosa. 2000. "Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico." *Applied Geography* 20:17-42.
- Pardo-Álvarez, K. A. 2013. "Estructura y composición de rodales de *Alnus acuminata* Kunt., a través de una cronosecuencia en el centro del estado de Veracruz". Tesis Licenciatura en Biología. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver.
- Paré, L., Gerez Fernández P., Fuentes T., y Muñiz-Castro M.A. 2012. "Los programas de reforestación y pago por servicios ambientales de CONAFOR: reflexiones a partir de una experiencia de gestión de cuencas en el centro de Veracruz." En: *El Campo mexicano sin fronteras: alternativas y respuestas compartidas*. Keilbach Baer N., Lomeli A. , Mora M.I. , y Sánchez K. (eds.). AMER, UAM, México, D.F. Pag: 243-269
- Rubio, B. 1999. "Globalización, reestructuración productiva en la agricultura latinoamericana y vía campesina 1970-1995." *Cuadernos Agrarios Nueva época*: 29-60.
- SEDARPA, 2006. "Plan Sectorial Forestal Estatal 2006-2028". Gobierno del Estado de Veracruz, SEDARPA-DGDF. Xalapa, Ver.
- Seymour, F. 2012. "REDD reckoning: a review of research on a rapidly moving target." *Plant Sciences Reviews* 2012:147-160.
- Tejeda, A., M.E. Guadarrama, C.A. Ochoa, A. Medina, M.E. Equihua, A. Cejudo, C.M. Welsh, S. Salazar, L.A. Gutiérrez, E. López, T. García, y M. Marín. 2008. *Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC)*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología, Embajada Británica, UNAM, INECOL, Xalapa, Ver., Méx.
- Trejo, I., y R. Dirzo. 2000. "Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico." *Biological Conservation*: 133-142.
- Velázquez, A., E. Durán, I. Ramírez, J. F. Mas, G. Bocco, G. Ramírez, y J. L. Palacio. 2003. Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13:175-184.
- Velázquez, A., E. Durán, J. F. Mas, D. B. Bray, y G. Bocco. 2005. "Situación actual y prospectiva del cambio de la cubierta vegetal y usos del suelo en México." En: *México, ante los desafíos de desarrollo del milenio*. E. Zuñiga Herrera (ed.). CONAPO, México, D.F. Pag: 391-416

# ANEXOS

---

---

## ANEXO 1. DEMOGRAFÍA DE LAS LOCALIDADES UBICADAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC (1960-2005)

---

### A. Fuentes de información demográfica y notas del análisis:

- 1) D.G.E. 1964. VIII Censo General de Población, 1960. Tomo I. Estado de Veracruz. Sría. Ind. Y Com. Dir. Gral. Estadística. Méx. D.F. 840 p.
- 2) Sría. Industria y Comercio. 1970. IX Censo General de Población. Estado de Veracruz. Datos preliminares. Volumen único. 543 p. (mecanografiado). Los dos censos de 1960 y 1970, fueron consultados en la Biblioteca IESES- UV. Xalapa, Ver.
- 3) Censos 1990, 1995, 2000 y 2005. INEGI. Datos en excel obtenidos de la página web de INEGI. Consultados en línea 12 de agosto del 2012.
- 4) Ubicación de localidades del ITER 2005, ajustada en la ortofoto 2004, con salidas de campo y entrevistas con habitantes locales.
- 5) En la estimación de la tasa anual de crecimiento (T.a.c) se utilizó la fórmula del crecimiento geométrico para periodos largos, pues se analizaron 30 años, con intermedio de 20 y 10 años (Torres Degro, 2011). Ver fórmula al final de cuadro.
- 6) Se incluyen localidades ubicadas fuera de la subcuenca, pero colindantes con la zona alta, media y baja, marcadas con "x".

### B. Fórmula utilizada para estimar la tasa anual de crecimiento geométrico:

$$t.c. = \left( 1 - \frac{(S1-S2)}{S1} \right)^{1/n} - 1$$

Donde:

- $r$  Tasa de crecimiento anual geométrico.  
 $P^{t+n}$  Población al momento actual.  
 $P^t$  Población al momento inicial o población base o población inicial.  
 $a$  La amplitud o distancia en tiempo entre las dos poblaciones de referencia.

**C. Datos demográficos de las localidades ubicadas dentro de la subcuenca del río Pixquiac y colindantes.**

(Pob.Tot. = Población total; T.a.c.= tasa anual de crecimiento)

| IDE_LOC INEGI | MUNICIPIO | NOM_LOCALIDAD           | ALTITUD (msnm) | ZONA   | Pob_Tot 1960 | Pob_Tot 1970 | Pob_Tot 1995 | T.a.c. 1970-1995 % | Pob_Tot 1995 | Pob_Tot 2005 | T.a.c. 1995-2005 % | T.a.c. 1970-2005 % |
|---------------|-----------|-------------------------|----------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|
| 300010042     | Acajete   | Alto Pixquiac           | 2940           | Alta   | .            | .            | 1            | .                  | 1            | 2            | 7.177              | .                  |
| 300380007     | Coatepec  | Ingenio del Rosario     | 2850           | Alta   | 183          | 189          | 174          | -0.330             | 174          | 250          | 3.691              | 2.84               |
| 300380049     | Coatepec  | Mesa del Laurel         | 2750           | Alta   | .            | .            | 66           | .                  | 66           | 130          | 7.014              | .                  |
| 300920014     | Xico      | Ingenio del Rosario     | 2860           | Alta   | .            | .            | 108          | .                  | 108          | 118          | 0.889              | .                  |
| 300920025     | Xico      | Tembladeras             | 3110           | Alta   | .            | .            | 414          | .                  | 414          | 483          | 1.553              | .                  |
| 301280002     | Perote    | Col. Agr.G. El Progreso |                | Alta_x | .            | .            | 96           | .                  | 96           | 82           | -1.564             | .                  |
| 301280003     | Perote    | El Conejo               | 3020           | Alta_x | 398          | 430          | 872          | 2.868              | 872          | 996          | 1.338              | 8.762              |
| 301280013     | Perote    | Los Pescados            | 2980           | Alta_x | 506          | 705          | 1468         | 2.977              | 1468         | 1471         | 0.020              | 7.63               |
| 300010051     | Acajete   | Chorro de La Mula       | 2200           | Media  | .            | .            | .            | .                  | .            | 14           | .                  | .                  |
| 300010041     | Acajete   | Cienega del Venado      | 2680           | Media  | .            | .            | .            | .                  | .            | 5            | .                  | .                  |
| 300010003     | Acajete   | Colexta                 | 2400           | Media  | 143          | 254          | 122          | -2.891             | 122          | 51           | -8.352             | -14.83             |
| 300010025     | Acajete   | Cuesta del Vaquero      | 2880           | Media  | .            | .            | 85           | .                  | 85           | 53           | -4.614             | .                  |
| 300010018     | Acajete   | El Caño                 | 2820           | Media  | 113          | .            | 21           | .                  | 21           | 16           | -2.683             | .                  |
| 300010050     | Acajete   | El Cargadero            | 2060           | Media  | .            | .            | .            | .                  | .            | 1            | .                  | .                  |
| 300010053     | Acajete   | El Cucharillo           | 2088           | Media  | .            | .            | .            | .                  | .            | 10           | .                  | .                  |
| 300010026     | Acajete   | El Encinal 2            | 2400           | Media  | .            | .            | 124          | .                  | 124          | 13           | -20.191            | .                  |
| 300010055     | Acajete   | El Hilitar              | 2090           | Media  | .            | .            | .            | .                  | .            | 3            | .                  | .                  |
| 300010056     | Acajete   | El Juzgadillo           | 2030           | Media  | .            | .            | .            | .                  | .            | 39           | .                  | .                  |
| 300010011     | Acajete   | El Mirador              | 2560           | Media  | 61           | 305          | 56           | -6.555             | 56           | 22           | -8.920             | -23.12             |
| 300010031     | Acajete   | El Saucal               | 2400           | Media  | .            | .            | 57           | .                  | 57           | 63           | 1.006              | .                  |
| 300010017     | Acajete   | El Zapotal              | 2140           | Media  | 94           | .            | 218          | .                  | 218          | 132          | -4.893             | .                  |
| 300010043     | Acajete   | Loma del Muerto         | 2760           | Media  | .            | .            | 25           | .                  | 25           | 4            | -16.745            | .                  |



| IDE_LOC<br>INEGI | MUNICIPIO       | NOM_LOCALIDAD                               | ALTITUD<br>(msnm) | ZONA    | Pob_Tot<br>1960 | Pob_Tot<br>1970 | Pob_Tot<br>1995 | T.a.c.<br>1970-<br>1995<br>% | Pob_Tot<br>1995 | Pob_Tot<br>2005 | T.a.c.<br>1995-<br>2005<br>% | T.a.c.<br>1970-<br>2005<br>% |
|------------------|-----------------|---|-------------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| 300010028        | Acajete         | Loma Tejamanil                              | 2000              | Media   | .               | .               | 21              | .                            | 21              | 135             | 20.451                       | .                            |
| 300010010        | Acajete         | Mesa de La Yerba                            | 2020              | Media   | 244             | 345             | 286             | -0.747                       | 286             | 362             | 2.385                        | 0.48                         |
| 300010021        | Acajete         | Palo Blanco                                 | 2020              | Media   | .               | .               | 98              | .                            | 98              | 39              | -8.802                       | .                            |
| 300010045        | Acajete         | Pipincal                                    | 1889              | Media   | .               | .               | 34              | .                            | 34              | .               | .                            | .                            |
| 300010022        | Acajete         | Pueblo Viejo                                | 2400              | Media   | 95              | .               | 29              | .                            | 29              | 2               | -23.464                      | .                            |
| 300010023        | Acajete         | Tierra Prieta                               | 2780              | Media   | 135             | .               | 45              | .                            | 45              | 62              | 3.257                        | .                            |
| 300010016        | Acajete         | Vega de Pixquiac                            | 1700              | Media   | 80              | 183             | 9               | -11.351                      | 9               | 45              | 17.462                       | -13.09                       |
| 301820040        | Tlalnelhuayocan | Agüita Fría                                 | 1420              | Media   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 5               | 17.462                       | .                            |
| 301820017        | Tlalnelhuayocan | El Naranjo                                  | 1420              | Media   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 8               | 23.114                       | .                            |
| 301820046        | Tlalnelhuayocan | El Timbre                                   | 1440              | Media   | .               | .               | 10              | .                            | 10              | 21              | 7.702                        | .                            |
| 301820008        | Tlalnelhuayocan | Los Capulines                               | 1480              | Media   | .               | .               | 101             | .                            | 101             | 132             | 2.713                        | .                            |
| 301820030        | Tlalnelhuayocan | Mesa de Gómez                               |                   | Media   | .               | .               | .               | .                            | .               | 4               | .                            | .                            |
| 301820048        | Tlalnelhuayocan | Plan de Mesa Chica<br>(Mesa Chica)          | 1470              | Media   | .               | .               | 85              | .                            | 85              | 158             | 6.396                        | .                            |
| 301820049        | Tlalnelhuayocan | Potrerosillos (Mesa de la<br>Yerba)         | 1480              | Media   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 27              | 39.039                       | .                            |
| 301820039        | Tlalnelhuayocan | Rancho Calihuayan                           | 1420              | Media   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 2               | 7.177                        | .                            |
| 301820003        | Tlalnelhuayocan | Rancho Viejo                                | 1420              | Media   | 124             | 200             | 458             | 3.370                        | 458             | 786             | 5.549                        | 14.67                        |
| 301820020        | Tlalnelhuayocan | Tejocotal                                   | 1580              | Media   | .               | .               | 80              | .                            | 80              | 143             | 5.980                        | .                            |
| 301820004        | Tlalnelhuayocan | San Antonio Hidalgo                         | 1420              | Media_x | .               | .               | 668             | .                            | 668             | 838             | 2.293                        | .                            |
| 300380135        | Coatepec        | Barataria (Sta. Teresita-<br>Rancho Alegre) | 1300              | Baja    | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 4               | 14.870                       | .                            |
| 300380136        | Coatepec        | Benito Juárez                               | 1300              | Baja    | .               | .               | 82              | .                            | 82              | 136             | 5.190                        | .                            |
| 300380034        | Coatepec        | Bola de Oro                                 | 1300              | Baja    | .               | .               | 12              | .                            | 12              | 10              | -1.807                       | .                            |
| 300380075        | Coatepec        | Chopantla                                   | 1300              | Baja    | .               | .               | 129             | .                            | 129             | 141             | 0.893                        | .                            |
| 300380048        | Coatepec        | Cinco Palos                                 | 1520              | Baja    | .               | .               | 459             | .                            | 459             | 586             | 2.473                        | .                            |

| IDE_LOC<br>INEGI | MUNICIPIO | NOM_LOCALIDAD                  | ALTITUD<br>(msnm) | ZONA | Pob_Tot<br>1960 | Pob_Tot<br>1970 | Pob_Tot<br>1995 | T.a.c.<br>1970-<br>1995<br>% | Pob_Tot<br>1995 | Pob_Tot<br>2005 | T.a.c.<br>1995-<br>2005<br>% | T.a.c.<br>1970-<br>2005<br>% |
|------------------|-----------|--------------------------------|-------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| 300380001        | Coatepec  | Coatepec                       | 1200              | Baja | .               | .               | 42462           | .                            | 42462           | 49608           | 1.568                        | .                            |
| 300380109        | Coatepec  | Colonia 6 de Enero             | 1300              | Baja | .               | .               | 292             | .                            | 292             | 297             | 0.170                        | .                            |
| 300380003        | Coatepec  | Consolapan                     | 1200              | Baja | 624             | 478             | 370             | -1.019                       | 370             | 353             | -0.469                       | -2.99                        |
| 300380004        | Coatepec  | Cauhtémoc                      | 1400              | Baja | 327             | 486             | 557             | 0.547                        | 557             | 682             | 2.045                        | 3.45                         |
| 300380068        | Coatepec  | El Arenal                      | 1220              | Baja | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 3               | 11.612                       | .                            |
| 300380025        | Coatepec  | El Atorón                      | 1250              | Baja | .               | .               | 62              | .                            | 62              | 43              | -3.593                       | .                            |
| 300380044        | Coatepec  | El Cedro                       | 1300              | Baja | .               | .               | 15              | .                            | 15              | 21              | 3.422                        | .                            |
| 300380006        | Coatepec  | El Grande                      | 1080              | Baja | .               | .               | 914             | .                            | 914             | 942             | 0.302                        | .                            |
| 300380137        | Coatepec  | El Guayabal                    | 1400              | Baja | .               | .               | 1               | .                            | 1               | .               | .                            | .                            |
| 300380110        | Coatepec  | El Guitarrero                  | 1340              | Baja | .               | .               | 11              | .                            | 11              | .               | .                            | .                            |
| 300380207        | Coatepec  | Entrada a La Orduña            | 1200              | Baja | .               | .               | 35              | .                            | 35              | 17              | -6.967                       | .                            |
| 300380210        | Coatepec  | Granja El Aguacate             | 1220              | Baja | .               | .               | 1               | .                            | 1               | .               | .                            | .                            |
| 300380024        | Coatepec  | La Calera                      | .                 | Baja | .               | .               | .               | .                            | .               | .               | .                            | .                            |
| 300380043        | Coatepec  | La Herradura                   | 1400              | Baja | .               | .               | 49              | .                            | 49              | 152             | 11.986                       | .                            |
| 300380014        | Coatepec  | La Orduña                      | 1160              | Baja | 1080            | 1205            | 1472            | 0.804                        | 1472            | 1551            | 0.524                        | 2.56                         |
| 300380208        | Coatepec  | La Pedrera                     | 1200              | Baja | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 15              | 31.102                       | .                            |
| 300380022        | Coatepec  | La Pitaya<br>(Cong.Zoncuantla) | 1300              | Baja | 450             | .               | 240             | .                            | 240             | 347             | 3.756                        | .                            |
| 300380170        | Coatepec  | Las Cañadas                    | 1260              | Baja | .               | .               | 7               | .                            | 7               | 3               | -8.124                       | .                            |
| 300380030        | Coatepec  | Las Lajas                      | 1400              | Baja | .               | .               | 1               | .                            | 1               | .               | .                            | .                            |
| 300380088        | Coatepec  | Mariano Escobedo               | 1250              | Baja | .               | .               | 408             | .                            | 408             | 551             | 3.050                        | .                            |
| 300380159        | Coatepec  | Plan de la Cruz                | 1220              | Baja | .               | .               | 36              | .                            | 36              | 81              | 8.447                        | .                            |
| 300380016        | Coatepec  | Puente Seco (Campo<br>Viejo)   | 1120              | Baja | .               | .               | 9               | .                            | 9               | 48              | 18.222                       | .                            |
| 300380223        | Coatepec  | Rancho La Esmeralda            | 1300              | Baja | .               | .               | .               | .                            | .               | 4               | .                            | .                            |

| IDE_LOC<br>INEGI | MUNICIPIO      | NOM_LOCALIDAD                         | ALTITUD<br>(msnm) | ZONA   | Pob_Tot<br>1960 | Pob_Tot<br>1970 | Pob_Tot<br>1995 | T.a.c.<br>1970-<br>1995<br>% | Pob_Tot<br>1995 | Pob_Tot<br>2005 | T.a.c.<br>1995-<br>2005<br>% | T.a.c.<br>1970-<br>2005<br>% |
|------------------|----------------|---------------------------------------|-------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| 300380197        | Coatepec       | Rancho Las Minas<br>(Vereda Tropical) | 1200              | Baja   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 3               | 11.612                       | .                            |
| 300380160        | Coatepec       | San Jacinto                           | 1240              | Baja   | .               | .               | 168             | .                            | 168             | 181             | 0.748                        | .                            |
| 300380139        | Coatepec       | San Juan                              | 1220              | Baja   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | .               | .                            | .                            |
| 300380195        | Coatepec       | Segunda del Cedro                     | 1400              | Baja   | .               | .               | 25              | .                            | 25              | 18              | -3.232                       | .                            |
| 300380138        | Coatepec       | Tixtla                                | 1300              | Baja   | .               | .               | 19              | .                            | 19              | 11              | -5.319                       | .                            |
| 300380196        | Coatepec       | Tres Marías                           | 1540              | Baja   | .               | .               | 17              | .                            | 17              | .               | .                            | .                            |
| 301820047        | Tlalnahuayocan | Chilacayotes                          | 1420              | Baja   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 23              | 36.827                       | .                            |
| 301820011        | Tlalnahuayocan | Rancho 2 y 2                          | 1440              | Baja   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 1               | 0.000                        | .                            |
| 301820042        | Tlalnahuayocan | Rancho El Pilar                       | 1400              | Baja   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | .               | .                            | .                            |
| 301820050        | Tlalnahuayocan | Rancho Kalimba                        | 1440              | Baja   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 11              | 27.098                       | .                            |
| 301820012        | Tlalnahuayocan | Rancho Loma<br>Escondida              | 1390              | Baja   | .               | .               | 10              | .                            | 10              | .               | .                            | .                            |
| 301820037        | Tlalnahuayocan | Rancho Ololiuhqui                     | 1400              | Baja   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | 3               | 11.612                       | .                            |
| 301820038        | Tlalnahuayocan | Valle Escondido<br>(Piedra Parada)    | 1440              | Baja   | .               | .               | 1               | .                            | 1               | .               | .                            | .                            |
| 300380031        | Coatepec       | Briones                               | 1340              | Baja_x | .               | .               | 221             | .                            | 221             | 237             | 0.701                        | .                            |
| 300380021        | Coatepec       | Zimpizahua                            | 1100              | Baja_x | .               | .               | 657             | .                            | 657             | 745             | 1.265                        | .                            |
| 300870001        | Xalapa         | Xalapa                                |                   | Baja_x | .               | .               | 324081          | .                            | 324081          | 387879          | 1.813                        | .                            |

## ANEXO 2: CATEGORÍAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO UTILIZADAS EN LOS MAPAS DE 1975, 1995 Y 2004

**Cuadro A. Clasificación de tipos de cobertura y uso del suelo, utilizadas en el mapa del 2004.**

| Categorías<br>Análisis de CUS  | Categorías agregadas y las clases de Cobertura y Uso del Suelo utilizadas en los mapas de trabajo (2004) |                                      |
|--------------------------------|--|--------------------------------------|
| <b>Bosque cerrado</b>          | BMM y<br>Acahual<br>cerrado  | Bosque mesófilo de montaña - denso   |
|                                |  | Acahual cerrado de BMM               |
|                                |  | con plantación y veg.arbustiva       |
|                                |  | con parcela pastizal y pesma         |
|                                |  | con parcelas de pastizal             |
|                                |  | con parcelas de veg.arbustiva        |
|                                |  | y plantación frutales                |
|                                |  | y plantación forestal                |
|                                |  | y bosque galería                     |
|                                | con parcelas cafetal sombra  |                                      |
|                                | Bosque<br>coníferas y<br>mixto   | Bosque cerrado                       |
|                                |  | Bosque cerrado joven                 |
|                                |  | con parcelas de pastizal             |
|                                |  | Bosque cerrado coníferas con manejo  |
| joven, con plantación forestal |  |                                      |
| y bosque de galería            |  |                                      |
| Bosque de<br>galería           | y acahual cerrado BMM  |                                      |
|                                | y parcelas cafetal sombra  |                                      |
| Cafetal de<br>sombra           | Cafetal de sombra  |                                      |
|                                | y parcelas caña  |                                      |
| <b>Bosque abierto</b>          | Acahual<br>abierto BMM   | Acahual abierto BMM                  |
|                                |  | con veg.arbustiva                    |
|                                |  | con veg.arbustiva y pastizal         |
|                                |  | y parcelas pastizal                  |
|                                |  | con pastizal y zona urbana           |
|                                | Bosque abierto<br>(coníferas y<br>mixto)   | Bosque abierto (coníferas y mixto)   |
|                                |  | coníferas con manejo silvícola       |
|                                |  | y frag. Bosque denso joven           |
|                                |  | con veg.arbustiva                    |
|                                |  | con pastizal                         |
|                                |  | con pastizal y veg.arbustiva         |
|                                | Bosque ripario   | Bosque abierto de galería y pastizal |

|   |  |                                    |
|---|--|------------------------------------|
| <b>Bosque abierto</b>                         | Plantación forestal                                  | Plantación forestal (joven)        |
|   |  | y veg.arbustiva                    |
|   |  | y acahual abierto BMM              |
|   |  | y acahual cerrado BMM              |
|   |  | Plantación frutales                |
|   |  | con pastizal                       |
|   | Vegetación arbustiva                                 | con veb.arbustiva                  |
|   |  | Vegetación arbustiva               |
|   |  | y frag. Bosque abierto             |
|   |  | y acahual abierto BMM              |
|   |  | y frag. Bosque joven               |
|   |  | y plantación forestal              |
|   |  | y ciénaga                          |
|   |  | y arboles aislados                 |
|   |  | con árboles aislados y pastizal    |
|   |  | y parcelas de pastizal             |
|   |  | con árboles aislados y agricultura |
|   |  | con árboles aislados y zona urbana |
|   |  | <b>Agropecuario</b>                |
| Agricultura de caña y parcelas cafetal sombra |  |                                    |
| Agricultura de caña y parcelas cafetal sol    |  |                                    |
| Agricultura de caña y parcelas pastizal       |  |                                    |
| con árboles aislados                          |  |                                    |
| con árboles aislados y veg.arbustiva          |  |                                    |
| con árboles aislados y zona urbana            |  |                                    |
| con árboles aislados, pastizal y zona urbana  |  |                                    |
| con árboles aislados y suelo desnudo          |  |                                    |
| con parcelas veg. arbustiva                   |  |                                    |
| con parcelas pastizal y arboles aislados      |  |                                    |
| con parcelas pastizal y veg.arbustiva         |  |                                    |
| con parcelas de pastizal                      |  |                                    |
| con parcelas de pastizal y zona urbana        |  |                                    |
| con parcelas cafetal sombra                   |  |                                    |
| con zona urbana y caminos                     |  |                                    |
| Cafetal sol                                   | Cafetal de sol                                       |                                    |
|   | y parcelas pastizal                                  |                                    |
|   | y parcelas agrícolas                                 |                                    |
| Pastizal                                      | Pastizal   |                                    |
|   | con árboles aislados                                 |                                    |
|   | con árboles aislados y veg.arbustiva                 |                                    |
|   | natural con árboles aislados, veg.arbutiva y cienaga |                                    |
|   | con árboles aislados y parcelas agrícolas            |                                    |
|   | con árboles aislados y zona urbana                   |                                    |
|   | con parcelas de veg.arbustiva                        |                                    |
|   | con veg.arbustiva y parcelas agrícolas               |                                    |
|   | con frag.acahual BMM cerrado                         |                                    |
|   | y plantaciones forestales                            |                                    |
|   | con parcelas cafetal de sombra y zona urbana         |                                    |

|   |                     |   |
|---|---------------------|---|
|   |                     | con parcelas agrícolas                    |
|   |                     | y parcelas agrícolas con árboles aislados |
|   |                     | con parcelas agrícolas y veg.arbustiva    |
|   |                     | y parcelas agrícolas y zona urbana        |
|   |                     | pastizal natural con ciénaga              |
|   |                     | natural con Ciénega y veg.arbustiva       |
|   |                     | con zona urbana                           |
|   |                     | con presa y zona urbana                   |
|   |                     | con zona urbana                           |
|   |                     | y caminos                                 |
| <b>Sin vegetación aparente, zonas urbanas y caminos</b> | Zona urbana y rural | Zona urbana                               |
|   |                     | y caminos                                 |
|   |                     | y arboles aislados                        |
|   |                     | con parcelas de pastizal                  |
|   |                     | con parcelas agrícolas                    |
|   |                     | con parcelas cafetal sombra               |
|   | Suelo desnudo       | Suelo desnudo - minas                     |

**Cuadro B. Clasificación del tipo de cobertura y uso del suelo, utilizadas en el mapa de 1995.**

| <b>Categorías<br/>Análisis de CUS</b> | <b>Categorías agregadas y las clases de Cobertura y Uso del Suelo<br/>utilizadas en los mapas de trabajo (1995)</b> |   |
|---------------------------------------|---|---|
| <b>Bosque cerrado</b>                 | Bosque denso  | Bosque denso  |
|                                       |   | con parcelas de plantación forestal                 |
|                                       |   | joven (acahual)                                     |
|                                       |   | y bosque de galería                                 |
|                                       |   | y parcelas de veg.arbustiva                         |
|                                       |   | y parcelas cafetal sombra                           |
|                                       | Cafetal sombra  | y parcelas agropecuarias                            |
|                                       |   | y zona urbana                                       |
| <b>Bosque abierto</b>                 | Bosque abierto  | Bosque abierto                                      |
|                                       |   | con plantación forestal                             |
|                                       |   | joven (acahual)                                     |
|                                       |   | con frag.bosque denso                               |
|                                       |   | con bosque ripario                                  |
|                                       |   | con veg.arbustiva                                   |
|                                       |   | con veg.arbustiva y parcelas bosque joven (acahual) |
|                                       |   | con veg.arbustiva y arboles aislados                |
|                                       |   | con veg.arbustiva, arboles aislados y pastizal      |
|                                       |   | con veg.arbustiva y pastizal                        |
|                                       |   | con veg.arbustiva y parcelas agropecuarias          |
|                                       |   | con parcelas cafetal sombra                         |
|                                       |   | con zacatonal                                       |
| con agricultura                       |   |   |
|                                       | con pastizal  |   |

|  |   |  |                         |
|--|---|--|-------------------------|
| <b>Agropecuario</b>  | <b>Agricultura</b>                                      | Agricultura (papa, maíz, caña)                 |                         |
|  |   | con árboles aislados                           |                         |
|  |   | con parcelas de veg.arbustiva                  |                         |
|  |   | con zona urbana                                |                         |
|  | <b>Agropecuario</b>                                     | Agropecuario                                   |                         |
|  |   | Agricultura con pastizal                       |                         |
|  |   | con árboles aislados                           |                         |
|  |   | con árboles aislados y zona urbana             |                         |
|  |   | con árboles aislados y veg. Arbustiva          |                         |
|  |   | con veg.arbustiva                              |                         |
|  |   | con frag.bosque bajo (acahual)                 |                         |
|  |   | con frag.bosque joven (acahual)                |                         |
|  | <b>Pastizal</b>   | Pastizal                                       |                         |
|  |   | y parcelas agrícolas                           |                         |
|  |   | y parcelas agrícolas con árboles aislados      |                         |
|  |   | y parcelas agrícolas con veg. Arbustiva        |                         |
|  |   | con árboles aislados                           |                         |
|  |   | con árboles aislados y Ciénegas                |                         |
|  |   | con árboles aislados y zona urbana             |                         |
|  |   | natural y ciénegas                             |                         |
|  |   | con veg. Arbustiva                             |                         |
|  |   | con veg. Arbustiva y parcelas agrícolas        |                         |
|  |   | con veg. Arbustiva y arboles aislados          |                         |
|  |   | con frag.bosque bajo (acahual)                 |                         |
|  |   | con frag.de suelo desnudo                      |                         |
|  |   | con frag.de suelo desnudo                      |                         |
|  | con zona urbana   |  |                         |
|  | <b>Cafetal sol</b>                                      | Cafetal de sol                                 |                         |
|  |   | y frag. Bosque abierto                         |                         |
|  |   | y zona urbana                                  |                         |
|  | <b>Zonas urbanas, sin vegetación aparente y caminos</b> | <b>Suelo desnudo, sin vegetación aparente</b>  | Sin vegetación aparente |
|  |   |  | y parcelas de pastizal  |
|  |   |  | y parcelas de pastizal  |
| y parcelas de zacatonal                                    |   |  |                         |
| <b>Asentamientos humanos (urbanos y rurales) y caminos</b> |   | Zona urbana                                    |                         |
|  |   | con parcelas agrícolas                         |                         |
|  |   | con árboles aislados                           |                         |
|  |   | con caminos                                    |                         |
|  |   | con parcelas de cafetal sombra                 |                         |
|  |   | parcelas de cafetal sombra y parcelas pastizal |                         |
|  |   | con parcelas de cafetal sol                    |                         |
|  |   | con parcelas pastizal                          |                         |

**Cuadro C. Clasificación del tipo de categorías de cobertura y uso del suelo, utilizadas en el mapa de 1975.**

| Categorías<br>Análisis de CUS   | Categorías agregadas y las clases de Cobertura y Uso del Suelo<br>utilizadas en los mapas de trabajo (1975) |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>Bosque cerrado</b>           | Bd - BMM  | Bosque mesofilo de montaña - denso          |
|                                 |   | y parcelas con veg. Arbustiva               |
|                                 |   | y bosque de galería                         |
|                                 |   | y parcelas de cafetal                       |
|                                 |   | y parcelas agropecuarias                    |
|                                 | Bd - Coníferas y Mixto  | Bosque coníferas - denso                    |
|                                 |   | Bosque mixto - denso                        |
|                                 |   | joven (achual)                              |
|                                 | Bd - ripario  | Bosque galería denso                        |
|                                 |   | y BMM                                       |
| Cafetal de sombra               | Cafetal sombra  |   |
| <b>Bosque abierto</b>           | Ba -BMM   | Bosque abierto BMM                          |
|                                 |   | con parcelas agrícolas y veg.arbustiva      |
|                                 |   | y pastizal inducido                         |
|                                 |   | y agricultura                               |
|                                 |   | con veg. arbustiva                          |
|                                 |   | y cafetal                                   |
|                                 |   | con frag. Bosque denso                      |
|                                 | Ba - Coníferas y Mixto  | y bosque de galería                         |
|                                 |   | Bosque coníferas - abierto                  |
|                                 |   | y pastizal natural                          |
|                                 |   | y veg. arbustiva                            |
|                                 |   | con agricultura                             |
|                                 |   | con pastizal natural y agricultura          |
|                                 |   | con pastizal natural y veg.arbustiva        |
|                                 |   | Bosque abierto mixto                        |
| Ba - ripario                    | con frag. Bosque denso  |   |
|                                 | con frag. bosque denso y veg. Arbustiva   |   |
| Plantación                      | con pastizal inducido y veg.arbustiva   |   |
| <b>Agropecuario</b>             | Agricultura   | Plantación forestal (joven)                 |
|                                 |   | Agricultura (papa, maíz, caña)              |
|                                 |   | con fragm. bosque de galería                |
|                                 |   | con fragm. de BMM                           |
|                                 |   | y parcelas de cafetal sombra                |
|                                 |   | con árboles aislados                        |
|                                 |   | con veg. arbustiva                          |
|                                 |   | Agric. y pastizal inducido                  |
|                                 | Cafetal sol   | Agric. y past. natural con árboles aislados |
|                                 |   | con árboles aislados y casas                |
| Pastizal inducido<br>(potreros) | Cafetal sol   |   |
|                                 | Pastizal inducido (potreros)<br>y parcelas agrícolas  |   |



|   |  |                              |
|---|--|------------------------------|
|   |  | y arboles aislados           |
|   |  | con veg. arbustiva           |
|   |  | y fragm. BMM                 |
|   |  | y caminos                    |
|   | Pastizal natural (zacatonal)                     | Pastizal natural (zacatonal) |
|   |  | con árboles aislados         |
|   |  | y parcelas agrícolas         |
|   |  | y veg. arbustiva             |
| <b>Zonas urbanas, sin veg. aparente y caminos</b> | Sin vegetación aparente, zonas urbanas y caminos | y fragmentos de bosque       |
|   |  | Asentamiento humano          |
|   |  | Vías de comunicación         |
|   |  | Sin vegetación aparente      |

---

## ANEXO 3: EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL MAPA 2004, PARA DOS CLASIFICACIONES

---

La confiabilidad de una tasa de cambio de uso del suelo depende de la calidad de las fuentes de información utilizadas, es decir la precisión de los mapas base (Couturier, 2009; Mas, 2009). En este estudio se optó por utilizar una matriz de error o confusión para evaluar la confiabilidad del mapa 2004. Este procedimiento mide el porcentaje de aciertos del mapa y genera un índice de confiabilidad del mismo a partir de comparar los puntos de verificación de campo con la clasificación del mapa.

Se utilizó el módulo del ArcView3.3 correspondiente al Análisis Kappa (Jenness y Wynne 2007), que mide la diferencia entre el valor observado en campo (*productor*) y el valor predictivo del mapa (*usuario*), y estima diferentes tipos de error. El Índice Kappa (KHAT) fluctúa entre 0 y 1, donde los valores cercanos a 1 representan la mayor correspondencia entre lo observado (en campo) y lo esperado (en el mapa). Es decir, con que exactitud el mapa predice lo que se va a encontrar en campo, o que tan confiable es la clasificación utilizada en el mapa para el usuario (Jenness y Wynne 2007: 11). Las estadísticas del Índice KAPPA miden la probabilidad de que el modelo se comporte mejor que una predicción al azar, respecto a la distribución de las clases de cobertura presentes en el paisaje.

Este procedimiento se utilizó para evaluar dos opciones de clasificación de cobertura y uso del suelo: la primera correspondió a 12 categorías (CUS-12) y la segunda a las 4 categorías (CUS-4) ya presentadas, con el fin de elegir la que presentara mayor precisión (cuadro a). La agregación con 4 categorías presentó los menores niveles de error, por lo que se utiliza para el análisis de cambio de uso de suelo. El mapa con 12 categorías tuvo un rango de error alto (49%) y un Índice Kappa bajo (39%). Los cuadros b y c presentan de forma comparativa los resultados del análisis Kappa, para las dos opciones 4 y 12 categorías.

En la clasificación CUS-4 (cuadro d) tres categorías de cuatro obtuvieron valores altos tanto para el productor (agropecuario 75%, bosque cerrado 77% y zonas urbanas/sin vegetación 74%), como para el usuario (con valores de 66%, 75% y 76% respectivamente). Sin embargo, la categoría *bosque abierto* mostró menor concordancia entre la exactitud del productor y el usuario (cuadro d), esto refleja la dificultad para identificar esta condición en campo (34% para el productor) derivada en parte por la diferencia en las fechas entre el mapa y las verificaciones de campo en una zona donde la vegetación es muy dinámica (48% para el usuario) y porque es una categoría con gran diversidad de condiciones como ya se expuso anteriormente.

En términos generales se consideró que un valor Kappa de 54% para el mapa 2004 con estas cuatro categorías (CUS – 4), cuya exactitud general fue de 69%, es aceptable pues tres de ellas obtuvieron valores arriba del 70%. Por otra parte, este nivel de agregación permite hacer una comparación más precisa entre categorías para analizar las tendencias de cambio de uso del suelo en varios periodos.

**Cuadro A. Dos niveles de agregación de la tipología de cobertura y uso del suelo, utilizados en el análisis Kappa.**

| Categorías agregadas (CUS – 4)  | Categorías desagregadas (CUS- 12)                               |
|---|---|
| bd – bosque cerrado   | bd – bosque cerrado   |
|   | cfc – cafetal de sombra   |
| ba – bosque abierto   | ba – bosque abierto   |
|   | bavar – bosque abierto con vegetación arbustiva                 |
|   | var – vegetación arbustiva                                      |
| agr – agropecuario (agricultura y pastizales ganaderos y zacatonales) | agr – uso agropecuario  |
|   | agraa – uso agropecuario con árboles aislados                   |
|   | agrvar – uso agropecuario con vegetación arbustiva              |
|   | zac – zacatonal de altura (pastizal natural)                    |
|   | zaca – zacatonal con árboles aislados                           |
| sv_zu – sin vegetación aparente, zonas urbanas y caminos.             | sv_zu – sin vegetación aparente, minas, zonas urbanas y caminos |

**Cuadro B. Análisis de confiabilidad de las categorías del mapa 2004 (CUS – 4): Matriz de error y estadísticas Kappa**

| Clasificación del Mapa 2004 (CUS-4)                    | Puntos de verificación (campo) |           |            |           |       | Exactitud del Productor (%) |
|--|--------------------------------|-----------|------------|-----------|-------|-----------------------------|
|  | Agr                            | ba        | bc         | sv_zu     | Total |                             |
| Agropecuario (agr)                                     | <b>135</b>                     | 25        | 37         | 7         | 204   | 75                          |
| Bosque abierto (ba)                                    | 15                             | <b>32</b> | 18         | 2         | 67    | 34                          |
| Bosque cerrado (bc)                                    | 25                             | 38        | <b>208</b> | 5         | 276   | 77                          |
| Sin veget/z.urbanas (sv_zu)                            | 5                              | 0         | 7          | <b>39</b> | 51    | 74                          |
| Total  | 180                            | 95        | 270        | 53        | 598   | 100                         |
| Exactitud del Usuario (%)                              | 66                             | 48        | 75         | 76        | 100   |                             |
| <b>Exactitud general (414/598) = 69.2%; Kappa 0.54</b> |                                |           |            |           |       |                             |

**Cuadro C. Estadísticas del Índice KAPPA para las dos opciones de clasificación.**

|                 | Exactitud gral. | KHAT            | VARIANCE   | Z      | P         |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------|--------|-----------|
| <b>CUS – 4</b>  | <b>69.2%</b>    | <b>0.536309</b> | 0.00077655 | 19.245 | < 0.00001 |
| <b>CUS - 12</b> | <b>51%</b>      | <b>0.392971</b> | 0.00053709 | 16.957 | < 0.00001 |

**Cuadro D. Estadísticas generales Kappa para las dos clasificaciones.**

| <b>Parámetros</b>                            | <b>CUS - 4 categorías</b>  | <b>CUS - 12 categorías</b> |
|--|--|----------------------------|
| Exactitud general:                           | (414 / 598) = 69.23%   | (304 / 598) = 51%          |
| Tasa de clasificación errada:                | (184 / 598) = 30.76%   | (294 / 598) = 49%          |
| Sensitividad general:                        | 69.23%   | 51%                        |
| Especificidad general:                       | 89.74%   | 95%                        |
| Error de omisión general:                    | 30.76%   | 49%                        |
| Error de Comisión general:                   | 10.25%   | 5%                         |
| <b>Definición de los parámetros:</b>         |  |                            |
| <i>Exactitud general (Overall accuracy):</i> | Número de puntos correctamente clasificados, sobre el número total de puntos.  |                            |
| <i>Tasa de clasificación errada:</i>         | Número de puntos incorrectamente clasificados, sobre el número total de puntos.  |                            |
| <i>Sensitividad:</i>                         | Probabilidad de que un punto de muestreo sea clasificado como X, cuando realmente lo es; es una estimación similar a la “exactitud del productor”. |                            |
| <i>Especificidad:</i>                        | Probabilidad de que un punto de verificación no sea clasificado como X, cuando no lo es.   |                            |
| <i>Error de Omisión:</i>                     | Proporción de puntos incorrectamente clasificados como X, cuando si lo eran.   |                            |
| <i>Error de Comisión:</i>                    | Proporción de puntos incorrectamente clasificados como X, cuando se observó que no eran.   |                            |

## ANEXO 4: LISTADO DE VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES, Y RESULTADO DEL ÍNDICE MORAN PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS AL AZAR

### A. Lista de variables dependientes e independientes y sus fuentes, utilizadas como capas georeferenciadas en el análisis logístico

| TEMA                                   | FUENTES DE INFORMACIÓN  | VARIABLES<br>(capas geo-referenciadas)  |
|--|---|---|
| <b>I. Variables dependientes:</b>      |   |   |
| Cambio de cobertura y uso del suelo    | Mapas con zonificación de la subcuenca (Paré y Gerez, 2012).  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 9 capas Deforestación (tres periodos y tres zonas).</li> <li>• 9 capas Recuperación (tres periodos y tres zonas).</li> <li>• 9 capas Conservación (tres periodos y tres zonas).</li> </ul> |
|  | Mapas de cambio, generados para los periodos: 1975-1995, 1995-2004 y 1975-2004  |   |
| <b>II. Variables independientes:</b>   |   |   |
| Medio físico (geo-físico-ambiental)    | INEGI:<br>Mapas de isoyetas e isothermas esc. 1:250,000;<br>Mapa topográfico esc. 1:50,000.<br>NASA:<br>ASTER Global Digital Elevation Model V002 (ASTGTM) esc. 1:50,000, obtenido el 19/11/2011:<br><a href="http://gcmd.nasa.gov/index.html">http://gcmd.nasa.gov/index.html</a> ;<br><a href="http://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&amp;KeywordPath=[ISO_Topic_Category%3D%27ELEVATION%27]&amp;OrigMetadataNode=GCMD&amp;EntryId=ASTGTM2&amp;MetadataView=Full&amp;MetadataType=0&amp;Ibnode=mdlb4">http://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&amp;KeywordPath=[ISO_Topic_Category%3D%27ELEVATION%27]&amp;OrigMetadataNode=GCMD&amp;EntryId=ASTGTM2&amp;MetadataView=Full&amp;MetadataType=0&amp;Ibnode=mdlb4</a> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Isoyetas,</li> <li>• isothermas,</li> <li>• red hidrológica</li> <br/> <li>• modelo digital de terreno (altitud)</li> <li>• pendientes (inclinación),</li> <li>• orientación</li> </ul>    |
|  | INECOL:<br>Mapa de geomorfología cuenca alta del río La Antigua, esc. 1:50,000 (Geissert y Meza, 2007).   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de suelos</li> </ul>  |
| Infraestructura. Vías de comunicación. | Mapas generados para la subcuenca INEGI:<br>Mapa de las localidades ITER 2005, ajustado y actualizado sobre ortofoto 2004 y recorridos de campo.<br>Trama de caminos convertida a mapa de distancia.  | Capas (4) con distancia a caminos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• carretera asfaltada y calles</li> <li>• terracería y brecha</li> <li>• veredas</li> <li>• Todos los caminos</li> </ul>                                  |

| TEMA  | FUENTES DE INFORMACIÓN  | VARIABLES<br>(capas geo-referenciadas)   |
|---|---|--|
| <b>II. Variables independientes (continuación):</b>                               |   |  |
| Demografía (Social)   | INEGI:<br>Mapa de las localidades ITER 2005, sobre las cuales se registraron los datos de población de los censos. Su ubicación fue actualizada sobre ortofoto 2004 y con recorridos de campo | Distancia a Localidades rurales y urbanas (una capa para cada año y para cada periodo con tasa de crecimiento estimado):<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Dist. Loc.- Población total por localidad 1970</li> <li>• Dist. Loc.- Población total por localidad 1995</li> <li>• Dist. Loc.- Población total por localidad 2005</li> <li>• Dist. Loc.- Tasa crec. poblacional 1970-1995</li> <li>• Dist. Loc.- Tasa crec. poblacional 1995-2005</li> <li>• Dist. Loc.- Tasa crec. poblacional 1970-2005</li> </ul> |
|   | INEGI: censos de población 1979, 1990, 1995, 2000, 2005   |  |
|   | Estimación de tasas de crecimiento, con fórmula de crecimiento geométrico   |  |
| Tipo de propiedad de la tierra (Social)   | RAN e INEGI:<br>Mapas con polígonos de los ejidos y datos del RAN.<br>Entrevistas a ejidatarios y propietarios privados   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de propiedad ejidal y privada</li> <li>• Ejidos parcelados</li> <li>• Ejidos con áreas de uso común</li> </ul>   |
| Programas de apoyo gubernamental (Políticas de conservación y manejo sustentable) | Parque Nacional Cofre de Perote – PNCP (delimitado en curvas de nivel INEGI)  | Capas con:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Polígono del PNCP (3000 msnm)</li> </ul>  |
|   | CONAFOR - SEMARNAT.<br>Recorridos en campo y entrevistas con productores. Se generó mapa con distancia a localidades involucradas en los programas.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia a localidades con predios<sup>19</sup> inscritos en manejo forestal regulado (legal) entre 1989 y 2004.</li> <li>• Polígonos de predios inscritos en el PSAH de 2003 y 2004 dentro de la subcuena<sup>20</sup>.</li> </ul>  |
|   | PRODICOP (1988-1994): documentos y entrevistas a exfuncionarios de este programa.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia a localidades donde hubo acciones del programa de control del pastoreo libre y reforestación (1988-94).</li> </ul>  |
| Cafecultores (Económico-productiva)   | Padrón de parcelas con café de sombra, aportado por el proyecto BioCafé-INECOL, Dr. Robert Manson.  | Capa con:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Polígonos de los predios registrados como cafecultores</li> </ul>  |
| Principales productos agropecuarios (Económico-productiva)                        | Mapa 2004 y Mapa 1975 con zonificación de productos agropecuarios: papa, ganadería lechera y maíz, café y caña.<br>Estadísticas, publicaciones especializadas y entrevistas a productores     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capa con Zonificación agroproductiva 1975,</li> <li>• Capa con Zonificación agroproductiva 2004.</li> </ul>   |

<sup>19</sup>Las coordenadas geográficas de los predios autorizados con manejo forestal fueron solicitadas por escrito a SEMARNAT, seis meses después la solicitud se turnó al IFAI; un año pasó sin respuesta. Por ello se recurrió a ubicar geográficamente las localidades más cercanas a dichos predios.

<sup>20</sup>Se incluyeron con la idea de analizar los polígonos inscritos, sobre todo como referencia para la discusión sobre “línea base” y “adicionalidad”, más que para evaluar su efecto pues su incorporación a PSAH es muy reciente.

**B. Resultados del Índice Moran para las capas de variables dependientes con puntos al azar**

| Capa – variable dependiente (muestreo)   | No. Puntos al azar (en cada zona-estrato) | Índice de Moran | Z Score (Desv. est.) |
|--|---|-----------------|----------------------|
| D75_95   | 40  | 0.03            | 0.49                 |
| D95_04   | 45  | 0.03            | 0.61                 |
| D75_04   | 40  | 0.02            | 0.41                 |
| R75_95   | 45  | 0.02            | 0.43                 |
| R95_04   | 45  | -0.04           | -0.53                |
| R75_04   | 40  | 0.01            | 0.31                 |
| C75_95   | 35  | 0.09            | 1.3                  |
| C95_04   | 35  | 0.07            | 1.02                 |
| C75_04   | 35  | 0.07            | 1.09                 |
| Variables dependientes: D-deforestación, R-recuperación, C-conservación.                         |   |                 |                      |
| Para todas las capas se utilizaron puntos distribuidos al azar, comprobados con el Índice Moran. |   |                 |                      |