



CIGA
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL
U N A M



Análisis de cambio de cobertura y uso del suelo, escenario de referencia de carbono y diseño preliminar del mecanismo de Monitoreo, Reporte y Verificación en los diez municipios de la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila, Jalisco.

Informe Final

Resumen de Resultados

10 de Mayo de 2012

**Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)**



**Centro Universitario de la Costa Sur (CUCSUR)
Universidad de Guadalajara (UDG)**



Datos Generales del Proyecto

Título del Convenio JIRA-UNAM:

Análisis de cambio de cobertura y uso del suelo, escenario de referencia de carbono y diseño preliminar del mecanismo MRV en la JIRA.

Período de ejecución:

1º de Mayo al 30 de Octubre de 2011.

Entidad responsable:

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Entidades involucradas en la elaboración del estudio:

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) - Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Centro Universitario de la Costa Sur (CUCSUR) - Universidad de Guadalajara (UDG)

Por encargo de la:

Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila (JIRA)

Datos de contacto de los responsables:

Adrián Ghilardi: aghilardi@ciga.unam.mx +52 (443) 322-3854

Enrique Jardel: ejardel@cucsur.udg.mx

Margaret Skutsch: mskutsch@ciga.unam.mx

El presente reporte y sus anexos fueron elaborados por:

Enrique Jardel (UDG), Margaret Skutsch (UNAM), René Martínez (UNAM), Jorge Morfin (UDG), Teodoro Allende (UNAM), Ernesto Vega (UNAM), Lucia Morales (UNAM) y Adrián Ghilardi (UNAM)

El estudio fue financiado por la JIRA, con el apoyo de la fundación ClimateWorks para cubrir algunos costos extras de personal y equipo de cómputo.

Informe Final

10 de Mayo de 2012



Índice

1. Introducción	5
2. Área de estudio	7
3. Análisis de cambio 1995, 2003 y 2010	10
4. Estimación de los almacenes de carbono	19
5. Análisis de cambio en los almacenes de carbono	24
6. Análisis cualitativo de las causas próximas de deforestación a nivel regional	28
6.1 <i>Antecedentes históricos.</i>	37
6.2 <i>Discusión y conclusiones sobre causas de deforestación.</i>	39
6.2.1 <i>Ganadería</i>	39
6.2.2 <i>Agricultura</i>	40
6.2.3 <i>Aprovechamiento de madera</i>	41
6.2.4 <i>Aprovechamiento de recursos forestales no maderables, postes y leña combustible</i>	42
6.2.5 <i>Incendios forestales</i>	42
6.2.6 <i>Minería</i>	44
6.2.7 <i>Turismo</i>	44
6.2.8 <i>Asentamientos humanos e infraestructura</i>	44
7. Propuesta para cuantificar los NRE para deforestación	46
8. Propuesta para un sistema de MRV para deforestación en el área de estudio	50
9. Diseño experimental del análisis de degradación	53
9.1 <i>Objetivo de la investigación</i>	55
9.2 <i>Metodología general de la investigación</i>	56
9.2.1 <i>Revisión de la información secundaria</i>	56
9.2.2 <i>El método de toma de datos de campo</i>	56
9.2.3 <i>Análisis de percepción remota y modelación</i>	58
9.2.4 <i>Análisis General de datos de biomasa para degradación</i>	59
10. Conclusiones	60
11. Literatura consultada	61

Figuras y mapas

Figura 1. Área de estudio, en la Cuenca de Río Ayuquila-Armería, Estados de Jalisco y Colima	8
Figura 2. Municipios de la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila (Área de estudio)	9
Figura 3. Cobertura y uso del suelo en la JIRA para el año 1995	11
Figura 4. Cobertura y uso del suelo en la JIRA para el año 2003	12
Figura 5. Cobertura y uso del suelo en la JIRA para el año 2010	13
Figura 6. Cambios cualitativos en contenido de carbono entre 1995 y 2003.	16
Figura 7. Cambios cualitativos en contenido de carbono entre 2003 y 2010.	17
Figura 8. Cambios cualitativos en contenido de carbono entre 1995 y 2010.	18
Figura 9. Contenido de carbono para las categorías de cobertura y uso del suelo de la JIRA utilizando datos de la SEDER	23



Figura 10. Cambios en los almacenes de carbono debidos a procesos de cambio de cobertura y uso del suelo entre 1995 y 2003.....	25
Figura 11. Cambios en los almacenes de carbono debidos a procesos de cambio de cobertura y uso del suelo entre 2003 y 2010.....	26
Figura 12. Cambios en los almacenes de carbono debidos a procesos de cambio de cobertura y uso del suelo entre 1995 y 2010.....	27
Figura 13. Porcentaje de la superficie por tipo de cobertura en los municipios de la JIRA en 1995, 2003 y 2010.....	29
Figura 14. Tasa de cambio anual (porcentaje) por tipo de cobertura en los municipios de la JIRA en los periodos 1995-2003 (arriba) y 2003-2010 (abajo).....	31
Figura 15. Probabilidades de transición entre la selva baja caducifolia, los matorrales, pastizales y agricultura de temporal en el periodo 2003-2010.....	33
Figura 16. Proyección de superficies al año 2025 utilizando las matrices de transición obtenidas del análisis de cambio de cobertura y uso del suelo entre 1995 y 2010.....	46
Figura 17. Proyección de superficies al año 2017 utilizando las matrices de transición obtenidas del análisis de cambio de cobertura y uso del suelo entre 2003 y 2010.....	46
Figura 18. Proyección de superficies al año 2011 utilizando las matrices de transición obtenidas del análisis de cambio de cobertura y uso del suelo entre 1995 y 2003.....	47

Tablas y Cuadros

Tabla 1. Cambios en superficie ocurridos entre 1995, 2003 y 2010 en hectáreas.....	14
Tabla 2. Valores de contenido de carbono en biomasa aérea por hectárea a partir de los datos del Inventario Forestal de la SEDER 2006 y una revisión de ecuaciones alométricas.....	19
Tabla 3. Valores de contenido de carbono por hectárea encontrados en la literatura específica... 20	20
Tabla 4. Contenido de carbono promedio asignado a las categorías de cobertura y uso del suelo de la JIRA utilizando fuentes variadas.....	21
Tabla 5. Cambios en el carbono debido a cambio en superficie ocurridos entre 1995, 2003 y 2010 en toneladas de carbono.....	22
Tabla 6. Probabilidades de transición entre los tipos de cobertura en el período 2003-2010.....	32
Cuadro 1. Causas próximas de deforestación y degradación forestal en la Cuenca Media del Río Ayuquila (municipios de la JIRA); se enlistan los principales efectos y el nivel de impacto (Imp.) observados sobre los ecosistemas forestales: 0 sin impacto, 1 bajo, 2 medio, 3 alto y 4 muy alto. 34	34
Cuadro 2: Costos aproximados de un sistema de MRV para deforestación basado en el uso de imágenes SPOT y Landsat en la JIRA, y su comparación con ingresos por proyectos de carbono (con fines ilustrativos únicamente).....	52
Cuadro 3. Áreas a ser incluidas en la muestra.....	57

Anexos (en documentos separados)

- i. Aspectos metodológicos a detalle y descripción de otros resultados relevantes.
- ii. DVD con archivos adjuntos.
- iii. Reporte financiero.
- iv. Convenios (marco y específico).



1. Introducción

El estudio que presentamos a continuación permite conocer en qué lugares de los municipios que conforman la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila (JIRA) se perdió superficie forestal entre 1995, 2003 y 2010 (deforestación), se recuperó cobertura forestal (reforestación) o no hubo cambios. Por primera vez en ésta región se utilizaron imágenes de satélite de alta resolución, que permiten identificar cambios con un nivel de detalle de una hectárea, i.e. cambio de cobertura y uso del suelo menores a una hectárea no son detectables a la escala de trabajo utilizada. Así mismo, se identificaron diferentes tipos de bosques y de zonas no boscosas como por ejemplo, selvas bajas caducifolias, bosques mixtos de pino-encino, áreas agrícolas de riego o de temporal, entre otros. Estos tipos de coberturas y usos del suelo se asociaron a datos sobre la cantidad de carbono que almacenan por unidad de superficie, en el tronco, ramas, hojas, raíces, etc., es decir, en la biomasa. Por ende, al conocer los cambios en los tipos de bosques y usos del suelo que ocurrieron entre 1995 y 2010, podemos conocer también cuanto carbono se perdió a la atmósfera y cuanto carbono se almacenó en nueva biomasa. Pero lo más importante es que ahora conocemos dónde ocurrió cada tipo de cambio con un detalle (resolución) de tan sólo una hectárea.

Los objetivos generales del presente estudio fueron:

1. Estimar las tasas de deforestación 1995-2010 y su expresión geográfica en los diez municipios de la JIRA;
2. Determinar las causas próximas de la deforestación, y su importancia relativa en diferentes áreas del territorio bajo estudio;
3. Proponer un sistema de Niveles de Referencia de Emisiones (NRE) para deforestación;
4. Diseñar el perfil de un sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV) para deforestación.

El presente informe, consiste en un resumen de los principales resultados, al cual adjuntamos cuatro Anexos que junto al informe constituyen el paquete de productos completos que estamos entregando a la JIRA. El Anexo I, es un informe detallado de aspectos particulares de la metodología y otros resultados relevantes que exceden los alcances del presente resumen. A lo largo del presente texto, se hacen referencias frecuentes a textos, figuras y tablas del Anexo I, dándole al lector la posibilidad de consultarlo si quisiera profundizar en el tema. Notar que las figuras y tablas del Anexo I empiezan siempre con “A1” a fin de no confundirlas con las figuras y tablas del presente texto; es decir, cuando exista una referencia a una tabla o figura que empiece con “A1” el lector debe remitirse al Anexo I, aunque no se explicita en el texto. El Anexo II, es un DVD con los productos geográficos del análisis, a saber: 1) Tres mapas en formato vectorial de cobertura y uso del suelo interpretados a 1:40,000 y presentados a 1:75,000; 2) Tres mapas en cambio de cobertura y uso del suelo en formato raster para los 3 periodos: 1995->2003, 2003-



>2010 y 1995->2010; 3) Las bases de datos de las superficies de cambio para todas las transiciones desagregadas por municipio; 4) Todas las figuras utilizadas en el presente informe y sus anexos en formato TIFF y con 600dpi; 5) Las dos presentaciones de los avances de los días 21 de Octubre de 2011 y 10 de Febrero de 2012 en formato pdf. Los mapas se presentan en dos formatos: universal, es decir que pueden ser importados desde literalmente cualquier Sistema de Información Geográfico (SIG), y en formato ArcGIS por ser el SIG más popular actualmente. Nos comprometemos a brindar el apoyo técnico necesario con la importación de éstos productos al SIG de la JIRA si así fuera necesario. El Anexo III, es un resumen del detalle de los gastos efectuados para desarrollar el proyecto. Finalmente, en el Anexo IV, adjuntamos los contratos donde se definen formalmente los productos comprometidos del estudio. Todos los anexos vienen en documentos o soportes diferentes al presente informe.

Los productos comprometidos fueron:

1. Un análisis de cambio de cobertura y uso del suelo a escala 1:50.000 entre 1995, 2003 y 2010 con verificación de campo (se refiere en datos de actividad);
2. Estimación de los almacenes de carbono en cada tipo de cobertura forestal (se refiere en factores de emisión);
3. Análisis de cambio en los almacenes de carbono debidos a procesos de cambio de cobertura y uso de suelo entre 1995, 2003 Y 2010;
4. Análisis cualitativo de las causas próximas de deforestación más relevantes en la zona de estudio, y su expresión en el espacio;
5. Propuesta para cuantificar el NRE para deforestación en un contexto geográfico e integrando en la modelación las causas próximas de la deforestación;
6. Propuesta para un sistema de MRV para deforestación en el área de estudio;
7. Diseño experimental del análisis de degradación.



2. Área de estudio

Como se mencionó en la introducción, el estudio se llevó a cabo en los diez municipios que conforman la JIRA: Unión de Tula, Tonaya, Ejutla, el Limón, Autlán de Navarro, el Grullo, San Gabriel, Tuxcacuesco, Tolimán y Zapotitlán de Vadillo; además de una porción del municipio de Cuautitlán que forma parte de la cuenca; el área incluye aproximadamente el 60% de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM) (Figuras 1y2). El área total de los diez municipios es de 402,357hectáreas (4,024km²) y el área total analizada en el estudio es de 411,445hectáreas (4,114km²). La Tabla A1_1 y las Figuras A1_1, A1_2 y A1_3 muestran un resumen de las principales características biofísicas de la JIRA, tales como regímenes mensuales de precipitación y temperatura, radiación solar, altitud, entre otros. Los datos fueron obtenidos mediante el SIG del CIGA a partir de información propia, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio¹ de los Estados Unidos (NASA). Para una descripción más general del territorio de la JIRA, en sus aspectos físicos, naturales y sociales remitimos al lector a la siguiente página web: <http://www.jira.org.mx>.

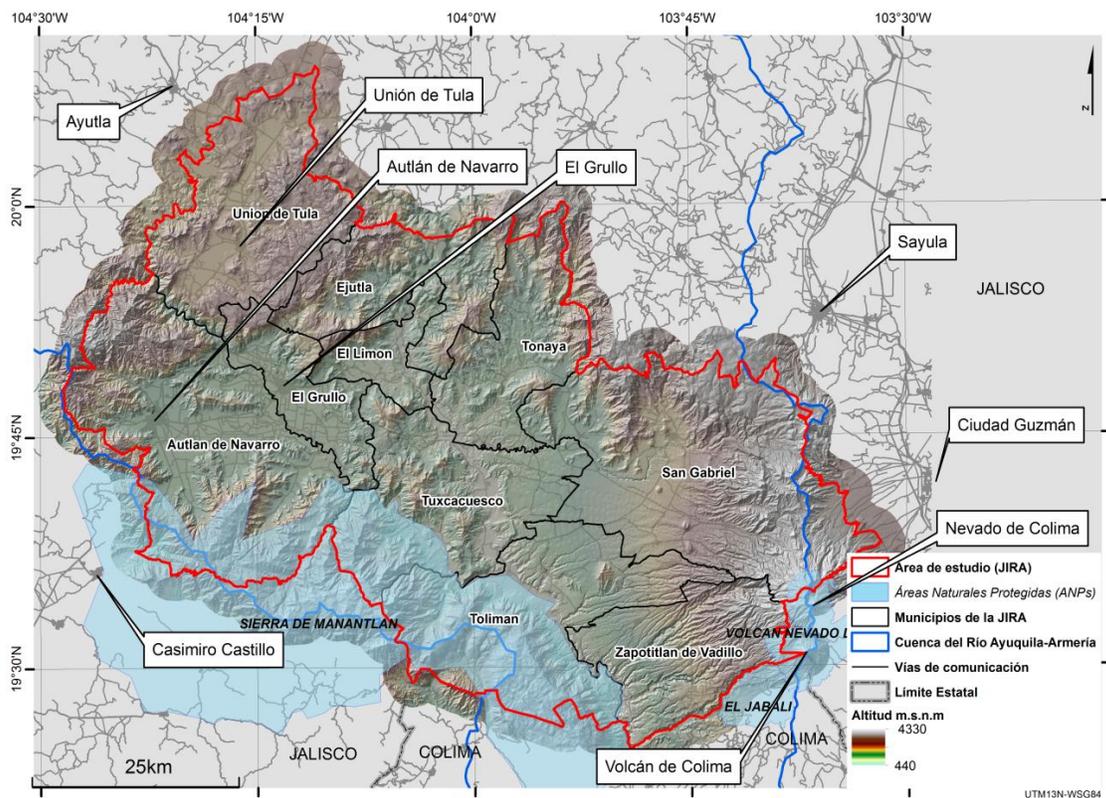
¹National Aeronautics and Space Administration

Figura 1. Área de estudio, en la Cuenca de Río Ayuquila-Armería, Estados de Jalisco y Colima



A. Ghilardi 2012

Figura 2. Municipios de la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila (Área de estudio)



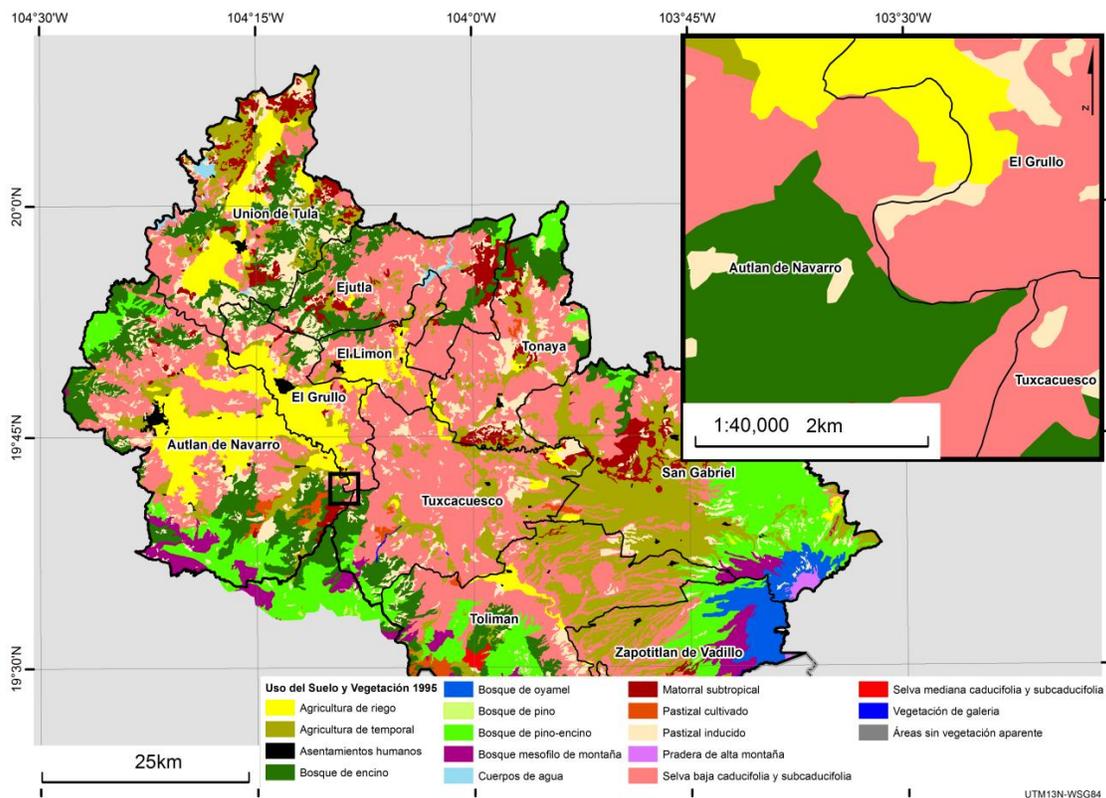
A. Ghilardi 2012



3. Análisis de cambio 1995, 2003 y 2010

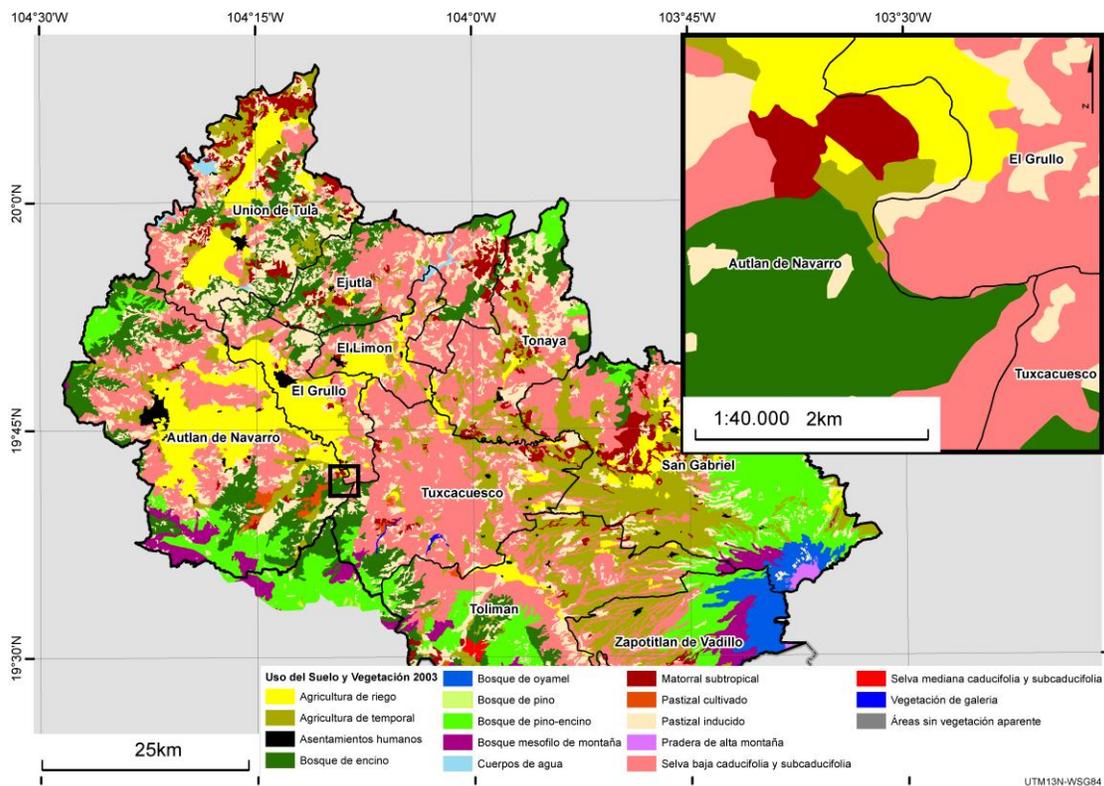
La interpretación visual en pantalla de las imágenes satelitales permitió construir y validar 3 mapas de cobertura y uso del suelo para los años 1995, 2003 y 2010. La unidad mínima cartografiable fue de una hectárea, es decir que, aquellos objetos geográficos menores a una hectárea relativamente isométrica no son detectables a la escala de interpretación utilizada. Las Figuras 6 a 8 muestran los mapas resultantes.

Figura 3. Cobertura y uso del suelo en la JIRA para el año 1995



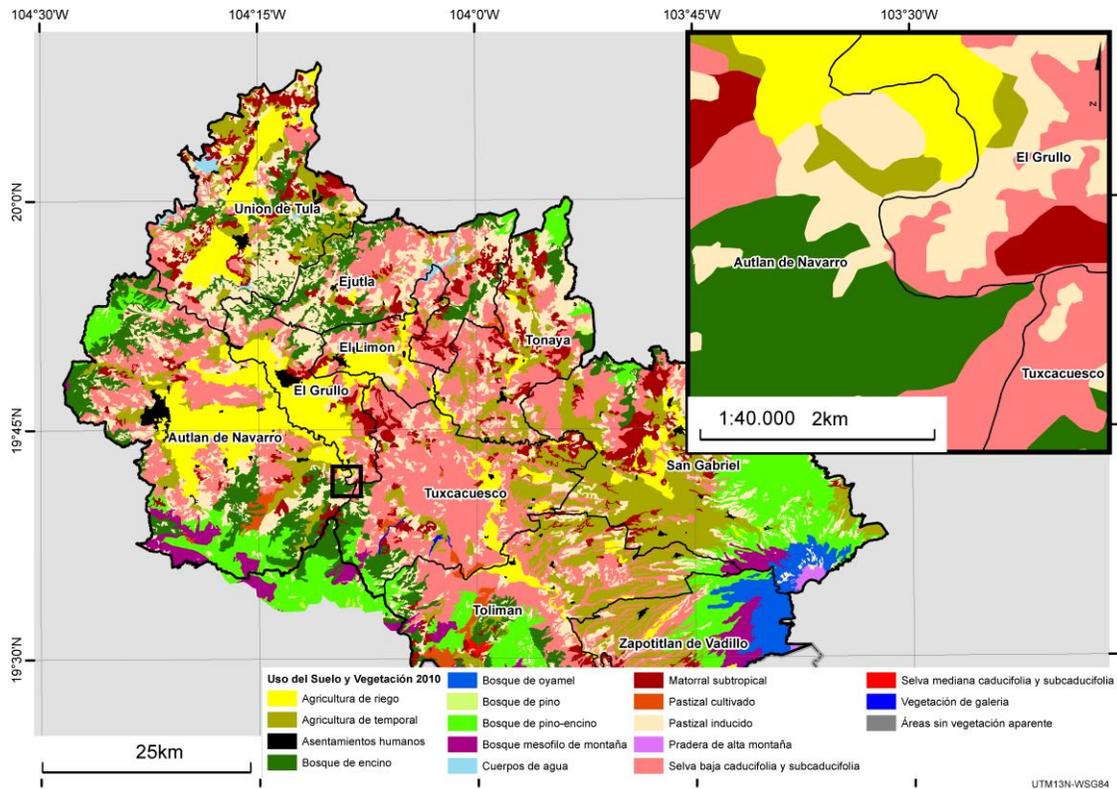
A. Ghilardi 2012

Figura 4. Cobertura y uso del suelo en la JIRA para el año 2003



A. Ghilardi 2012

Figura 5. Cobertura y uso del suelo en la JIRA para el año 2010



A. Ghilardi 2012

Cada figura muestra con un color diferente a las diferentes categorías de cobertura y uso del suelo identificado en el área de estudio, junto a un recuadro a la misma escala a la que realizó la interpretación. Es importante mencionar que, los mapas vectoriales invitan a “acercarse” más de lo posible. Cualquier de éstos tres mapas NO deben ser utilizados a escalas mayores a 1:40,000, como se muestra en los recuadros interiores; y preferiblemente, no mayores a 1:75,000. El uso de ésta información en escalas muy grandes es erróneo y puede conducir a interpretación y conclusiones equivocadas.

Aunque existen diferencias entre los tres mapas, debidas justamente a procesos de cambio que acontecieron en los municipios de la JIRA durante el período de estudio, es claro también, que en términos generales hay una importante permanencia de coberturas y usos del suelo. De esta forma es fácil visualizar como las actividades agropecuarias y las selvas bajas se distribuyen hacia el centro de la JIRA mientras que los bosques hacia las partes más elevadas, en los límites sur y sureste.



Los mapas de cobertura y uso del suelo se utilizaron para analizar el cambio en las superficies de cada categoría entre 1995, 2003 y 2010. Los resultados del análisis de cambio a nivel de la JIRA ocurrido entre 1995--> 2003, 2003->2010 y 1995->2010 se muestra en la Tabla 1. El detalle de los cambios por municipio para todas las transiciones se adjunta en el Anexo II (DVD) como bases de datos en formato Excel: BD_A2_1_Cambio_Mun9503.xls para 1995->2003 y BD_A2_2_Cambio_Mun0310.xls para 2003->2010.

Tabla 1. Cambios en superficie ocurridos entre 1995, 2003 y 2010 en hectáreas.

Categorías agregadas de cobertura y uso del suelo			Diferencia		Diferencia		INEGI (1:250,000) 1997->2007
	1995	2003	1995->2003	2010	2003->2010	1995->2010	
Agricultura de riego	33,196	38,547	5,351	40,452	1,905	7,256	
Agricultura de temporal	71,737	62,300	-9,437	63,245	945	-8,492	
Pastizales	38,727	60,825	22,098	70,995	10,170	32,268	100
Asentamientos humanos	2,466	3,015	549	3,798	783	1,332	
Bosques	117,308	110,758	-6,550	105,794	-4,964	-11,514	-3,625
Selvas	130,315	116,641	-13,674	98,692	-17,949	-31,623	-14,825
Matorrales	15,029	16,518	1,489	25,586	9,068	10,557	
Otros	2,667	2,841	174	2,883	42	216	19,000
Total	411,445	411,445	0	411,445	0	0	

Notas: Los valores de INEGI se obtuvieron recortando los mapas de cobertura y uso del suelo a 1:250,000 disponibles para el territorio Mexicano sobre los municipios de la JIRA y corriendo nuevamente el análisis de cambio.

Los valores de la tabla 1, nos muestran un panorama muy claro de los cambios relevantes que se han venido dando en la JIRA durante los último 15 años. Se perdieron más de 30,000 ha de selvas bajas y más de 11,000 hectáreas de bosque, mientras que los pastizales se incrementaron en casi el doble de su superficie original y la agricultura de riego en un 25%. El análisis de los dos periodos por separado, nos permite ver que la pérdida de selvas se incrementó pasado el año 2003, mientras que con los bosques sucede lo contrario. De cualquier manera la diferencia de pérdida de selvas y bosques es bastante similar entre ambos periodos. Si se ven diferencias mas claras entre periodos para el caso de los pastizales, los cuales sufren una expansión de 20,000 hectáreas entre 1995 y 2003 y de 10,000 entre 2003 y 2010. Otros cambios notables son la disminución de agricultura de temporal y el aumento en los matorrales, procesos que pueden estar relacionados ambos con el abandono de la agricultura tradicional y la emigración.

Es importante resaltar, las notables diferencias de los resultados del presente análisis, con los del INEGI 1:250,000. A esa escala de interpretación, no se registran cerca de 15,000 ha de selvas y 7,000 ha de bosques, debido seguramente, a que las áreas deforestadas son menores a la unidad mínima cartografiada de cerca de 1km², o se desenvuelven según un patrón espacial de mosaico que no facilita su interpretación por medios semi-automatizados. Llama la atención que los pastizales no parecen haber sido identificados o mal clasificados en la carta de uso del suelo y



vegetación del INEGI. De cualquier manera, es fundamental resaltar que a escala micro-regional o municipal como el caso de la JIRA las diferencias entre un análisis a 1:50,000 y 1:250,000 son muy significativas. Igualmente, es de esperar que a la escala de trabajo empleada en el presente reporte (1:40,000 -> 1:75,000) no todas las pérdidas de selvas y bosques hayan sido identificadas, sobre todo aquellas muy pulverizadas en el espacio y donde las superficies deforestadas sea menor a una hectárea aproximadamente.

Aunque la Tabla 1 nos da un panorama general de los cambios ocurridos en la JIRA, no nos permite saber en dónde ocurrieron estos cambios y cuales fueron en realidad las transiciones, por ejemplo, si al final del periodo los matorrales se expandieron, necesitamos saber en dónde ocurrió esta expansión y qué coberturas o usos del suelo había antes. Esta información se consigue mediante los mapas de cambio, sin embargo, resultan tantas categorías² que no es práctico representarlas en un solo mapa. La manera de presentar la información completa es usando mapas y bases de datos. En los mapas mostramos cambios cualitativos en las pérdidas y ganancias de biomasa aérea (o carbono). Para este fin se ordenaron todos los tipos de cobertura y uso del suelo en tres categorías en función de su contenido de carbono por unidad de superficie: 1° bosques y selvas, 2° matorrales y 3° agricultura, pastizales y otros. Las figuras 9 a 11 muestran los cambios cualitativos en biomasa o carbono ocurridos entre 1995->2003, 2003->2010 y 1995->2010. La información completa de cambios se encuentra en el Anexo II (DVD). En dichas bases de datos, una para el periodo 1993->2003 y la otra para el período 2003->2010, se muestran los cambios en superficie (en hectáreas) para cada transición por cada municipio, resultando en un total de 2,720 valores de cambio por cada base de dato. Naturalmente, en muchos casos el valor de cambio es 0 porque esa determinada transición no se encontró (e.g. selva baja->bosque de encino).

² Las categorías de cambio para un solo período (dos fechas) es igual a $n*(n-1)$, siendo n el número de categorías, igual a 17 en nuestro caso lo que resulta en una leyenda con 272 clases o colores.

Figura 6. Cambios cualitativos en contenido de carbono entre 1995 y 2003.

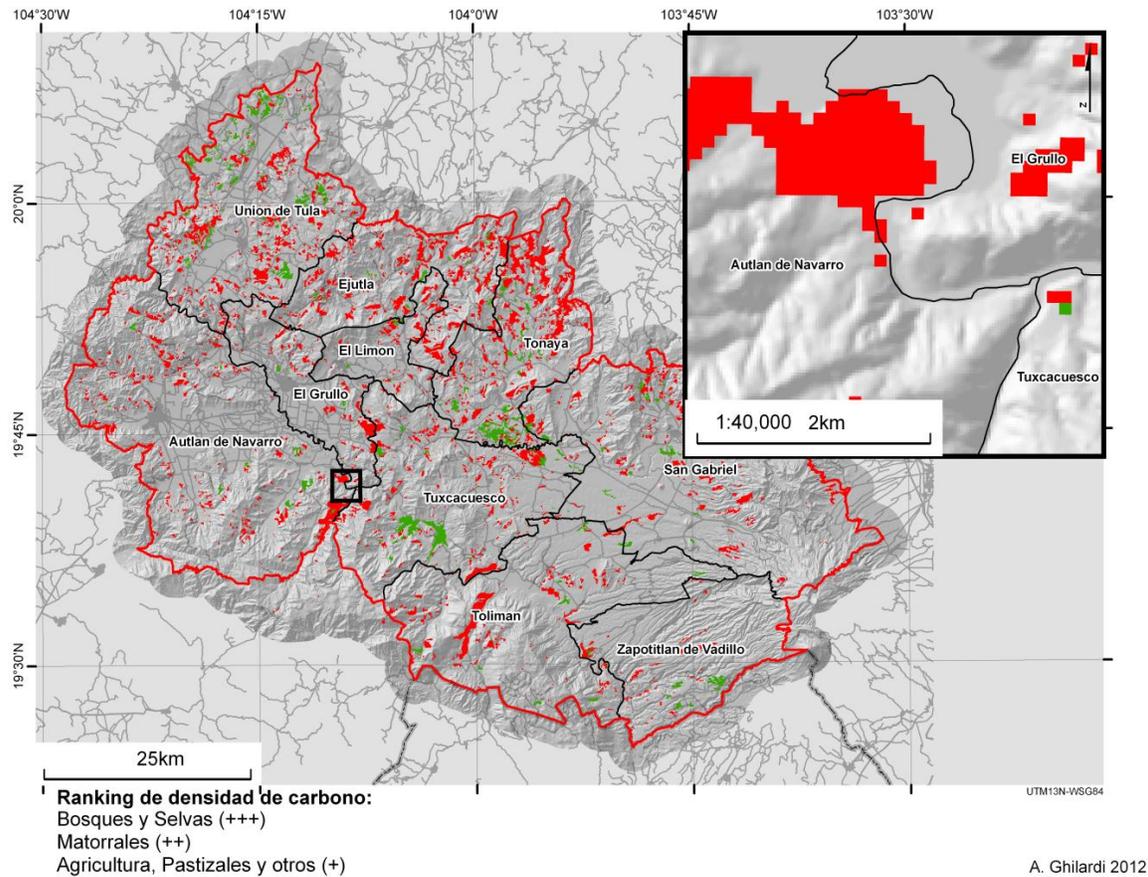


Figura 7. Cambios cualitativos en contenido de carbono entre 2003 y 2010.

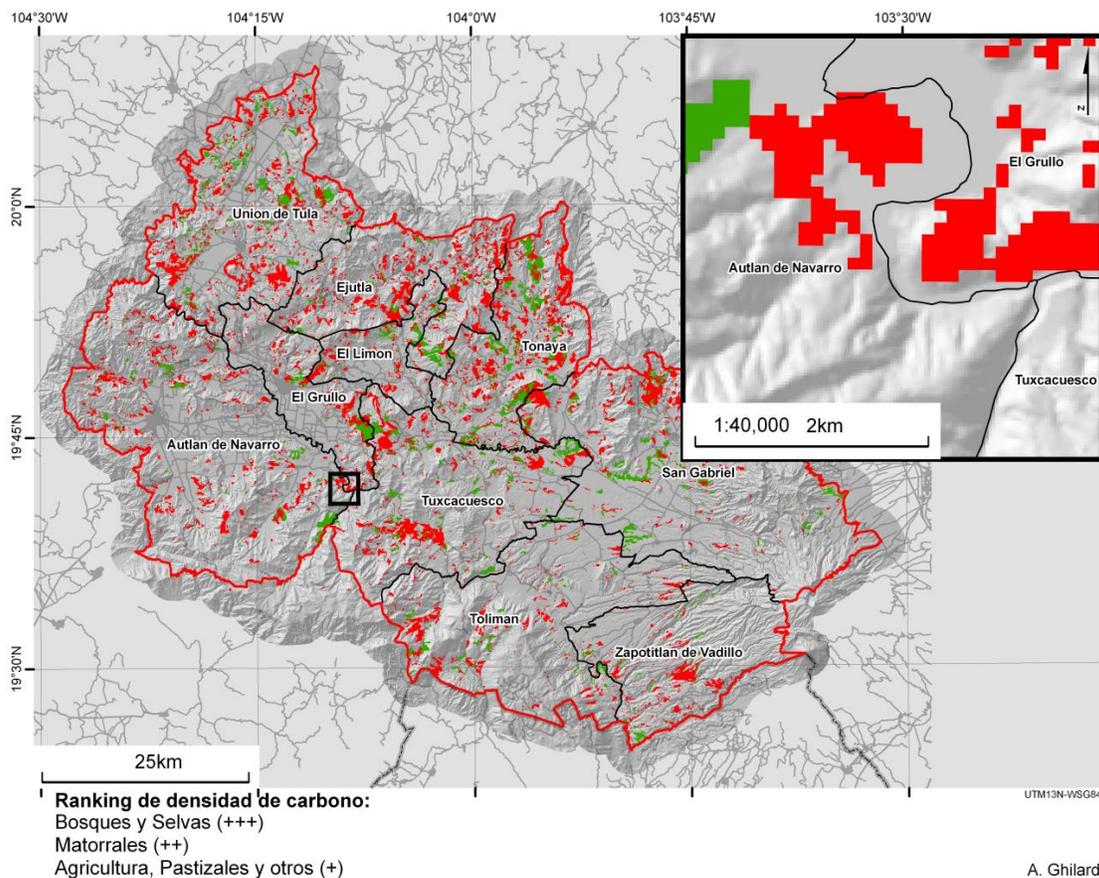
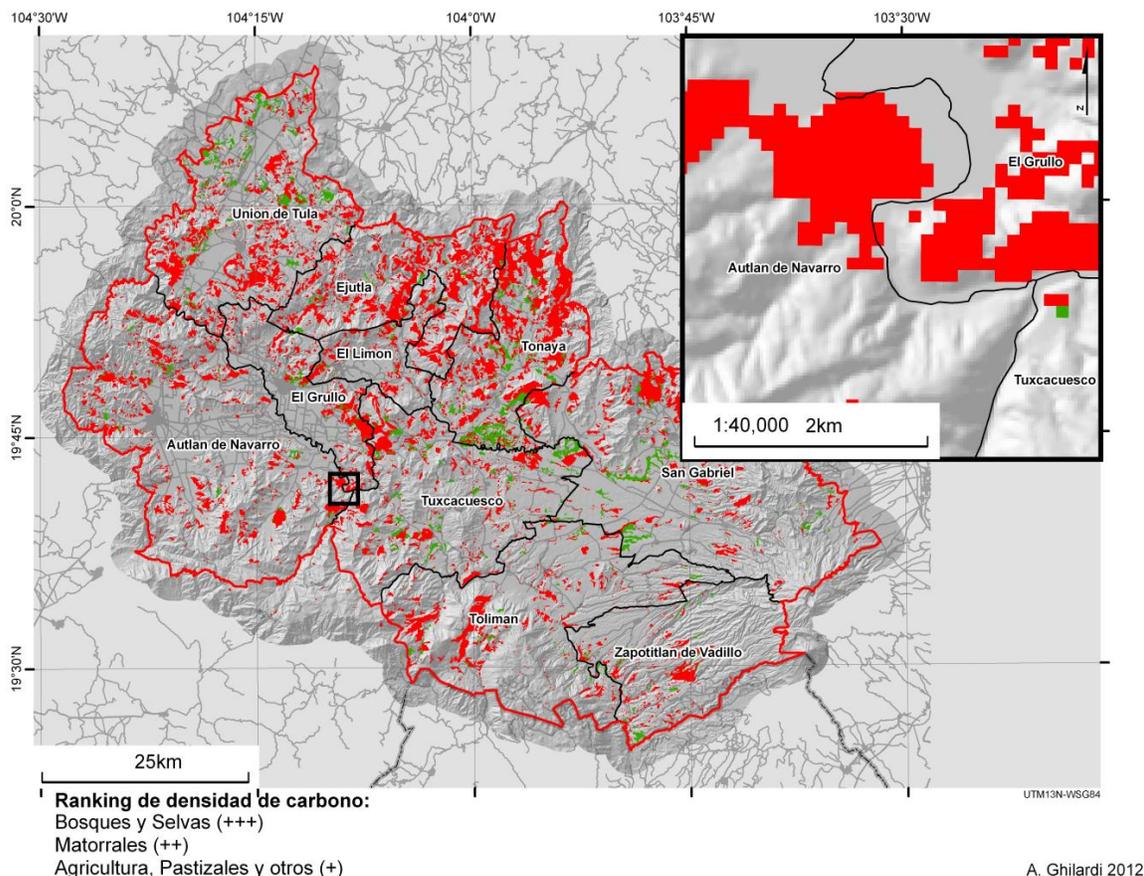


Figura 8. Cambios cualitativos en contenido de carbono entre 1995 y 2010.



Las figuras muestran que los cambios ocurridos en cada período por separado y en conjunto no se distribuyeron de manera uniforme a lo largo de los municipios de la JIRA, al menos para la categorización cualitativa del contenido de biomasa o carbono. Vemos así que en el primer período (1995->2003) las pérdidas y ganancias de biomasa se concentran hacia el norte de la JIRA, en los municipios de Unión de Tula, El Limón, Ejutla y Tonaya, en lo que parecería ser la región más dinámica en cuanto a cambios que involucren variaciones en el carbono. Este somero análisis se complementa en la sección 5, sobre las causas más promisorias que pueden haber determinado los patrones que vemos reflejados en mapas y bases de datos resultantes del estudio. Los mapas de cambio por municipio se encuentran en el Anexo I, insertados en el documento y como archivos TIFF en el Anexo II (DVD).



4. Estimación de los almacenes de carbono

A fin de sobrepasar las limitaciones del análisis cualitativo, se estimaron los almacenes de carbono en las categorías empleadas de cobertura y uso del suelo a partir de los datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) 2004-2007 y del Inventario Forestal Estatal de Jalisco a cargo del Fideicomiso para la Administración del Programa de Desarrollo Forestal del Estado de Jalisco (FIPRODEFO) con el apoyo de la Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno de Jalisco (SEDER) 2006. Así mismo, se compararon éstas estimaciones con una revisión comprehensiva de la literatura para México. Los detalles del análisis y las referencias consultadas se detallan en el Anexo I.

Tabla 2. Valores de contenido de carbono en biomasa aérea por hectárea a partir de los datos del Inventario Forestal de la SEDER 2006 y una revisión de ecuaciones alométricas.

Código	Categorías agregadas de cobertura y uso del suelo	tC ha ⁻¹	Num de conglomerados	Hectareas (2010)
BA	Bosque de abies	110.7 ± 81.8	3	7,419
BJ	Bosque de tascate	3.6 ± 1.9	6	NA
BL	Bosque de Latifoliadas (no existe en INEGI)	335.8 ± 263.1	2	NA
BM	Bosque mesofilo de montaña	155.7 ± 100.6	4	12,713
BP	Bosque de pino	117.9 ± 40.2	12	213
BPQ	Bosque de pino-encino	117.8 ± 18.0	86	47,966
BQ	Bosque de encino	67.9 ± 14.5	145	37,483
BQP	Bosque de encino-pino	53.8 ± 11.2	53	NA
MK	Mezquital	2.8 ± 0.8	26	NA
ML	Chaparral	1.0 ± NA	1	NA
MST	Matorral subtropical	7.6 ± 1.9	56	25,586
SBC	Selva baja caducifolia	9.8 ± 1.8	114	98,275
SBK	Selva baja espinosa	3.8 ± 2.1	4	NA
SBS	Selva baja subcaducifolia	7.3 ± 1.1	18	NA
SG	Selva de galería	9.2 ± 4.4	3	NA
SMC	Selva mediana caducifolia	14.8 ± 4.0	40	417
SMQ	Selva mediana subperennifolia	23.1 ± NA	1	NA
SMS	Selva mediana subcaducifolia	64.9 ± 18.1	9	NA

Nota: Los valores de superficie corresponden al mapa de coberturas del año 2010 (Fig. 5). Los conglomerados se eligieron en función de su similitud con las características biofísicas de la JIRA. Ver Anexo I, para los detalles del análisis y para una descripción de las ecuaciones alométricas utilizadas junto a las referencias correspondientes.

La Tabla 2, muestra los resultados del análisis del Inventario Forestal de la SEDER 2006, a partir de aquellos conglomerados ubicados en ambientes biofísicos similares (ver Anexo I para los detalles del análisis). Las superficies corresponden a las encontradas en la JIRA en 2010. Cabe mencionar que en la leyenda utilizada en el presente estudio (Figs. 3 a 5) no se distingue entre selvas

caducifolias y selvas subcaducifolias (i.e. “selvas bajas caducifolias y subcaducifolias” y “selvas medianas caducifolias y subcaducifolias”). Sin embargo, las selvas en la JIRA son mayormente caducifolias, es por eso que para asignarles un valor de carbono se utilizaron los conglomerados de selvas caducifolias más no los de selvas subcaducifolias.

Tabla 3. Valores de contenido de carbono por hectárea encontrados en la literatura específica.

Categorías agregadas de cobertura y uso del suelo	Valores Mínimos Reportados	Valores Máximos Reportados	Area (2010) ha
	tC ha ⁻¹	tC ha ⁻¹	
Agricultura	0.5	9.0	103,697
B. Coníferas	36.8	133.4	45,115
B. Coníferas-latifoliadas	13.0	157.0	47,966
B. De Abies	26.7	169.7	7,419
B. De Encino	20.1	205.0	37,483
B. De pino	44.0	147.0	213
B. Fragmentado	9.9	87.5	-
B. Latifoliadas	13.0	144.8	37,483
B. Mesófilo	20.1	220.0	12,713
Matorrales	6.0	30.0	25,586
Otros bosques	69.3	95.6	-
Pastizales	0.2	18.0	70,995
Plantaciones	5.0	120.0	-
Tropical Húmedo	19.0	164.0	417
Tropical seco	7.1	110.0	98,275

Nota: Favor de revisar el anexo I para conocer los datos encontrados en suelo, raíces y mantillo. En dicho anexo se detallan así mismo las referencias consultadas, las zonas de estudio y el resto de variables de interés reportadas en cada estudio. La suma de las áreas sobrepasa el área de estudio porque las categorías se sobreponen (e.g. b. de coníferas y b. de pino).

La Tabla 3, condensa el resultado de una búsqueda bibliográfica de valores de carbono publicados para diferentes tipos de vegetación de México y algunos otros países. Un dato interesante que resalta de este trabajo es que la mayoría de la información hace referencia a la biomasa aérea, y el carbono contenido en la biomasa subterránea no es frecuente en las publicaciones. Se lograron agrupar 15 categorías de vegetación, y los valores de carbono por hectárea presentaron un intervalo desde 0.5 tC ha en áreas de agricultura, hasta 220 tC ha para bosques mesófilos. El número de estudios por tipo de cobertura vegetal en promedio es de 9, y el tipo de cobertura que presenta mayores estudios es el bosque de pino con 24, mientras que los matorrales son los menos estudiados en este contexto al reportarse solo 3 trabajos.

Tabla 4. Contenido de carbono promedio asignado a las categorías de cobertura y uso del suelo de la JIRA utilizando fuentes variadas

Categorías agregadas de cobertura y uso del suelo	SEDER MC			Revisión de la literatura: biomasa aérea		Revisión de la literatura: biomasa aérea, raíces, mantillo y suelo		Superficie 2010
				Valores mínimos	Valores máximos	Valores mínimos	Valores máximos	
	tC ha ⁻¹	tC ha ⁻¹	tC ha ⁻¹	ha				
Agricultura de riego			0.5	9.0	84.4	281.1	40,452	
Agricultura de temporal			0.5	9.0	84.4	281.1	63,245	
Pastizales			0.2	18.0	84.0	194.8	70,995	
Asentamientos humanos			-	-	-	-	3,798	
Bosques	52.1 ± 15.6	^a	21.1 ^c	152.0 ^c	105.3 ^e	348.2 ^e	105,794	
Selvas	4.9 ± 0.9	^b	7.2 ^d	110.2 ^d	41.5 ^f	210.3 ^f	98,692	
Matorrales	3.8 ± 1.0		6.0	30.0	91.4	115.4	25,586	
Otros			-	-	-	-	2,883	
Total							411,445	

Notas:

(a) Promedios ponderados por superficie según las siguientes categorías y superficies reportadas en la tabla 2: Bosque de encino, Bosque de oyamel, Bosque de pino, Bosque de pino-encino, y Bosque mesófilo de montaña.

(b) Promedios ponderados por superficie según las siguientes categorías y superficies reportadas en la tabla 2: Selva baja caducifolia y selva baja subcaducifolia.

(c) Promedios ponderados por superficie según las siguientes categorías y superficies reportadas en la tabla 3: B. Coníferas, B. Coníferas-latifoliadas, B. latifoliadas, y B. Mesófilo.

(d): Promedios ponderados por superficie según las siguientes categorías y superficies reportadas en la tabla 3: Tropical Húmedo, Tropical seco.

(e) Promedios ponderados por superficie según las siguientes categorías y superficies reportadas en la tablas 3 y otras del Anexo I: 1) Biomasa aérea (Tabla3): B. Coníferas, B. Coníferas-latifoliadas, B. latifoliadas, y B. Mesófilo; 2) Suelo (Tabla A1_3): B. Coníferas, y B. Coníferas-latifoliadas; 3) Raíces (Tabla A1_4): B. Coníferas, y B. latifoliadas; 4) Mantillo (Tabla A1_5): B. Coníferas, y B. latifoliadas.

(f) Promedios ponderados por superficie según las siguientes categorías y superficies reportadas en la tablas 3 y otras del Anexo I: 1) Biomasa aérea (Tabla3): Tropical Húmedo, Tropical seco; 2) Suelo (Tabla A1_3): Tropical Húmedo, y Tropical seco.

La Tabla 4, es un resumen de ambos análisis para asignar valores de carbono a las categorías de cobertura y uso suelo. Los valores utilizados en el análisis de cambio geográfico (próxima sección) son los del Inventario Forestal de la SEDER. La Figura 9, muestra los valores de biomasa aérea del Inventario Forestal de la SEDER utilizados en el presente estudio, mismos de la tabla 2 pero en la versión gráfica.



Tabla 5. Cambios en el carbono debido a cambio en superficie ocurridos entre 1995, 2003 y 2010 en toneladas de carbono.

Categorías agregadas de cobertura y uso del suelo	Diferencia 1995->2003	SEDER MC		Revisión de la literatura: biomasa aérea		Diferencia 2003->2010	SEDER MC		Revisión de la literatura: biomasa aérea		Diferencia 1995->2010	SEDER MC		Revisión de la literatura: biomasa aérea	
	Ha	tC	tC	tC (min)	tC (max)	Ha	tC	tC (min)	tC (max)	Ha	tC	tC (min)	tC (max)	tC (min)	tC (max)
Agricultura de riego	5,351			2,676	- 48,159	1,905		953	- 17,145	7,256		3,628	- 65,304		
Agricultura de temporal	-9,437			-4,719	- 84,933	945		473	- 8,505	-8,492		-4,246	- 76,428		
Pastizales	22,098			4,420	- 397,764	10,170		2,034	- 183,060	32,268		6,454	- 580,824		
Asentamientos humanos	549					783				1,332					
Bosques	-6,550	-341,143 ± 102,279		-138,363	- 995,385	-4,964	-258,539 ± 77,513	-104,860	- 754,365	-11,514	-599,682 ± 179,792	-243,223	- 1,749,750		
Selvas	-13,674	-67,357 ± 12,241		-97,773	- 1,507,260	-17,949	-88,416 ± 16,068	-128,340	- 1,978,485	-31,623	-155,773 ± 28,310	-226,113	- 3,485,745		
Matorrales	1,489	5,625 ± 1,438		8,934	- 44,670	9,068	34,259 ± 8,757	54,408	- 272,040	10,557	39,885 ± 10,194	63,342	- 316,710		
Otros	174					42				216					
Total (neto)	0	-402,875 ± 115,958		-224,825	- 2,096,985	0	-312,696 ± 102,338	-175,334	- 2,252,100	0	-715,570 ± 218,296	-400,159	- 4,349,085		

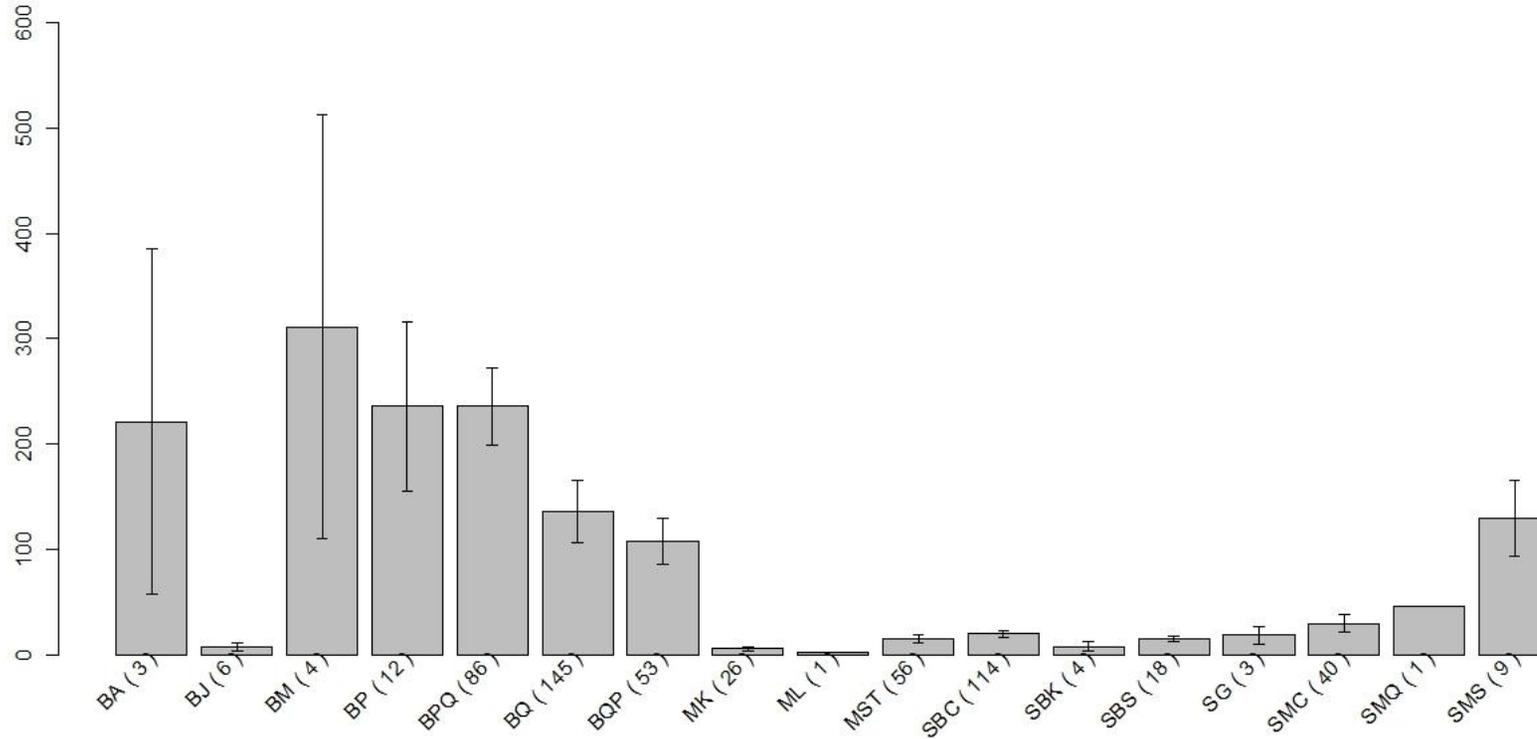
Notas: Sólo se consideró la revisión de carbono en biomasa aérea, para que los datos sean comparables con el inventario de la SEDER.

La Tabla 5, muestra las diferencias notables en las estimaciones de pérdidas y ganancias estimadas de carbono en función de diferentes fuentes de información y referencias utilizadas. Independientemente, con los valores del inventario forestal se pueden calcular los errores asociados a las estimaciones mientras que la revisión de la literatura sólo nos permite reportar los valores encontrados -mínimos y máximos en este caso-, lo que nos da una idea de la dispersión de los datos pero no de su distribución. Así mismo, la Tabla 5 y la Figura 9, muestran que la incertidumbre de las estimaciones de la literatura es enorme y sumamente impráctica para ser aplicada en estudios concretos mientras que los errores del análisis del Inventario Forestal de la SEDER son amplios pero mucho más acotados. Hay que mencionar también que ambos análisis no son totalmente comparables, porque no existen datos de carbono para las categorías no forestales en el Inventario Forestal de la SEDER, por tal motivo se agregó un total que sólo toma en cuenta los bosques, las selvas y matorrales.

Un problema con éste tipo de revisiones y análisis es que las categorías de cobertura y uso del suelo rara vez coinciden entre la literatura, los inventarios y los mapas, por lo que es importante realizar una correcta homologación de las leyendas. Referir el Anexo I, para la tabla donde se homologan las leyendas. Hacer referencia al Anexo I, para las comparaciones entre SEDER e INFyS y los análisis de varianza entre categorías de cobertura y uso del suelo.



Figura 9. Contenido de carbono para las categorías de cobertura y uso del suelo de la JIRA utilizando datos de la SEDER



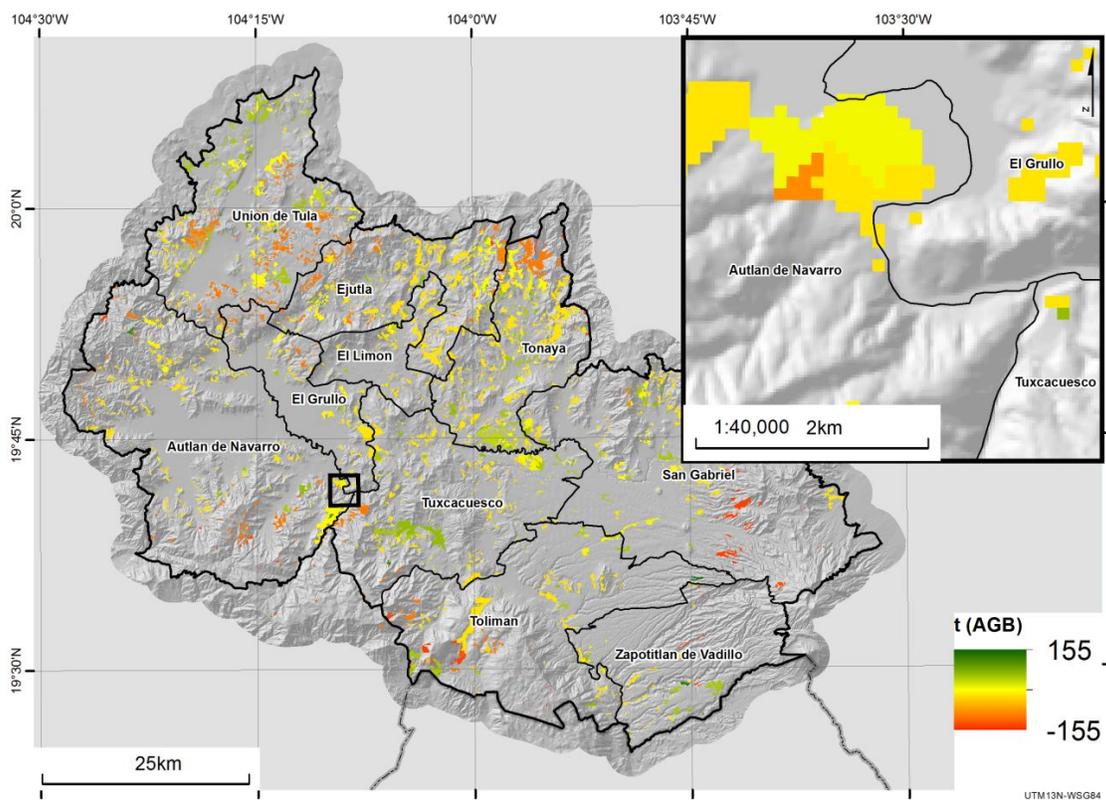
Nota: Ver la tabla 2 para una descripción de los códigos. Las barras representan la desviación estándar. Ver el ANEXO I para los resultados del análisis de varianza entre tipos de cobertura y uso del suelo para las demás variables: área basal, altura, cobertura de copas, y densidad de individuos.



5. Análisis de cambio en los almacenes de carbono

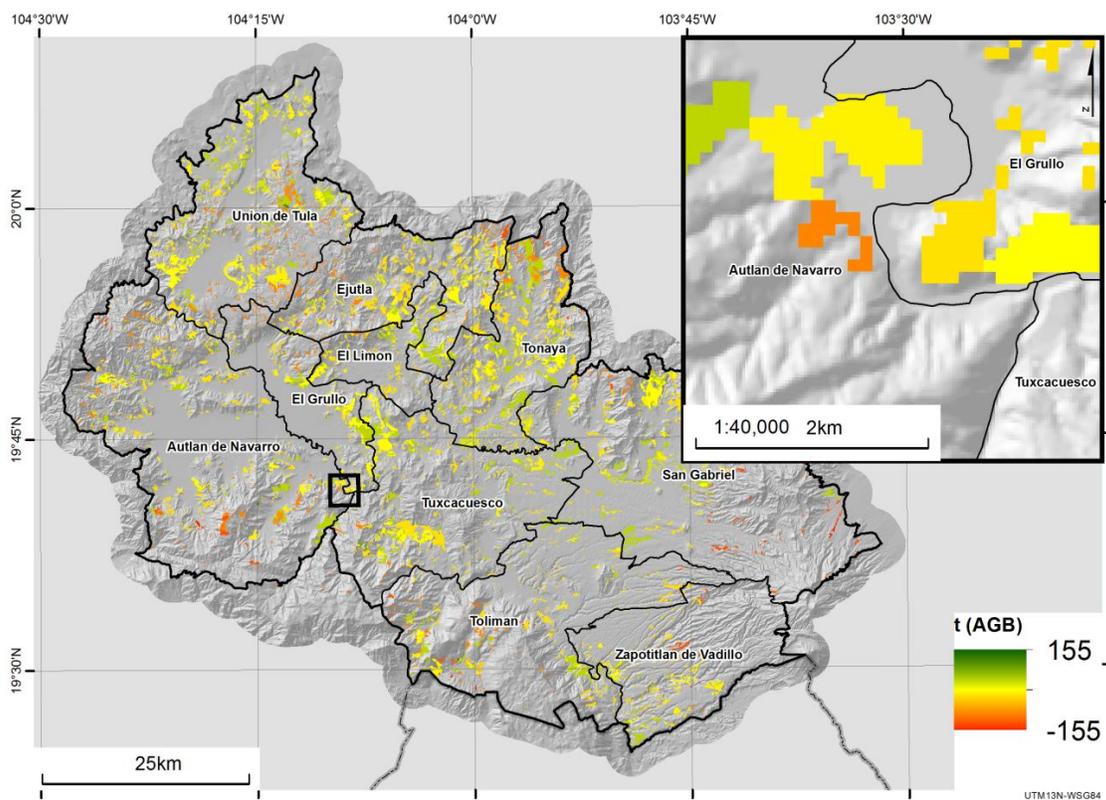
A partir de los resultados anteriores se analizaron los cambios en los almacenes de carbono debidos a procesos de cambio de cobertura y uso del suelo entre 1995, 2003 y 2010. Las figuras 10 a 12 muestran la variación en contenido de carbono para los tres períodos. El análisis se realiza restando los contenidos promedios de densidad de carbono asignados a cada categoría para cada transición. El rango máximo de pérdida o ganancia fue de 155 toneladas de carbono por hectárea (se descartaron aquellas transiciones con superficies muy pequeñas, de algunas pocas hectáreas por ejemplo). Los patrones espaciales son similares a las figuras 6 a 8, para años iguales. Naturalmente, en congruencia con los resultados del análisis de cambio, se distingue una mayor superficie cubierta por zonas de pérdida, en tonos amarillos a rojos. Sin embargo, es necesario mencionar que el análisis asume una densidad de carbono promedio por tipo de vegetación, por lo tanto los valores de cambio se expresan en unidades discretas de pérdida o ganancias de carbono. El número de unidades se corresponde al número de transiciones consideradas en el análisis. Es fundamental reducir las incertidumbres asociadas a los contenidos de carbono de las categorías de cobertura y uso del suelo a fin de poder rehacer éste tipo de análisis dentro de niveles de certidumbre prácticos para la programación de proyectos concretos de pago por bonos de carbono.

Figura 10. Cambios en los almacenes de carbono debidos a procesos de cambio de cobertura y uso del suelo entre 1995 y 2003.



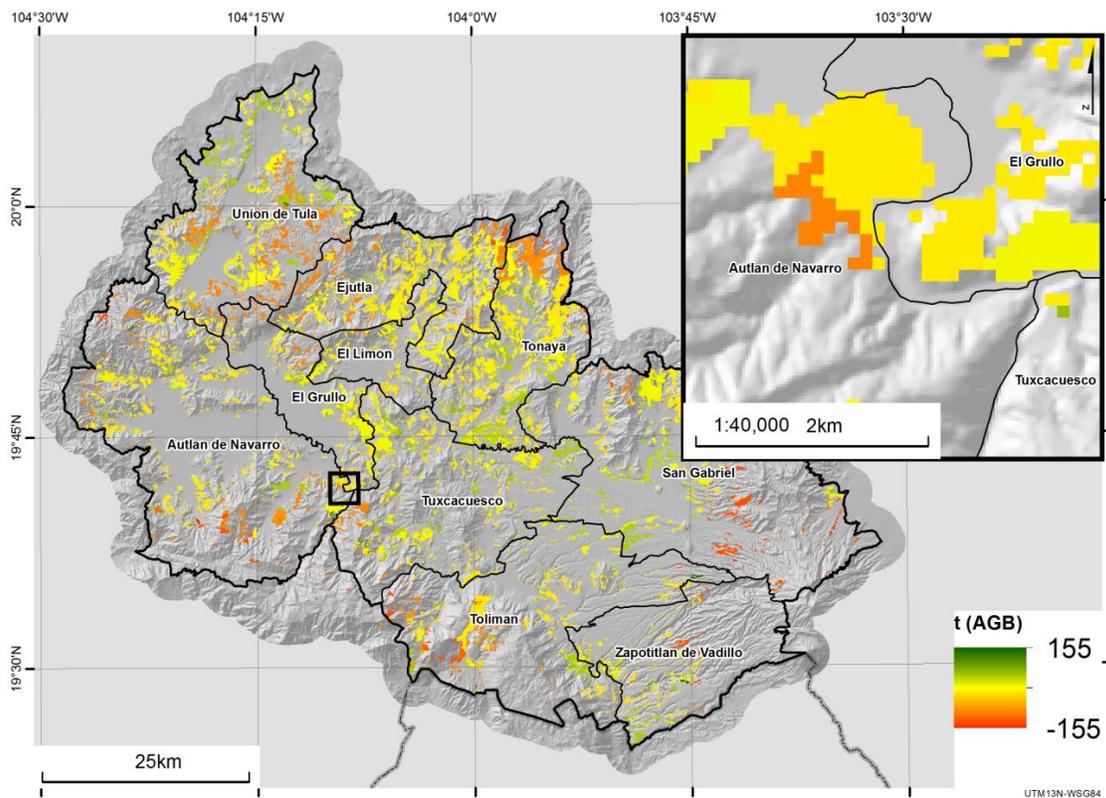
A. Ghilardi 2012

Figura 11. Cambios en los almacenes de carbono debidos a procesos de cambio de cobertura y uso del suelo entre 2003 y 2010.



A. Ghilardi 2012

Figura 12. Cambios en los almacenes de carbono debidos a procesos de cambio de cobertura y uso del suelo entre 1995 y 2010.



A. Ghilardi 2012



6. Análisis cualitativo de las causas próximas de deforestación a nivel regional

Se llevó a cabo un análisis general de las causas de deforestación y degradación forestal en los municipios de la JIRA, partiendo de los datos generados en el presente estudio sobre cambio de cobertura y uso del suelo en el periodo 1995-2010 y complementando con la revisión de la literatura disponible relacionada con la deforestación y la degradación en el área de estudio, observaciones de campo y sistematización la experiencia de trabajo en la conservación de la naturaleza y el manejo forestal en la región durante los últimos 25 años. Los factores considerados hipotéticamente como causas próximas de procesos de deforestación y degradación fueron los siguientes: agricultura, ganadería, aprovechamiento de la madera, minería, caminos e infraestructura, turismo y urbanización. En el Anexo I, se presenta el texto en extenso, mientras que a continuación se exponen los puntos más relevantes del análisis.

Para el análisis de causas próximas, se cree conveniente considerar tanto sus efectos en la deforestación como en la degradación; aunque en algunos casos las causas próximas puedan ser diferentes para uno u otro proceso y factores que causan degradación no causan deforestación, en otros casos la misma causa puede estar relacionada directa o indirectamente tanto con la deforestación como con la degradación.

Como deforestación, se consideró la pérdida neta de cobertura forestal observada en el área en un periodo determinado (en este caso entre 1995 y 2003 y entre 2003 y 2010). La degradación se definió como un cambio de estado en la cobertura forestal remanente, inducido directamente por las actividades humanas, que implica pérdida en los almacenes de carbono y en otros valores de las áreas forestales, incluyendo la disminución de la capacidad de los ecosistemas de proveer servicios ambientales. Evaluar degradación implica definir una *condición de referencia*, esto es, el estado no degradado, caracterizado por atributos tales como biomasa, cobertura y altura del dosel, composición de especies e índices de diversidad, estructura de la vegetación, condiciones de los suelos (cuya degradación implica la disminución de la productividad de la vegetación y de su capacidad de almacenar carbono), cantidad, calidad y valor de existencias de recursos forestales, valor o atractivo para uso recreativo, etc. En este caso estos factores se consideraron de manera cualitativa y como condición de referencia se tomaron las existentes en rodales en etapa de madurez de los distintos tipos de bosques y selvas.

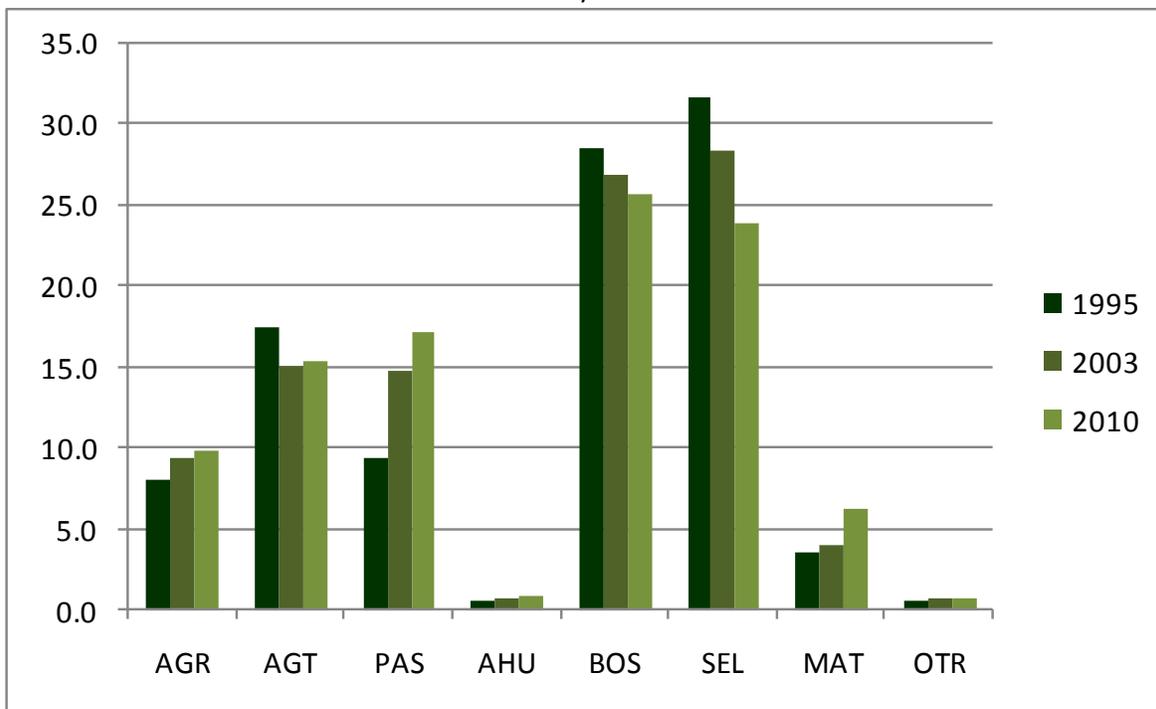
Es importante señalar que, dados los antecedentes históricos y las tendencias actuales del uso del suelo y los recursos naturales en los municipios de la JIRA, no se observan en el presente, frentes de deforestación claramente definidos como ocurre en áreas de frontera en el trópico húmedo en otras partes del mundo. El pico de las tendencias de deforestación en la región parece haberse alcanzado durante la década de los 1970. Actualmente la deforestación ocurre sobre terrenos que

en algún momento del pasado estuvieron desmontados o que han estado bajo usos ganaderos y forestales durante largo tiempo.

En los últimos 15 años (1995-2010), periodo cubierto en el análisis de deforestación, se observa un patrón disperso del cambio de cobertura forestal; esto es, no se observan frentes definidos de pérdida de superficie forestal por el avance de la frontera agropecuaria o algún otro factor, sino una alta dispersión de puntos o sitios en los que han ocurrido cambios, aunque estos tienden a concentrarse en las tierras bajas, mientras que la cobertura forestal ha sido más estable en las partes altas de las montañas. En el periodo de estudio los procesos de degradación forestal y de suelos parecen haber sido tanto o más importantes que la deforestación en la transformación del paisaje regional.

Algunos de los cambios observados han sido cíclicos; por ejemplo, la conversión de selva a agricultura o pastizales en un área que luego pasa a matorral o donde vuelve a regenerarse la selva y luego es nuevamente desmontado.

Figura 13. Porcentaje de la superficie por tipo de cobertura en los municipios de la JIRA en 1995, 2003 y 2010.

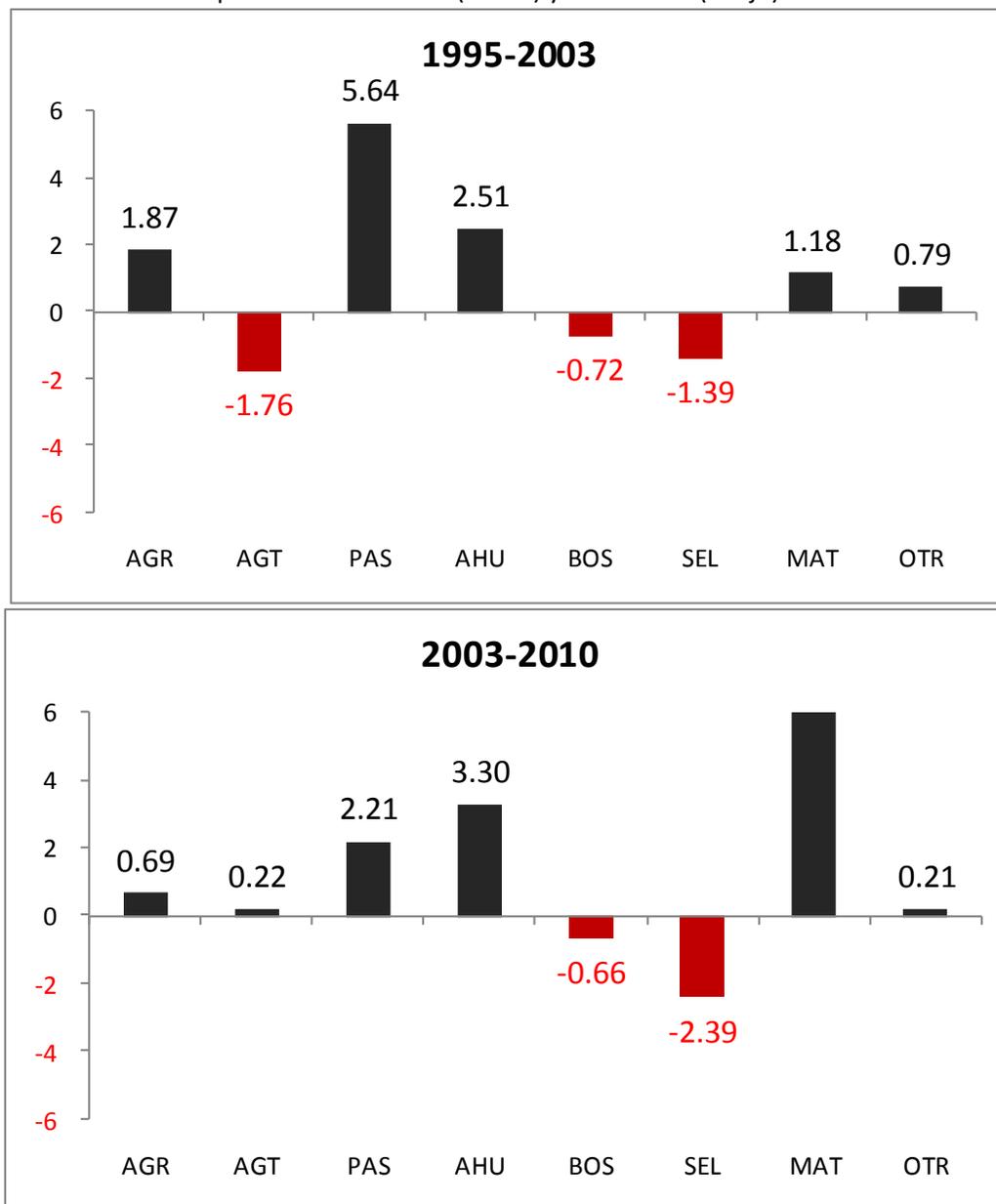


Notas: AGR agricultura de riego, AGT agricultura de temporal, PAS pastizales, AHU asentamientos humanos, BOS bosques de zonas templadas (bosques de coníferas y encinos y bosque mesófilo de montaña), SEL selvas o bosques de zonas cálidas (selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia), MAT matorrales y OTR otras coberturas.



La figura 13, muestra los cambios observados en los tipos de cobertura de los municipios de la JIRA en los periodos 1995-2003 y 2003-2010. Las tasas de cambio anual en los tipos de cobertura (Figura 14) son un buen indicador de las tendencias de deforestación y sus causas próximas. Las tasas anuales de deforestación fueron menores en los bosques que en las selvas; en estas últimas las tasas de deforestación fueron altas en el periodo 1995-2003, de -1.39%, aumentando a -2.39% entre 2003 y 2010. Este cambio está asociado principalmente al crecimiento de los pastizales y matorrales. Los pastizales aumentaron rápidamente entre 1995-2003, presentando la tasa de cambio más alta (5.6% anual), la cual disminuyó en el siguiente periodo, pero siguió siendo elevada (2.2% anual). Los matorrales aumentaron significativamente en el periodo 2003-2010 con una tasa anual de 6.3%. La superficie dedicada a la agricultura de temporal disminuyó entre 1995-2003 con una tasa de -1.8% anual. Esta disminución se debió en gran parte al reemplazo de cultivos de maíz de temporal por pastizales; en el siguiente periodo se volvió a observar una tendencia de crecimiento pero a una tasa baja (0.2% anual). El crecimiento de los asentamientos humanos ha sido poco significativo a la escala regional en términos de superficie, pero las tasas de crecimiento fueron altas y tendieron a aumentar entre los dos periodos de observación, pasando de 2.5% a 3.3%; este crecimiento ha ocurrido principalmente sobre terrenos de agricultura de riego, lo cual ha sido señalado anteriormente como una cuestión importante para el ordenamiento territorial de la región, dada la escasez de tierras con buen potencial agrícola.

Figura 14. Tasa de cambio anual (porcentaje) por tipo de cobertura en los municipios de la JIRA en los periodos 1995-2003 (arriba) y 2003-2010 (abajo).



Notas: AGR agricultura de riego, AGT agricultura de temporal, PAS pastizales, AHU asentamientos humanos, BOS bosques de zonas templadas (bosques de coníferas y encinos y bosque mesófilo de montaña), SEL selvas o bosques de zonas cálidas (selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia), MAT matorrales y OTR otras coberturas.



Las probabilidades de transición entre tipos de cobertura observadas durante el periodo 2003-2010 (Tabla 6) muestran que los bosques y selvas han cambiado principalmente a pastizales (valores entre 0.02 y 0.13), en segundo lugar a matorrales (probabilidades de 0.02 a 0.07) y en tercer lugar a agricultura de temporal (valores de 0.01 a 0.03). Los matorrales presentaron una alta probabilidad de transición (0.30) a pastizales. Estos datos muestran la relevancia de la expansión de los pastizales para la ganadería como la principal causa de deforestación en la región durante el periodo de estudio.

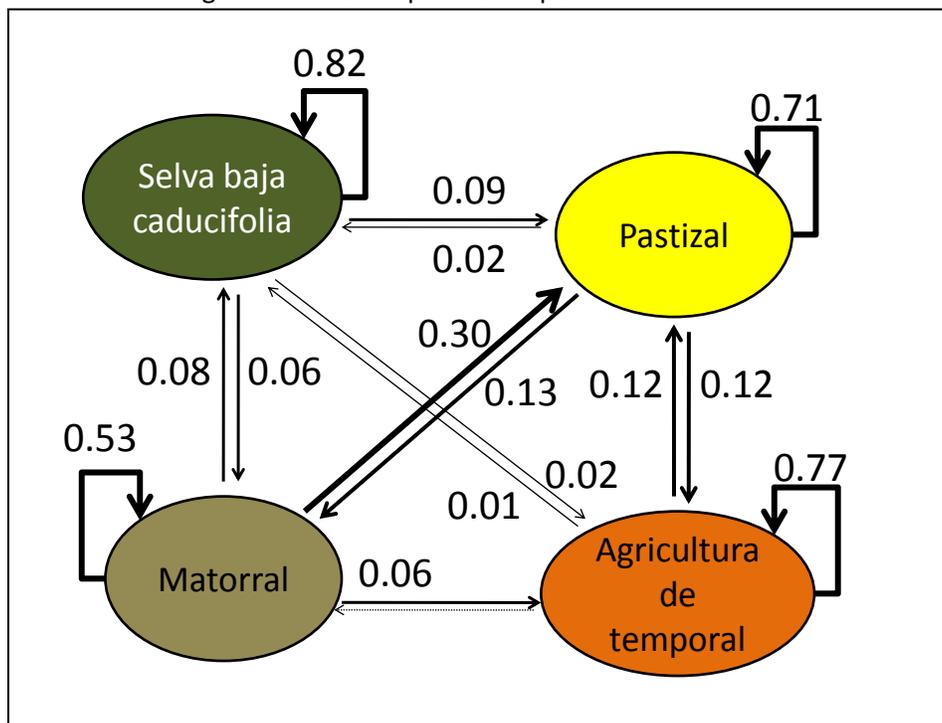
Tabla 6. Probabilidades de transición entre los tipos de cobertura en el periodo 2003-2010.

	BQQ	BPQ	BMM	SBC	SMS	VGA	MAT	PAS	AGR	AGT	AHU	AGU
BQQ	0.90	*		*			0.02	0.07	*	0.01	*	*
BPQ	*	0.97	*	*			*	0.02	*	0.01		
BMM		*	0.99					*		*		
SBC	*	*		0.82		*	0.06	0.09	*	0.02	*	*
SMS					0.77		0.07	0.13		0.02		
VGA						0.95		*	0.02	0.03		
MAT	*	0.01		0.08			0.53	0.30	0.02	0.06	*	*
PAS	*	*	*	0.02	*	*	0.13	0.71	0.01	0.12	*	*
AGR				*				0.01	0.88	0.09	0.01	*
AGT		*		0.01			*	0.12	0.08	0.77	*	*
AHU							0.02	*			0.99	
AGU							*	*		*	*	0.99

Nota: Los asteriscos indican valores menores a 0.01.

Los matorrales presentaron la mayor probabilidad de cambio a otro tipo de cobertura (0.47), seguidos de la agricultura de temporal, los pastizales y la selva mediana subcaducifolia (0.23), la selva baja caducifolia (0.18) y los encinares (0.10), mientras que los bosques de pino-encino y mesófilo de montaña se mantuvieron más estables (probabilidades de transición a otras coberturas de 0.03 y 0-01 respectivamente).

Figura 15. Probabilidades de transición entre la selva baja caducifolia, los matorrales, pastizales y agricultura de temporal en el periodo 2003-2010.



En la figura 15, se muestran las transiciones observadas entre 2003 y 2010 en la selva baja caducifolia y los matorrales, pastizales y agricultura de temporal. La superficie de selva baja caducifolia en 2003 se estimó en 116,111 ha; en estos siete años se observaron cambios a otras coberturas en 20,638 ha de este tipo de vegetación, equivalente al 17.8% de su superficie en la medición inicial. De estas 20,638 ha, el 66.6% (13,752 ha) pueden considerarse propiamente como deforestación (cambio a coberturas no forestales: pastizales 52.3%, agricultura 13.9% y asentamientos humanos 0.3%) y el 33.4% (6,886 ha), que pasó a convertirse en matorrales, puede considerarse como degradación. En el mismo periodo, otras 2,803 ha que estaban bajo otras coberturas no forestales y matorrales se convirtieron en selva baja caducifolia, lo cual indica un proceso de regeneración. La pérdida neta de selva baja (pérdida menos regeneración) en el periodo 2003-2010 fue de 17,798 ha (15% de la superficie en 2003), a una tasa de -2.4 % anual que es alta. Los resultados indican que la causa principal de estos cambios fue la conversión a pastizales y en menor grado a agricultura de temporal (Figura 15).

Las probabilidades de transición entre agricultura de temporal, pastizales y matorrales indican un alto recambio entre estos tipos de vegetación, debido a la dinámica del uso del suelo: conversión cíclica de cultivo de temporal a pastizales y de estos a matorrales. La baja probabilidad de



transición (<0.01) de agricultura de temporal a matorral puede considerarse como un indicador de la tendencia de reducción o abandono del periodo de barbecho.

En el cuadro 1, se presenta un resumen de la evaluación de las causas, mientras que en el anexo I, se discuten en extenso los resultados de este análisis preliminar de las causas próximas de la deforestación y la degradación forestal en los municipios de la JIRA y se presentan algunas conclusiones.

Cuadro 1. Causas próximas de deforestación y degradación forestal en la Cuenca Media del Río Ayuquila (municipios de la JIRA); se enlistan los principales efectos y el nivel de impacto (Imp.) observados sobre los ecosistemas forestales: 0 sin impacto, 1 bajo, 2 medio, 3 alto y 4 muy alto.

Causa	Deforestación		Degradación	
	Efectos	Imp	Efectos	Imp
Ganadería en pastizales inducidos	Conversión de selva baja, bosque de encino y matorrales (incluso áreas de cultivo) a pastizales inducidos.	4	Fragmentación de bosque. Degradación de suelos. Incendios causados por quemas de desmonte. Demanda de postes para cercado.	3
Ganadería en agostaderos cerriles	No provoca cambio de cobertura forestal.	0	En condiciones de sobrepastoreo reducción de biomasa del sotobosque, daño al renuevo y degradación de suelos. Cambios en composición y estructura de la vegetación.	2
Agricultura de ladera	Conversión de selva baja, bosque de encino y matorrales a cultivo.	2	Fragmentación de bosque. Degradación de suelos por reducción o abandono del ciclo de barbecho, uso de agroquímicos y sobrequema. Incendios causados por escape del fuego de quemas de cultivo.	2
Agricultura comercial de temporal (v.gr. agave)	Conversión de selva baja, y matorrales a cultivo.	3	Fragmentación de bosque. Degradación de suelos por prácticas inadecuadas de cultivo. Contaminación con agroquímicos.	4
Agricultura comercial de riego	Conversión de vegetación ribereña, humedales y selva baja a cultivo.	1	Desviación de agua para riego y desecación que afecta a vegetación de ribera y humedales. Degradación de suelos por	3



			salinización. Contaminación con agroquímicos.	
Producción comercial de madera (autorizada con programa de manejo y buenas prácticas de manejo)	No provoca cambios de cobertura forestal a largo plazo. La reducción de cobertura en áreas de corta de regeneración es temporal y se compensan con la regeneración.	0	Reducción de biomasa con la extracción de madera se compensa con regeneración y crecimiento cuando se aplican buenas prácticas de manejo. Eliminación de rodales maduros y componentes de hábitat. Uniformización de las masas forestales. Cambios en composición y estructura. Fragmentación por caminos.	2
Producción comercial de madera (autorizada con programa de manejo pero con prácticas de manejo deficientes y sobreexplotación del recurso)	No provoca cambios de cobertura forestal, pero la degradación de las masas forestales puede conducir a su remplazo por pastizales.	1	Reducción de biomasa y densidad de la cobertura de copas. Disminución de las existencias de madera (cantidad, calidad y valor). Eliminación de rodales maduros y componentes de hábitat. Uniformización de las masas forestales. Cambios en composición y estructura. Fragmentación por caminos.	4
Tala clandestina (maderas comerciales)	No provoca cambios en la cobertura forestal.	0	Reducción de biomasa y densidad de cobertura de copas. Impacto sobre poblaciones de las especies explotadas. Cambios en composición y estructura de la vegetación. Disminución de las existencias de madera (cantidad, calidad y valor).	2
Extracción de madera para leña combustible, postes y otros usos locales	No provoca cambios en la cobertura forestal.	0	Reducción de biomasa y densidad de cobertura de copas. Impacto sobre poblaciones de las especies explotadas. Cambios en composición y estructura de la vegetación. Disminución de las existencias de madera (cantidad, calidad y valor).	2(3)



Extracción de recursos forestales no maderables	No provoca cambios en la cobertura forestal.	0	No produce una reducción significativa de biomasa y densidad de cobertura de copas. Impacto sobre poblaciones de las especies explotadas.	1
Incendios forestales en ecosistemas propensos a incendios con régimen histórico de incendios frecuentes de baja severidad (bosque de pino, pino-encino, encino "roblada") o infrecuentes de reemplazo de rodales (bosque de oyamel, bosque mixto de pino-latifoliadas, encinares húmedos).	No provoca cambios en la cobertura forestal. En incendios de remplazo de rodales la reducción de cobertura es temporal y se compensa con la regeneración.	0	La degradación ocurre solo cuando se altera el régimen histórico de incendios por: (1) aumento de la frecuencia (con daño a rodales en regeneración), (2) cuando se suprime el fuego (acumulación de combustibles y aumento del peligro de incendios de alta severidad) o (3) existen efectos sinérgicos de otros factores (tala, sobrepastoreo) que se combinan con él fuego. Daño a la calidad de la madera.	1(2)
Incendios forestales en ecosistemas reacios a incendios con régimen histórico de incendios ocasionales de alta o moderada severidad (ecosistemas sensibles al fuego: bosque mesófilo de montaña, selva mediana subcaducifolia y selva baja caducifolia).	El aumento de la frecuencia de incendios (asociado a fragmentación, invasión de pastos, mayor frecuencia de igniciones) provoca la sabanización de la cobertura forestal.	1	Reducción de la cobertura de copas y biomasa. Cambios en estructura y composición de especies. Aumento de la vulnerabilidad a nuevos incendios. Reemplazo por otros tipos de vegetación favorecidos por el fuego.	3
Minería a cielo abierto	Conversión de coberturas forestales a áreas desprovistas de vegetación. (Actualmente a pequeña escala en la región, pero potencialmente puede ser un factor crítico).	1	Fragmentación de bosque remanente de la deforestación y por caminos. Pérdida de suelo. Sedimentación y contaminación de cuerpos de agua. Alteración de la calidad del paisaje.	4
Urbanización	Conversión de coberturas forestales (actualmente a pequeña escala, con mayor presión sobre suelos agrícolas que forestales).	1	Fragmentación de bosque (en áreas residenciales vecinas o dentro de áreas boscosas). Acumulación de basura en áreas vecinas a centros de población. Desviación de agua para uso urbano y desecación que afecta a vegetación de ribera y humedales.	2



			Aumento del riesgo de incendios.	
Carreteras, caminos y otra infraestructura (como líneas de conducción eléctrica)	Conversión de coberturas forestales a carreteras. Efectos indirectos: se facilita el cambio de uso del suelo a agricultura, ganadería y centros de población y la especulación inmobiliaria.	1	Fragmentación de bosque. Aumento del riesgo de incendios. Se facilita la penetración a áreas forestales para la extracción de recursos.	
Turismo	No hay cambio significativo de coberturas forestales. Potencialmente puede darse por desarrollos turísticos.	0(1)	Reducción de cobertura en áreas de visita pública. Daño a la vegetación y suelo y aumento del riesgo de incendios en áreas con alta densidad de visitantes. Acumulación de basura en áreas de visita pública.	1

6.1 Antecedentes históricos.

Para entender la dinámica de cambio en la cobertura y uso del suelo y sus causas en la región, es importante tomar en consideración sus antecedentes históricos. La CMRA tiene una larga historia de transformación del paisaje por las actividades humanas, que se remonta a la expansión de la agricultura y la densificación de la población humana hace más de 2,000 años (Laitner-Benz and Benz 1992). Las áreas que sufrieron un proceso de transformación más intenso desde la Época Prehispánica y durante la Colonia y el siglo XIX, fueron aquellas con mayor potencial relativo para la producción agrícola, como los valles y las llanuras, y en segundo término las laderas bajas de montaña.

La ganadería, introducida en la región desde el siglo XVI, ha tenido un impacto importante en la dinámica del uso del suelo (Bussink 1995, IMECBIO 2000, Louette et al. 2001). La forma en que se ha manejado el ganado (principalmente bovino y equino) en la región está basada en el apacentamiento en agostaderos cerriles durante la mayor parte del año y en los rastrojos o terrenos agrícolas en barbecho después de la cosecha, durante la temporada seca (Graf 1993, Louette et al. 2001). El establecimiento de pastizales inducidos o cultivados, que sirven como reservas de forraje, parece ser una práctica que solo se generalizó a mediados del siglo XX (inducida por programas gubernamentales de fomento a la ganadería), de modo que la actividad ganadera probablemente no fue una causa importante de deforestación en el pasado, pero sí, una causa de impacto sobre la composición y estructura de la vegetación.



En cuanto a la producción forestal, pueden diferenciarse dos modalidades: la recolección de plantas silvestres leña y materiales de construcción para autoconsumo local o comercialización a pequeña escala, y la producción comercial de madera para aserrío y celulósicos. La actividad forestal comercial ha sido importante en la región, en cuanto al volumen de extracción de madera, el número de aserraderos que operaron y el movimiento de población que ocasionó. La producción comercial de madera se expandió a principios de los años 1940 con la apertura de carreteras y repuntó entre las décadas de 1960 y 1980, que fue el periodo de auge de esta actividad (Jardel 1991, 1998). Esta actividad, se ha concentrado en los bosques de las zonas templadas y principalmente en los bosques de pino; no constituyó una causa de deforestación pero si de alteración de la estructura, composición y dinámica de los bosques, generando impactos ambientales significativos, y ha sido además un factor de conflicto social por la apropiación privada de los recursos forestales de las comunidades agrarias (Jardel et al. 1989, Jardel 1998).

La deforestación causada por la minería ha sido localizada y restringida a las áreas inmediatas a los sitios de extracción, pero ha tenido impactos de degradación a causa de la demanda de madera para ademar los tiros de mina, la fragmentación por la construcción de caminos y la contaminación acuática por arrastre de sedimentos.

Tanto la explotación maderera como la minería y la agricultura comercial, han sido factores que han influido en la dinámica demográfica de la región, generando procesos de movimientos de población dentro de la región y de inmigración desde otras regiones del país, en las etapas de auge y de emigración cuando se han agotado los yacimientos de minerales (como ocurrió en la mina de manganeso de San Francisco en Autlán), han caído los precios de los productos agrícolas (el caso de la declinación de la producción de algodón, melón y jitomate en el valle de Autlán-El Grullo) o se ha reducido la actividad forestal comercial (por ejemplo, el abandono de los poblados alrededor de los aserraderos en la Sierra de Manantlán) (IMECBIO 2000).

Las actividades económicas ilegales, como la tala clandestina y la producción de narcóticos merecen ser consideradas no solo como causas de degradación forestal, sino también, como factores que influyen en la descomposición y los conflictos sociales y que llegan a representar un obstáculo para la puesta en marcha de proyectos de aprovechamiento sustentable de los recursos forestales y de conservación de las áreas silvestres. La tala ilegal se ha practicado a pequeña escala, pero en algunos lugares puede significar una fuerte presión sobre las poblaciones de las especies arbóreas con mayor demanda (por ejemplo maderas tropicales). Los cultivos ilegales de marihuana y amapola (introducidos probablemente en la década de 1970 en la región) se establecen generalmente en pequeñas parcelas en medio de los bosques; no son una causa significativa de deforestación, pero el uso del fuego para desmontar el terreno, prepararlo para el cultivo o borrar sus rastros, es una de las causas más importantes de incendios forestales, en



términos de superficie afectada (Balcázar 2011). Estos incendios se propagan en cañadas con tipos de vegetación como bosque mesófilo de montaña, bosque de oyamel o bosque mixto de coníferas y latifoliadas que son sensibles al fuego, y puede ser considerado en este caso como un factor de degradación.

6.2 Discusión y conclusiones sobre causas de deforestación.

A continuación se discuten los resultados de este análisis preliminar de las causas próximas de la deforestación y la degradación forestal en los municipios de la JIRA y se presentan algunas conclusiones.

6.2.1 Ganadería

La causa más importante de deforestación en los últimos 15 años en la región ha sido, sin lugar a dudas, la expansión de los pastizales inducidos o cultivados para la ganadería, como lo muestran los resultados del presente informe. Los pastizales inducidos han reemplazado en muchas áreas no solo a los bosques, selvas y matorrales, sino también a los cultivos de temporal (y en algunos puntos de los valles a áreas de cultivo irrigado degradadas por salinización).

La ganadería ha sido una actividad económica importante en la región y está fuertemente arraigada en la cultura local. La ganadería es también una forma de apropiación privada de terrenos forestales comunales, dada la concentración del hato ganadero en pocas manos. Los cambios en la legislación agraria a principios de los 1990 (que generó una tendencia a la privatización de la tierra) y los programas oficiales de fomento a la ganadería, han favorecido la expansión y la sobrevivencia de esta actividad a pesar de su baja rentabilidad.

El ganado se alimenta en agostaderos cerriles (i.e. bajo coberturas forestales), rastrojos y terrenos de cultivo en barbecho, y en pastizales inducidos o cultivados. Estos últimos son utilizados como reservas de forraje para la temporada seca y su calidad nutricional es muy baja; a esto se suma el hecho de que el ganado en estos pastizales tiene altos costos energéticos al desplazarse en los pastizales establecidos en terrenos con pendientes fuertes y sin sombra en condiciones de clima cálido. En suma, los pastizales sostienen una ganadería precaria a costa de la deforestación.

La actividad ganadera demanda también, la corta de madera para la producción de postes utilizados en los cercados. La corta es selectiva y dirigida a especies de maderas duras que producen postes de mejor calidad, y tiene un impacto en la degradación de las selvas bajas, principalmente.



La ganadería en agostaderos cerriles no es una causa de deforestación, pero sí puede contribuir a la degradación de los terrenos forestales cuando se combinan el sobrepastoreo y las quemadas para inducir rebrotes de plantas forrajeras. Algunos tipos de vegetación forestal y especies de árboles forrajeros son valorados como fuente de alimento para el ganado, lo cual en algunos casos ha favorecido su permanencia, ya que se evita talarlos.

La adopción de sistemas silvopastoriles puede considerarse como una alternativa para aumentar la cobertura de árboles y arbustos y la biomasa en las áreas desmontadas, reemplazando los pastizales.

6.2.2 Agricultura

La agricultura ha sido históricamente un factor importante en la conversión de los bosques y selvas; prácticamente todos los suelos con potencial agrícola de la región fueron desmontados en el pasado.

La agricultura de riego no es una causa significativa de deforestación en la CMRA, pero sí es un factor de cambio en la cobertura remanente de hábitats ecológicamente importantes, en los valles como los bosques de galería y los humedales, que tienden a desaparecer.

La agricultura de temporal, en la que ha predominado el sistema de cultivo de coamil (cultivos de ladera con ciclo de barbecho, desmonte y quema), continúa siendo una causa de cambio de la cobertura forestal, pero la tasa de su expansión es baja en los últimos años (0.2% anual); las probabilidades de transición de bosques y selvas a agricultura de temporal son relativamente bajas. En muchos lugares se ha observado incluso la conversión de área agrícola a pastizales o matorrales, lo cual puede asociarse a los bajos rendimientos de la productividad agrícola de temporal y al deterioro de los términos de intercambio de los productos respecto a los insumos agrícolas.

En los últimos 25 años se ha observado una transformación de los sistemas tradicionales de agricultura de ladera hacia prácticas de cultivo más extensivas, con la reducción o eliminación del periodo de barbecho y el incremento del uso de agroquímicos (Jardel 1992, IMECBIO 2000, INE 2000). Los rendimientos agrícolas no solo no han aumentado, sino que se ha incrementado la degradación de suelos.

La degradación de los suelos con el abandono del ciclo de barbecho y su efecto en la disminución de la productividad de la agricultura de temporal ha sido considerada como un factor que induce a la deforestación, pero los datos obtenidos indican que la mayor parte de la conversión de



terrenos a la agricultura de temporal ha ocurrido sobre los matorrales y algunos pastizales (terrenos que estaban en barbecho o antiguas parcelas agrícolas que habían sido abandonadas) más que sobre los bosques y selvas. Dada la baja rentabilidad de la agricultura de temporal, en muchos lugares solo se ha expandido y mantenido gracias al subsidio de PROCAMPO.

Entre 1998 y 2004, se expandió en la región el cultivo de agave para abastecer de materia prima a las industrias productoras de tequila y mezcal. Esto generó una tendencia de conversión de cultivos de maíz de temporal, matorrales y selva baja caducifolia a plantaciones de agave (Martínez-Rivera et al. 2006). Sin embargo, el crecimiento del área cultivada con agave comenzó a declinar, al caer en 2004 el precio del producto por exceso de oferta, siguiendo el mismo patrón de “auge y colapso” de otros cultivos comerciales.

El mejoramiento de la producción agrícola, a través de la adopción de prácticas de conservación de suelos, uso de abonos verdes y compostas, policultivos, etc., y regulación del uso del fuego (que debe eliminarse cuando no hay un periodo de barbecho largo), puede contribuir a estabilizar las áreas de cultivo y reducir la conversión de coberturas forestales. La adopción de sistemas de agricultura orgánica, sistemas agroforestales y la regulación del uso del fuego puede contribuir a mejorar los almacenes de carbono y reducir emisiones.

6.2.3 Aprovechamiento de madera

El aprovechamiento de madera no ha sido una causa de pérdida de cobertura forestal en la región, pero sí, en muchos casos, de degradación (JARDEL, 1998). La producción comercial de madera para aserrío y celulósicos se ha concentrado en los bosques de coníferas, especialmente en bosques de pino y pino-encino, y en menor grado en bosques de encino de zonas templado-húmedas. La mayor parte de la superficie de estos bosques ha estado bajo aprovechamiento forestal en algún momento desde la década de 1940. Aunque las áreas sujetas a la explotación comercial de madera mantienen su cobertura boscosa, esta actividad ha tenido efectos importantes sobre la composición y estructura de la vegetación (Jardel 1991, 1998).

La adopción de buenas prácticas de silvicultura y ordenación forestal en los bosques con potencial productivo, complementadas con mecanismos de compensación por servicios ambientales, asesoría técnica y apoyo económico a las actividades de manejo, protección forestal y restauración, contribuyen a la valorización de las áreas forestales y a su conservación como sistemas productivos.



6.2.4 Aprovechamiento de recursos forestales no maderables, postes y leña combustible

La recolección de plantas silvestres o partes de éstas (como leña combustible, palma, otate, heno, frutos y flores, cortezas y raíces de diversas especies con usos alimenticios, medicinales o artesanales), la fabricación de carbón y de artesanías, y la producción de postes para cercados, son actividades que para las familias campesinas más pobres han representado una fuente de ingreso durante períodos considerables del año (Graf 1993, Benz et al. 2000, Rosales-Adame and Bussink 2001). La recolección de plantas silvestres, tanto en selvas y bosques como en matorrales y terrenos en barbecho, puede generar presión sobre las especies utilizadas pero no ha sido una causa de deforestación; al contrario, representa una forma de valoración de las áreas forestales y un incentivo para su conservación.

6.2.5 Incendios forestales

En los municipios de la JIRA se ha registrado históricamente una alta incidencia de incendios forestales y esta condición se mantiene en la actualidad. En 2010 se quemaron en los 10 municipios 7480 ha en 23 incendios (Jardel et al. 2010). En la Sierra de Manantlán, que es el área para la cual se cuenta con mayor información, entre 2001 y 2008 se quemó en incendios superficiales el 34% de la superficie de bosque de pino y el 35% de la superficie del bosque de encino, esto es, la tercera parte de estos tipos de vegetación en un periodo de 8 años (Balcázar 2011). A pesar de esta alta incidencia de incendios, este factor no es una causa de deforestación. Las áreas quemadas en incendios superficiales han mantenido su cobertura. La evidencia de estudios sobre historia de incendios muestra que en los bosques de pino-encino de la Sierra de Manantlán el régimen ha sido de incendios frecuentes, con intervalos de 3-20 años, de baja severidad (Jardel 1991, Rubio-Camacho 2007), similar a otros bosques del mismo tipo en otras partes de México y Norteamérica. El mosaico de sitios no quemados y quemados en distinto tiempo y con distinto grado de severidad favorece el mantenimiento de la diversidad de plantas en los bosques de pino-encino de la región (Vargas-Jaramillo 2010).

Es importante señalar que, erróneamente se confunden los incendios forestales con las quemadas de desmonte, siendo cosas diferentes. Un incendio forestal es, según la definición aceptada, “la propagación libre y sin control del fuego en terrenos forestales”. Los incendios, pueden ser originados por causas naturales o antropogénicas y ser superficiales de intensidad variable o de remplazo de rodales (cuando forman claros y se reinicia la sucesión). En ecosistemas propensos a incendios (como los pinares y encinares) el fuego es un proceso ecológico que forma parte de su dinámica natural o histórica. El efecto del fuego en un ecosistema, depende de su régimen natural o histórico de incendios. Un incendio puede modificar la cobertura forestal, pero si no hay cambio



de uso del suelo, la vegetación se regenera; en caso contrario, si los claros abiertos por incendios son ocupados por cultivos o pastizales para la ganadería, se consideran quemas de desmonte.

Las quemas de desmonte consisten en, la eliminación de la cobertura forestal con uso de fuego, con el propósito de cambiar el uso del suelo (por ejemplo, conversión de bosque o selva a cultivo agrícola o pastizal ganadero); en este caso sí hay cambio de uso del suelo y deforestación.

El escape accidental del fuego hacia los bosques durante las quemas agrícolas ha sido considerado como una de las causas más importantes de incendios forestales; sin embargo, las observaciones hechas en la Sierra de Manantlán indican que es menos importante como causa de incendios, que la quema de agostaderos cerriles y las quemas de desmonte, esto es, quemas hechas deliberadamente (i.e. no accidentales) para eliminar cobertura forestal para el cambio de uso del suelo a cultivos o pastizales (Balcázar 2011).

Los incendios forestales solo pueden considerarse como un factor de degradación cuando se alteran los regímenes naturales o históricos de incendios, especialmente cuando afectan ecosistemas sensibles al fuego como el bosque mesófilo de montaña (Jardel et al. 2009). La supresión de incendios en bosques de pino y encino favorece la acumulación de biomasa combustible aumentando el peligro de incendios de alta severidad; esto es, aunque los reservorios de carbono aumenten temporalmente (Tilman et al. 2000), también aumenta el peligro de altas emisiones de carbono en incendios severos (Association-for-Fire-Ecology. 2009, Hurteau et al. 2008). Por lo tanto, es esencial la adopción de estrategias de manejo del fuego, como se ha venido haciendo en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán y más recientemente en los municipios de la JIRA (Jardel et al. 2006, Jardel et al. 2010).

Enfatizamos aquí, el caso de los incendios forestales por las siguientes razones: (1) existen prejuicios muy arraigados en relación con los incendios forestales y una marcada ignorancia acerca del papel ecológico del fuego, lo cual ha conducido a la puesta en práctica de políticas erróneas e ineficientes de supresión de incendios (Agee 2002); (2) la combustión en incendios es un componente del ciclo del carbono en la biosfera desde que las plantas colonizaron hábitats terrestres hace 440 millones de años (Pausa and J.E 2009) y cualquier iniciativa relacionada con la mitigación de emisiones de carbono y otros gases con efecto de invernadero no puede ignorar que, potencialmente, cualquier porción de la superficie terrestre con cobertura vegetal puede quemarse, variando el tipo de régimen de incendios; (3) en el contexto de la mitigación del cambio climático, el manejo del fuego implica mantener el balance de carbono (emisiones y captura) dentro del rango de su variación histórica y prevenir la acumulación de combustibles que puede ocasionar incendios catastróficos con altas emisiones en ecosistemas propensos a incendios (HURTEAU et al. 2008), como los bosques de pino y encino, donde el fuego es parte de su



dinámica, y prevenir y controlar los incendios en ecosistemas reacios y sensibles al fuego como las selvas tropicales, donde el fuego es un factor de degradación; por último (4) el manejo del fuego es también, un componente importante de la adaptación al cambio climático en el sector forestal, ya que se prevé un aumento de la actividad de incendios como consecuencia de la alteración del clima (Flannigan et al. 2009). Por lo tanto, el manejo del fuego (y no la simple supresión de incendios) debe de incorporarse como un componente estratégico en iniciativas como REDD+.

Factores como la urbanización, la construcción de caminos e infraestructura, y la minería, han generado cambios relativamente pequeños y localizados, pero su impacto ambiental puede manifestarse en la degradación de áreas mucho más extensas que aquellas en las que se observa el cambio de cobertura forestal.

6.2.6 Minería

La minería no ha sido un factor de deforestación en los últimos 15 años, pero actualmente ha aumentado la actividad de exploración y explotación minera en la región, con impactos directos o indirectos sobre las áreas forestales. Dado que la mayor parte de las áreas montañosas de la región están bajo concesiones mineras, esta actividad puede tener potencialmente un impacto significativo sobre los bosques y selvas de la región.

6.2.7 Turismo

El turismo es una actividad de escasa importancia en la región, que no ha tenido impacto en la conversión de tierras forestales y su impacto ambiental es localizado en los sitios con mayor afluencia de visitantes. Los principales atractivos turísticos de la región son los espacios silvestres y sus valores naturales; el ecoturismo puede contribuir a valorizar las áreas forestales favoreciendo su conservación, pero también puede inducir cambios de uso del suelo para el establecimiento de desarrollos turísticos y por la especulación inmobiliaria, de lo cual existen ya casos de problemas localizados.

6.2.8 Asentamientos humanos e infraestructura

El cambio de uso del suelo debido a la urbanización, ha ocurrido principalmente sobre terrenos agrícolas, pero algunas áreas forestales pueden ser atractivas para la especulación inmobiliaria y desarrollos residenciales, como ha ocurrido en otras partes del país. La construcción de infraestructura de carreteras y caminos rurales no ha sido significativa en términos de deforestación, pero si ha contribuido a la fragmentación de hábitats forestales y a la degradación de hábitats acuáticos, e indirectamente favorece cambios de uso del suelo y la explotación



clandestina de madera y otros recursos forestales al comunicar áreas boscosas que antes estaban aisladas.

6.2.9 Conservación y áreas protegidas.

Es importante señalar, como parte de este análisis de las causas próximas de deforestación, que el establecimiento de áreas protegidas como la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, ha contribuido a frenar la deforestación en la región; estudios realizados en dicha reserva muestran que la cobertura forestal se ha mantenido estable (y en algunos sitios se ha recuperado) en las zonas núcleo y que las tasas de deforestación son menores en la zona de amortiguamiento, que en las áreas adyacentes de la región circundante (Farfán 2009, Vélica en preparación). Como parte de las acciones de REDD+ es importante, fortalecer las acciones de conservación en las zonas de amortiguamiento de las tres áreas protegidas de la región (Parque Nacional Nevado de Colima, Parque Estatal Bosque Mesófilo del Nevado de Colima y Reserva de la Biosfera sierra de Manantlán).

Por último, aunque en el contexto de REDD+ se hace énfasis en la conservación y recuperación de almacenes de carbono y en la reducción de emisiones, el análisis de las causas de deforestación y degradación forestal indica que es necesario adoptar un enfoque integral de manejo de ecosistemas, considerando otros componentes como agua, suelos y biodiversidad y que el éxito de las acciones tempranas de REDD+ depende en gran medida del mejoramiento de las prácticas de manejo de recursos naturales y de su viabilidad económica, considerando no solo la producción forestal sino también, la producción agrícola y ganadera, así como el ordenamiento territorial y el alineamiento e integración de las políticas públicas para fortalecer la gestión ambiental en los municipios de la JIRA.

7. Propuesta para cuantificar los NRE para deforestación

Los datos de cambio de superficies y contenido de carbono son los insumos necesarios -aunque no siempre suficientes- para construir Niveles de Referencia de Emisiones (NRE) debidos a cambios de cobertura y uso del suelo, y que sean cuantitativos y creíbles.

Existen diferentes aproximaciones para construir NRE con un nivel de complejidad creciente. La manera más sencilla es simplemente proyectar hacia el futuro los cambios pasados de superficies, utilizando matrices de probabilidad. Los resultados de éste análisis sencillo -y algo rudimentario- se muestra en las Figuras 16, 17 y 18. Las matrices de probabilidad se adjuntan en el Anexo II (DVD) como archivos en formato Excel: BD_A2_3_M95_03s_man.xls, BD_A2_4_M03_10s_man.xls, y BD_A2_5_M95_10s_man.xls.

Figura 16. Proyección de superficies al año 2025 utilizando las matrices de transición obtenidas del análisis de cambio de cobertura y uso del suelo entre 1995 y 2010.

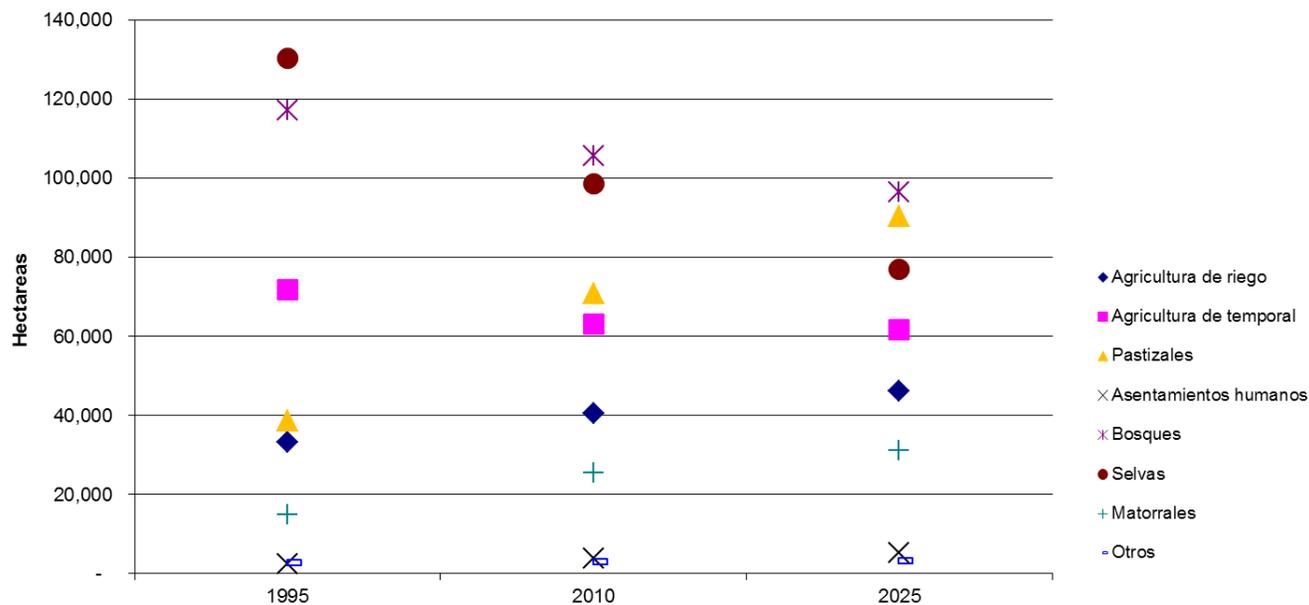


Figura 17. Proyección de superficies al año 2017 utilizando las matrices de transición obtenidas del análisis de cambio de cobertura y uso del suelo entre 2003 y 2010.

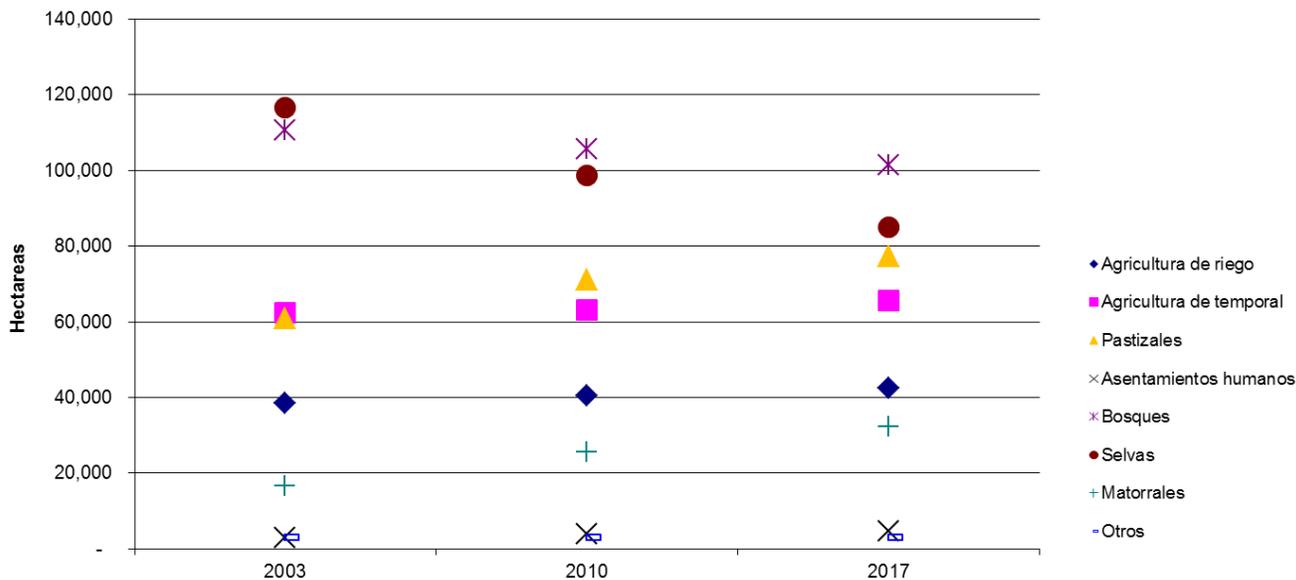
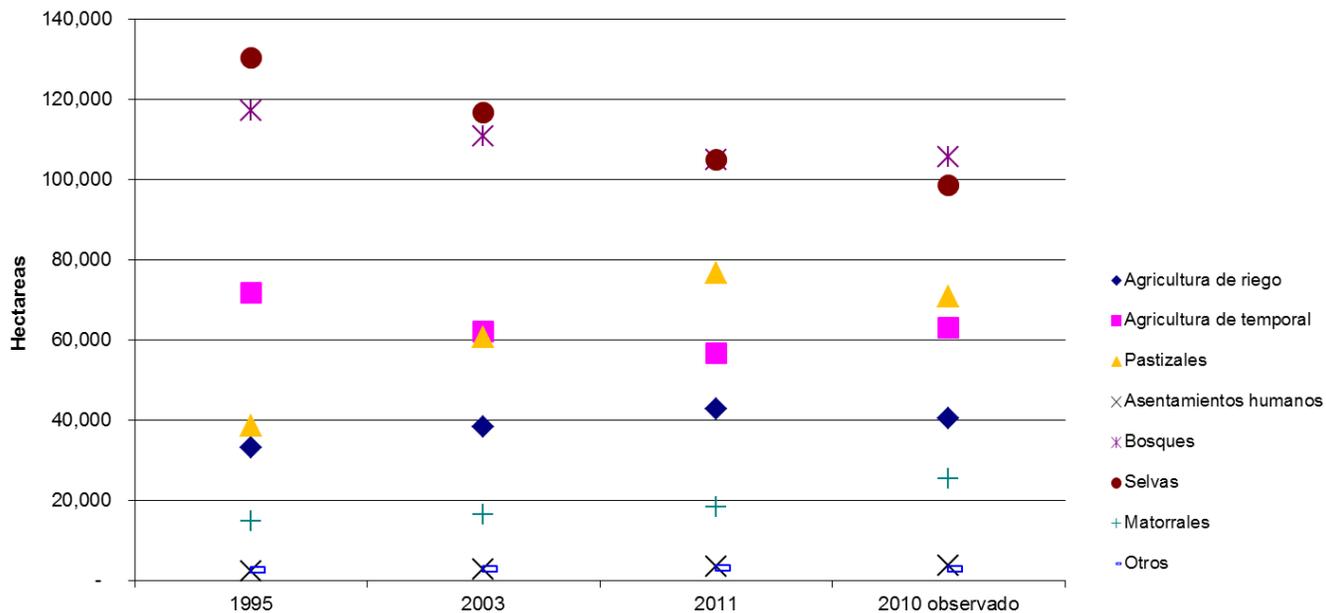


Figura 18. Proyección de superficies al año 2011 utilizando las matrices de transición obtenidas del análisis de cambio de cobertura y uso del suelo entre 1995 y 2003.





Lo primero que se aprecia en las figuras es que el periodo de proyección a futuro corresponde con el tiempo entre los dos puntos de calibración. De esta manera, para el análisis 1995->2010 la proyección llega hasta el año 2025, es decir que da un salto de 15 años, igual al periodo pasado o de calibración. Esto supone un primer problema con éste tipo de análisis cuando se cuenta con al menos tres fechas pasadas de calibración –como en el presente estudio (1995,2003 y 2010) porque las comparaciones entre las proyecciones no son totalmente posibles. Por ejemplo, al comparar las tres figuras vemos que las proyecciones van al 2025 (Figura 16), a partir de una calibración entre los años 1995->2010; al 2017 (Figura 17), a partir de una calibración entre los años 2003->2010; y al 2011 (Figura 18), a partir de una calibración entre los años 1995->2003. Surge inevitablemente la pregunta sobre qué periodo escoger. Sin embargo, las proyecciones no son comparables de manera fácil por ser años distintos. Lo que sí es fácil de ver con éstos análisis es que las pendientes de las proyecciones varían notablemente según el periodo de calibración que se escoja. Vale notar que la proyección de la figura 18 al año 2011 es comparable con las superficies registradas en el 2010 y que pueden ser consideradas “verdaderas”. El hecho de que no coincidan las superficies proyectadas utilizando un periodo de calibración 1995->2003 demuestra lo difícil que puede resultar “predecir” lo que va a ocurrir en el futuro, que es justamente el objetivo de los NRE.

Un siguiente paso es anualizar las matrices de transición, lo que permite proyectar anualmente en función de cualquiera de los tres periodos de calibración disponibles. Este método permite comparar año con año las proyecciones y poder presentar las diferencias entre NREs de manera explícita.

El siguiente nivel de complejidad consiste en integrar el espacio geográfico. De esta manera se consigue explicar los cambios según su ubicación en el espacio, tales como su cercanía a carreteras o a áreas agrícolas. Algunas transiciones presentan relaciones muy fuertes con variables explicativas geográficas (e.g. selva baja->pastizal como función de la distancia a otros pastizales existentes), y esto permite proyectar los cambios esperados futuros en el espacio, en lo que se conoce como modelación prospectiva del paisaje. Al igual que con la proyección de superficies, los mapas resultantes de cambios esperados son sumamente sensibles al periodo de calibración que se haya escogido. Sin embargo, la validación de mapas proyectados con mapas “reales”, tal como la comparación de superficies entre la proyección al 2011 y el año 2010 de la figura 18, resulta mucho más robusta y menos incierta. Esto significa que si modeláramos al año 2010 la distribución de coberturas y uso del suelo de la JIRA y validáramos ésta proyección con el mapa del 2010 tendríamos una medida muy concreta de la fiabilidad de la proyección. Si esa medida es aceptable podemos movernos hacia el futuro cercano con un nivel aceptable de confianza en los resultados.



El próximo nivel de complejidad, se obtiene al integrar las causas subyacentes del cambio, lo que requiere conocer la dinámica del área de estudio al tiempo de ser capaces de modelar procesos que no necesariamente son fáciles de expresar en el espacio.

Otro factor a considerar en el análisis es el de la incidencia de los instrumentos de política pública dirigidos a contener y revertir deforestación y mejorar el manejo forestal. Se puede comparar, a nivel predial, si la aplicación de estos instrumentos ha representado un cambio en las tendencias.



8. Propuesta para un sistema de MRV para deforestación en el área de estudio

Nuestro análisis del cambio de cobertura y uso del suelo ha demostrado que una escala de 1:50.000 es necesaria para capturar los eventos más pequeños y que estimaciones precisas de la deforestación requieren por lo menos de este nivel de resolución, al menos a escala regional. Pero a nivel de predio la escala sigue siendo gruesa. Para implementar una política de incentivos (por fuerza basada en el régimen de propiedad de la tierra) se necesitan datos a una escala equivalente a la que se exige por ejemplo para inventarios y planes de manejo forestal, que es 1:25,000 para predios del tamaño de los que se encuentran en los municipios de la JIRA. Nuestro estudio indica una pérdida de 10,000 hectáreas de bosque y 30,000 hectáreas de selva entre 1995 y 2010. Si se utilizan los datos del INEGI sobre el cambio de cobertura a la escala 1:250.000, no se detecta ningún cambio en el bosque de 1996 hasta 2007 y se reporta una pérdida de solamente 1.500 hectáreas de selva para el mismo período. Puesto que no hay razón para sospechar tasas muy altas de deforestación entre 2007 y 2010, se puede suponer que las diferencias se deben principalmente a la incapacidad de las imágenes a escala 1:250.000 para registrar muchos de los cambios que tuvieron lugar en la realidad. Esto es importante, porque en un área como Ayuquila, a pesar de la existencia de grandes áreas deforestadas (por ejemplo, plantaciones de agave en ciertos municipios, se producen muchos más cambios a pequeña escala; los cuales se deben posiblemente a actividades como la limpieza de pequeños parches para el pastoreo (desmontes).

Estos pequeños eventos de deforestación son particularmente importantes para REDD+, ya que se considera que las probabilidades de éxito de este mecanismo de evitar la deforestación son mayores al tratarse de deforestación a pequeña escala. En otras palabras, la deforestación asociada con la agricultura comercial, son mucho más difíciles de prevenir (y representan un mayor costo de oportunidad), que aquella producida por pequeños agricultores y comunidades locales debido a sus prácticas agrícolas y ganaderas.

Lo anterior implica que los logros en reducción de deforestación a pequeña escala deben ser "visibles" en la tecnología de control utilizada, de manera que puedan ser recompensados en términos de bonos de carbono. Por tanto, se recomienda que, para el monitoreo de la deforestación en un área como Ayuquila- la cual está densamente poblada y donde las oportunidades para detener la deforestación se encuentran principalmente en el ámbito de una mejor gestión a nivel comunitario-, se utilicen imágenes de alta resolución capaces de detectar estos pequeños cambios.

Es necesario utilizar imágenes con una resolución espacial suficiente como para detectar cambios mayores a 1 hectárea, como por ejemplo las imágenes SPOT (o inclusive otros sensores de mayor resolución (por ejemplo Quickbird, IKONOS, Worldview, etc.). El uso de imágenes de resolución



intermedia (por ejemplo Landsat) no es recomendable ya que solo se detectarían cambios de mayores o iguales a 10 ha. También, se debe usar alta resolución para obtener resultados fiables sobre áreas de cambio de uso (datos de actividad) debido a que la definición de bosque (y por lo tanto la deforestación) para México establece una superficie mínima de 1 hectárea, una altura en la madurez de un mínimo de 4 metros y una cobertura de copas superior al 30%.

Lógicamente, como cualquier estudio de cambios en cobertura del suelo hecho con base en percepción remota, un sistema de MRV para deforestación, requerirá la toma de datos de campo. Es a partir de los datos de campo que se valida la información obtenida a través de las imágenes de satélite.

Se sugiere que el análisis de cambio de cobertura para estimar los datos del área de actividad se realice al principio y al final de cada período contable (5 años).³ Sin embargo es recomendable al menos una medición intermedia para proporcionar una mayor confiabilidad en los resultados. En cuanto a los factores de emisión (FE), la práctica común es utilizar datos reportados en la literatura o bien los propuestos por el IPCC. Sin embargo, con respecto a los factores de emisión existe una gran incertidumbre, ya que se prescinde de buenos datos locales que permitan mejorar la estimación. Por ejemplo, se desconocen los factores de emisión asociados a los desmontes o aquellos asociados a incendios donde el consumo de biomasa es parcial. A pesar de esta incertidumbre, para efectos de un sistema de MRV de deforestación en la cuenca es posible utilizar los FE propuestos por defecto, aunque se sugiere que con el objetivo de elevar la exactitud idealmente se deben generar nuevos FE que respondan a las condiciones locales de la cuenca.

En el Cuadro 2, se presenta de manera ilustrativa una aproximación al costo de instalación de un sistema de MRV para deforestación. Los datos presentados en el Cuadro 1, muestran que el monitoreo de la deforestación se llevaría un porcentaje considerable de los ingresos por mitigación de las emisiones de carbono. Sin embargo, el monitoreo no es el único costo, la provisión de incentivos o recompensas a los propietarios y gestores forestales representara un gasto mucho mayor. Es importante notar que independientemente del sistema de MRV implementado, la rentabilidad global depende en gran medida de la cantidad en que la deforestación se reduce y lógicamente del precio del carbono en el mercado. La alternativa de utilizar Landsat reduciría los costos de monitoreo significativamente, pero también resultaría en una menor detección de deforestación evitada, por lo cual los ingresos por deforestación evitada

³ Según el IPCC, para estimar las emisiones por cambio de cobertura (LUCLUCF, es decir deforestación); se estima el área de actividad, la cual se define como la cantidad de ha donde ocurrió el cambio de cobertura, y se multiplica por el factor de emisión, el cual se define como la biomasa perdida en los diferentes pools de carbono, debido a ese cambio de cobertura.



serían mucho menores y probablemente no alcanzarían para proporcionar incentivos suficientes a los propietarios y gestores forestales.

Las cifras en el ejemplo se proporcionan sólo a efectos ilustrativos, para indicar las diferencias entre estos dos enfoques. Un aspecto que aminoraría los costos de monitoreo es el hecho de que el costo de las imágenes de alta resolución va a ser mucho menor en un futuro cercano.

Cuadro 2: Costos aproximados de un sistema de MRV para deforestación basado en el uso de imágenes SPOT y Landsat en la JIRA, y su comparación con ingresos por proyectos de carbono (con fines ilustrativos únicamente).

Costs	
Area to be monitored: 400,000 ha	
<ul style="list-style-type: none"> • 4 SPOT images required for each time period (3 periods) • Cost of images US \$5000 each 	US \$ 60,000
Trained technician time for each analysis:	
<ul style="list-style-type: none"> • 4 man months x 3 analyses = 12 man months 	US \$ 18,000
Total cost of monitoring	US \$ 78,000
Income	
<ul style="list-style-type: none"> • Scenario 1: <ul style="list-style-type: none"> ○ Annual deforestation is reduced by 10% (250ha/year) over 5 years ○ Average CO2 emission per ha deforested = 100 tons ○ Price per ton CO2 = US \$5 ○ Income over 5 years from credits = US \$650,000 • Scenario 2: <ul style="list-style-type: none"> ○ Annual deforestation is reduced by 5% (125 ha per year) over 5 years ○ Price per ton CO2 = US \$2 ○ Income over % years from credits = US \$150,000 	
Alternative analysis using Landsat imagery	
Costs	
<ul style="list-style-type: none"> • Imagery gratis • Technician time: 2 man months x 3 analyses = 6 man months 	US \$9,000
Income	
<ul style="list-style-type: none"> • Scenario 1 <ul style="list-style-type: none"> ○ Annual deforestation reduced by 10% but only 20% of this can be picked up in the analysis ○ Income over 5 years from credits • Scenario 2 <ul style="list-style-type: none"> ○ Income over 5 years from credits 	US \$ 130,000 US \$ 30,000



9. Diseño experimental del análisis de degradación

A pesar de que la UNFCCC no ha adoptado una definición oficial para REDD+ en términos de degradación forestal, la acción de mitigación a través de degradación evitada se aplica a áreas donde a pesar de no haber un cambio de cobertura hay una pérdida de biomasa (carbono). Es decir áreas de cobertura forestal que permanecen como bosques (o selvas).

La degradación forestal es un proceso complejo que se debe estudiar a nivel de paisaje, y sucede cuando la extracción de biomasa por procesos antropogénicos o naturales sobrepasa la capacidad del bosque de producirla. Para efectos de REDD+ el interés se centra en procesos relacionados con las actividades humanas que ocasionan la pérdida (o bien la ganancia) de biomasa en los sistemas forestales.

Sin embargo, es importante aclarar que, la degradación forestal es un concepto complejo que sobrepasa la pérdida o ganancia de biomasa. En realidad, la degradación forestal se debería estudiar en términos de los componentes y procesos ecosistémicos. La acumulación o pérdida de biomasa es solo uno de dichos componentes y procesos. Idealmente se debería desarrollar una serie de indicadores que nos permitieran evaluar si los procesos, interacciones y componentes de los ecosistemas forestales se mantienen o las actividades humanas los interrumpen de manera que ocurra lo que podemos categorizar como degradación.

En la misma línea, es complejo definir el término de "bosque degradado", debido a que incluye muchos aspectos (biodiversidad, servicios ambientales etc.) En relación con la biomasa, se ha propuesto definir los bosques degradados a partir de la comparación con los llamados bosques "intactos"⁴ (aquellos que no han sufrido perturbaciones por causas humanas en un periodo de tiempo por lo cual mantienen la integridad de sus procesos ecológicos.) como una condición de referencia.

Sin embargo, es casi imposible establecer una estimación de biomasa característica de los bosques intactos (con la cual contrastar los bosques degradados) ya que hay una variación en la biomasa a causa de las variables biofísicas (zonas bioclimáticas, condiciones geomorfológicas, tipo de suelo, exposición y posición topográfica, etc.) y regímenes naturales de perturbación particulares de cada sitio. Por lo tanto, es necesario en primera instancia evaluar cuáles de los

⁴ Se utiliza el término intacto a pesar de no ser correcto ya que todas las áreas boscosas han sufrido cierto grado de perturbaciones humanas desde hace mucho tiempo. Sin embargo, para efectos de REDD+, se intenta tomar áreas de referencia o aquellas áreas donde las perturbaciones han sido mínimas por cierto periodo de tiempo, es decir áreas características de la zona que en las cuales los procesos ecosistémicos y sus componentes se encuentren mejor conservados.



bosques son o han sido objeto de degradación, a partir de la información sobre la presencia (en la actualidad o en el pasado) de las causas de degradación, y luego compararlos con los bosques que parecen estar intactos, dentro de la zona.

En cuanto a sistemas de MRV para REDD+, el énfasis se ha puesto en los procesos relacionados con biomasa y se ha sugerido establecer una serie de salvaguardas que indirectamente incorporen el monitoreo de los procesos y componentes del ecosistema, en especial en lo referente a biodiversidad, suelos, agua, servicios ambientales etc. Un sistema de MRV debería idealmente evaluar a su vez estas salvaguardas, de manera que se garantice que los proyectos REDD+ contribuyan efectivamente a proceso de conservación, restauración y mejoramiento del manejo productivo de las áreas forestales.

A parte de los salvaguardas y en lo referente a la biomasa, todo sistema de MRV debe estar diseñado de tal forma que detecte al mismo tiempo tanto pérdidas como aumentos de los almacenes de carbono de manera que sea capaz de evaluar tanto la reducción de emisiones por degradación evitada o por el mejoramiento de los almacenes de carbono. En última instancia, un solo conjunto de indicadores debe desarrollarse para ambos procesos. Esto es particularmente importante debido a que los bosques son sistemas dinámicos que ganan y pierden biomasa constantemente a causa tanto de procesos naturales como humanos, por lo que la mayoría de los bosques se encuentran en un constante estado de transición (lo cual se observa a nivel de paisaje dependiendo del momento en que la evaluación fue realizada como gradientes de degradación). Estos estados de transición debidos a la naturaleza dinámica de los bosques hacen que el monitoreo de la degradación sea particularmente complejo.⁵

En cuanto a degradación de la cuenca del Ayuquila nuestra comprensión de los procesos que la causan aún es incompleta. A pesar de esto, los estudios y la experiencia existentes indican que la degradación de la selva baja es causada principalmente por el pastoreo de ganado, extracción de leña, uso para postes y (en algunos lugares discretos) la producción de carbón vegetal. La degradación de las formaciones de pino y de pino-encino parece ser el resultado de la extracción de madera y en un segundo plano su uso como zonas de pastoreo. Este entendimiento preliminar de los agentes de degradación es útil, pero debe ser complementado y cuantificado si se quiere realizar proyectos efectivos de degradación evitada o mejoramiento de almacenes de carbono en la cuenca.

⁵ Debemos entender que a nivel de paisaje, estos estados de transición no deben considerarse necesariamente como degradación ya que este término depende mucho del momento en que se esté realizando la evaluación. Por ejemplo, los sitios bajo procesos de sucesión debido a la dinámica natural de los bosques, son zonas en transición que no deben verse como degradadas, y existe el riesgo que se asuman como tales si no se contempla un marco de tiempo adecuado.



Las preguntas fundamentales que se deben responder en relación a la degradación forestal y mejoramiento de almacenes de carbono son las siguientes:

1. ¿De qué manera se puede cuantificar la degradación forestal y el aumento de almacenes de carbono y otros valores y servicios ambientales de los bosques? ¿Cuáles son los mejores métodos o instrumentos para llevar a cabo este proceso?
2. ¿Qué métodos de detección resultan más costo-efectivos en el espacio y el tiempo? ¿Cuáles almacenes de carbono son más importantes y por tanto deben monitorearse?
3. ¿Cómo desarrollar líneas base para la degradación y el aumento de los almacenes de carbono?
4. ¿Cómo se desarrolla un sistema MRV para la degradación y aumento de almacenes de carbono? ¿Cuáles protocolos se deben aplicar y a qué escala?
5. ¿Cuáles son los principales agentes directos de la degradación en los diferentes tipos de bosque en la Cuenca Media del Río Ayuquila y como se diferencian de los agentes que causan la deforestación o se relacionan con estos?
6. ¿Qué estrategias de gestión de los bosques parecen ser eficaces en la reducción de las tasas de degradación y crecimiento de almacenes de carbono para cuenca de Ayuquila?

9.1 Objetivo de la investigación

Un primer objetivo de nuestra investigación es determinar hasta qué punto los cambios en los niveles de stocks de carbono en los bosques puede ser estimado a través de diferentes métodos (o bien, combinaciones de métodos). Es decir, estudiaremos la degradación y el mejoramiento de los stocks de carbono mediante el análisis de los datos obtenidos por percepción remota, datos derivados de inventarios forestales a nivel del suelo y a través del uso de modelos.

Como segundo objetivo la investigación busca desarrollar un mejor entendimiento acerca de las causas de la degradación. Específicamente, se quiere entender si la degradación ocurre principalmente en las zonas que también están sujetas a las presiones de la deforestación, o si siguen sus propios patrones espaciales debido a que son procesos independientes.

En un tercer lugar se pretende evaluar la medida en que las intervenciones existentes en forma de



políticas públicas y proyectos en el marco del PSA, Procymaf, acciones de conservación en áreas protegidas etc. parecen tener éxito en la reducción de las tasas de degradación.

Finalmente, otro aspecto que se va a desarrollar es lo referente al establecimiento de sistemas de MRV y líneas de base para la degradación y mejoramiento de almacenes de carbono. Para esto se estudiará primero como establecer qué áreas pierden y qué áreas ganan existencias, así como aquellas zonas que fueron degradadas en el pasado (y por lo tanto tienen niveles muy bajos de carbono), pero que son estables. Posteriormente se investigarán las tasas actuales de cambio y las tasas de cambio que han ocurrido en el pasado para desarrollar las líneas base.

9.2 Metodología general de la investigación

El estudio constituirá de tres elementos principales: la revisión de fuentes de información secundaria, la toma de datos en campo y el análisis de percepción remota y modelación. Estos elementos incluyen a su vez distintas actividades.

9.2.1 Revisión de la información secundaria

Se consultará fuentes secundarias con el fin de obtener información sobre los siguientes aspectos:

1. *Estimaciones de Biomasa*: Los estudios existentes y bases de datos sobre los niveles almacenes de carbono en la cuenca de Ayuquila (creemos que hay estudios disponibles para los bosques, en particular en el área de la reserva, para biomasa arriba del suelo). La disponibilidad de estos datos se usará para apoyar el diseño del muestreo de campo.
2. *Definición de "degradación"*: El concepto será revisado y resumido, y una definición adecuada será propuesta para el programa REDD+ en Ayuquila.
3. *Establecimiento de líneas base*: La literatura (del UNFCCC y el Mercado Voluntario) sobre las líneas base para la degradación va a ser revisada de manera exhaustiva y se extraerán conclusiones acerca de un método adecuado para el programa REDD+ en Ayuquila.

9.2.2 El método de toma de datos de campo

Debido a la gran extensión que presenta la Cuenca Ayuquila y el área de influencia de la JIRA, para este estudio se concentrará el trabajo en ciertas zonas de la cuenca. Estas zonas de interés, llamadas en adelante como "ventanas", se han identificado ya que representan diferentes circunstancias o procesos que están ocurriendo dentro de la cuenca. Uno de los criterios para su



selección ha sido que correspondan a " hot-spots" de cambio de uso de la tierra (basándonos en el estudio de la fase 1); pero también se incluyen zonas sin cambio de uso.

Dentro de estas "ventanas" y utilizando como unidad de manejo los ejidos, se establecerán conglomerados de muestreo de los tipos de vegetación más comunes que se encuentran dentro de la Cuenca del Río Ayuquila. Los conglomerados se harán en los siguientes tipos de vegetación: 1) Bosques de Pino, 2) Bosque de Pino-Encino, 3) Bosque Mesófilo y 4) Selva Baja. Con el fin de entender los efectos del manejo sobre la biomasa, dentro de cada tipo de vegetación se procurará establecer conglomerados en áreas que han sido sometidos a distintos regímenes de manejo como: 1) Sitios de extracción de madera sostenible donde se aplica un plan de manejo forestal (por ejemplo PROCYMAF); 2) Zonas con PSA por un mínimo de 2 años; 3) Zonas sin ningún tipo de manejo formal (es decir, áreas que son utilizadas por las comunidades para la cría de ganado, extracción de madera para postes, etc., sin un plan de gestión definido); 4) Zonas tipo control - otras áreas que están bien conservadas, ya que no son utilizadas mucho por las comunidades (por ejemplo, bosques inaccesibles) por lo que no presentan evidencias de perturbación. Estas zonas se pueden utilizar como referencia para las condiciones intactas.

Cuadro 3. Áreas a ser incluidas en la muestra.

Tipo de Vegetación /Esquema de Manejo	Manejo sostenible	PSA	Sin manejo	Control
Bosque Pino	✓	✓	✓	✓
Bosque Pino-Encino	✓	✓	✓	✓
Bosque Mesófilo	✓	✓	✓	✓
Selva Baja	×	✓	✓	✓

1. *Identificación de zonas degradadas (análisis cualitativo):* a través de informantes claves se recopilará información local sobre la naturaleza y causas de la degradación en las áreas de interés, incluyendo la línea de tiempo histórico (esto será una evaluación más cualitativa que cuantitativa). Esta evaluación será la base para determinar cuáles áreas sufren actualmente procesos de perturbación y se encuentra degradándose, cuáles están en un estado de recuperación o bien que están estables pero presentan un nivel bajo de almacenes de carbono. Las causas de estos estados serán observadas cuidadosamente en cada lugar. También la información obtenida servirá de apoyo para la ubicación de los conglomerados en campo.

2. *Ubicación de los conglomerados:* Idealmente la ubicación de los conglomerados debe abarcar todos los tipos de gestión (o manejo). Se pondrá especial cuidado en obtener información de varios ejidos y comunidades que representen las distintas circunstancias de gestión y tipos de bosque (como se muestra en el cuadro 2). Sin embargo se debe aclarar que debido a la



complejidad de las condiciones biofísicas de la cuenca y la diversidad de factores antropogénicos que influyen sobre los almacenes de carbono, es necesario realizar un esquema de muestreo que sea representativo de tales circunstancias y a la vez produzca un estimado real de la distribución de biomasa en la cuenca. Es por esto que se sugiere un esquema para muestreo en dos etapas, en la primera se establecerá una malla sistemática sobre las áreas de interés, y posteriormente se hará una selección aleatoria de los puntos donde establecer los conglomerados. Debido a lo anterior, no se tendrá el mismo número de muestras por cada una de las clases descritas en el cuadro 3.

3. Tipo de datos a recolectar y técnicas a utilizar: se aplicaran las técnicas estándar de recolección de datos para inventarios forestales utilizadas para la estimación de biomasa. Se medirán en campo los siguientes pools de carbono: biomasa arriba del suelo AGB (árboles y arbustos de la capa), madera muerta y carbono en el suelo. La biomasa (incluyendo el subsuelo) se calculará a partir de las ecuaciones alométricas existentes, por el momento no se desarrollaran nuevas ecuaciones. Como se ha señalado, la mayor parte del trabajo de medición se llevará a cabo por la gente de las comunidades locales, a cambio de salarios de un día o una contribución al fondo del ejido / comunidad.

Adicionalmente se tomarán datos sobre la cobertura del bosque en cada conglomerado. Para esto se sugiere el uso de tres instrumentos canopy-scope, densímetro y fotografía hemisférica, con lo cual se espera estimar visualmente la cobertura del dosel con el fin, de entender mejor las variables ecológicas de cada conglomerado que pueden estar influyendo sobre la biomasa. También se espera obtener datos sobre la estructura de la vegetación utilizando un Lidar terrestre. Esto permitiría obtener datos muy precisos para el cálculo de la biomasa aérea.

9.2.3 Análisis de percepción remota y modelación

La percepción remota es una herramienta básica para el análisis de la extensión y el estado de los bosques. En términos de degradación forestal, la percepción remota ha sido ampliamente utilizada para detectar perturbaciones del dosel, las cuales son más evidentes con los satélites tradicionales. Parte de la degradación forestal que está ocurriendo en la cuenca de la Ayuquila, puede no ser perceptible con un análisis tradicional de imágenes de satélite, ya que representa cambios dentro de áreas boscosas que continúan siendo áreas boscosas. Es por esto que se debe abordar el tema de diferentes perspectivas, como por el ejemplo la modelación a través de un análisis multi-temporal o la modelación por regresión de la biomasa.

Para la cuenca del Ayuquila, la estrategia base para el análisis de percepción remota consistirá en un primer aspecto, en asociar la biomasa tomada en campo con indicadores derivados de las



imágenes (como por ejemplo, índices espectrales o métricas de paisaje) y en un segundo punto a través de la modelación espacial se estudiará la distribución de la biomasa. Basándose en estos dos puntos se evaluará la utilidad de la percepción remota en el monitoreo de la degradación.

Específicamente el análisis de percepción remota incluirá los siguientes aspectos:

1. Identificación de áreas degradadas y no degradadas basándose en perturbaciones asociadas con la presencia humana;
2. Análisis multi-temporal de cambios en la densidad del dosel y su asociación con la biomasa;
3. Correlación entre biomasa obtenida en campo y los índices espectrales de imágenes de alta y media resolución espacial;
4. Análisis geo-estadístico para elaborar los mapas de distribución espacial de los almacenes de carbono y su incertidumbre asociada.

9.2.4 Análisis General de datos de biomasa para degradación

Las estimaciones de biomasa obtenidas por medio del inventario forestal local, datos lidar terrestre y análisis de percepción remota se compararán, con el fin de establecer la efectividad en la determinación de la biomasa y evaluar el costo/beneficio relativo a los diferentes enfoques. La idea es que, asumiendo que el método de inventario forestal tradicional representa los resultados más exactos (es decir próximas a la verdad); se evaluará la viabilidad y factibilidad de uso de los otros métodos en comparación con los inventarios tradicionales.

Finalmente, se espera producir mapas de las densidades de biomasa y la variación espacial de las densidades de biomasa en cada una de las ventanas. Se debe aclarar que, debido a restricciones de tiempo no es posible hacer un mapa completo de densidad de biomasa para la zona de Ayuquila.



10. Conclusiones

El estudio permitió estimar las tasas de cambio para el período de estudio en función de las escalas espacial y temática a las que se trabajó. Los resultados difieren de las estimaciones anteriores a menor resolución. En cuanto a contenido de carbono por tipo de cobertura, la revisión de literatura mostró que la incerteza en las estimaciones son demasiado amplias para que tengan aplicación en proyectos concretos. Sin embargo, el análisis de la información de los inventarios forestales (INFyS y SEDER) sobre aquellos conglomerados en condiciones biofísicas similares al área de estudio resultó en rangos de incertidumbre notablemente menores a la revisión de literatura. Más importante aún, los análisis de varianza resultaron significativos en su gran mayoría para área basal, altura, cobertura de copa y densidad de individuos, entre las categorías de cobertura y uso del suelo. Esto nos indica que aunque la variación dentro de las categorías es importante, ésta, es menor a la encontrada entre categorías lo que indica por un lado, que la leyenda temática utilizada es robusta, y por el otro, que el análisis de los inventarios forestales, en un contexto geográfico, nos permite tener estimativos de área basal -y eventualmente biomasa/carbono- mucho más consistentes que la revisión de valores reportados en la literatura. Sin embargo, para la implementación de proyectos concretos resulta indispensable hacer nuevos inventarios de biomasa-carbono para la región y especialmente para los tipos de vegetación que están menos estudiados, como selva baja caducifolia. Más aún, para poder contar con información espacial de cambio de cobertura y uso del suelo a nivel sub-municipal o de predio se requiere de análisis a escalas del orden de los 1:5,000 a 1:10,000.



11. Literatura consultada

Agee, J. K. 2002. The fallacy of passive management. *Conservation in Practice* **3**:18-25.

Association-for-Fire-Ecology. 2009. The role of fire in managing long-term carbon stores: key challenges. Pages Position paper, 4 Pp. ,
http://fireecology.org/docs/AFE_2009_Position_Paper_Carbon.pdf.

Balcázar, M. O. E. 2011. Patrones geoecológicos de incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. Universidad de Guadalajara-CUCSUR, Autlán, Jalisco.

Benz, B. F., E. J. Cevallos, M. F. Santana, A. J. Rosales, and M. S. Graf. 2000. Losing knowledge about plant use in the Sierra de Manantlán Biosphere Reserve, Mexico. *Economic Botany* **54**:183-191.

Bussink, C. B. 1995. On the horns of a dilemma. The evolution of cattle breeding and natural resources management in Barranca de la Naranjera ejido Larenstein International Agricultural College, Velp, Países Bajo.

Farfán, M. 2009. De la percepción remota a la social: deforestación y conservación (1971-2000) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco UNAM, México D.F.

Flannigan, M. D., M. A. B. Krawchuk, D.-G. W. J, M. Wotton, and L. M. Gowman. 2009. Implications of changing climate for global wildland fire. *International Journal of Wildland Fire* **18**:483–507.

Graf, M. S. 1993. Gestion des ressources naturelles et organisations paysannes dans la Reserve de Biosphère Sierra de Manantlán

Hurteau, M. D., G. W. Koch, and B. A. Hungate. 2008. Carbon protection and fire risk reduction: towards a full accounting of forest carbón offsets. *Frontiers in Ecology and Environment* **6**:493-498.

IMECBIO. 2000. Programa de Desarrollo Regional Sustentable de la Región Sierra de Manantlán. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad (IMECBIO), Universidad de Guadalajara., Autlán, Jal.

INE. 2000. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. *in* R. N. y. P. Secretaría de Medio Ambiente, editor. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca D.F. México.



Jardel, E. J. 1991. Perturbaciones naturales y antropogénicas y su influencia en la dinámica sucesional de los bosques de Las Joyas, Sierra de Manantlán, Jalisco. *Tiempos de Ciencia* **22**:9-26.

Jardel, E. J. 1998. Efectos ecológicos y sociales de la explotación maderera de los bosques de la Sierra de Manantlán. Pages 231-251 *in* R. Ávila, J. P. Emphoux, L. G. Gastélum, S. Ramírez, O. Schöndube, and F. Valdez, editors. *El Occidente de México: Arqueología, historia y medio ambiente. Perspectivas regionales. Actas del IV Coloquio Internacional de Occidentalistas.* Universidad de Guadalajara / Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), Guadalajara, Jal.

Jardel, E. J., E. Alvarado, J. E. Morfin-Rios, F. Castillo-Navarro, and J. G. Flores-Garnica. 2009. Regímenes de incendios en ecosistemas forestales de México. Pages 73-100 *in* J. G. Flores-Garnica, editor. *Impacto ambiental de incendios forestales.* Mundi-Prensa, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y Colegio de Postgraduados, D.F. México

Jardel, E. J. C. 1992. Estrategia para la conservación de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal.

Jardel, E. J. C., R. Cuevas, C. P. León, C. M. A. León, L. Mariscal, G. R. Pineda-López, A. Saldaña, L. R. Sánchez-Velásquez, and J. Telles. 1989. Conservación y aprovechamiento de los recursos forestales de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán. *Tiempos de Ciencia* **16**:18-24.

Jardel, P. E. J., O. E. Balcázar, S. García-Robles, A. Pizano, J. M. Rodríguez, G. Vélica, S. Vargas, P. Llamas, and J. Morfin. 2010. Estrategia para el Manejo del Fuego en la Cuenca del Río Ayuquila. JIRA-FMCN-Universidad de Guadalajara, Autlán, Jal.

Jardel, P. E. J., R. Ramírez-Villeda, F. Castillo-Navarro, S. García-Ruvalcaba, M. O. E. Balcázar, M. J. C. Chacón, and R. J. E. Morfín. 2006. Manejo del Fuego y restauración de bosques en Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. Pages 216-242 *in* J. G. Flores G and D. A. Rodríguez-Trejo, editors. *Incendios Forestales.* Mundi Prensa y CONAFOR, D.F. y Madrid.

Laitner-Benz, K. and B. F. Benz. 1992. Organización Regional en el Area de Influencia de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco en el siglo XVI Centro de Estudios Antropológicos, Colegio de Michoacán, Zamora, Zamora, Mich.

Louette, D., C. Aguilar, and E. Decombel. 2001. Historia y desarrollo de la ganadería en el Ejido Zenzontla. Pages 163-175 *in* L. Hernández, editor. *Historia ambiental de la ganadería en México.* L'Institut de Recherche pour le Développement-Instituto de Ecología A.C, D.F. México



Martínez-Rivera, L. M., P. R. W. Gerritsen, J. J. Rosales-Adame, A. Moreno, M. S. Contreras, A. Solís-Magallanes, L. E. Rivera-Cervantes, O. Cárdenas-Hernández, L. I. Íñiguez-Dávalos, R. Cuevas-Guzmán, E. García-Real, A. Aguirre, and J. L. Olgúin. 2006. Implicaciones socioambientales de la expansión del cultivo del agave azul (1995-2002) en el Municipio de Tonaya, Jalisco, México Pages 265-284 *in* P. Colunga, A. Larqué, L. Eguiarte, and D. Zizumbo, editors. *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. CICY-CONACYT, Mérida, Yucatán.

Pausa, J. G. and K. J.E. 2009. A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience* **59** 593-601.

Rosales-Adame, J. and C. B. Bussink. 2001. El sistema ganadero en el Ejido Barranca de la Naranja. Pages 186-197. *in* L. Hernández, editor. *Historia ambiental de la ganadería en México*. L'Institut de Recherche pour le Développement-Instituto de Ecología A.C. , México D.F.

Rubio-Camacho, E. A. 2007. Frecuencia de incendios forestales en el bosque de Pinus douglasiana del Ejido Ahuacapán, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México. Universidad de Guadalajara-CUCSUR, Autlán, Jalisco.

Tilman, D., P. Reich, H. Phillips, M. Menton, A. Patel, E. Vos, D. Peterson, and J. Knops. 2000. Fire suppression and ecosystem carbon storage. *Ecology* **81**:2680-2685.

Vargas-Jaramillo, S. 2010. Efectos del fuego sobre la biodiversidad en bosques montanos subtropicales de la Sierra de Manantlán Universidad de Guadalajara-CUCSUR, Autlán, Jalisco.

Vélica, Z. G. en preparación. Patrones geocológicos de la vegetación de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. Universidad de Guadalajara-CUCSUR, Autlán, Jalisco.