

Plan de Manejo del Fuego de la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila, Jalisco

V 1.2 (DOCUMENTO FINAL EN REVISIÓN)

Enrique J. Jardel Peláez

Oscar E. Balcázar Medina, Juan Manuel Rodríguez Gómez,

Oscar G. Rodríguez Chávez, Oscar Ponce Martínez, Shatya D. Quintero Gradilla,

Ramón Cuevas Guzmán, Arturo Pizano Portillo

Departamento de Ecología y Recursos Naturales

Centro Universitario de la Costa Sur-Universidad de Guadalajara

Autlán, Jalisco, México

Noviembre de 2015

Plan de Manejo del Fuego de la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila, Jalisco

Resumen Ejecutivo

Este documento constituye una propuesta para el desarrollo de una estrategia integral de manejo del fuego, basada en principios y criterios ecológicos y sociales, como parte de la agenda de gestión ambiental intermunicipal en una región del suroeste del Estado de Jalisco, formada por los diez municipios que integran la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila (JIRA).

Los ecosistemas forestales –bosques, selvas y matorrales– desempeñan un papel fundamental en la regulación de las condiciones ambientales y el aprovisionamiento de recursos naturales de la región. En los 10 municipios que integran la JIRA (Autlán de Navarro, El Grullo, Ejutla, El Limón, Tolimán, Tonaya, Tuxcacuesco, Venustiano Carranza, Unión de Tula y Zapotitlán de Vadillo), que es un organismo público descentralizado cuya misión es la gestión ambiental intermunicipal, se han puesto en marcha acciones para la conservación de las áreas forestales de montaña que protegen las cabeceras de las cuencas que abastecen de agua a los centros de población y a las actividades económicas que se desarrollan en los valles. La región de la JIRA comprende parte de tres importantes áreas protegidas: la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM), el Parque Nacional Nevado de Colima (PNNC) y el Parque Estatal Bosques Mesófilos del Nevado de Colima (PEBM).

Los incendios forestales afectan anualmente una extensión importante de los bosques de la cuenca. En el período 2001-2015, la superficie afectada por incendios forestales tan solo en la porción de los municipios de Autlán, Tolimán y Tuxcacuesco incluida dentro de la RBSM fue en promedio de 5,430 ha por año. Si bien el fuego ha formado parte de la dinámica histórica de los bosques de pino y de encino de la región, y por lo tanto es un componente de los procesos y el funcionamiento de estos ecosistemas, la alteración de los regímenes de fuego, junto con otros procesos como el cambio de uso del suelo y prácticas inadecuadas de aprovechamiento de los recursos forestales, puede ser un factor de degradación que afecta las condiciones ambientales de la cuenca. Tomando esto en cuenta se ha planteado la necesidad de incorporar el tema del manejo del fuego como parte de la agenda de trabajo de la JIRA, en el marco de la gestión ambiental y el ordenamiento ecológico del territorio de la cuenca.

La estrategia de manejo del fuego de la JIRA contribuye también a atender las responsabilidades y atribuciones que establecen la legislación y la normatividad vigentes para los municipios en relación con la protección contra incendios forestales, particularmente la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y la Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007 sobre uso del fuego en los terrenos forestales y de uso agropecuario.

Esta estrategia ofrece la posibilidad de fortalecer la colaboración entre los tres órdenes de gobierno, federal, estatal y municipal, a través del trabajo conjunto entre la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Gobierno de Jalisco (SEMADET) y los municipios integrantes de la JIRA, con el apoyo de otras dependencias gubernamentales (entre estas la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, SAGARPA, y la Comisión Nacional de Áreas Protegidas, CONANP), organizaciones civiles (asociaciones regionales de silvicultores) e instituciones de investigación y enseñanza (como la Universidad de Guadalajara) y la participación de las comunidades locales. Así mismo se plantea la integración de esta estrategia de manejo del fuego con otros programas y acciones dirigidos a la conservación de áreas protegidas, la producción forestal y las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

El propósito con el cual fue elaborado este Plan Manejo del Fuego de la JIRA, fue el de contar con un marco de referencia que oriente las acciones de protección contra incendios forestales y manejo del fuego, basado en principios y criterios ecológicos, como un instrumento que contribuya a la agenda de gestión ambiental y ordenamiento ecológico de la JIRA, dirigida a lograr que los municipios que la integran conserven los ecosistemas forestales de la cuenca, su biodiversidad y su capacidad de generar servicios ambientales y proveer recursos naturales para un desarrollo orientado hacia la sustentabilidad. A través de este instrumento de planificación, se busca establecer acuerdos y mecanismos, basados en la colaboración interinstitucional y la participación local, para la ejecución de las acciones de manejo del fuego integradas a la agenda ambiental de la JIRA y los programas de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de la cuenca.

Los objetivos generales del Plan Manejo del Fuego de la JIRA son los siguientes:

- I. Contribuir, a través de buenas prácticas de manejo del fuego, a la conservación y restauración de ecosistemas y a la producción sostenible de recursos naturales, en la región formada por los municipios de Autlán, El Grullo, Ejutla, El Limón, San Gabriel, Tonaya, Tolimán, Tuxcacuesco, Unión de Tula y Zapotitlán de Badillo, en el marco de la gestión ambiental intermunicipal de la JIRA.
- II. Contar con un marco de referencia y líneas de acción estratégicas para orientar el manejo del fuego fundamentado en principios y criterios ecológicos y sociales.
- III. Contar con un instrumento de planeación que permita establecer acuerdos y mecanismos de colaboración interinstitucional y participación local, para la ejecución de las acciones de manejo del fuego integradas a la agenda ambiental de la JIRA y los programas de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de la cuenca.

A través de la puesta en marcha del plan de manejo del fuego se espera lograr los objetivos generales arriba planteados y alcanzar los siguientes objetivos particulares:

- I. Disponer de instrumentos de planificación estratégica y operativa, y establecer acuerdos de colaboración interinstitucional entre los tres órdenes de gobierno para ejecutar las acciones del manejo del fuego planificadas en la región integrada por los 10 municipios de la JIRA
- II. Contar con una organización adecuada y un mecanismo de trabajo que facilita la colaboración en la implementación de las líneas de acción estratégicas del Plan de Manejo del Fuego de la JIRA, en el marco de la gestión ambiental intermunicipal.
- III. Llevar a cabo el manejo del fuego sobre la base de principios y criterios ecológicos, contribuyendo a la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos forestales de la región:
 - a. En los ecosistemas forestales propensos a incendios (*i.e.* mantenidos o dependientes del fuego), aplicar prácticas de manejo que permiten mantener o restaurar su régimen de incendios dentro de la amplitud de su variación natural o histórica, contribuyendo a conservar su biodiversidad y funcionamiento.
 - b. En los ecosistemas forestales reluctantes a incendios (*i.e.* sensibles al fuego), reducir significativamente la incidencia de incendios forestales y sus efectos negativos.
 - c. En los bosques dedicados a la producción forestal maderable, aplicar buenas prácticas de manejo del fuego como parte de una silvicultura sostenible.
 - d. Controlar eficientemente los incendios forestales que representan peligro o amenaza a centros de población, infraestructura o recursos naturales.
 - e. A través del manejo del fuego, contribuir a la aplicación de medidas de adaptación al cambio climático global y de reducción de emisiones de gases con efecto de invernadero.
- IV. Promover buenas prácticas de manejo del fuego, o en su caso prácticas alternativas que permitan reducir o eliminar el uso del fuego, en la producción agrícola y ganadera, reducir la incidencia de incendios causados por el escape del fuego de quemas agropecuarias, y contribuir a la reducción de emisiones de gases con efecto de invernadero generadas por la deforestación y por quemas de desmonte o cambio de uso del suelo.
- V. Restaurar o rehabilitar áreas degradadas por la alteración de los regímenes de incendios y otros factores de deterioro asociados como desmontes, sobreexplotación forestal, sobrepastoreo, fragmentación e impacto de caminos.
- VI. Fortalecer las capacidades técnicas y operativas para el manejo del fuego en la región, a través de la formación técnica y profesional, la capacitación y el entrenamiento.

- VII. Contar con un sistema de información y monitoreo de incendios forestales y contribuir a la generación de conocimiento sobre la ecología y el manejo del fuego a través de la investigación científica y la experimentación, aportando elementos sólidos que fundamenten y retroalimentan la mejora continua de las prácticas de manejo del fuego basadas en principios y criterios ecológicos y sociales, como parte de una estrategia de manejo adaptativo.
- VIII. Desarrollar un proceso de comunicación continua que facilite el conocimiento y entendimiento del manejo del fuego y sus principios ecológicos entre los pobladores de la región y los actores involucrados en la implementación de los planes, promoviendo su participación.
- IX. Asegurar la sostenibilidad a largo plazo de las acciones de manejo del fuego mediante mecanismos adecuados de financiamiento.
- X. Administrar de manera eficiente los medios (personal y recursos materiales y financieros) para la ejecución del Plan de Manejo del Fuego de la JIRA y los programas operativos anuales.

Para alcanzar los objetivos planteados, la estrategia de manejo del fuego se integra en torno a diez líneas de acción estratégicas, las cuales se muestran en el siguiente cuadro junto con los resultados esperados de su puesta en práctica:

Líneas de acción	Resultados esperados
1. Planificación estratégica y operativa y evaluación del manejo del fuego con un enfoque adaptativo.	R1A. <u>Planificación estratégica</u> . El manejo del fuego en los Municipios de la JIRA se lleva a cabo de acuerdo con un <i>plan estratégico</i> de largo plazo, fundamentado en <i>principios y criterios ecológicos</i> y dirigido al logro de los objetivos de la <i>gestión ambiental intermunicipal</i> .
	R1B. <u>Programación operativa</u> . El plan estratégico de manejo del fuego es ejecutado a través de <i>programas operativos anuales</i> (POA), los cuales son acordados y aprobados por el Consejo de Administración de la JIRA y las dependencias federales y estatales involucradas en el manejo del fuego.
	R1C. <u>Evaluación y adaptación</u> . Los resultados de la ejecución del Plan de Manejo del Fuego y de los POA son evaluados periódicamente, en el marco de la agenda de gestión ambiental intermunicipal, a través de un mecanismo participativo, y se realizan los ajustes, adecuaciones y mejoras necesarias bajo un enfoque de <i>manejo adaptativo</i> .
2. Organización y cooperación interinstitucional para el manejo del fuego.	R2A. <u>Cooperación interinstitucional</u> . Se cuenta con una organización adecuada y efectiva para la puesta en marcha y seguimiento del Plan de Manejo del Fuego de la JIRA y los POA derivados de este; esta organización está basada en la cooperación intermunicipal y en la participación de las comunidades agrarias, propietarios particulares y

	<p>organizaciones de productores forestales y agropecuarios, y cuenta con el respaldo y colaboración de las dependencias de los gobiernos federal y estatal.</p>
	<p>R2B. <u>Organización para el combate de incendios.</u> En los municipios de la JIRA se cuenta con un Sistema de Mando de Incidentes (SMI) que facilita el control eficiente de los incendios forestales de acuerdo con protocolos establecidos en el marco de los objetivos del plan de manejo del fuego.</p>
<p>3. Manejo del fuego basado en principios y criterios ecológicos para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos forestales de la región.</p>	<p>R3A. <u>Manejo planificado del régimen de incendios en ecosistemas forestales.</u> En los municipios de la JIRA se aplican buenas prácticas de manejo del fuego que contribuyen a la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas forestales y al mantenimiento a largo plazo de su capacidad para generar servicios ambientales; estas buenas prácticas mantienen o restauran los regímenes de incendios dentro de la amplitud de su variación natural o histórica en las zonas de conservación, sirven para el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales en las zonas de producción y, en general contribuyen a las medidas de mitigación y de adaptación del cambio climático global.</p>
	<p>R3B. <u>Prevención física y manejo de combustibles.</u> A través de medidas de prevención física (manejo de los combustibles forestales), se reduce el peligro de incendios catastróficos, contribuyendo tanto a la mitigación del cambio climático global (conservación de almacenes de carbono y reducción de emisiones de gases con efecto de invernadero) como a la adaptación a este fenómeno.</p>
	<p>R3C. <u>Control de incendios forestales.</u> Los incendios en áreas sensibles al fuego o que amenazan a centros de población, propiedades y recursos naturales, se controlan de manera efectiva y se cuenta con un sistema bien organizado para la vigilancia y detección temprana, con protocolos para la organización del combate de incendios y con brigadas adecuadamente equipadas y entrenadas e infraestructura para el combate de incendios.</p>
<p>4. Manejo del fuego en los sistemas de producción agropecuaria.</p>	<p>R4. En los municipios de la JIRA se han puesto en marcha buenas prácticas de manejo del fuego en los sistemas de producción agropecuaria, que reducen la incidencia de incendios forestales y la generación de emisiones de gases con efecto de invernadero derivados de la deforestación, la degradación forestal y los incendios.</p>
	<p>R4B. <u>Manejo del fuego en agostaderos cerriles y sistemas silvopastoriles.</u> cerriles y se reduce significativamente la incidencia de incendios forestales causados por el escape del</p>

	fuego de quemas de agostaderos.
	R4C. <u>Implementación de alternativas al uso del fuego en cultivos agrícolas anuales.</u> En los sistemas de producción de agricultura permanente de temporal o de riego, se adoptan prácticas de cultivo, que eliminan o reducen el uso del fuego y contribuyen a disminuir las emisiones de gases con efecto de invernadero.
5. Fortalecimiento de capacidades locales para el manejo del fuego a través de la capacitación y entrenamiento.	R5. <u>Fortalecimiento de capacidades.</u> Las instituciones gubernamentales, las comunidades y las organizaciones civiles involucradas en el manejo del fuego en los municipios de la JIRA, cuenta con personal capacitado y entrenado para poner en práctica el Plan de Manejo del Fuego.
6. Generación de información y conocimiento para el manejo adaptativo del fuego.	R6A. <u>Información para el manejo del fuego.</u> La JIRA, las áreas naturales protegidas de la región y el CIMAF cuentan con información histórica y actual, derivada del monitoreo de los incendios y las actividades de manejo del fuego, como base para la planificación, toma de decisiones y evaluación de resultados del Plan de Manejo del fuego en la región.
	R6B. <u>Generación y aplicación del conocimiento científico.</u> La JIRA cuenta con un programa de investigación científica y experimentación, que retroalimentan la planificación, seguimiento y evaluación del Plan de Manejo del Fuego, con un enfoque adaptativo.
7. Comunicación para el conocimiento y entendimiento del manejo del fuego y sus principios ecológicos.	R7A. Los dueños de terrenos forestales (comunidades agrarias y particulares), productores forestales, agricultores, ganaderos, funcionarios públicos y técnicos de las dependencias de los sectores medio ambiente y recursos naturales y agricultura y desarrollo rural, conocen los objetivos y líneas de acción estratégica del plan de manejo del fuego de la JIRA y participan y colaboran para su puesta en práctica.
	R7B. Los habitantes de los municipios de la JIRA y quienes visitan las áreas protegidas y sitios de recreación al aire libre conocen y aplican medidas de prevención de incendios.
	R7C. A través de la comunicación y la educación, se contribuye a generar conocimiento y entendimiento acerca del papel ecológico del fuego, de su utilidad como herramienta para el manejo de ecosistemas y recursos naturales y se logra el respaldo de la población local para poner en práctica el Plan de Manejo del Fuego de la JIRA.

8. Financiamiento de los planes y programas de manejo del fuego.	R8. Se cuenta con financiamiento oportuno, suficiente y estable para la ejecución del plan y los POA de manejo del fuego, y los recursos humanos, materiales y financieros se administran de manera eficiente.
9. Administración eficiente para la implementación del manejo del fuego.	R9. La JIRA y las instituciones participantes en el CIMAF, cuentan con un sistema de procedimientos administrativos y con una organización adecuada para una gestión eficiente del personal y los medios materiales y financieros para poner en marcha el Plan de Manejo del Fuego.

Nota: El presente documento no es oficial; está en proceso de revisión por parte de la JIRA y deberá ser sometido a un proceso de consulta y aprobación, antes de contar con la versión definitiva.

CONTENIDO

Resumen Ejecutivo	1
1. Introducción	10
2. Antecedentes	11
2.1. Contexto del manejo del fuego en la JIRA	11
2.2. Marco político-institucional	12
2.3. Marco legal y normativo de uso y manejo del fuego en México	14
2.4. Marco conceptual del manejo del fuego	15
2.4.1. Conservación de ecosistemas forestales y manejo del fuego	15
2.4.2. Ecología del fuego: principios básicos	24
2.4.3. Manejo del fuego	32
2.4.4. Principios y criterios para el manejo del fuego	34
3. Caracterización del territorio de la JIRA	37
3.1. Condiciones físico-geográficas y ecológicas	37
3.1.1. Localización y límites	37
3.1.2. Clima.....	39
3.1.3. Geomorfología y relieve	50
3.1.4. Hidrología.....	53
3.1.5. Suelos	54
3.1.6. Vegetación y uso del suelo	59
3.1.7. Tipos de hábitat y ecosistemas terrestres	69
3.1.8. Diversidad de la flora y la fauna	81
3.1.9. Áreas protegidas y zonas de conservación.....	85
3.2. Condiciones socioeconómicas	86
3.2.1. Condiciones sociodemográficas	86
3.2.2. Sistemas de producción y uso del suelo.....	87
4. Diagnóstico y pronóstico	89
4.1. Incidencia de incendios forestales	89
4.1.1. Registros de incendios forestales del SIMIF-RBSM	91
4.1.2. Incendios forestales en el periodo 2010-2014 en los municipios de la JIRA.....	97
4.2. Causas de incendios forestales	99
4.3. Riesgo de incendios	103
4.4. Combustibles forestales y potencial de incendios	104
4.4.1. Peligro de incendios	104
4.5. Régimen de incendios	105
4.5.1. Régimen histórico de incendios forestales	119
4.5.2. Condición actual del régimen de incendios forestales	119
4.5.3. Áreas críticas de alta incidencia de incendios	125
4.5.4. Cambio de cobertura y uso del suelo	126
4.5.5. Implicaciones del cambio climático global para el manejo del fuego	126
4.6. Impacto ambiental de los incendios forestales	126
4.7. El componente social de los incendios forestales	129
4.8. Condiciones actuales del manejo del fuego en la JIRA	131
4.8.1. Análisis de actores involucrados en el manejo del fuego	132
4.8.2. Prevención	134

4.8.3.	Combate de incendios.....	134
4.8.4.	Manejo del fuego en ecosistemas forestales	135
4.8.5.	Uso y manejo del fuego en sistemas de producción agropecuaria.....	135
4.8.6.	Capacidades del personal involucrado en el manejo del fuego	137
4.8.7.	Información y conocimiento para el manejo del fuego	138
4.8.8.	Planificación y programación del manejo del fuego.....	139
4.9.	Conclusiones del diagnóstico y pronóstico	140
5.	Objetivos y líneas de acción estratégicas.....	146
5.1.	Objetivos	146
5.1.1.	Objetivos generales.....	146
5.1.2.	Objetivos particulares.....	147
5.2.	Líneas de acción estratégicas	148
6.	Componentes del Plan de Manejo del Fuego	153
6.1.	Planificación, programación y evaluación del manejo del fuego	153
6.1.1.	Planificación estratégica	153
6.1.2.	Programación operativa	154
6.1.3.	Evaluación y adaptación	154
6.2.	Organización y cooperación interinstitucional.....	155
6.2.1.	Cooperación intermunicipal para el manejo del fuego	155
6.2.2.	Organización para el combate de incendios forestales	156
6.2.3.	Sistema de mando de incidentes (SMI)	159
6.3.	Manejo del fuego en ecosistemas forestales.....	161
6.3.1.	Prevención de incendios forestales	164
6.4.	Uso y manejo del fuego en sistemas de producción agropecuaria	166
6.5.	Formación, capacitación y entrenamiento de personal para el manejo del fuego	168
6.6.	Generación de información y conocimiento para el manejo del fuego	171
6.6.1.	Investigación científica.....	171
6.6.2.	Sistema de información y monitoreo de incendios forestales (SIMIF)	172
6.6.3.	Comunicación social y educación ambiental para el manejo del fuego	173
6.7.	Financiamiento para el manejo del fuego	174
7.	Literatura citada	192

1. Introducción

Este *Plan de Manejo del Fuego de la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila* (JIRA), plantea los principios y criterios, las líneas de acción estratégicas y el programa de actividades relacionadas con el manejo del fuego en el contexto de la gestión ambiental intermunicipal en los diez municipios que integran la JIRA.

La Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila (JIRA), es un organismo público descentralizado que se integró con la asociación de diez municipios del suroeste del Estado de Jalisco, con el fin de abordar de una manera integral y cooperativa una amplia agenda de gestión ambiental que incluye el ordenamiento ecológico del territorio, la conservación de la naturaleza, el control de la contaminación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, con un enfoque de cuenca.

Un elemento central de la agenda de la gestión ambiental de la JIRA es la conservación de los ecosistemas forestales y la diversidad biológica asociada a estos, así como el mantenimiento a largo plazo de la capacidad de estos ecosistemas de generar servicios ambientales esenciales para la vida, el sustento y el bienestar de los seres humanos. Los incendios forestales son un factor de perturbación que incide de manera significativa en los bosques y selvas de la región formada por los diez municipios y áreas adyacentes, de manera tal que el manejo del fuego debe ser considerado como un componente importante dentro de las tareas de la JIRA.

Los ecosistemas forestales de la región han estado sujetos históricamente a la influencia de los incendios forestales, originados tanto por causas naturales como humanas; una alta proporción de la superficie forestal de los municipios de la JIRA corresponde a ecosistemas propensos a incendios y, adicionalmente, el fuego ha sido una herramienta ampliamente utilizada en la agricultura y el manejo de agostaderos cerriles. Dadas estas condiciones, es necesaria una estrategia de manejo del fuego en la región, que supere el limitado enfoque basado en la protección contra incendios y la supresión del fuego que ha predominado hasta ahora.

En este Plan de Manejo del Fuego, se presenta un diagnóstico general de la incidencia de incendios forestales y su relación con el uso del territorio y los recursos naturales en la región de JIRA, junto con un análisis de los efectos ecológicos y ambientales del fuego en los paisajes y ecosistemas forestales de montaña. A partir de esto se proponen un marco conceptual y líneas de acción estratégicas para el manejo del fuego, con el fin de contribuir al logro de los objetivos de la gestión ambiental intermunicipal.

Este plan tiene como antecedente la *Estrategia para el manejo del fuego en la cuenca del Río Ayuquila* (Pizano 2010), así como el *Programa de Manejo del Fuego de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán* (Jardel *et al.* 2006a, 2006b). El plan propuesto se basa en los resultados de la investigación sobre ecología del fuego realizada en la región y a escala nacional (Jardel 2010, 2014, Jardel *et al.* 2010).

El propósito de la elaboración de este Plan de Manejo del Fuego fue dotar a la JIRA de un instrumento que oriente a escala regional un conjunto de estrategias y acciones relacionadas con los incendios forestales, partiendo del principio de que el fuego ha sido históricamente un componente de los procesos de los ecosistemas y una herramienta del manejo de los recursos naturales; se asume que el problema central que se trata de resolver no es en si la incidencia de incendios, sino la alteración de los regímenes de fuego y la desviación de estos de la amplitud de su variación natural o histórica como consecuencia de factores de cambio antropogénico.

Con este plan se pretende contribuir, a través de buenas prácticas de manejo del fuego basadas en principios y criterios ecológicos, a la conservación de los bosques y selvas de los municipios de la JIRA, manteniendo sus valores naturales y culturales, su biodiversidad y su capacidad de proveer servicios ambientales o ecosistémicos.

Uno de los propósitos de este plan de manejo es poner en práctica, en los municipios de la JIRA, medidas adecuadas para mitigar los impactos negativos de los incendios en ecosistemas forestales sensibles al fuego, mantener o restaurar los regímenes naturales o históricos de incendios en ecosistemas propensos al fuego y restaurar áreas o ecosistemas alterados, con el fin de revertir procesos de degradación ambiental y reducir la vulnerabilidad de la región frente al cambio climático.

Con este plan se busca promover el buen uso del fuego o, en su caso, el uso de medios alternativos para su substitución, en el manejo de los ecosistemas forestales y los agroecosistemas, en el marco de la agenda de gestión ambiental de la JIRA y de las políticas y estrategias nacionales del sector medio ambiente y recursos naturales.

2. Antecedentes

2.1. Contexto del manejo del fuego en la JIRA

Los incendios forestales son un evento de perturbación frecuente en las áreas forestales de los municipios de la JIRA, especialmente en los bosques de pino y de encino que cubren las cabeceras de la cuenca. Debido a las condiciones ecológicas que caracterizan la región, una porción significativa de los bosques son considerados como ecosistemas propensos a incendios (Jardel *et al.* 2009, Jardel 2014). Además de esto, el uso del fuego ha sido históricamente una práctica común en la agricultura y el manejo de pastizales. Por estas razones, el contar con una estrategia de manejo del fuego debe formar parte de la agenda de gestión ambiental intermunicipal.

El conjunto de actividades que constituyen la agenda de gestión ambiental intermunicipal de la JIRA, se ha abordado con un enfoque de manejo integral de cuencas. Las cuencas hidrográficas constituyen unidades del territorio en las cuales se desarrollan procesos ecosistémicos acoplados al ciclo del agua, y entre los servicios ambientales que proveen los ecosistemas forestales, la protección de las cabeceras de cuencas y la producción del agua que sostiene a la población y las actividades productivas de la región, juegan un papel central. El manejo del fuego, ya sea como parte

de los procesos que caracterizan la dinámica de ciertos ecosistemas forestales, o como herramienta de manejo en la agricultura, la silvicultura o la conservación y restauración de ecosistemas forestales, forma parte de la gestión del territorio y del manejo de cuencas. El régimen de incendios en el paisaje influye en la composición, estructura y dinámica de la cubierta vegetal, en las condiciones de los suelos y en los procesos hidrológicos y la calidad del agua.

El uso del fuego ha formado parte de las prácticas de cultivo agrícola, del manejo de agostaderos cerriles y de los tratamientos de sitio aplicados en la silvicultura, y de esta manera está relacionado estrechamente con las actividades productivas que son la base del desarrollo rural.

Siendo los regímenes de incendios un componente de la dinámica de los ecosistemas, el manejo del fuego forma parte del manejo de los espacios silvestres para la conservación de la biodiversidad .

El manejo del fuego juega también un papel importante en el contexto del cambio climático global (Belcher 2013, Scott *et al.* 2014). Los incendios forestales son una fuente de emisiones de CO₂ y otros gases con efecto de invernadero y además constituyen un fenómeno sensible a los cambios en las condiciones del clima, pero debe tomarse en cuenta que la combustión de la biomasa ha sido parte del ciclo del carbono en los ecosistemas durante millones de años (Bowman *et al.* 2009, Scott y Glasspool 2006). Debido a esto, el manejo del fuego debe ser considerado en las acciones de mitigación del cambio climático, como las medidas de reducción de emisiones de la deforestación y la degradación forestal, consideradas en iniciativas como REDD+. Así mismo, dado que el cambio climático implica un probable incremento en la actividad de incendios forestales (Flannigan *et al.* 2000), el manejo del fuego debe de ser considerado como un componente relevante de la adaptación al cambio climático en el sector forestal.

El presente Plan de Manejo del Fuego forma parte del proceso de fortalecimiento de capacidades de la JIRA, para atender diversos aspectos de la agenda de este organismo público descentralizado intermunicipal, en aspectos tales como la conservación y restauración de ecosistemas forestales y su capacidad de proveer servicios ambientales, la conservación de hábitats y biodiversidad, el desarrollo de prácticas de manejo forestal, agrícola y pecuario sustentables, el control de la contaminación atmosférica, la mitigación del cambio climático y la adaptación a los efectos de este fenómeno.

2.2. Marco político-institucional

La región objeto de este programa de manejo del fuego, está formada por diez municipios del suroeste del Estado de Jalisco: Autlán de Navarro, Ejutla, El Grullo, El Limón, San Gabriel, Tolimán, Tonaya, Tuxcacuesco, Unión de Tvla y Zapotitlán de Vadillo. En el año de 2007, con la colaboración de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) del Gobierno Federal, el Gobierno de Jalisco, la Universidad de Guadalajara y la Fundación Manantlán para la Conservación de la Biodiversidad A.C. (MABIO), integraron el Organismo Público Descentralizado denominado Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río

Ayuquila (JIRA), con el propósito de atender los diferentes aspectos relacionados con la gestión ambiental en su territorio, con un enfoque integral de manejo de cuencas, aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, conservación del patrimonio natural y cultural, y restauración de áreas degradadas. La JIRA constituye una institución de carácter regional e intermunicipal, que facilita la armonización y aplicación de las políticas públicas en materia de medio ambiente y recursos naturales. En 1993, comenzó a formarse una relación de colaboración entre los municipios de la cuenca que se encuentran dentro del Estado de Jalisco con la entonces recientemente creada Dirección de la RBSM (que ahora depende de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, CONANP) y la Universidad de Guadalajara. En 1996 nació la Iniciativa Intermunicipal para la Gestión Integral de la Cuenca del Río Ayuquila (Graf *et al.* 2003), que fue la base para la formación en 2007 de un organismo público descentralizado, la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila (JIRA) (Graf *et al.* 2006, 2009).

La formación de la JIRA ha sido un caso exitoso de colaboración entre municipios, dependencias federales y estatales, la universidad pública del Estado de Jalisco y organizaciones no gubernamentales, para enfrentar conjuntamente los problemas relacionados con la degradación ambiental, la conservación de la naturaleza y el manejo de los recursos naturales con un enfoque innovador de intermunicipalidad.

La JIRA funciona como una agencia ambiental, la cual sirve a los diez municipios asociados para atender una amplia gama de temas relacionados con el manejo integral de la cuenca, el control de la contaminación acuática, la disposición de los desechos sólidos, la conservación de ecosistemas y biodiversidad, el aprovechamiento sustentable de recursos naturales, etc. (Graf *et al.* 2003, 2006, 2009). En este contexto, el ordenamiento ecológico regional constituye un instrumento esencial para la integración de los distintos componentes de la agenda ambiental de la JIRA.

De acuerdo con el documento oficial que estableció formalmente la creación de la JIRA, las líneas de acción de este organismo público descentralizado son las siguientes:

1. El ordenamiento ecológico del territorio.
2. El ordenamiento urbano.
3. La mitigación del impacto ambiental de las actividades productivas y del desarrollo de infraestructura.
4. La restauración ecológica de áreas degradadas.
5. La creación y manejo de áreas protegidas de carácter municipal.
6. El manejo sustentable y la protección de bosques.
7. La información ambiental a la ciudadanía.
8. La educación ambiental.
9. El mejoramiento de la prestación de los servicios públicos municipales, agua potable, tratamiento y disposición finales de aguas residuales.
10. La recolección y disposición final de residuos sólidos municipales.

11. La recolección, traslado y disposición final de residuos peligrosos.
12. El apoyo técnico para la elaboración, adecuación, y ejecución de los planes y reglamentos municipales que tengan que ver con el medio ambiente.

El trabajo de la JIRA se ha centrado en tres programas básicos:

- 1) Agua de buena calidad y en suficiencia para todos.
- 2) Cuenca libre de residuos sólidos.
- 3) Recursos naturales y sistemas productivos para la posteridad.

Estos programas se complementan con cinco ejes transversales:

- 1) Educación ambiental y participación social
- 2) Capacitación
- 3) Gestión y manejo
- 4) Planeación y fortalecimiento institucional
- 5) Operación, registro, monitoreo y evaluación

Además de esto, se desarrollan proyectos especiales.

Actualmente la JIRA ha concretado acuerdos de colaboración con dependencias federales y estatales, principalmente la Semarnat y la Semadet, que forman parte del Consejo de Administración del OPD. Con la CONAFOR existen acuerdos para la ejecución de los siguientes programas en la región: Micro-cuencas Prioritarias, Fondo Concurrente JIRA-CONAFOR para Pago por Servicios Ambientales, Mecanismo de Compensación por Servicios Ambientales, Estrategia de Manejo del Fuego (en la cual colabora también la CONANP a través de la Dirección de la RBSM) y Gestión para las acciones tempranas para la Reducción de Emisiones de la Deforestación y la Degradación Forestal (REDD+). Con la Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) existe una estrecha colaboración en torno a la gestión de la RBSM.

2.3. Marco legal y normativo de uso y manejo del fuego en México

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) tiene como objetivo regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos. De este objetivo general, se deriva el objetivo particular de regular la prevención, combate y control de los incendios forestales.

De acuerdo con el artículo 12 fracción XVI de la LGDFS y el artículo 159 de su Reglamento, es atribución de la Federación coordinar las acciones de prevención y combate de incendios forestales y la aplicación del Programa Nacional de Prevención de Incendios Forestales, con la participación que corresponde a los estados y los municipios, así como al Sistema Nacional de Protección Civil.

Las atribuciones en materia de prevención de incendios forestales para los municipios y entidades federativas, se establecen en los artículos 13 y 15 de la LGDFS.

En el artículo 22, fracción XXV de la LGDFS se establece que la Conafor tiene como una de sus atribuciones el diseño y ejecución de los programas de prevención, protección, conservación y restauración de los ecosistemas y recursos forestales. La misma ley en su artículo 123 señala que la Conafor coordinará las acciones de prevención, combate y control especializado de incendios forestales y que promoverá la asistencia de las demás dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, de las entidades federativas y de los municipios, en los términos de la distribución de competencias y de los acuerdos o convenios que para tal efecto se celebren.

En el artículo 124 de la LGDFS se definen las responsabilidades de los propietarios y poseedores de terrenos forestales en materia de prevención y combate de incendios forestales.

El documento del PNPIF 2014-2018 plantea que “es responsabilidad legal de los poseedores de terrenos forestales y de los tres niveles (sic) de gobierno, con la participación que corresponde al sector académico, privado y social” la puesta en marcha de dicho programa.

Debe señalarse que el marco normativo del manejo del fuego es aún insuficiente. El concepto de manejo del fuego no tiene un respaldo adecuado en la legislación actual.

2.4. Marco conceptual del manejo del fuego

En esta sección se revisan los principios teóricos del manejo del fuego y su fundamento ecológico. Se consideró conveniente incluir esta sección, porque muchos de los conceptos acerca de la ecología y manejo del fuego resultan novedosos cuando ha predominado una visión totalmente negativa de los incendios forestales y un enfoque centrado en la supresión. Es necesario también establecer el marco de referencia para la interpretación de la sección de diagnóstico y para un mejor entendimiento de las líneas estratégicas de acción propuestas en este plan. Además, aunque existe una abundante literatura sobre ecología y manejo del fuego, esta muchas veces no está en español o es difícil tener acceso a las fuentes bibliográficas.

Esta sección se subdivide en tres apartados: primero se aborda la relación entre la conservación y el manejo del fuego en un área protegida; en segundo lugar se discuten los argumentos que justifican un enfoque de manejo del fuego; se presentan también algunas definiciones de conceptos que serán utilizados en las siguientes secciones del documento y se discute el concepto de regímenes de incendios como un aspecto central para la planificación del manejo del fuego.

2.4.1. Conservación de ecosistemas forestales y manejo del fuego

Los ecosistemas forestales, ya sean naturales, transformados por la influencia humana o manejados con fines productivos, proveen recursos naturales y servicios ambientales esenciales para la sociedad. Estos ecosistemas forestales incluyen diversos tipos de bosques, selvas, matorrales, sabanas, etc., que se encuentran en una gran variedad de condiciones ambientales. Son sistemas dinámicos y complejos, que varían en el espacio geográfico y a través del tiempo. El diseño y la puesta en marcha de políticas y acciones

para el manejo de los ecosistemas forestales –una tarea que integra la producción sustentable de recursos naturales, la conservación de los componentes y funciones de los que depende la capacidad de los ecosistemas para proveer bienes y servicios, y la restauración de áreas deforestadas o degradadas –requiere del conocimiento y entendimiento de los patrones y procesos ecológicos y sus interacciones con la sociedad (Christensen *et al.* 1996, Chapin *et al.* 2009).

Los incendios forestales constituyen uno de los eventos de perturbación más comunes y más ampliamente distribuidos en los paisajes forestales del mundo (Pyne *et al.* 1996, Bond *et al.* 2005). Todos los años se incendian grandes extensiones de bosques, selvas, matorrales, sabanas y pastizales. En años críticos, como fue el caso de 1998, en Centroamérica y México se llegaron a quemar alrededor de 1.5 millones de hectáreas de terrenos forestales (Rowell y Moore 1999).

Los incendios pueden tener efectos ecológicos y socio-económicos negativos, pero es importante reconocer que el fuego ha formado parte de la dinámica de muchos ecosistemas terrestres y que su supresión puede también tener impactos negativos. En ecosistemas propensos a incendios, los intentos por suprimir el fuego pueden incluso llegar a producir resultados contrarios a los objetivos de conservación.

Es común que los incendios forestales sean considerados como una causa de degradación de las áreas forestales, pérdida o daño a recursos naturales, contaminación atmosférica y emisiones de bióxido de carbono y otros gases con efecto de invernadero y que sean vistos como una amenaza para vidas y propiedades humanas. Esto ha justificado que, alrededor del mundo, se pongan en marcha acciones para tratar de prevenir, controlar y suprimir el fuego en las áreas forestales. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, los incendios no solo continúan ocurriendo, sino que además, en las últimas décadas, se observa un aumento en el número de incendios, en la superficie afectada por estos y en su intensidad, incluso en países que cuentan con medios de combate de incendios sofisticados y que invierten considerables recursos en la protección contra el fuego (Pyne 1996).

Un ***incendio forestal*** se define como “la propagación del fuego libre y sin control en terrenos forestales”, consumiendo el material combustible formado por la materia orgánica o biomasa, que se encuentra principalmente en plantas vivas o muertas y en sus restos en el mantillo del suelo (Rodríguez-Trejo 1996, Vélez 2000). Para este plan de manejo se consideran como terrenos forestales a todas las áreas donde crece espontáneamente vegetación no cultivada, incluyendo bosques, matorrales y sabanas, y además las plantaciones de árboles destinadas a la producción de madera o la protección de suelos y cuencas (plantaciones forestales). Las causas de los incendios pueden ser naturales, como la caída de rayos o las erupciones volcánicas, o bien antropogénicas, como el escape del fuego de un área de cultivo agrícola o un pastizal.

El término ***quema*** se refiere a la aplicación intencional del fuego en terrenos forestales, agrícolas o de uso ganadero. En función del marco legal, las quemas pueden estar reguladas y permitidas, o bien ser consideradas ilegales. Entre estas últimas se encuentran las quemas (o incendios provocados) con el propósito de cambiar el uso del

*Los términos técnicos aparecen resaltados en negritas y cursivas seguidos de su definición.

suelo, esto es, para convertir terrenos forestales a cultivos, pastizales o áreas urbanas. Aunque con frecuencia se señala que “los incendios forestales son causa de deforestación”, en muchos casos la vegetación puede regenerarse de manera natural después del paso del fuego y la pérdida de la cobertura vegetal es una consecuencia de la conversión de las áreas incendiadas a otros usos diferentes a los forestales o de conservación. Si ocurren quemas para desmontar terrenos y estas quemas se propagan como incendios, el problema real que requiere de una intervención de manejo es el cambio de uso del suelo y contener este proceso implica medidas que van más allá del manejo del fuego y que tienen que ver con el desarrollo de alternativas productivas y estrategias de conservación.

Las quemas se aplican también de manera intencional como parte del manejo del territorio y los recursos naturales. Una **quema controlada** es aquella donde la propagación del fuego se mantiene bajo control y confinado dentro de un área delimitada (a diferencia de un incendio). Las quemas controladas se aplican para limpiar terrenos de cultivo, favorecer el rebrote de pastos para la ganadería eliminando plantas competidoras, eliminar residuos de cosecha, etc. Si una quema controlada se escapa de control y el fuego se propaga a terrenos forestales, se convierte entonces en un incendio.

Una **quema prescrita** es un tipo de quema controlada aplicada como parte de actividades de manejo de combustibles y prevención física de incendios, para el manejo de hábitats o como parte de tratamientos silvícolas (por ejemplo, en la preparación del terreno para el establecimiento del renuevo por regeneración natural o plantación). Lo que caracteriza a una quema prescrita es que es planificada para obtener un resultado específico en el manejo del bosque; esto es, se elabora una prescripción para lograr objetivos específicos, por parte de personal técnico capacitado y experimentado (Cooper 1975, Martínez-Ruiz 2001).

La **supresión** del fuego incluye el conjunto de acciones que se realizan para prevenir los incendios forestales, y controlarlos y extinguirlos cuando se presentan. El manejo del fuego, en términos generales, implica una combinación de medidas para suprimir el fuego o para aplicarlo o dejar que se propague; esto en función de los objetivos de manejo y las condiciones ecológicas y sociales existentes en el área de interés o unidad de manejo.

Es importante establecer cuál es la justificación de un enfoque de manejo del fuego para la conservación de los ecosistemas forestales y explicar por qué no basta solamente con la aplicación de medidas de protección contra incendios para preservar los ecosistemas y su capacidad de generar servicios ambientales. Si bien los incendios forestales han sido considerados como una amenaza para la conservación de los bosques y la biodiversidad, y predomina una percepción general de que el fuego es un factor de deforestación y degradación que debe de ser eliminado (punto de vista que ha justificado la adopción de una política de supresión del fuego en casi todos los países del mundo), conforme se ha ido generando un mayor conocimiento y un mejor entendimiento acerca del papel del fuego en los ecosistemas forestales y se ha ido adquiriendo mayor experiencia en el manejo de paisajes propensos a incendios, se ha planteado la necesidad de un cambio de enfoque y se ha propuesto que *el fuego en las tierras boscosas debe de ser manejado, no suprimido* (Brown y Arno 1991, Pyne *et al.* 1996, Agee 2002, Brown *et al.* 2004).

En el enfoque de manejo del fuego se justifica por las siguientes razones:

- a) Los ecosistemas forestales son sistemas complejos y dinámicos, y están sujetos a regímenes de perturbación como parte de su dinámica y funcionamiento.
- b) Los incendios forestales no son un factor extraño en la naturaleza, sino que han formado parte de los procesos dinámicos de los ecosistemas y del ambiente en el cual ha evolucionado su biota.
- c) La alteración de los regímenes naturales o históricos de incendios es un factor de transformación y degradación en los ecosistemas terrestres y constituye el problema central del manejo del fuego.
- d) El manejo del fuego es un componente importante de la conservación de hábitats y biodiversidad.
- e) Los intentos por suprimir el fuego en ecosistemas propensos a incendios, solo han sido exitosos temporalmente y en muchos casos han contribuido a complicar el problema.
- f) El manejo del fuego debe incorporarse dentro de las medidas de mitigación del cambio climático global y en la adaptación del sector forestal a este fenómeno.
- g) La creciente interacción entre las poblaciones humanas y las áreas forestales hace necesario el manejo del fuego como un componente de la gestión del territorio.
- h) La experiencia histórica muestra que el buen uso del fuego puede ser una herramienta adecuada para el manejo de los recursos naturales.

Estas razones que justifican el desarrollo de estrategias de manejo del fuego, se explican a continuación con mayor detalle.

- a) *Los ecosistemas forestales son sistemas complejos y dinámicos, y están sujetos a regímenes de perturbación como parte de su dinámica y funcionamiento* (Terradas 2001). La composición de especies, estructura y funcionamiento de los ecosistemas forestales varían espacialmente y cambian a través del tiempo. Estos cambios pueden ser: (1) *fluctuaciones* inducidas por la variabilidad ambiental (por ejemplo la influencia de la variación interanual del clima en la productividad primaria), (2) cambios abruptos inducidos por eventos relativamente discretos en el tiempo y espacio (*eventos de perturbación o disturbios ecológicos*) causados por distintos tipos de agentes físicos (como huracanes y tormentas, sequías, inundaciones, deslizamientos de suelo o el mismo fuego), biológicos (como brotes de plagas y enfermedades, impacto de grandes herbívoros) o antropogénicos (tala, desmontes, quemadas e incendios, etc.) (White y Pickett 1985, Terradas 2001, Frelich 2002, Jardel *et al.* 2009, Manson *et al.* 2009), y (3) cambios graduales producidos por las interacciones de las especies entre sí y con su ambiente abiótico durante el proceso de *regeneración y sucesión ecológica* después de un evento de perturbación (Jardel y Sánchez-Velásquez 2009). *Las perturbaciones*, esto es, los cambios abruptos en el estado de los ecosistemas (caracterizado por su estructura y composición) no son un factor negativo, sino parte de su dinámica en condiciones naturales (White y Pickett 1995, Terradas 2001). El fuego es un

agente de perturbación típico (Agge 1993) y es uno de los más ampliamente distribuidos en los ecosistemas terrestres del mundo (Bond *et al.* 2005, Krawchuk *et al.* 2009).

- b) *Los incendios forestales no son un factor extraño en la naturaleza, sino que han formado parte de los procesos dinámicos de los ecosistemas y del ambiente en el cual ha evolucionado su biota* (Whelan 1995, Bond y van Wilgen 1996, Pausas y Keeley 2009). Las características y el funcionamiento de muchos tipos de ecosistemas terrestres han estado influidos históricamente por regímenes de incendios, tanto como lo han estado por la influencia del clima, la geomorfología o los suelos (Agee 1993, Bond y Keeley 2005, Bond *et al.* 2005). Un *régimen de incendios* se caracteriza por la amplitud de la variación histórica en la frecuencia, estacionalidad, intensidad, severidad y patrón espacial de los eventos de incendio y su sinergia con otros factores ambientales (Agee 1993, Sughiara *et al.* 2006, Jardel *et al.* 2009) (Cuadro 2.1).
- c) *Cualquier porción terrestre de la biosfera con cobertura vegetal puede, potencialmente, incendiarse, ya que reúne dos de los tres elementos del “triángulo del fuego”:* (1) material combustible formado por la biomasa de plantas vivas y sus restos en el mantillo del suelo y (2) una atmósfera rica en oxígeno (el comburente que alimenta la reacción físico química que produce al fuego); el tercer elemento, una fuente de ignición capaz de elevar la temperatura del combustible para iniciar la combustión, puede derivarse de factores naturales como la caída de rayos. Desde que hace 440 millones de años antes del presente las plantas colonizaron las porciones terrestres de la biosfera (exceptuando aquellas que son demasiado secas o frías para que prospere la vegetación), los incendios han estado presentes en la biosfera (Pausas y Keeley 2009).
- d) El uso del fuego por los seres humanos se inició desde tiempos remotos, posiblemente desde hace un millón de años con *Homo erectus*, y se extendió por todas las áreas pobladas del mundo. Los incendios antropogénicos han formado parte de la dinámica del paisaje y los ecosistemas terrestres desde hace miles de años y es muy difícil diferenciar las causas naturales o humanas de los regímenes de incendios, por lo cual es mejor hablar de regímenes históricos.
- e) Ahora bien, sí cualquier porción de la biosfera terrestre con cobertura vegetal puede potencialmente incendiarse, *la variación existente a escala del paisaje en el clima, la geomorfología y la vegetación dan lugar a diferentes regímenes potenciales de incendios* (Falk *et al.* 2007, MacKenzie *et al.* 2011). El clima determina la productividad primaria de las plantas y por lo tanto la acumulación de biomasa combustible (la “materia prima” para la propagación del fuego) y la tasa de regeneración post-incendio de las camas de combustibles (Jardel *et al.* 2014), así como las condiciones estacionales de estado del tiempo en las que el combustible está lo suficientemente seco para encenderse y quemarse. La propagación de incendios puede entonces estar limitada ya sea por la escasez de combustible en zonas de clima seco o por la humedad persistente en zonas de clima muy húmedo o lluvioso sin estación seca. La frecuencia con que ocurren los incendios puede estar limitada también por el tiempo que tarda en recuperarse el

combustible después de un incendio, lo cual depende de la productividad de la vegetación, que está determinada por la disponibilidad de agua y la temperatura. El clima determina así la existencia de condiciones ambientales en las que se desarrollan **ecosistemas propensos a incendios** en sitios lo suficientemente húmedos para que se acumule suficiente biomasa combustible, pero con una estación seca en la que ese combustible puede encenderse y quemarse; en ambientes muy húmedos o muy secos, en cambio, se encuentran **ecosistemas relictos a incendios**, en los que el fuego se presenta de manera rara u ocasional (Jardel *et al.* 2011).

- f) La geomorfología influye también en los regímenes de incendios en el paisaje, ya que influye en la redistribución de la precipitación y la temperatura a través de gradientes topográficos, dando lugar a variación en las condiciones locales que influyen en la productividad de las plantas y la humedad de los combustibles (por ejemplo hondonadas y quebradas húmedas que funcionan como “refugios del fuego”, laderas altas y cimas con condiciones secas propensas a incendios, variación en la exposición de laderas soleadas con condiciones secas o de laderas expuestas a la influencia continua de vientos húmedos y neblina).
- g) Por último, la vegetación, además de aportar el material combustible, varía en su estructura y composición de especies y en su respuesta a los efectos de los incendios. Dado que los regímenes de fuego actúan como un importante factor selectivo (Whelan 1985, Bond y van Wilgen 1996, Pausa y Keeley 2009), en los ecosistemas propensos a incendios predominan especies de plantas (y de animales asociados a estas) con adaptaciones que les permiten persistir y que incluso son favorecidas por las condiciones ambientales que produce el fuego. Puede decirse que la conservación de una proporción importante de la biodiversidad terrestre depende de esas condiciones ambientales de los ecosistemas propensos a incendios (Martin y Sapsis 1992, Agee 1993, Santana *et al.* 2009) y que existen comunidades bióticas dependientes del fuego o mantenidas por este factor (Hardesty *et al.* 2005). En contraste, en los ecosistemas relictos al fuego, donde los incendios son raros u ocasionales, predominan especies sensibles o no adaptadas y, en este caso, una alteración que conduce a una mayor incidencia de incendios es una amenaza para su conservación.
- h) *La alteración de los regímenes naturales o históricos de incendios es un factor de transformación y degradación en los ecosistemas terrestres y constituye el problema central del manejo del fuego.* En los ecosistemas propensos a incendios, donde existen especies adaptadas para sobrevivir a los eventos de fuego o para reproducirse, establecerse y crecer en el intervalo entre incendios sucesivos, los intentos de supresión de incendios provocan cambios en su estructura y composición, conducen a la acumulación de combustibles a niveles peligrosos, reducen su resiliencia y los hacen más vulnerables a incendios destructivos o a otros factores como plagas y enfermedades forestales (Brown y Arno 1991, Agee 1993, 2000, Fulé y Covington 1996). Esto implica que en estos ecosistemas “mantenidos por el fuego” los esfuerzos para eliminar los incendios, bajo el

supuesto de protegerlos son, paradójicamente, un factor de alteración (Hardesty *et al.* 2005).

Cuadro 2.1. Regímenes de incendios en ecosistemas terrestres: definiciones y atributos.	
Régimen histórico de incendios	Amplitud de la variación natural o histórica en la frecuencia, estacionalidad, intensidad, severidad y tamaño de los eventos de incendios y su sinergia con otros agentes de perturbación, a la que ha estado sometido un ecosistema por un período largo de tiempo (del orden de cientos de años), influyendo junto con otros factores ambientales en su composición, estructura, dinámica y funcionamiento. La amplitud implica no solo las condiciones promedio, sino su varianza y sus valores máximos y mínimos. El régimen histórico puede ser estudiado a través de métodos como la datación de cicatrices de fuego o la estructura de edades de rodales por métodos dendrocronológicos o el registro y datación de carbón en sedimentos.
Frecuencia	Frecuencia: Número de incendios por unidad de tiempo (décadas) en un área determinada (la frecuencia propiamente dicha). Intervalo de retorno: tiempo (años) entre incendios sucesivos en un área determinada (la medida comúnmente utilizada para caracterizar regímenes de incendios); es el inverso de la frecuencia. Rotación: el tiempo (años) en que un área determinada se ha quemado en toda su superficie por una serie de incendios sucesivos (medida utilizada a escala de paisaje).
Estacionalidad	Estación (o temporadas del año) en que se presentan los incendios, en la cual se presentan condiciones meteorológicas de sequía bajo las cuales aumenta el riesgo (probabilidad) de la propagación de incendios; la estación de incendios varía en duración (número de días) y época del año en diferentes tipos de clima.
Intensidad	Fuerza física del incendio, esto es, la cantidad de calor liberado por el fuego por unidad de tiempo o área en las distintas fases de la combustión; generalmente se utiliza como un indicador general la <i>intensidad del frente del incendio</i> (calor liberado medido como megajoules por metro por segundo, Mj/m/seg) que se relaciona con la longitud de las llamas, aunque esto no refleja la intensidad de las otras fases de la combustión sin llama. El tipo de incendio (superficial ligero o intenso, de copa pasivo o activo, o subterráneo) puede servir como un indicador aproximado de la intensidad.
Severidad	Es el efecto del incendio sobre un ecosistema y sus componentes. Generalmente se consideran los efectos sobre la cubierta vegetal, los combustibles forestales y el suelo, que puede ser medido como cambio en la cobertura de vegetación (porcentaje de cobertura o área basal), mortalidad de plantas, tamaño de los claros abiertos por el incendio, consumo de combustibles o biomasa en diferentes estratos (vegetación, mantillo del suelo). La severidad no depende solo de la intensidad del fuego, sino también de la resiliencia del ecosistema.
Tamaño	Superficie de los incendios es el área encerrada dentro del polígono de un incendio que incluye tanto áreas quemadas con distinta severidad como parches o "islas" no quemados.
Sinergia	Relación del fuego con otros agentes de perturbación que influyen conjuntamente en los otros componentes del régimen. Por ejemplo, ataque de insectos descortezadores en bosques de pino o huracanes en selvas tropicales húmedas, que contribuyen a la formación de claros, modificando el microclima y producen acumulación de combustibles.
Régimen potencial de incendios	Es el régimen de incendios al que potencialmente puede estar sujeto un ecosistema o una unidad del paisaje en función de las condiciones ambientales (como el clima y la geomorfología) y las propiedades de la vegetación y el complejo de combustibles, que influyen en la frecuencia, estacionalidad, intensidad, severidad, tamaño y sinergia de los incendios. El régimen potencial de incendios puede ser utilizado como una hipótesis para guiar la investigación sobre ecología del fuego o también como una guía preliminar para el manejo del fuego, cuando se carece de datos sobre el régimen histórico.
Condición actual del régimen de incendios.	A diferencia del régimen histórico determinado a través de estudios retrospectivos que cubren varias décadas o preferentemente siglos, o del régimen potencial inferido a través del modelaje de los factores ambientales, la condición actual consiste en el régimen de incendios observado actualmente, en los últimos años. La condición actual puede ser semejante a la histórica o a la potencial, o bien apartarse de estas.

Cuadro 2.1 Regímenes de incendios (continuación).	
Régimen de incendios alterado	Es una condición actual del régimen de incendios que se ha apartado de su amplitud histórica en la variación de los atributos del régimen, debido a cambios ambientales (por ejemplo debido a la supresión de incendios, al cambio climático global, la fragmentación de las masas forestales o una mayor frecuencia de igniciones antropogénicas asociada al avance de la frontera agropecuaria o a la urbanización). La supresión de incendios puede significar una alteración con consecuencias negativas sobre ecosistemas cuando modifica el régimen de incendios apartándolo de su variación histórica.
Régimen de incendios manejado	Una condición del régimen de incendios que resulta de intervenciones de manejo deliberadas, planificadas con metas explícitas (de conservación biológica, manejo de hábitat, silvicultura, manejo de agostaderos) y aplicadas siguiendo prescripciones definidas para lograr las condiciones deseadas en la unidad de manejo. Idealmente un régimen manejado debe emular el régimen histórico, aunque en ciertas condiciones (hábitats fragmentados o muy reducidos donde las condiciones actuales son diferentes a las históricas, o la interfase entre centros de población y áreas forestales donde existe peligro para la gente) puede ser modificado.
Referencias: Heinselman (1981), Whie y Pickett (1985), Agge (1993, 2002), Swanson <i>et al.</i> (1994), Pyne <i>et al.</i> (1996), Hardy <i>et al.</i> (2001), Schmidt <i>et al.</i> (2002), Falk <i>et al.</i> (2006), Jardel <i>et al.</i> (2009, 2011).	

- i) En contraste, en los ecosistemas reluctantes al fuego, donde la humedad persistente (como en las selvas tropicales lluviosas o los bosques de niebla) o la baja carga y continuidad de combustibles (como en las selvas tropicales estacionalmente secas y los matorrales de zonas áridas), la propagación del fuego está limitada y los incendios solo ocurren ocasionalmente, pero sus efectos pueden ser severos ya que predominan comunidades de especies sensibles al fuego. En estos ecosistemas reluctantes a incendios o “sensibles al fuego” (Hardesty *et al.* 2005) son afectados por el aumento de igniciones antropogénicas y por las intervenciones humanas que aumentan su susceptibilidad a incendiarse (fragmentación, tala, quemas frecuentes, invasión de plantas exóticas, etc.); en este caso la alteración es resultado de una mayor incidencia de fuego (Nepstad *et al.* 1999, Cochrane 2003). Es la alteración de los regímenes naturales o históricos de incendios causada por la supresión del fuego (Brown y Arno 1991), las transformaciones del paisaje por cambios en la cobertura y uso del suelo, deforestación, la fragmentación y la explotación de recursos naturales (Nepstad *et al.* 1999) o el cambio climático (Westerling *et al.* 2006) lo que constituye el verdadero problema para el manejo del fuego.
- j) *El manejo del fuego es un componente importante de la conservación de hábitats y biodiversidad.* La conservación de biodiversidad en ecosistemas propensos a incendios depende del mantenimiento de los regímenes de fuego naturales o históricos, mientras que en ecosistemas reluctantes al fuego se requieren medidas para controlar los incendios. Dado que el fuego es un componente de la dinámica de los ecosistemas propensos a incendios, un componente significativo de la diversidad biológica depende del mosaico de hábitats formado por parches no quemados y quemados, en distintos tiempos y con diferente grado de severidad, que caracterizan la variabilidad natural de dichos ecosistemas (Whelan *et al.* 2002, Santana *et al.* 2009, Vargas-Jaramillo 2010). Por otra parte, muchos ecosistemas reluctantes a incendios presentan una distribución restringida en

medio de una matriz de ecosistemas propensos al fuego o de áreas agrícolas y pastizales frecuentemente quemados; este es el caso por ejemplo de selvas tropicales lluviosas (Cochrane 2003) y de bosques de niebla (Jardel *et al.* 2014). En este caso es necesaria no solo la protección de estos ecosistemas sensibles al fuego, sino también la regulación del uso del fuego o su substitución por otras prácticas apropiadas en las actividades agropecuarias en la matriz del paisaje circundante.

- k) *Los intentos por suprimir el fuego en ecosistemas propensos a incendios, solo han sido exitosos temporalmente y en muchos casos han contribuido a complicar el problema.* Donde la supresión del fuego ha sido exitosa en ecosistemas propensos a incendios frecuentes de baja severidad (como es el caso de bosques de pino del oeste de los Estados Unidos), se enfrenta ahora el problema de la acumulación de combustibles a niveles peligrosos, lo que produce incendios más intensos, peligrosos, difíciles de controlar y con efectos severos (Brown y Arno 1991). Esto ha llevado a adoptar acciones de manejo para restaurar los regímenes históricos de incendios (Arno y Fiedler 2005) o implementar otras técnicas para controlar la acumulación de combustibles (Agee y Skinner 2005).
- l) *El manejo del fuego debe incorporarse dentro de las medidas de mitigación del cambio climático global y en la adaptación del sector forestal a este fenómeno.* Los incendios forestales contribuyen de manera importante a aumentar las emisiones de gases con efecto de invernadero (Crutzen y Andreae 1990). Esto indica que la protección contra incendios puede contribuir a conservar reservorios de carbono, aumentar la captura en los bosques y reducir emisiones; sin embargo, como ya se señaló, en ecosistemas propensos a incendios aunque la supresión del fuego contribuya a la captura de carbono en el corto plazo, puede a la larga favorecer incendios más severos con altas emisiones y, por lo tanto, es más recomendable adoptar medidas adecuadas de manejo de combustibles, incluyendo quemas prescritas, para mantener el balance de carbono (Hurteau 2008, Wiedinmeyer y Hurteau 2010). Por otra parte, diversos estudios predicen un aumento de la incidencia de incendios asociada al cambio climático (Westerling *et al.* 2006, Flannigan *et al.* 2009) y el manejo del fuego debe ser considerado como una herramienta de adaptación.
- m) *La creciente interacción entre las poblaciones humanas y las áreas forestales hace necesario el manejo del fuego como un componente de la gestión del territorio.* Una proporción importante de los bosques remanentes del mundo, incluyendo muchas áreas protegidas, se encuentran rodeados de paisajes transformados por las actividades humanas. No solo en las áreas de cultivo agrícola y los pastizales ganaderos, sino también en las áreas urbanas, las vías de comunicación y los sitios de visita pública en áreas boscosas se originan incendios forestales. En las zonas de expansión de la frontera agropecuaria, el fuego es comunmente utilizado para el desmonte y la conversión de los bosques a cultivos y pastizales; muchos de los incendios que se registran son en realidad quemas de desmonte y la problemática del cambio de cobertura y uso del suelo está estrechamente relacionada con los incendios forestales. En la interface de las áreas urbanas con las áreas boscosas o

silvestres no solo se presenta un alto riesgo de incendios, sino que también estos representan un peligro significativo para las personas y sus propiedades. Este no es solo un problema en los países ricos, sino que además está creciendo en otras regiones donde se establecen desde segundas residencias de descanso y desarrollos turísticos hasta barriadas pobres que invaden terrenos marginales en ambientes propensos a incendios.

- n) *La experiencia histórica muestra que el buen uso del fuego puede ser una herramienta adecuada para el manejo de los recursos naturales.* El uso del fuego es la herramienta más antigua utilizada por los seres humanos para manipular la vegetación (Pyne 1996). El uso del fuego está asociado a la agricultura y la ganadería desde sus orígenes (Naveh 1990, Pyne 2001). Las quemadas en sistemas de cultivo con ciclo de barbecho tienen ventajas agronómicas y agroecológicas, ya que son un medio de bajo costo para la limpieza de los terrenos, contribuyen a la fertilización del suelo a través de la movilización de nutrientes y la incorporación de materia orgánica y carbono derivados de la combustión parcial de la vegetación, controlan a las plantas competidoras (“malezas”) y a diversos tipos de plagas agrícolas. Estas quemadas se asemejan más a los incendios que ocurren en la naturaleza y tienen menor impacto que el uso de agroquímicos contaminantes (aunque la quema es una práctica inadecuada cuando se abandona el periodo de barbecho y se hace anualmente, causando degradación de suelos). Las quemadas son también una vieja herramienta para el manejo de agostaderos, favoreciendo el rebrote de plantas forrajeras. En silvicultura las quemadas prescritas sirven para la preparación del terreno para el establecimiento de la regeneración natural y plantaciones, así como para el manejo de combustibles y la reducción del peligro de incendios (Cooper 1975). El fuego puede ser utilizado también para el manejo de hábitat con fines de conservación o restauración (Arno y Fiedler 2005).

2.4.2. Ecología del fuego: principios básicos

El conocimiento del papel del fuego en la dinámica de los ecosistemas terrestres es fundamental para el diseño de buenas prácticas de manejo del fuego. El fuego es un fenómeno físico y, por lo tanto, la física de la combustión y del comportamiento del fuego constituyen el núcleo de las ciencias del fuego. En el caso de los incendios forestales, la caracterización y cuantificación de las propiedades físicas de los combustibles es necesaria para poder modelar el comportamiento y los efectos del fuego (Sandberg *et al.* 2001). Pero además de esto, cuando el fuego se presenta en el paisaje como un incendio forestal, estamos hablando de un fenómeno con consecuencias biológicas, evolutivas, ecológicas y ambientales. Más aún, dado que la mayor parte de los incendios forestales son causados por actividades humanas y que el uso y manejo del fuego están relacionados con factores culturales y económicos (en sentido amplio, con las conductas humanas, la percepción de las relaciones con la naturaleza, los saberes y los medios técnicos, las actividades productivas para la obtención de medios de sustento, los usos de la tierra y los recursos naturales, la asignación de medios económicos, etc.), podemos decir que los incendios forestales son un fenómeno socio-ecológico complejo (Jardel 2010).

El fuego como un fenómeno físico, se inicia cuando se eleva la *temperatura* de un material *combustible* (materia orgánica) en presencia de oxígeno (*comburente*), iniciando una reacción de oxidación en la cual la energía almacenada en los enlaces químicos de las sustancias orgánicas se liberan en forma de luz y calor. Combustible, oxígeno y calor constituyen los tres componentes fundamentales del *triángulo del fuego* (Pyne *et al.* 1996, Arnaldos *et al.* 2004).

Como ya se señaló antes, un incendio forestal consiste en la propagación libre y sin control del fuego en terrenos forestales, sean estos bosques o selvas, matorrales, sabanas o montes en general (Rodríguez-Trejo 1996, Vélez 2000). En terrenos forestales el fuego se propaga a través de procesos físicos de transferencia del calor por conducción, convección y radiación, y el material combustible encendido pasa por distintas fases del proceso de combustión (Arnaldos *et al.* 2004). En un incendio forestal el comportamiento del fuego, caracterizado principalmente por la velocidad a la cual se propaga el frente del incendio, la altura de las llamas, la intensidad de calor liberado en las distintas fases de la combustión y los estratos del complejo de combustibles a través de los cuales se desplaza el fuego, está determinado por tres conjuntos de factores que forman el *triángulo del ambiente del fuego*: (1) los combustibles y sus propiedades físicas, (2) el estado del tiempo atmosférico y (3) la topografía (Rothermel 1972, Albini 1976, Pyne *et al.* 1996).

Las características del complejo de combustibles forestales, formado por la cubierta vegetal (plantas vivas y muertas en los diferentes estratos de árboles, arbustos, hierbas y plantas rastreras y musgos), el mantillo del suelo (hojarasca, material leñoso caído) e incluso la materia orgánica del suelo, determinan el *potencial de incendios* en una unidad del paisaje (Sandberg *et al.* 2001, Ottmar 2007, Riccardi *et al.* 2007a, 2007b), de aquí la importancia de la caracterización y cuantificación de los combustibles forestales (Morffín *et al.* 2012). El potencial de incendios se refiere a la inflamabilidad de los combustibles, el comportamiento que puede presentar el fuego en una determinada cama de combustibles bajo ciertas condiciones de referencia de estado del tiempo y topografía, incluyendo su velocidad de propagación, longitud de las llamas, potencial de formación de antorchas o de propagación como incendio de copa, y el potencial de consumo de los combustibles en las diferentes fases de la combustión (Riccardi *et al.* 2007b, Sandberg *et al.* 2007).

Una *cama de combustibles* es “una unidad del paisaje relativamente homogénea, que representa un ambiente único de combustión que determina el comportamiento y efectos potenciales del fuego” (Riccardi *et al.* 2007a). Los tipos de vegetación y las diferentes clases de estructura y asociaciones de plantas dentro de un mismo tipo de vegetación, caracterizan de manera general a las camas de combustibles, en un primer nivel de aproximación a su caracterización (Morffín *et al.* 2012); esto es, desde la perspectiva de la ecología y el manejo del fuego, podemos percibir a la cubierta vegetal como una manifestación del complejo de combustibles. El *combustible potencial* es toda la biomasa y materiales orgánicos presentes en un área forestal, mientras que el *combustible disponible* es aquel que está lo suficientemente seco para incendiarse.

Dado que los combustibles son el único componente del “triángulo del comportamiento del suelo” que puede ser manipulado o modificado por la acción humana en la

prevención y combate de los incendios forestales, a diferencia del estado del tiempo y la topografía, el *manejo de combustibles* (esto es, el conjunto de intervenciones para reducir la carga de combustibles, modificar sus propiedades físicas o aislar áreas con alta acumulación) ocupa un lugar central en el manejo del fuego (Pyne *et al.* 1996, Agee y Skinner 2005).

La gran variabilidad en los factores que controlan los regímenes de incendios a escala del paisaje (el clima, la geomorfología y la cubierta vegetal-complejo de combustibles, da lugar a la existencia de una diversidad de tipos de regímenes de incendios (Cuadro 2.2).

Esta variabilidad está determinada en primer lugar por las condiciones del clima que determinan la formación de zonas bioclimáticas (o zonas de vida) y por la variación intrazonal de la geomorfología y los suelos. La productividad primaria y la descomposición de la materia orgánica en los ecosistemas y, por lo tanto, la acumulación de biomasa, están determinadas en primer lugar por la disponibilidad de agua (el balance entre la entrada de agua en la precipitación y su salida en la evapotranspiración) y por la temperatura, que además influyen en la ecofisiología de los organismos y la composición de las comunidades bióticas, de manera que la caracterización de las condiciones bioclimáticas permite predecir la vegetación potencial de zonas de vida (Holdridge 1978). Por lo tanto, la variación bioclimática en el paisaje es determinante en las características de las camas de combustibles y en su capacidad de recuperarse o reconstruirse después de un incendio. Además de esto, la variación estacional en los periodos de lluvia y sequía determina la disponibilidad de combustible para la propagación de incendios. En resumen, el clima es el factor de primer orden que determina la variabilidad de los regímenes de incendios a escala del paisaje (Falk *et al.* 2007, Gedalof 2011) y el *régimen potencial de incendios* (Cuadro 2.1) de una unidad del paisaje puede inferirse a partir de las condiciones bioclimáticas (zonas de vida) y la cubierta vegetal actual (Jardel *et al.* 2011). Más adelante, en la sección de diagnóstico, se presenta una caracterización general del régimen potencial de incendios forestales en la región de la JIRA a partir de una clasificación del paisaje utilizando el Sistema de Zonas de Vida de Holdridge y la vegetación actual.

En un segundo nivel, la forma del relieve (geomorfología), influye en la redistribución de la energía y los materiales (agua y nutrientes del suelo), formando gradientes de productividad y generando variación en la vegetación dentro de una misma zona de vida. Por ejemplo, las cimas y laderas altas de montaña (geoformas convexas) son relativamente más secas y pobres en nutrientes que las laderas bajas, cañadas y barrancas (geoformas cóncavas), lo que da lugar a variación en la biomasa, estructura y composición de la vegetación (Jardel *et al.* 2009). La forma del relieve influye también en el comportamiento del fuego (variación en el comportamiento del fuego determinada por la topografía) y en la formación de barreras físicas a su propagación y “refugios” que no se queman.

Estos factores de variación en el clima y la productividad de una unidad de paisaje influyen en los regímenes de incendios. La variación en la duración de la estación seca (la estación de incendios) y la productividad de sitio (determinada por el clima y los suelos), que se refleja en la acumulación de combustible potencial y la tasa de reconstrucción

post-incendio de las camas de combustibles, controlan la frecuencia, estacionalidad e intensidad de los incendios.

La propagación del fuego en un ecosistema terrestre puede estar limitada por los combustibles (la “materia prima” de la combustión formada por la biomasa de plantas y sus restos en el mantillo del suelo), por la humedad de los combustibles o por una combinación de ambos factores. Podemos en función de estas condiciones diferenciar, como ya se mencionó, entre ecosistemas propensos a incendios, ecosistemas reluctantes a incendios y ecosistemas libres de incendios (Jardel *et al.* 2009, 2011; véase también Heinselman 1981, Agee 1993, Schmidt *et al.* 2002, Falk *et al.* 2007, Sughiara *et al.* 2009, Bradstock 2010, Holz *et al.* 2012).

Los ecosistemas propensos a incendios se encuentran en zonas húmedas con una productividad primaria relativamente alta, que favorece el desarrollo de vegetación densa y la acumulación de biomasa, formando camas de combustibles continuas que pueden mantener la propagación del fuego; pero, para que puedan ocurrir incendios, debe de haber una estación seca en la cual hay combustible disponible. Dentro de los ecosistemas propensos a incendios la variación en la humedad, la duración de la sequía y las diferencias en la temperatura, dan lugar a diferentes regímenes de incendios. Los ecosistemas reluctantes a incendios son aquellos en los que la propagación del fuego está fuertemente limitada, ya sea por la persistencia de condiciones húmedas todo el año en climas muy húmedos o por la discontinuidad y baja acumulación de combustibles en climas áridos.

El cuadro 2.3 presenta la descripción de los diferentes regímenes potenciales de incendios en ecosistemas terrestres de México y Centroamérica. Esta clasificación es utilizada más adelante como referencia para la caracterización de los regímenes potenciales de incendios en el paisaje de la JIRA*.

El manejo del fuego, en cuanto a las intervenciones técnicas es, básicamente, *manejo de los regímenes de incendios* (Pyne *et al.* 1996). Tiene sobre todo el propósito de mantener o restaurar el régimen de incendios característico de los ecosistemas de una unidad de gestión del territorio (cuenca, área protegida, unidad de producción forestal, predio o conjunto de predios), en función de objetivos claramente definidos (de conservación, protección ambiental, restauración o producción), partiendo de fundamentos o principios teóricos (conocimiento y entendimiento del papel del fuego en los ecosistemas, de las condiciones del régimen histórico o potencial de incendios y su variación, y de los factores sociales que influyen en la incidencia de incendios y en el uso del fuego) y de la experiencia práctica, considerando el contexto de condiciones ecológicas y sociales de la unidad de gestión (Jardel 2010). Esto es, el concepto de régimen de incendios tiene un papel central en el manejo del fuego, y está estrechamente relacionado con el comportamiento del fuego (determinado por el complejo de combustibles, las condiciones meteorológicas y la topografía), la respuesta de los ecosistemas a los eventos de perturbación por fuego, y los factores sociales que influyen en la incidencia de los incendios.

El manejo del fuego implica intervenciones para mantener, restaurar o, en ocasiones, modificar los componentes del régimen de fuego. En ecosistemas propensos a incendios, se trata de mantener el régimen natural o histórico. En ecosistemas donde los incendios

han sido solamente un evento ocasional y que se consideran sensibles al fuego, se trata de evitar la incidencia de este agente de perturbación. Esto es, el manejo del fuego en ecosistemas propensos a incendios implica manejar la frecuencia con la que un área se quema, el período de la estación seca en que se quema, la intensidad y la severidad de los efectos de los incendios y el tamaño de las áreas quemadas, considerando además la influencia de otros factores ambientales, incluyendo otros agentes de perturbación, que intervienen en la dinámica de los ecosistemas. En este sentido el manejo del fuego es similar a las intervenciones silvícolas para la producción de madera: consiste en definir criterios de turno o rotación de los incendios (frecuencia), considerar la temporalidad en que los incendios ocurren (estacionalidad) por sus consecuencias en la composición de especies post-incendio en relación a su fenología y reproducción, definir la intensidad de las quemadas o incendios prescritos en función de los efectos esperados (severidad) igual que se define la intensidad de corta en función de los efectos esperados en la estructura y composición futura de los rodales, y por último, hay que considerar la extensión de las subunidades de manejo intervenidas.

Dado que existe variabilidad a escala del paisaje no solo en los tipos de ecosistemas y en su composición, estructura y funcionamiento, sino también en las condiciones físico-geográficas y en los usos humanos del territorio y los recursos naturales, existe variabilidad también en los regímenes de incendios (esto es, en la frecuencia, estacionalidad, intensidad, severidad)

El conocimiento y entendimiento del régimen dinámico de los ecosistemas es una cuestión fundamental para el manejo forestal y la conservación biológica (Christensen *et al.* 1996). Los intentos por controlar los procesos dinámicos de los ecosistemas conducen a simplificar su estructura y composición, reduciendo su variación natural y su resiliencia, aumentando en consecuencia su vulnerabilidad (Holling y Meffe 1996). Un ejemplo de esto es el de la “paradoja de la supresión de incendios” (Brown y Arno 1991, Agee 2002, Arno y Fiedler 2005); el intento de eliminar el fuego en ecosistemas propensos a incendios ha provocado cambios en la composición de especies y la estructura de los bosques y favorecido la acumulación de combustibles, lo que crea condiciones para incendios más intensos, destructivos y difíciles de controlar.

La alteración de los regímenes históricos de incendios, ya sea por intervenciones de manejo como la supresión (Arno y Fiedler 2005, Hardesty *et al.* 2005), por la fragmentación de la cubierta forestal debida a la deforestación y la utilización del fuego para el cambio de uso del suelo (Nepstad *et al.* 1999), o por el cambio climático global (Westerling *et al.* 2006), constituye actualmente un problema crítico para la conservación de distintos tipos de ecosistemas forestales alrededor del mundo (Pyne 1996). Esto ha llevado a plantear la necesidad de adoptar estrategias de manejo del fuego (Pyne *et al.* 1996, Agee 2002, Arno y Fiedler 2005).

<p>Cuadro 2.2. Clasificación de los regímenes potenciales de incendios en ecosistemas terrestres.</p>
<p>RÉGIMENES DE ECOSISTEMAS PROPENSOS A INCENDIOS.</p>
<p>I. Incendios frecuentes, superficiales y de baja severidad, en ambientes productivos donde la propagación del fuego no está limitada por la falta de combustible, las camas de combustibles se reconstruyen rápidamente después de los incendios, hay un periodo de sequía en el que el combustible está disponible y predominan especies capaces de resistir incendios superficiales o de regenerarse después de estos; cuando el intervalo entre incendios se alarga, se acumula combustible y pueden ocurrir incendios de severidad mixta, con formación de claros en los que se reinicia la sucesión. Es el régimen típico de bosques de pino-encino de zonas templado-cálidas húmedas.</p>
<p>II. Incendios infrecuentes, restringidos por la humedad; el periodo de sequía es corto, ya sea por la duración de la temporada lluviosa o por la persistencia de la humedad debido a condiciones de clima templado-frío o a condiciones topográficas que favorecen la acumulación de agua en el suelo. Los incendios son superficiales intensos o de copa, de severidad alta (esto es, que forman claros extensos reiniciándose la sucesión); las especies de plantas dominantes en el dosel regeneran en claros y en el intervalo entre incendios se establece un subdosel de especies tolerantes a la sombra, lo que aumenta la continuidad vertical del combustible. Es el régimen de incendios característico de bosques de coníferas de zonas templado-frías húmedas.</p>
<p>III. Incendios infrecuentes, superficiales o de copa, de severidad alta, restringidos por los combustibles, en zonas templadas subhúmedas donde la tasa de reconstrucción de las camas de combustible post-incendio es más lenta que en las zonas húmedas. Este régimen se presenta en bosques de coníferas o encinares en la transición de climas templados húmedos a semiáridos o en los matorrales mediterráneos (chaparrales, maquis) donde el periodo lluvioso se presenta en la época fría del año.</p>
<p>IV. Incendios infrecuentes, superficiales, de severidad mixta a alta, restringidos por la humedad y los combustibles, en zonas frías donde el crecimiento de las plantas está limitado por la baja temperatura, como los páramos de alta montaña.</p>
<p>V. Incendios infrecuentes, superficiales, de severidad mixta, restringidos por la humedad (periodos de sequía cortos) y los combustibles (baja acumulación de combustibles superficiales por altas tasas de descomposición); se presenta en zonas cálidas húmedas con estación seca corta o sitios con humedad persistente por condiciones topográficas o exposición. Es el régimen de los bosques tropicales subcaducifolios.</p>
<p>VI. Incendios de pastizales y sabanas. Las formaciones vegetales dominadas por plantas herbáceas, principalmente gramíneas, se presentan en distintos tipos de climas cálidos o templados, húmedos a semiáridos, con estación seca de</p>

duración variable. Los pastizales y sabanas pueden establecerse después de incendios severos en áreas ocupadas antes por bosques, selvas o matorrales, crean camas de combustibles altamente inflamables que se regeneran rápidamente gracias a la capacidad de rebrote de los pastos, retroalimentando la incidencia de incendios y limitando el establecimiento de árboles y arbustos. Los pastizales y sabanas se mantienen con un régimen de incendios superficiales frecuentes, considerados de baja severidad porque la cobertura de pastos se recupera rápidamente, incluso antes del periodo de lluvias. Puede considerarse que este régimen es resultado de un cambio o remplazo de los regímenes tipo I (sabanas de pino o de encino), II y IV (pastizales de montaña), III (praderas y estepas) o V (sabanas tropicales); el cambio de régimen puede ser disparado por incendios durante o después de anomalías climáticas (sequías en climas húmedos, periodos húmedos en zonas semiáridas). Así mismo, puede haber un cambio de régimen en el sentido inverso cuando la vegetación arbórea o arbustiva remplazan al pastizal después de periodos largos sin incendios. Aunque estos cambios de régimen pueden ocurrir de manera natural, en muchos casos sus causas son antropogénicas.

B. REGÍMENES DE ECOSISTEMAS RELUCTANTES A INCENDIOS.

VII. Incendios ocasionales o raros, limitados por la humedad persistente, superficiales ligeros, de severidad mixta a alta. En zonas de clima cálido o templado muy húmedo, con lluvias todo el año y periodos de sequía muy cortos o inexistentes, la productividad primaria es alta y se presenta la mayor acumulación de biomasa en los ecosistemas terrestres, pero no hay combustible disponible para el fuego, excepto por periodos cortos en años anormalmente secos. Los intervalos entre incendios sucesivos son del orden de cientos de años. Este es el régimen característico de los bosques tropicales lluviosos y los bosques de niebla. Las tasas de descomposición de la materia orgánica son altas y se acumula poco combustible superficial. Los incendios son superficiales ligeros, de baja intensidad, pero dado el predominio de especies sensibles o vulnerables al fuego (con cortezas delgadas y raíces finas superficiales en el mantillo), pueden causar mortalidad de árboles y formación de claros, creando condiciones de acumulación de combustible y microclima favorables para la propagación de nuevos incendios que pueden ser más severos.

VIII. Incendios ocasionales o raros, limitados por los combustibles, superficiales ligeros, de severidad baja a mixta. En zonas de clima cálido subhúmedo, con sequía estacional larga y lluvias en el periodo cálido del año, donde se encuentran los bosques tropicales caducifolios, la vegetación llega a ser densa pero de baja altura, la mayoría de los árboles y arbustos pierden las hojas durante la sequía, pero se acumula poco combustible superficiales, debido a tasas de productividad primaria relativamente bajas y tasas de descomposición altas. La propagación del fuego está limitada por la baja carga y continuidad de los combustibles superficiales; cuando ocurren incendios

<p>estos son superficiales ligeros, generalmente de severidad baja a mixta. Las especies presentes son sensibles al fuego, pero generalmente poco inflamables, y aunque llegan a sufrir daño (mortalidad de tallos) tienen alta capacidad de rebrote (lo que parece ser una adaptación a la sequía, no al fuego).</p>
<p>IX. Incendios ocasionales o raros, fuertemente limitados por los combustibles, superficiales o de copa, de alta severidad. En climas cálidos o templados semiáridos las camas de combustibles están formadas por plantas arbustivas o herbáceas dispersas y un mantillo muy delgado y discontinuo; difícilmente pueden mantener la propagación del fuego, excepto después de años anormalmente húmedos en los que aumenta la densidad de pastos. Dada la presencia de especies muy sensibles al fuego, como las cactáceas, o con compuestos aromáticos altamente inflamables en su folaje y tallos, como diversos arbustos, los efectos del fuego pueden ser severos.</p>
<p>C. OTROS REGÍMENES DE INCENDIOS. Se agrupan aquí los regímenes de incendios que se presentan en áreas donde no hay suficiente combustible para mantener la propagación de incendios, donde las condiciones del complejo de combustibles y el potencial de incendios están controlados por factores azonales, esto es, relativamente independientes del clima.</p>
<p>X. Sin incendios por falta de continuidad y disponibilidad de combustible en áreas con escasa vegetación muy dispersa, o desprovistas de vegetación, de zonas extremadamente secas (desérticas) o extremadamente frías cubiertas por nieve o hielo (zonas polares o nivales).</p>
<p>XI. Regímenes de incendios controlados por factores azonales (no climáticos o relativamente independientes del clima):</p> <ul style="list-style-type: none">• Regímenes de humedales (áreas con inundación temporal o permanente como manglares, selvas inundables, y pantanos herbáceos); el anegamiento limita a propagación del fuego la mayor parte del tiempo, pero en periodos secos en los que baja el nivel del agua o cuando hay mortalidad de plantas por bajas temperaturas, bloqueo de canales u otros factores, pueden ocurrir incendios. Sí los suelos orgánicos característicos de estos ecosistemas llegan a estar suficientemente secos, pueden ocurrir incendios subterráneos.• Regímenes de áreas con vegetación baja o rasante, plantas dispersas y baja acumulación de combustible debido a factores edáficos (afloramientos rocosos, acantilados o paredes rocosas, suelos salinos, afloramientos de yeso, etc.).
<p>Fuente: Jardel <i>et al.</i> (2014). Referencias adicionales: Heinselman (1981), Agee (1993), Schmidt <i>et al.</i> (2002), Falk <i>et al.</i> (2007), Sughiara <i>et al.</i> (2009), Jardel <i>et al.</i> (2009, 2011), Bradstock (2010), Jardel (2010), Holz <i>et al.</i> (2012).</p>

2.4.3. Manejo del fuego

El manejo del fuego no es un fin en sí mismo, sino un medio para lograr objetivos de conservación, restauración, producción o protección; en este sentido, es un componente de la gestión del territorio y del manejo de los ecosistemas y recursos naturales.

En áreas protegidas, el manejo del fuego debe basarse en el conocimiento y entendimiento de los regímenes de incendios y su papel en la dinámica de los ecosistemas, en un contexto socio-ecológico determinado. En la región de la JIRA,, el manejo del fuego forma parte de un conjunto más amplio de políticas, estrategias y acciones dirigidas a lograr objetivos de conservación de ecosistemas y biodiversidad, de restauración de áreas degradadas y de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales para el beneficio de la sociedad.

El manejo del fuego debe ser un proceso planificado y organizado cuyos propósitos son (Jardel 2010):

- a) Contribuir a la conservación de los componentes, patrones, procesos y funcionamiento de los ecosistemas forestales, a través del mantenimiento o restauración de los regímenes de incendios dentro de la amplitud de su variación y dinámica natural o histórica.
- b) Utilizar el fuego de manera apropiada como una herramienta de manejo en la silvicultura y la producción forestal, el manejo de hábitat de la vida silvestre, la producción de forraje en agostaderos cerriles o el cultivo agrícola.
- c) Prevenir y mitigar los impactos ambientales, ecológicos y socioeconómicos de los incendios forestales y reducir los riesgos de afectación a vidas humanas y propiedades

El enfoque de manejo del fuego se basa en el reconocimiento de que los regímenes de incendios han formado parte de la dinámica de los ecosistemas terrestres y del ambiente en el cual ha evolucionados su biota –esto es, la variedad de plantas, hongos, animales y microorganismos que constituyen la biodiversidad de las áreas forestales. El manejo del fuego se basa también en la experiencia milenaria del uso del fuego como una herramienta de manejo del paisaje. Adicionalmente, el manejo del fuego es necesario para revertir las tendencias en la alteración de los regímenes de incendios y la degradación de las áreas forestales.

En una región como la de la JIRA, donde la superficie boscosa se ha reducido significativamente por procesos históricos de transformación del uso del suelo, la conservación de las áreas forestales juega un papel fundamental para la protección de cuencas y suelos, el amortiguamiento de desastres naturales, la conservación de la biodiversidad y la generación de múltiples servicios ambientales o ecosistémicos. Considerando la fragmentación de la superficie forestal, en medio de un paisaje agropecuario, en el cual el uso del fuego ha sido una práctica común, y partiendo de los objetivos de las políticas y estrategias nacionales en materia de gestión ambiental, el manejo del fuego debe de ser considerado como una de las acciones prioritarias, especialmente en las áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento y de transición.

El manejo del fuego, al igual que el manejo de recursos naturales en general, es un proceso de intervenciones tanto técnicas como institucionales y comunicativas (Jardel *et al.* 2008). Implica intervenir sobre variables físicas (por ejemplo cuando se construyen brechas cortafuego para proteger un sitio o cuando se usan quemas prescritas para reducir la acumulación de combustibles), pero también involucra procesos de organización de la participación de agencias gubernamentales y comunidades en la prevención y control de incendios, el establecimiento de acuerdos de colaboración para poner en práctica un sistema de comando de incidentes o la comunicación con los habitantes de una región para promover mejores prácticas de cultivo agrícola que reduzcan el riesgo de incendios forestales.

El manejo del fuego debe ser un proceso planificado y organizado. La figura 1 muestra los componentes del proceso de manejo del fuego, considerado como un ciclo que se inicia con la planificación y la organización para poner en marcha una serie de intervenciones técnicas para la protección contra incendios, el manejo del régimen de incendios en los ecosistemas forestales y el uso del fuego en la producción agropecuaria y forestal, y se cierra con la evaluación de resultados para reiniciarse con el ajuste y adaptación de los planes, conforme se avanza en el alcance de objetivos y cambian las condiciones del entorno. Los componentes sustantivos del manejo del fuego se complementan con un conjunto de intervenciones de manejo, de carácter institucional y comunicativo. Estas intervenciones incluyen, además de la organización y concertación de acciones entre el conjunto de actores involucrados en el manejo del fuego, el establecimiento de normas y reglas operativas, la generación del financiamiento para contar con los medios necesarios para la ejecución de las acciones planificadas (personal, infraestructura, equipo, suministros, etc.), la administración eficiente de estos medios y de la ejecución de las acciones. Así mismo, el manejo del fuego requiere de la formación, capacitación y entrenamiento de personal, de la generación y aplicación de información y conocimiento, y de la comunicación entre los actores involucrados (Fig. 2.1).

En el ciclo de manejo del fuego, la planificación es el punto de partida en el cual se establecen los objetivos particulares que deben contribuir al logro de objetivos más amplios de manejo del territorio y los ecosistemas. En este sentido debe ser planificado y evaluado periódicamente en función de los objetivos planteados y los resultados obtenidos. Considerando la naturaleza dinámica y compleja de los ecosistemas forestales y de las interacciones de la sociedad con su entorno ecológico, así como las limitaciones del conocimiento humano, es recomendable en el manejo del fuego (al igual que en otros campos del manejo de ecosistemas y recursos naturales), adoptar un enfoque de *manejo adaptativo* (Walters y Holling 1990, Christensen *et al.* 1996); esto es, la elaboración de planes basados en el mejor conocimiento, entendimiento y experiencia disponibles, en los cuales las prescripciones de manejo son consideradas como hipótesis de trabajo que deben ser puestas a prueba en la práctica como experimentos, monitoreando y evaluando sus resultados para ir corrigiendo, ajustando, mejorando y adaptando los planes conforme ocurren cambios en el entorno y se adquiere nuevo conocimiento y experiencia. Se trata de un proceso de experimentación y aprendizaje continuos.

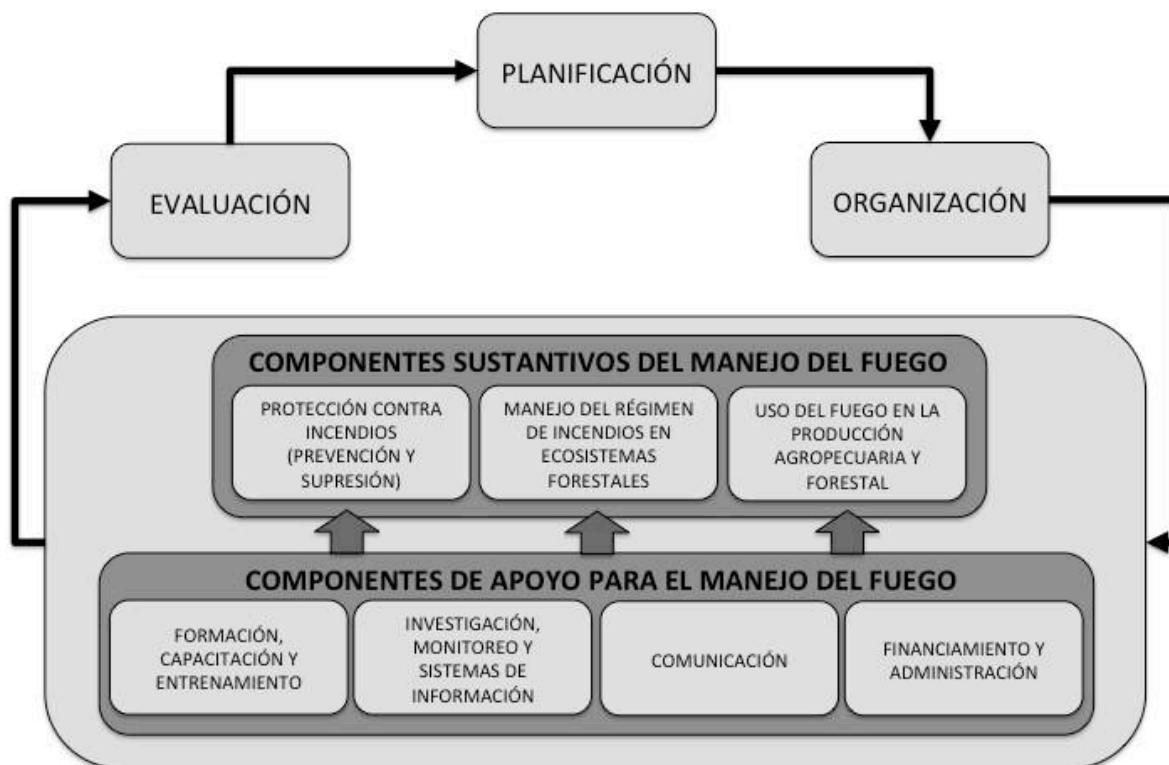


Figura 2.1. El proceso del manejo del fuego y sus componentes.

2.4.4. Principios y criterios para el manejo del fuego

En resumen, los principios y criterios que orientan el presente Plan de Manejo del Fuego de la JIRA*, son los siguientes:

- a) El manejo del fuego es un *componente del manejo de ecosistemas y la gestión del territorio y los recursos naturales*: debe integrarse como un componente del Plan de Manejo de la JIRA*, en el marco de los objetivos del área protegida (la unidad de manejo).
- b) *Planificación del manejo del fuego*. El manejo del fuego debe planificarse a distintas escalas (nacional, regional, unidad de manejo y sus su-unidades de manejo) con una perspectiva de largo plazo y no como acciones aisladas. En esta planificación deben de participar los actores involucrados en la puesta en marcha del programa.
- c) Un programa de manejo del fuego debe de obedecer a *metas explícitas* que contribuyan al logro de objetivos de conservación de biodiversidad y ecosistemas, producción sustentable de recursos naturales y restauración ecológica.
- d) El manejo del fuego debe ser planificado y evaluado considerando “el contexto del lugar”, esto es, las *condiciones socio-ecológicas* específicas de la unidad de manejo en donde ha de aplicarse.

- e) No existen recetas para el manejo del fuego, ni este debe aplicarse siguiendo reglas rígidas; solo existen *principios y criterios* generales que sirven de guía para su planificación, ejecución y evaluación en el contexto del lugar donde se han de poner en práctica las acciones.
- f) El manejo del fuego debe ser diseñado con base en el mejor *conocimiento y entendimiento* de las condiciones de la unidad de manejo, contando con información sobre el régimen de incendios histórico o potencial, sobre las probables respuestas de los ecosistemas al régimen de fuego y a las intervenciones de manejo, y sobre los factores ambientales que determinan el régimen de incendios potencial (clima, geomorfología y vegetación-complejo de combustibles) y el probable comportamiento del fuego en los incendios (combustibles forestales, meteorología y topografía).
- g) *Manejo adaptativo*. El diseño de las prescripciones de manejo del fuego se basa en información, conocimiento y experiencia; sin embargo, estos son generalmente incompletos, limitados o parciales, de modo que debemos de considerarlos como hipótesis acerca de la probable respuesta de los ecosistemas a los regímenes de incendios, por lo cual las intervenciones de manejo deben ser tratadas como experimentos. La observación continua y la evaluación de los resultados de las intervenciones, permite incrementar la información, el conocimiento y la experiencia de manera tal que esto permita a su vez mejorar las prácticas utilizadas, mejorarlas y adaptarlas a situaciones cambiantes. El diseño de las intervenciones en función de objetivos y metas definidos, mediante protocolos explícitos, como parte de un proceso de experimentación, aprendizaje, mejora y adaptación es la esencia de un enfoque de manejo adaptativo.
- h) El manejo del fuego consiste fundamentalmente en las intervenciones que se realizan para regular los regímenes de incendios en las áreas forestales dentro de su amplitud de variación natural o histórica, con fines de conservación, producción sustentable o restauración.
- i) Los regímenes de incendios han sido parte de los procesos ecológicos y de los factores ambientales que han influido en la composición de especies, la estructura y la dinámica de los ecosistemas forestales. Las intervenciones de manejo del fuego tienen, por lo tanto, consecuencias sobre la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas y su capacidad de proveer servicios ambientales. Las intervenciones de manejo, al influir sobre los regímenes de incendios, influyen en la configuración y la conducta de los ecosistemas forestales; por lo tanto el manejo del fuego debe abordarse con un enfoque de manejo de ecosistemas forestales.
- j) La variación natural o histórica en la frecuencia, estacionalidad, intensidad, severidad, tamaño y patrón espacial de los incendios, esto es, el régimen histórico de incendios (RHI), en una unidad del paisaje, es el resultado de la influencia de controles ambientales como el clima y la geomorfología y su interacción con el complejo de combustibles, la composición y estructura de la vegetación y las fuentes de ignición. A partir de información sobre las condiciones de clima, geomorfología y cobertura vegetal-combustibles es posible predecir el régimen potencial de incendios (RPI) más probable para una unidad del paisaje. Cuando se carece de información

sobre el RHI, o esta es limitada, el RPI inferido a partir de las variables ambientales puede servir de guía para la toma de decisiones de manejo, pero debe asumirse que el RPI constituye una hipótesis que debe someterse a prueba, lo cual implica adoptar en la práctica un enfoque de manejo adaptativo.

- k) La condición actual del régimen de incendios (CARI) es resultado de la interacción entre los factores ambientales y las intervenciones humanas a través del uso del suelo y los recursos naturales. La comparación de la CARI con el RPI o el RHI es la base a partir de la cual pueden diseñarse las intervenciones de manejo del fuego. En muchos casos los regímenes de incendios han sido alterados o modificados por los seres humanos en el contexto de las transformaciones del paisaje (deforestación, fragmentación de las masas forestales, modificación de la composición y estructura de la vegetación por el uso de recursos naturales), la expansión de la frontera agropecuaria y la urbanización, la supresión del fuego en algunas áreas y el aumento de igniciones en otras, y el cambio climático global. Es a partir de la evaluación de la CARI que puede determinarse en qué medida esta se aparta del RPI o RHI para diseñar las intervenciones de manejo.
- l) Las intervenciones técnicas de manejo del fuego consisten básicamente en: (a) controlar o regular las fuentes de ignición antropogénicas a través de medidas de *prevención cultural* (información y educación), vigilancia y aplicación de leyes y normas, para reducir el riesgo (probabilidad) de incendios; (b) la *prevención física* para mitigar el peligro de incendios y facilitar su combate a través de la construcción de brechas cortafuegos, el manejo de los combustibles y mejores prácticas de silvicultura, manejo de agostaderos y cultivo agrícola; (c) el *combate de incendios forestales* para proteger áreas que en razón de los objetivos de manejo deban mantenerse libres de incendios, y (d) el *uso del fuego* a través de quemas prescritas (o incluso permitiendo la propagación de incendios en ciertas áreas) para mantener o restaurar el régimen de incendios dentro de su variabilidad natural o histórica en ecosistemas propensos a incendios.
- m) *Evaluación de las intervenciones de manejo.* El resultado de las intervenciones de manejo del fuego debe ser evaluado, lo cual requiere del registro de la ejecución de las actividades planificadas y del monitoreo de indicadores de los efectos y resultados de las intervenciones. Los planes, la ejecución de las actividades y los resultados de su evaluación deben ser comunicados a través de medios apropiados a los actores involucrados o interesados.

3. Caracterización del territorio de la JIRA

3.1. Condiciones físico-geográficas y ecológicas

En esta sección se describen y caracterizan las condiciones ambientales relevantes para el manejo del fuego en el área de estudio, con atención particular a los componentes del paisaje que determinan los regímenes de incendios (clima, geomorfología y vegetación) y el comportamiento del fuego en los incendios forestales (estado del tiempo atmosférico, topografía y combustibles forestales).

3.1.1. Localización y límites

El área de estudio se localiza en el centro-oeste de la República Mexicana, en el suroeste del Estado de Jalisco, a unos 100 km de distancia en línea recta desde la costa del Océano Pacífico (Fig. 3.1). Las coordenadas extremas del área cubierta en los mapas del presente estudio son: 19°18'11"-20°10'35" de latitud Norte y 103°29'52"-104°33'01" de longitud Oeste (coordenadas UTM 13N -WGS84-: X 547,000-657,000 m, Y 2,135,000-2,230,000 m).

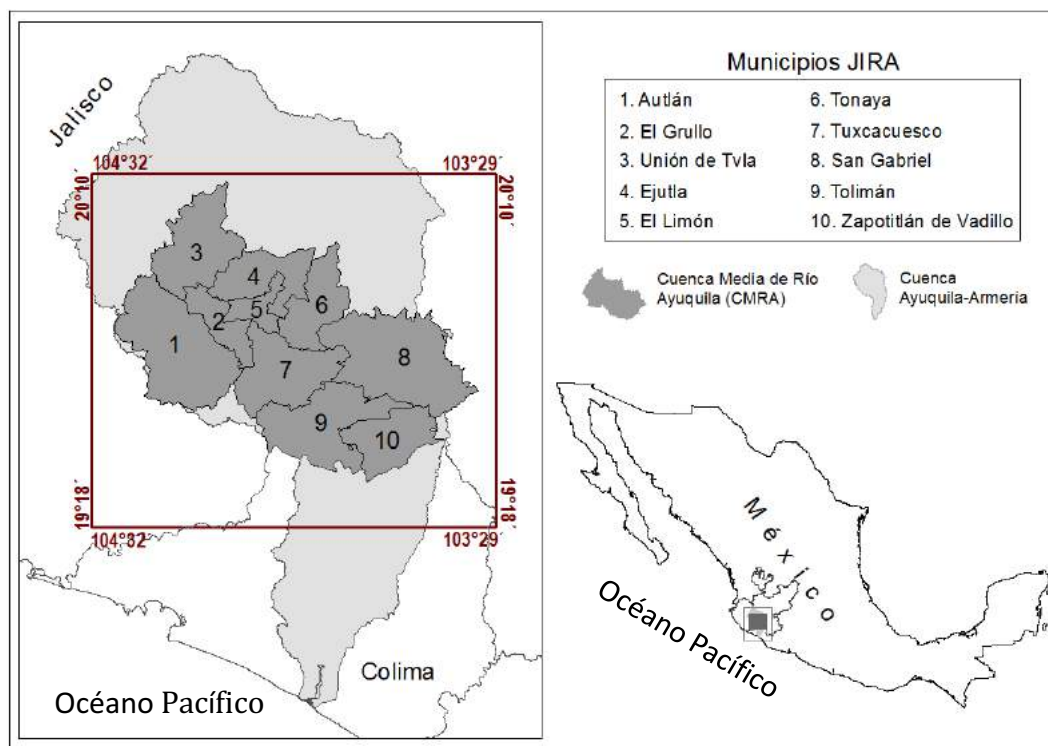


Figura 3.1. Localización del área de estudio, mostrando los límites político-administrativos de los municipios de la JIRA (gris oscuro) y de la cuenca del Río Ayuquila-Armería.

Los diez municipios que integran la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente del Río Ayuquila (JIRA), se encuentran dentro de la cuenca del Río Ayuquila-Armería, que nace dentro del Estado de Jalisco y cruza la porción oeste del Estado de Colima (Fig. 3.1). El Río Ayuquila nace en la Sierra de Quila y recibe el aporte de varios afluentes que provienen de las sierras de Cacoma y Manantlán. Después de recibir las aguas del río Tuxcacuesco, que nace en las sierras de Amula y Tapalpa, el río es conocido con el nombre de Armería; de aquí en adelante, el río recibe el aporte de los cauces que nacen en la misma Sierra de Manantlán y el Nevado de Colima, para desembocar finalmente en el Océano Pacífico en Boca de Pascuales. Desde el punto de vista hidrológico, el área de los diez municipios se encuentra propiamente en la cuenca media del Río Ayuquila-Armería.

El área fue delimitada utilizando los límites municipales oficiales (Fig. 3.2), de acuerdo con la información proporcionada por el Gobierno de Jalisco, a través de su Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG).

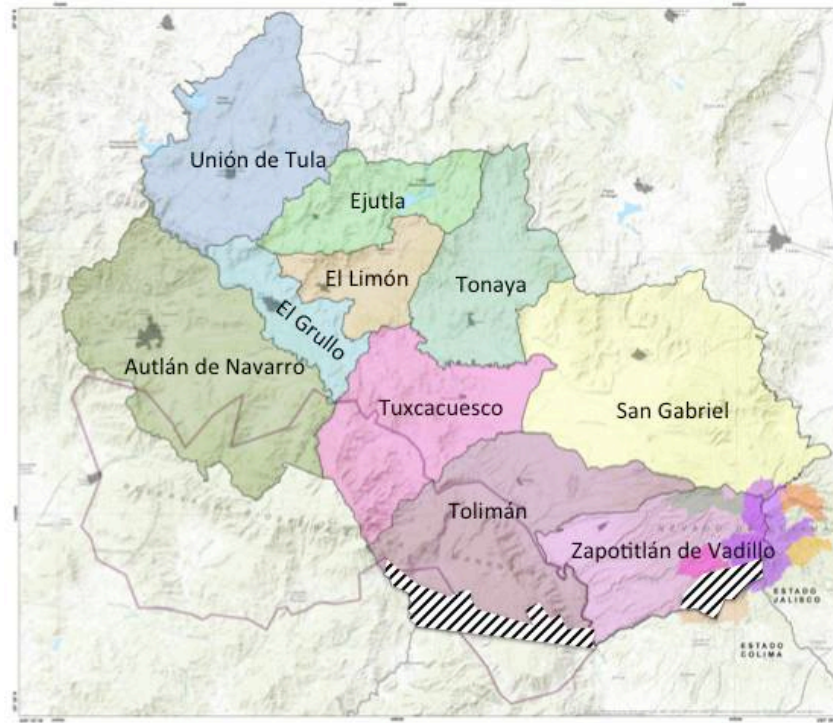


Figura 3.2. Límites político-administrativos de los municipios de la JIRA. Los polígonos achurados corresponden a las áreas de traslape de los límites Estatales de Jalisco y Colima.

La superficie del área de los diez municipios es de 417,554 has. Esta superficie representa un 5% de la extensión territorial del Estado de Jalisco (8.02 millones de hectáreas), tiene un tamaño mayor al del Estado de Tlaxcala y es equivalente al 74% de la extensión del Estado de Colima.

3.1.2. Clima

El clima constituye el factor de primer orden que controla los regímenes de incendios a escala del paisaje (Falk *et al.* 2007, Gedalof 2011) y el estado del tiempo atmosférico es uno de los tres componentes clave del ambiente de comportamiento del fuego en los incendios forestales (Pyne *et al.* 1996, Planas y Pastor 2013). Por estas razones, el conocimiento de las condiciones del clima, de sus patrones de variación estacional e interanual, así como de las condiciones del estado del tiempo durante la estación de incendios, son elementos fundamentales para la planificación del manejo del fuego en una región o unidad de manejo determinadas.

El clima de un área geográfica determinada, consiste en las condiciones generales del estado del tiempo registradas por un periodo largo de tiempo (Bailey 1996). El clima se describe por las condiciones promedio de su variación estacional e interanual, considerando los parámetros de radiación solar incidente, temperatura, presión atmosférica, humedad del aire, precipitación pluvial, vientos, etc. La figura 3.3 muestra la variación espacial de las condiciones regionales (promedios anuales) de temperatura, precipitación y humedad, y las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 muestra los diagramas *ombrotérmicos* (o climáticos; para su interpretación ecológica ver Gaussen 1954, Walter 1984, Breckle 2002) de varias estaciones meteorológicas del área de estudio, que muestran la variedad de condiciones del clima presente en esta.

El clima constituye un aspecto de la mayor relevancia para entender patrones y procesos ecológicos; es el factor ambiental de primer orden que determina la variación de los tipos de vegetación a escala del paisaje (Gaussen 1954, Holdridge 1980, Walter 1984), controla o modula los procesos de los ecosistemas (Stephenson 1998, Chapin *et al.* 2002) y la distribución de las especies de plantas y animales (Breckle 2002, Rivas-Martínez 1997). El clima es además el factor de primer orden que controla los regímenes de incendios en el paisaje (Falk *et al.* 2007, Gedalof 2011, MacKenzie *et al.* 2011), ya que determina la productividad primaria neta de los ecosistemas y por lo tanto la acumulación de combustible potencial (biomasa) y la tasa de regeneración post-incendio de las camas de combustible, así como el combustible disponible durante la estación seca del año (Jardel *et al.* 2009, 2014).

En esta sección se describen los patrones generales que caracterizan el clima del área de estudio y se hace una caracterización de los tipos de climas que se encuentran en esta, discutiendo su relación con la ecología del fuego. Para esta descripción se siguió un enfoque bioclimático, considerando los atributos del clima que están directamente relacionados con la ecofisiología de los organismos (incluyendo a los humanos), las condiciones de su hábitat y la productividad de la vegetación y los cultivos. La clasificación de zonas bioclimáticas servirá más adelante para la caracterización de los regímenes potenciales de incendios.

El clima de la región se caracteriza por tres condiciones estacionales: un periodo de temperaturas relativamente bajas con lluvias estacionales del final del otoño al invierno, un estación con sequía marcada en la primavera y un verano lluvioso. Las condiciones generales del clima de la región están determinadas por su ubicación latitudinal, la

influencia marítima, los efectos de sombra orográfica y la variación en el gradiente altitudinal.

Ubicada entre los 19° y 20° de latitud norte, la región se encuentra en la zona intertropical, esto es, entre el Ecuador (0°) y el Trópico de Cáncer (23° 26'). A dicha latitud, comienza a manifestarse la transición del clima tropical al subtropical (de acuerdo con los tipos de clima de Köppen-Treawartha; Bailey 1986). La diferencia con las condiciones propiamente tropicales, es una mayor variación relativa de la temperatura entre los meses más fríos y los más cálidos y la estacionalidad de la lluvia.

El régimen de lluvias de verano está determinado por el desplazamiento al norte de la Zona de Convergencia Tropical (ZCT) y condiciones de baja presión atmosférica. Durante el invierno, la influencia de frentes polares da lugar a una estación fresca, en la que baja la temperatura y llegan a ocurrir heladas arriba de los 1000 msnm, aproximadamente. La temperatura nunca desciende lo suficiente durante el invierno para producir nevadas, a diferencia de la zona templada, excepto a elevaciones mayores a 3,500-4,000 m. La montaña más alta de la región, el Nevado de Colima, se cubre de nieve solo unos pocos días del año durante el invierno cuando ocurren frentes fríos. Al final del invierno y durante la primavera, se presentan condiciones de altas presiones y sequía marcada, sobre todo en el periodo de mediados de marzo a mayo, extendiéndose incluso hasta principios del mes de junio. Esta es la temporada crítica de incidencia de incendios forestales.

La estacionalidad de la lluvia es más marcada que la de la temperatura. Más del 70% de la precipitación ocurre en el verano, entre junio y septiembre, mientras que la diferencia en la temperatura media del mes más frío y el mes más cálido es entre 3.0°C y 7.5°C; la oscilación térmica durante el día, es mayor que la oscilación estacional, lo cual es típico de los climas de la región intertropical. La oscilación térmica entre las mínimas y máximas mensuales extremas es mayor en el mes con menor precipitación (abril) y en las zonas más secas (22.6°C en Zapotitlán y 22.0°C en Ixtlahuacán, Unión de Tula) que en las más altas (14.7°C en la cima del Nevado de Colima, a 4090 m), y menor en zonas húmedas de altitudes medias (7.3°C en Las Joyas a 1950 msnm).

Debido a la estrechez de la masa continental y a la cercanía a la costa, en la región se manifiesta una importante influencia marítima, al igual que en el resto de la mitad meridional de México (Rzedowski 1978). En la mayor parte del país (exceptuando el extremo noroeste), el patrón de lluvias tiene un comportamiento de monzón, con una temporada lluviosa bien definida que se inicia en abril en el Golfo de México, y aproximadamente a finales de mayo o principios de junio en nuestra área de estudio, y termina entre septiembre y noviembre (Mosiño & García 1974, Pavia *et al.* 2006).

Las fluctuaciones en la precipitación y la temperatura están asociadas con los frentes fríos o *Nortes* durante el invierno y los huracanes y ondas de vientos del este durante el verano; otro fenómeno importante que influye en la variación interanual del clima es El Niño/Oscilación del Sur (*ENOS*) (Magaña *et al.* 2003). Al inicio de la temporada lluviosa, la precipitación está influida por las masas de aire húmedo del noreste, que proceden del Golfo de México y durante el invierno están asociadas a frentes polares que entran en contacto con masas de aire caliente y húmedo del Pacífico. Durante el verano y el otoño, pueden ocurrir eventos de alta precipitación asociados a tormentas y ciclones tropicales.

Los efectos de *ENOS* modifican los patrones normales del clima; en general, su efecto en México se manifiesta con un aumento de la precipitación de invierno en el noroeste del país, y su disminución en el Istmo de Tehuantepec durante los años de El Niño. Un comportamiento a la inversa se observa en los años de La Niña. La señal de El Niño en el verano se refleja, en general, como déficit de precipitación (Magaña *et al.* 2003).

Este patrón no está tan definido en el área de estudio, ya que esta se encuentra en una zona de transición donde se manifiesta el dipolo de *ENOS*. Por ejemplo, en los eventos de El Niño de 1965-66, 1986-87 y 1991-92, se presentaron anomalías de aumento de la precipitación durante el invierno, mientras que en 1972-73, 1982-83 y 1997-98 ocurrió lo inverso y disminuyó la precipitación.

Como lo señalan Magaña *et al.* (2003), existen varios mecanismos asociados con El Niño que dan como resultado anomalías negativas de precipitación sobre la mayor parte de México: una subsidencia reforzada por causa de un desplazamiento hacia el sur de la Zona Inter Tropical de Convergencia (ZITC), alisios más intensos de lo normal, un menor número de ciclones tropicales en los Mares Intra Americanos y una reducción en la humedad relativa, pueden producir sequías severas. Estos elementos se combinaron en el verano de 1997 para producir grandes pérdidas socioeconómicas relacionadas con El Niño. De acuerdo con los autores antes citados, durante los años de La Niña, las condiciones del clima en México regresan a la normal e incluso pueden resultar en una precipitación por encima de la media.

Las fluctuaciones climáticas tienen una gran relevancia por sus efectos en desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos como huracanes, inundaciones, sequías, ondas de calor o de frío y su impacto sobre la producción agropecuaria, forestal y pesquera, el manejo del agua y las condiciones de salud (Magaña *et al.* 2003). Debido a que el clima es un factor clave que determina la productividad primaria y, por tanto, la acumulación de combustibles forestales así como su humedad y por ende la eficiencia de ignición, la incidencia de incendios forestales está estrechamente relacionada con las fluctuaciones interanuales del clima (Gedalof 2011).

Las cadenas montañosas influyen marcadamente en la distribución de la humedad. Mientras que en las elevaciones mayores a los 1500 m prevalecen condiciones húmedas, los valles presentan un ambiente subhúmedo o semiárido. Haciendo un transepto del suroeste al noreste del área de estudio, las condiciones de déficit de humedad aumentan (Fig. 3.3 f). Estos cambios se observan en distancias cortas; por ejemplo, entre Casimiro Castillo en la vertiente suroeste de la Sierra de Manantlán y Autlán, al norte de esta cadena montañosa, que en línea recta están separados 22.5 km, la precipitación es de 1640 y 691 mm respectivamente (Fig. 3.4).

En el área de estudio se encuentran cuatro de los cinco tipos de clima básicos del sistema de Köppen (1948): *A*, cálido (predominante en altitudes bajo los 1500 m), *B* semiárido (en áreas donde se manifiesta el efecto de la sombra orográfica en los alrededores de Autlán y entre Tuxcacuesco y Zapotitlán), *C* templado cálido o subtropical en las montañas arriba de los 1500 m aproximadamente, y *E* frío (en la cima del Nevado de Colima). Un mejor conocimiento de los patrones del clima a escala regional, es necesario para poder prever los posibles efectos del cambio climático global.

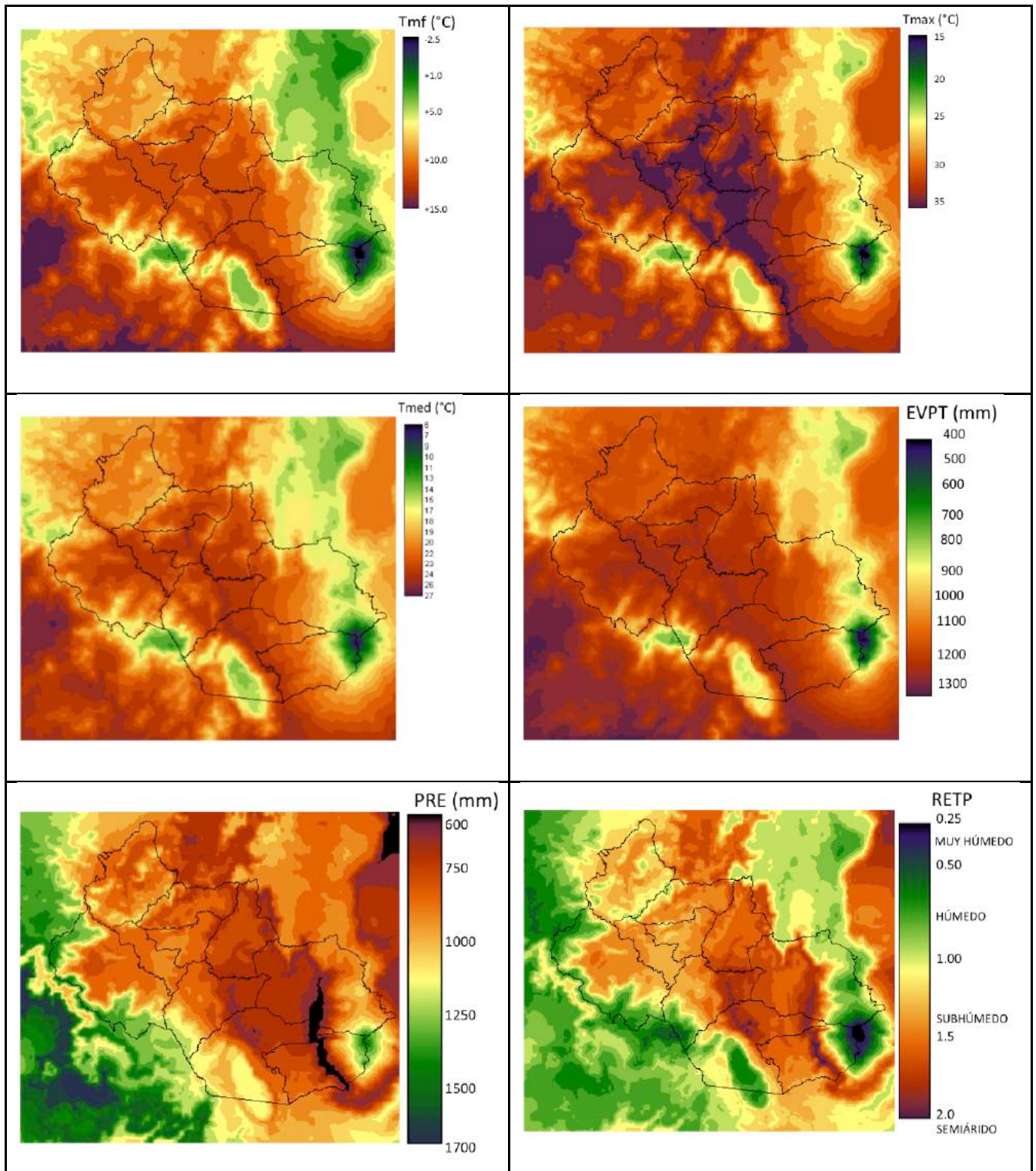


Figura 3.3. Patrones generales del clima regional. De arriba abajo y de izquierda a derecha, los mapas muestran: (a) la temperatura media del mes más frío (enero); (b) la temperatura media del mes más cálido (mayo); (c) la temperatura media anual; (d) la evapotranspiración potencial, estimada multiplicando la temperatura por la constante 59.63 (Holdridge 1980); (e) precipitación anual ; (f) razón de evapotranspiración potencial ($RETP=ETP/P$). Fuente: elaboración propia a partir del Atlas Climático Digital de México (uniatmos.atmósfera.unam.mx). Fuente: Jardel *et al.* (2015).

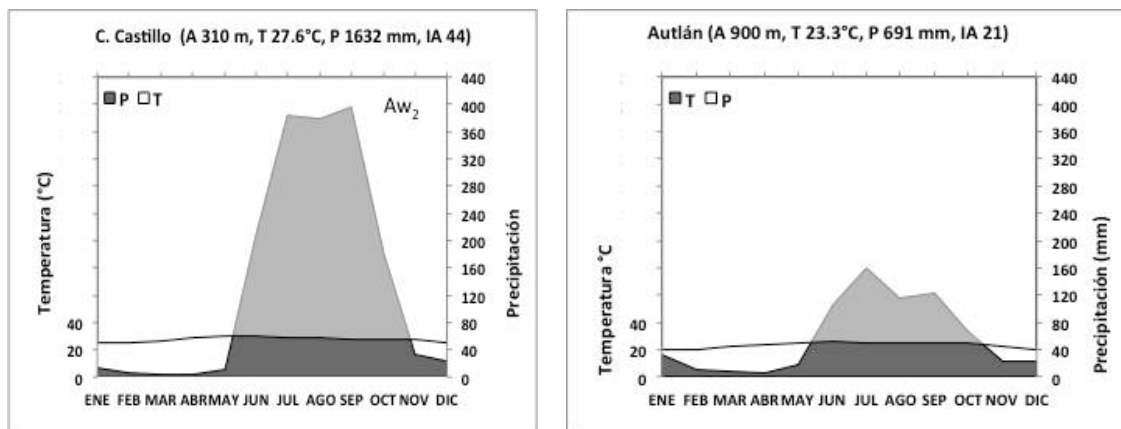


Figura 3.4. Diagramas ombrotérmicos de dos estaciones meteorológicas con condiciones de clima contrastantes: izquierda Casimiro Castillo en la vertiente suroeste de la Sierra de Manantlán, fuera de la cuenca del Ayuquila, con clima muy cálido (T , temperatura $>24^{\circ}\text{C}$), con lluvias de verano (P , precipitación anual 1632 mm), 6 meses de sequía estacional (de diciembre a mayo) y condiciones húmedas (IA , Índice de Aridez de Martonne 44); derecha Presa Basilio Badillo, igual con clima muy cálido ($T >24^{\circ}\text{C}$) y lluvias de verano, menos lluvioso (P 742 mm), 8 meses de sequía y condiciones semiáridas (IA 21). Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, normales climatológicas por estación (<http://smn.cna.gob.mx>).

La diferencia de la temperatura media mensual entre el mes más frío y el mes más cálido del año (cuadro 3.1), es en promedio de 5.6°C (con un máximo de 7.5°C y un mínimo de 3.0°C), mientras que la oscilación diurna de la temperatura es mayor, entre 11°C y 24°C . El mes más frío del año es enero y el más cálido mayo; las lluvias hacen bajar la temperatura en los meses de junio y julio, que son los de mayor insolación.

Antes de seguir adelante, es conveniente explicar las variables utilizadas en la caracterización bioclimática del área de estudio. Las condiciones del clima representan la entrada de energía (luz y temperatura) y agua (precipitación) y su balance (evapotranspiración) en los ecosistemas terrestres (Stephenson 1990, 1998), sean estos naturales como un bosque o transformados como un campo agrícola. Agua, temperatura y luz son los factores de primer orden que determinan la producción de biomasa por las plantas, a través de la fotosíntesis. Temperatura y luz están directamente relacionadas y la primera es la variable que comúnmente se registra en las estaciones meteorológicas. La otra variable básica es la precipitación (la cantidad de agua que cae sobre el terreno en un periodo de tiempo dado); sin embargo, la disponibilidad de agua no depende solo de su entrada en la precipitación, sino también de su balance con el agua que sale por evapotranspiración (más escorrentía e infiltración). En las clasificaciones bioclimáticas, se utilizan por lo tanto tres variables básicas: la temperatura, la precipitación y el balance entre precipitación y evapotranspiración potencial (Holdridge 1980).

Los diagramas ombrotérmicos (Figs. 3.4, 3.5 y 3.6) muestran de manera general estos factores básicos del clima, al graficar la distribución mensual de la temperatura, la precipitación y el balance hídrico. Nótese que la escala de la temperatura es el doble que la de la precipitación; cuando en el diagrama la cantidad de la precipitación es menor que la de la temperatura ($P < T \times 2$), la salida de agua por evapotranspiración potencial es mayor que la entrada en la lluvia y esto indica los meses con condiciones de sequía; cuando la cantidad de la precipitación es mayor que la de la temperatura ($P > T \times 2$), las condiciones son húmedas. Esto permite diferenciar claramente en los diagramas no solo

la magnitud y variación anual de la temperatura y la precipitación, sino también la temporada lluviosa y húmeda de la temporada seca que caracteriza la estacionalidad del clima en la región.

Dado que la temperatura está directamente correlacionada con la altitud, la definición de pisos altitudinales, relacionados con zonas térmicas, es un indicador comúnmente utilizado en los estudios climatológicos y ecológicos. Tradicionalmente en el centro de México (y en el área de estudio), se han diferenciado tres zonas climáticas asociadas a la variación altitudinal de la temperatura: la *tierra caliente*, la *tierra templada* y la *tierra fría*.

Los límites térmicos utilizados en la bioclimatología tienen sentido por su relación con la distribución de tipos de vegetación y plantas silvestres o cultivadas. Se estima que la productividad primaria neta (la producción de biomasa y la fijación de carbono en la fotosíntesis) se realiza en el rango de temperatura arriba de 0°C y hasta alrededor de 30°C (Holdridge 1980). La temperatura media anual (T_{ma}) de 24°C indica condiciones muy cálidas, como las de zonas ecuatoriales.

La T_{ma} de 18°C marca el límite entre condiciones cálidas y semicálidas; es utilizada en el sistema de Köppen como límite superior de los climas cálidos tropicales tipo A (Köppen 1931, García 1972) y corresponde a lo que Holdridge (1980) denominó “línea de escarcha”, la isoterma de temperatura mínima extrema de 0°C donde comienzan a presentarse heladas y la flora tropical o de zonas cálidas comienza a ser remplazada por la flora de zonas templadas (Rzedowski 1978). Es también el límite de los cultivos tropicales, como la caña de azúcar.

Los 10°C representan otro límite relevante, que en el sistema de Köppen separa los climas subtropicales o templados con verano cálido, tipo C, de los climas templados (o templado fríos) tipo D (Köppen 1931, Bayley 1996); por debajo de esta temperatura, las bajas temperaturas invernales prácticamente eliminan a las especies de la flora de origen tropical. Por ejemplo, este es el límite de distribución altitudinal del bosque mesófilo de montaña (Jardel *et al.* 2014) y marca el inicio de la zona donde la vegetación está dominada por coníferas. La zona térmica de 3°-6°C marca el límite de la vegetación arbórea y por debajo de los 3°C el límite de establecimiento de la vegetación.

El cuadro 5 presenta las zonas térmicas y pisos altitudinales del área de estudio. En la figura 12 se ilustran las zonas térmicas y los pisos altitudinales correspondientes en el área de estudio, determinados a partir del cálculo del gradiente altotérmico con datos de elevación y temperatura media anual de las estaciones meteorológicas del cuadro 4. El cálculo del gradiente altotérmico indica una disminución de 5.9°C por cada mil metros de altitud, considerando todas las estaciones. Sin embargo varía entre la vertiente sur, donde el gradiente es menos pronunciado (5.4°C/1000 m) debido a la influencia del aire caliente y húmedo que asciende desde el océano, y la vertiente hacia el interior del continente donde el gradiente es más marcado (6.3°C/1000 m).

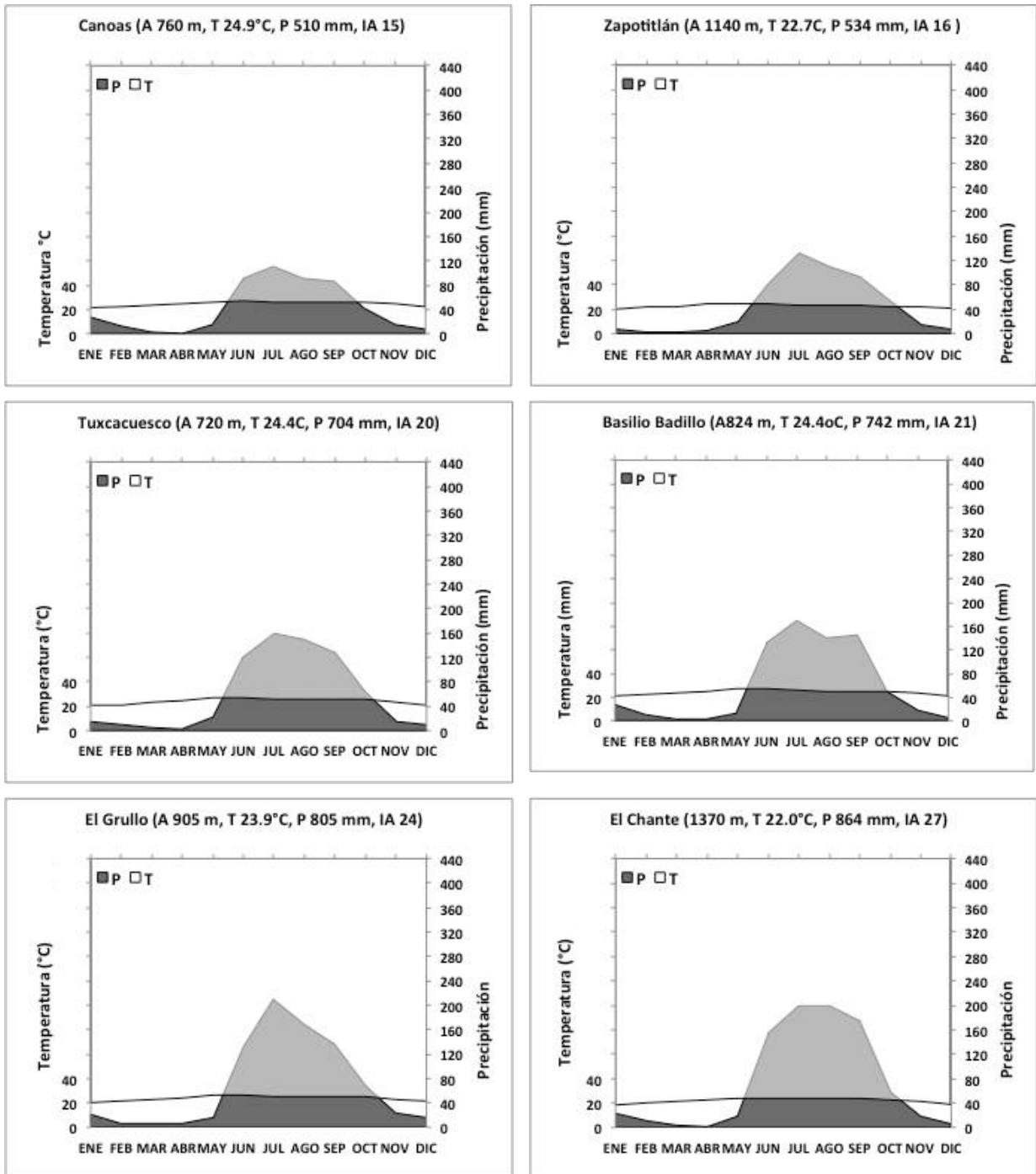


Figura 3.5. Diagramas ombrotérmicos de estaciones meteorológicas de las zonas bajas del área de estudio. En el título de cada diagrama se indica el nombre de la estación, su altitud (A), temperatura media anual (T), precipitación anual (P) e índice de aridez de Martonne (IA). En la línea superior y de en medio estaciones de zonas cálidas semiáridas (IA 10-20); en la línea de abajo, de zonas cálidas subhúmedas. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, normales climatológicas por estación (<http://smn.cna.gob.mx>).

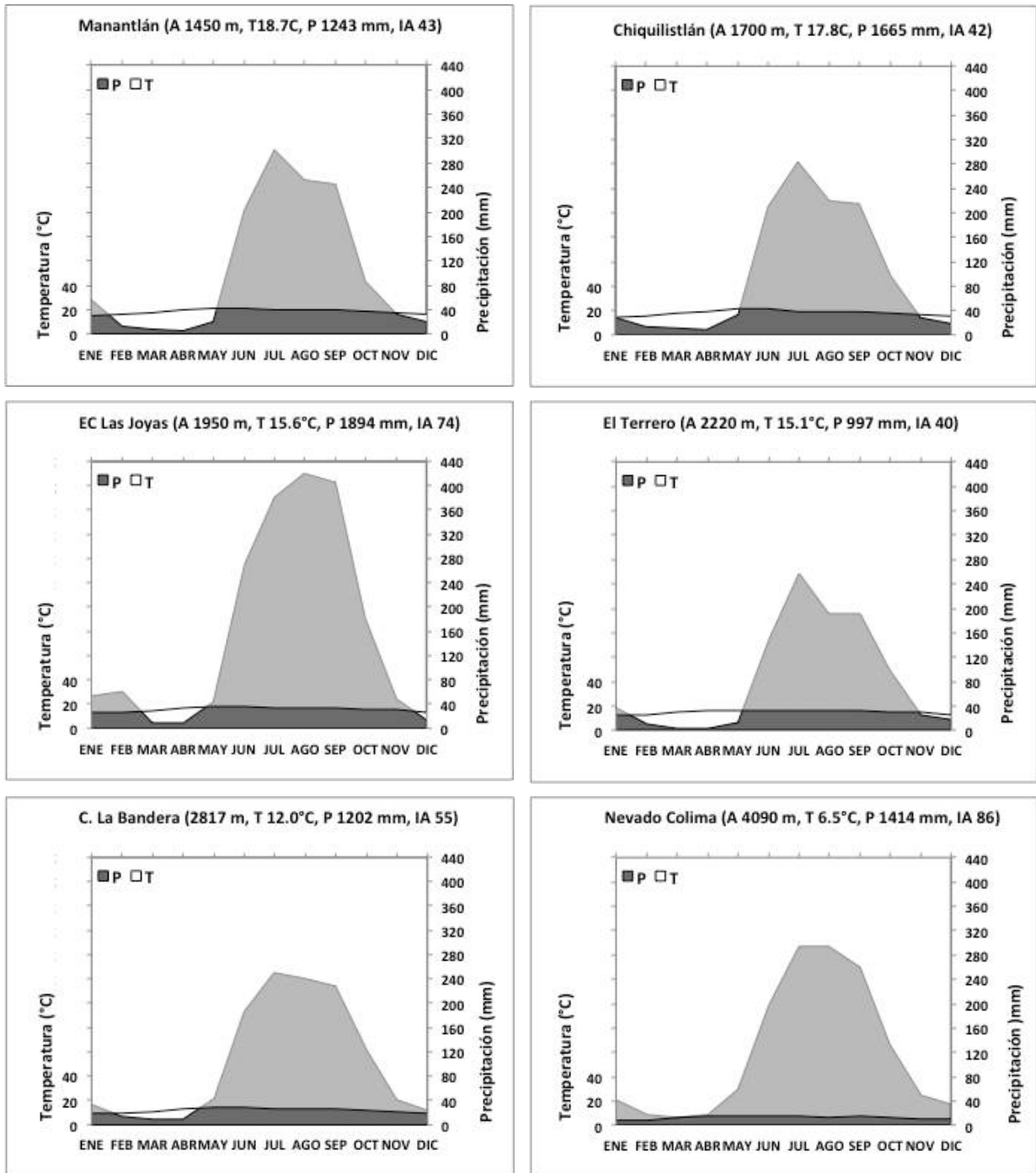


Figura 3.6. Diagramas ombrotérmicos de estaciones meteorológicas de montaña del área de estudio. Se indica el nombre de la estación meteorológica, su altitud (A), temperatura media anual (T), precipitación anual (P) e índice de aridez de Martonne (IA). Arriba: zona semicálida (T 16°-19°C) en la transición de subhúmeda a húmeda (IA ligeramente arriba de 40). En medio : zona templado cálida (T 11°-16°C) muy húmeda (Las Joyas, IA > 60) y húmedas en transición a subhúmedas (El Terrero IA 40). Abajo, zonas altas (cimas de montaña): Cerro de La Bandera (templado cálido transición a templado frío, T 12°), húmedo, IA 55) y Nevado de Colima (semifrío, T 6.5°, muy húmedo, IA 86). Fuente: SMN (<http://smn.cna.gob.mx>), excepto Las Joyas (Jardel *et al.* 2015) y La Bandera y Nevado de Colima (elaboración propia con datos del Atlas Climático Digital de México, uniatmos.atmosfera.unam.mx).

Cuadro 3.1. Normales climatológicas para las estaciones meteorológicas de la región comprendida en los mapas de las figuras 9 y 14 (con asterisco: estaciones dentro de los municipios de la JIRA). Tmed: temperatura media anual; Tmax: temperatura máxima promedio; Tmin: temperatura mínima promedio; Pma: precipitación anual promedio; Pve: porcentaje de la precipitación total que cae durante el verano; ETP: evapotranspiración potencial; RETP: razón de evapotranspiración potencial. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Nº	Estación meteorológica	Municipio	Altitud (m)	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmín (°C)	Pma (mm)	Pve (%)	ETP (mm)	RETP
1	N. DE COLIMA	ZAPOTITLÁN*	4090	6.5	12.6	0.5	1414.0	73.9	110.1	0.08
2	C. LA BANDERA	CUAUTITLAN	2817	12.0	18.7	5.3	1202.0	75.4	552.7	0.46
3	EL TERRERO	MINATITLAN	2220	15.1	21.8	8.4	997.4	79.3	760.3	0.76
4	ZARZAMORO (ECLJ)	AUTLÁN*	1950	15.6	24.5	12.9	1893.9	77.9	854.2	0.45
5	TAPALPA	TAPALPA	2060	16.2	23.8	8.7	904.0	68.6	815.9	0.90
6	CHIQUILISTLAN	CHIQUILISTLAN	1700	17.8	26.2	9.5	1165.4	79.6	941.1	0.81
7	MANANTLAN	CUAUTITLAN	1450	18.7	26.7	10.7	1243.4	80.6	1028.0	0.83
8	TENAMAXTLAN	TENAMAXTLAN	1470	20.3	29.3	11.4	948.7	79.5	1021.1	1.08
9	TACOTAN	UNION DE TULA*	1330	20.4	28.5	12.3	798.2	77.2	1069.8	1.34
10	UNION DE TULA	UNION DE TULA*	1340	20.7	29.3	12.1	821.3	80.2	1066.3	1.30
11	IXTLAHUACAN	UNIÓN DE TULA*	700	20.7	30.6	10.7	496.9	77.4	1288.8	2.59
12	V. CARRANZA	SAN GABRIEL*	1370	20.9	30.0	11.8	765.7	75.4	1055.8	1.38
13	EL CHANTE	AUTLAN*	900	22.0	31.1	12.8	863.8	83.9	1219.3	1.41
14	JUCHITLAN	JUCHITLAN	1230	22.3	30.6	13.9	674.5	74.8	1104.5	1.64
15	AYOTITLAN	CUAUTITLAN	670	22.6	29.3	15.9	1624.1	81.3	1299.2	0.80
16	ZAPOTITLAN	ZAPOTITLAN*	1140	22.7	34.8	10.3	533.6	78.1	1135.8	2.13
17	MINATITLAN	MINATITLAN	766	23.2	31.4	15.0	1451.9	84.2	1265.9	0.87
18	EJUTLA	EJUTLA*	1140	23.2	30.9	15.5	905.6	80.2	1135.8	1.25
19	AUTLAN	AUTLAN*	900	23.3	30.6	16.1	691.2	72.9	1219.3	1.76
20	COMALA	COMALA	735	23.5	31.6	15.4	1118.3	83.3	1276.6	1.14
21	LA COFRADIA	V. PURIFICACIÓN	632	23.8	31.8	15.8	1141.1	82.5	1312.4	1.15
22	EL GRULLO	EL GRULLO*	905	23.9	31.8	16.0	805.0	80.1	1217.5	1.51
23	CORCOVADO	AUTLAN*	900	24.1	32.0	16.1	690.4	82.4	1219.3	1.77
24	ACIHUATL	V. PURIFICACIÓN	420	24.3	34.0	14.7	1600.0	84.6	1386.2	0.87
25	PRESA B. BADILLO	EJUTLA*	824	24.4	33.0	15.7	724.2	81.4	1245.7	1.72
26	TUXCACUESCO	TUXCACUESCO*	720	24.4	33.6	15.3	704.0	79.0	1281.8	1.82
27	BUENAVISTA	CUAUHTEMOC	622	24.5	32.4	16.5	1116.8	85.1	1315.9	1.18
28	TOLIMAN	TOLIMAN*	740	24.5	33.1	15.8	588.8	73.4	1274.9	2.17
29	CANOAS	TOLIMAN*	760	24.9	34.2	15.6	510.0	74.9	1267.9	2.49
30	EL ROSARIO	TUXCACUESCO*	700	25.0	34.2	15.8	633.2	77.6	1288.8	2.04
31	LA HUERTA	LA HUERTA	280	25.2	32.7	17.8	1045.3	79.3	1434.8	1.37

32	TECOMATES	C. CASTILLO	286	25.5	35.4	18.3	1503.5	84.1	1432.7	0.95
33	COLIMA	COLIMA	500	25.5	32.5	18.5	885.4	81.0	1358.3	1.53
34	APAZULCO	LA HUERTA	5	26.0	36.3	12.6	856.6	77.6	1530.4	1.79
35	CIHUATLAN	CIHUATLAN	20	26.5	32.6	20.4	962.1	78.6	1525.2	1.59
36	CUAUTITLAN	CUAUTITLAN	600	26.6	34.7	18.5	1685.7	81.1	1323.6	0.79
37	V. PURIFICACION	V. PURIFICACION	458	26.6	33.3	19.9	1742.2	83.2	1372.9	0.79
38	C. CASTILLO	C. CASTILLO	310	27.6	36.3	18.9	1639.5	83.4	1424.4	0.87

Cuadro 3.2. Zonas térmicas del área de estudio. Se indica la temperatura media anual, la amplitud del piso altitudinal (en metros sobre el nivel del mar) y los límites superiores de cada piso en la vertiente sur, hacia la costa del Pacífico, y la vertiente norte, hacia el interior del continente.

Zonas térmicas	Temperatura media (°C)	Piso altitudinal (m)	Límite superior	
			Sur (Pacífico)	Norte (Interior)
Muy cálida	>24	<500	500	300
Cálida	19-23	600-1300	1400	1100
Semicálida	16-18	1300-1800	1900	1600
Templada cálida	11-15	1900-2700	2800	2400
Templada fría	7-10	2800-3300	3600	3000
Semifría	3-6	3400-4000	4200	3800
Fría	0-3	>4000	4500	4200

Fuente: zonas térmicas basadas en Rivas-Martínez (2002), con modificaciones para la nomenclatura; véase también Köppen (1931), García (1972) y Bailey (1996). Límites altitudinales: elaboración propia con datos de estaciones meteorológicas (ver cuadro 3).

Cuadro 3.3. Zonas de humedad definidas en función de la razón de evapotranspiración potencial (RETP). Se muestra su equivalencia aproximada con el Índice de Aridez de Martonne.

Zona de humedad	RETP	IA*
Perhúmeda	< 0.5	> 80
Húmeda	0.5-1.0	40-80
Subhúmeda	1.0-2.0	20-40
Semiárida	2.0-4.0	20-30
Árida	4.0-8.0	5-10
Perárida	> 8.0	0-5

Fuente: basado en Holdridge (1980) para la RETP y De Martonne (1942) para IA.

*Índice de Aridez de Martonne: $IA = P / (T_{med} + 10)$

Debe considerarse que los límites entre pisos altitudinales son una generalización y que la transición de uno a otro es gradual; además, factores como la topografía, las corrientes de aire y el efecto de masa de las montañas generan variación espacial. Como se observa en la figura 16, los pisos térmicos varían entre las vertientes; en las barrancas de la

vertiente sur el aire caliente sube creando condiciones más cálidas que las esperadas por la altitud, mientras que en valles y depresiones llegan a presentarse inversiones atmosféricas que dan lugar a temperaturas más bajas de las esperadas por su elevación.

Otros límites bioclimáticos, relevantes desde el punto de vista ecológico y agrológico, y especialmente importantes para entender la variación en los regímenes de incendios, están dados por el balance entre la entrada de agua en la precipitación y su salida por evapotranspiración. En una unidad del paisaje, la disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas, o para su captación en obras hidráulicas, es función no solo de cuanto entra con la precipitación, sino también de cuanta agua sale de por evapotranspiración, escorrentía e infiltración. La evapotranspiración potencial (o evapotranspiración de referencia) dividida entre la precipitación, permite obtener un índice general de las condiciones de humedad del paisaje, la razón de evapotranspiración potencial o *RETP* (Holdridge 1980). Este índice de las condiciones de humedad o aridez del paisaje, es relevante desde el punto de vista bioclimático por su relación con la productividad primaria neta de los ecosistemas. El índice muestra que sí la evapotranspiración potencial (*ETP*) es igual a la precipitación (*P*), la *RETP* es 1; sí *ETP* es menor que *P*, *RETP* es menor que 1 y las condiciones son húmedas; al contrario, sí *ETP* es mayor que *P*, *RETP* es mayor a 1 y las condiciones son secas. El cuadro 3.3 presenta las zonas de humedad del área de estudio, definidas en función de la *RETP*.

Cuadro 3.4. Superficie por zona bioclimática en la región; se muestra la equivalencia aproximada de las categorías con los tipos de clima de la clasificación de Köppen modificada por García (K-G). Ver Mapa 9.

Zonas bioclimáticas	Temperatura	Humedad	Superficie		Tipo de clima (K-G)
	Tma (°C)	RETP	ha	%	
Semifría muy húmeda	3-6	0.25-0.5	11.5	0.003	E(T)HCw
Templada-fría muy húmeda	7-10	0.25-0.5	3,071.8	0.7	Cb'(w ₂)
Templada-cálida húmeda	11-15	0.5-1.0	25,014.8	6.0	Ca(w ₂)
Templada-cálida subhúmeda	11-15	1.0-2.0	42.9	0.01	Ca(w ₁)
Semicálida húmeda	16-18	0.5-1.0	19,285.7	4.6	(A)Ca(w ₁)
Semicálida subhúmeda	16-18	1.0-2.0	31,754.3	7.6	(A)Ca(w ₀)
Cálida húmeda	19-23	0.5-1.0	10,850.2	2.6	A(C)(w ₂)
Cálida húmeda transición a subhúmeda	19-23	1.0-1.5	89,757.9	21.5	A(C)(w ₁)
Cálida húmeda transición a semiárida	19-23	1.5-2.0	153,517.2	36.8	A(C)(w ₀)
Cálida semiárida	19-23	2.0-4.0	1,195.1	0.3	BS ₁ hw
Muy cálida húmeda	>24	0.5-1.0	0.0	0.0	Aw ₂
Muy cálida húmeda transición a subhúmeda	>24	1.0-1.5	11.2	0.0	Aw ₁
Muy cálida subhúmeda transición a semiárida	>24	1.5-2.0	64,099.4	15.4	Aw ₀
Muy cálida semiárida	>24	2.0-4.0	18,942.2	4.5	BS ₁ (h')w
			417,554.0	100.0	

Fuente: Jardel *et al.* 2015. Ecología del paisaje de la región de la Sierra de Manantlán y la cuenca media del Río Ayuquila-Armería.

El clima de la región de la JIRA presenta una notable variación espacial (Fig. 3.3) debido a las diferencias de temperatura en el gradiente altitudinal, que se extiende de aproximadamente 500 m a 4240 m sobre el nivel del mar, y al gradiente en precipitación (450 a 1900 mm anuales) y humedad (de condiciones perhúmedas a semiáridas) que se observa de suroeste a noreste y de los valles y llanuras de las tierras bajas a las cimas de las montañas. La vertiente al sur de la Sierra de Manantlán (cuencas de los ríos Marabasco y Purificación) es más lluviosa y húmeda por la influencia oceánica, mientras que la sombra orográfica de las sierras que circundan a la cuenca del río Ayuquila dan lugar a condiciones más secas y de menor lluvia.

El Mapa 3 muestra las zonas bioclimáticas de la región. Las distintas unidades o categorías fueron determinadas a partir del traslape de los mapas de temperatura media anual (Fig. 3.3 c) y *RETP* (Fig. 3.3 f), utilizando para su clasificación las zonas térmicas y de humedad de los cuadros 3.2 y 3.3). El cuadro 3.4 presenta los datos de superficies por zona bioclimática en la región; se muestra la equivalencia aproximada de las categorías con los tipos de clima de la clasificación de Köppen modificada por García.

3.1.3. Geomorfología y relieve

El paisaje del área de estudio es predominantemente montañoso y presenta una notable diversidad de geo-formas y tipos de roca; este es uno de sus atributos más notables y es el resultado de su compleja historia geológica.

La complejidad geológica y geomorfológica del centro-occidente de México está asociada al contacto entre tres provincias fisiográficas o morfo-tectónicas, la Sierra Madre del Sur, la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre Occidental (Ferrusquía-Villafranca 1993). Dentro del área de estudio, la Sierra de Manantlán (incluyendo Cerro Grande) y la Sierra de Tuxcacuesco, corresponden a la provincia morfo-tectónica de la Sierra Madre del Sur, así como la Sierra de Cacoma que está unida al noroeste a la cadena de montañas que forman las serranías de El Tuito, Talpa-Mascota y Vallejo (está en el Estado de Nayarit) y que forman parte del área de contacto entre la Sierra Madre del Sur, la Sierra Madre Occidental y la Faja Volcánica Transmexicana, siendo una de las zonas geológicamente más complejas del país. El Nevado de Colima, el Volcán de Fuego, y las sierras de Tapalpa y Amula, corresponden a la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana.

La región de la JIRA se divide en dos sub-regiones por las montañas kársticas de Cerro Grande y la Sierra de Tuxcacuesco (Fig. 3.7). La porción oeste incluye a los municipios de Autlán de Navarro, Unión de Tula, El Grullo, El Limón y Ejutla. Los municipios de Tolimán, Tuxcacuesco y Tonaya se encuentran en el límite entre ambas subregiones, aunque con su mayor extensión en la parte este y San Gabriel y Zapotitlán de Vadillo se encuentran enteramente en la sub-región este.

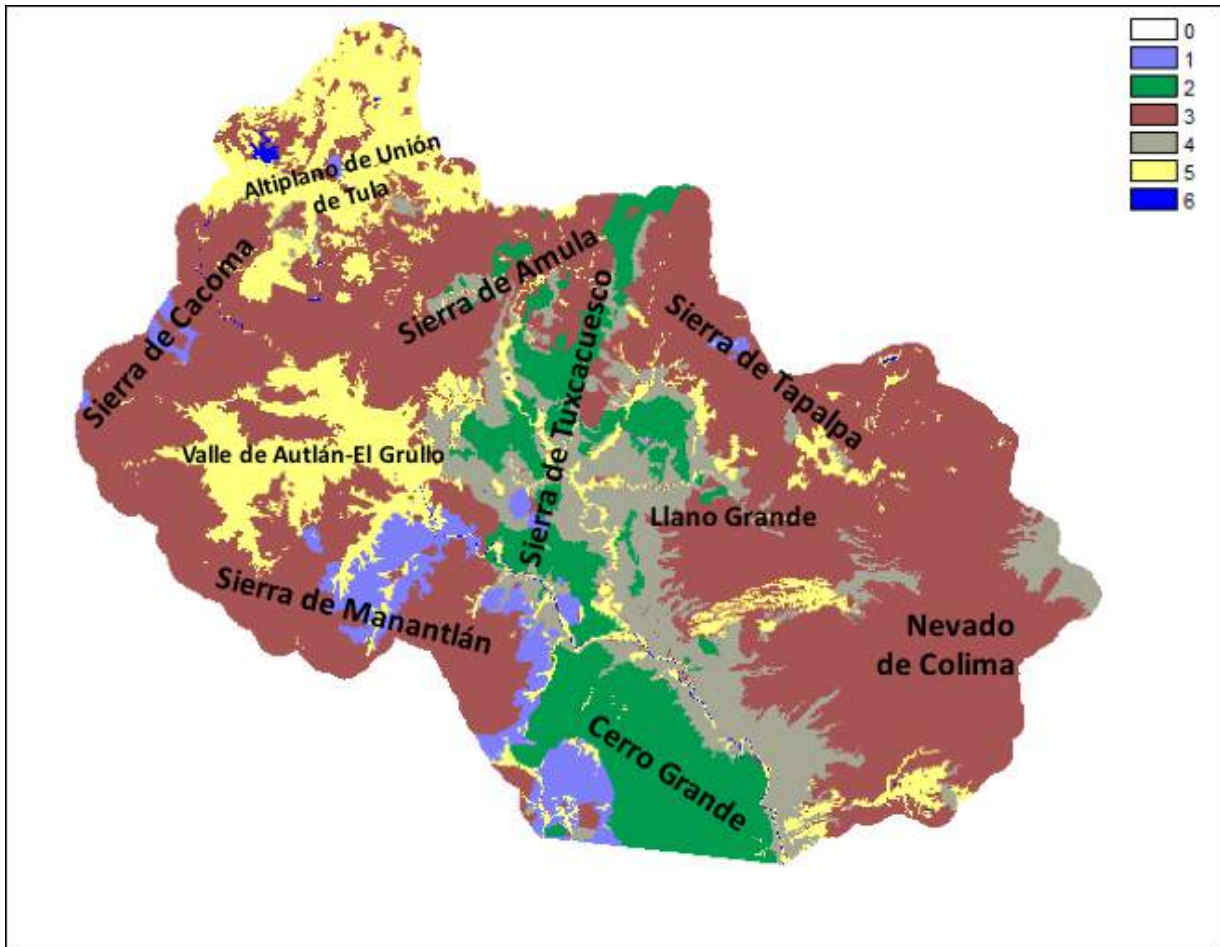


Figura 3.7. Regionalización fisiográfica y litología superficial del área de estudio. Cerro Grande y Sierra de Tuxcacuesco marcan la división entre la sub-región oeste, que corresponde a la subcuenca del Río Ayuquila e incluye a las Sierras de Amula, Cacoma y Manantlán, al altiplano de Unión de Tula y el Valle de Autlán de Navarro-El Grullo, y la sub-región este, correspondiente a la subcuenca del Río Tuxcacuesco y la parte alta de la subcuenca del Río Ayuquila-Armería. La sub-región este, está formada por Llano Grande, las estribaciones de la Sierra de Tapalpa, el Nevado de Colima y el Volcán de Fuego, así como el valle de Tuxcacuesco y la parte alta de Armería. Las categorías que se muestran en el mapa representan zonas con distinto sustrato geológico y una morfología característica. (1) El basamento de las montañas está formado por un batolito de rocas ígneas intrusivas del Cretácico, que afloran principalmente en las laderas bajas de la Sierra de Manantlán y en pequeñas áreas de las Sierras de Cacoma y Tapalpa y el altiplano de Unión de Tula, en las laderas bajas de las montañas o formando cerros o lomeríos redondeados. (2) Cerro Grande y la Sierra de Tuxcacuesco están formados por el elevamiento de rocas sedimentarias marinas (caliza y dolomita inter-estratificadas) sobre el basamento ígneo intrusivo. (4) En las Sierras de Manantlán, Cacoma, Amula, Tapalpa y el Nevado de Colima, predominan rocas ígneas extrusivas del Terciario y el Cuaternario, y el Volcán de Fuego (al sur del Nevado) sigue produciendo material extrusivo. (4) En las faldas y el piedemonte del Nevado, la Sierra de Tapalpa y Cerro Grande-Sierra de Tuxcacuesco el sustrato geológico corresponde a rocas sedimentarias del Cuaternario (arenisca, conglomerado y arenisca-conglomerado). (5) En los valles y el altiplano de Unión de Tula predominan sedimentos aluviales recientes. La categoría 6 en el mapa corresponde a cuerpos de agua.

La sub-región oeste está formada por rocas ígneas intrusivas (ácidas, intermedias y granito) en las laderas bajas hacia el sur y norte, y por rocas ígneas extrusivas (ácidas, intermedias, riolita, andesita, basalto, toba y brecha volcánica) en las partes altas, ocupando la mayor superficie. En los valles se encuentran sedimentos aluviales, material

de aporte de las montañas circundantes. En la sub-región este, predominan las rocas ígneas extrusivas de la Faja Volcánica Transmexicana y areniscas, conglomerados y sedimentos aluviales, materiales producto de la erosión de las laderas de las montañas, en el pie de monte y valle del río Tuxcacuesco, que al unirse con el Río Ayuquila da origen al Río Armería. En la parte oeste de Cerro Grande, las calizas entran en contacto con las rocas ígneas intrusivas de la parte norte de la Sierra del Mamey, que se extiende hacia el sur en el Estado de Colima (Fig. 3.7).

La sierras de Cacoma y Manantlán, formadas por montañas de mediana altitud (1500-3500 m) y del Nevado de Colima constituida por montañas altas (>3500 m), circundan el área de estudio al suroeste, sur y este. Hacia el noreste se encuentran las estribaciones de la Sierra de Tapalpa y al norte se encuentran cerros, lomeríos y colinas que forman la Sierra de Amula. Los terrenos llanos se encuentran en valles intermontanos en Unión de Tula, Autlán de Navarro-El Grullo, El Limón y San Gabriel. La Sierra de Tuxcacuesco, formada por montañas bajas (<1500 m) y lomeríos divide los valles de Autlán de Navarro-El Grullo y el Limón del Llano Grande, que se extiende hacia las estribaciones del Nevado de Colima y está surcado por profundas barrancas, con más de 100 y hasta 200 m de disección vertical.

La mayor elevación de la región es el Nevado de Colima (4260 msnm), seguido del Volcán de Fuego (3820 m aproximadamente) y el punto más bajo se ubica en la confluencia del arroyo La Lumbre con el río Ayuquila, aproximadamente a 550 msnm; ambos puntos se encuentran dentro del municipio de Zapotitlán de Vadillo. La Sierra de Manantlán alcanza sus mayores elevaciones en el Cerro de La Bandera (2870 m) y el Cerro de Las Capillas (2860 m), que se ubican en el parteaguas de la cuenca del Ayuquila, pero dentro del municipio de Cuautitlán, y en el Cerro Breñoso (2560 m) en la parte alta de Cerro Grande, municipio de Tolimán. En Sierra de Cacoma las mayores elevaciones alcanzan 2300-2740 m. El Valle de Autlán de Navarro-El Grullo se extiende entre 850 y 950 m de altitud, mientras que la altiplanicie de Unión de Tula alcanza elevaciones entre 1300 y 1500 m. Un 28.6% del área se encuentra en elevaciones menores a 1000 m, 59.5% entre 1000 y 2000 m, 10.8% entre 2000 y 3000 m, y el 1% arriba de los 3000 m.

3.1.4. Hidrología

La cuenca se subdivide en tres subcuencas: la del Río Ayuquila al noreste, la del Río Tuxcacuesco al noreste y la del Río Armería al sur (cuadro 3.5).

Los municipios de la JIRA se localizan dentro de la Cuenca del Río Ayuquila-Armería, formando parte de tres subcuencas que son de suma importancia para el abastecimiento de los recursos hídrico, el Río Ayuquila que tiene una fuerte influencia en los municipios de Unión de Tvla, Autlán de Navarro, El Grullo y Tuxcacuesco; Río Tuxcacuesco que tiene influencia sobre los municipios de Ejutla, El Limón, Tonaya, San Gabriel y Tuxcacuesco y el Río Armería que tiene influencia en los municipios Tolimán y Zapotitlán de Vadillo. Estas tres subcuencas a su vez se subdividen en 37 subcuencas tributarias tal como se muestra en el mapa 4.

La figura 3.8 muestra el balance hídrico de las subcuencas. El mapa de la figura 3.3 f, muestra el balance hídrico del área de estudio, expresado como la razón de evapotranspiración potencial (evapotranspiración potencial dividida entre la precipitación anual; de acuerdo con Holdridge 1967). Valores menores a 1 indican excedente de humedad y valores mayores a 1 déficit de humedad.

Cuadro 3.5. Superficie de los municipios dentro de las subcuencas del río Ayuquila-Armería .

Municipios	Subcuencas			TOTAL
	Ayuquila	Tuxcacuesco	Armería	
Autlán de Navarro	68,060.9	0.0	0.0	68,060.9
San Gabriel	0.0	58,570.4	9,126.6	67,696.9
Tonaya	0.0	32,742.0	0.0	32,742.0
Ejutla	2,860.8	21,312.7	0.0	24,173.5
Tolimán	7,062.7	3,445.7	44,052.6	54,561.1
Unión de Tvla	40,860.1	3,066.4	0.0	43,926.5
Tuxcacuesco	21,108.5	20,480.9	0.0	41,589.4
El Grullo	14,966.5	1,302.2	0.0	16,268.7
Zapotitlán de Vadillo	0.0	0.0	37,268.4	37,268.4
El Limón	1,679.4	15,174.8	0.0	16,854.2
Total	156,599.0	156,095.1	90,447.7	403,141.7

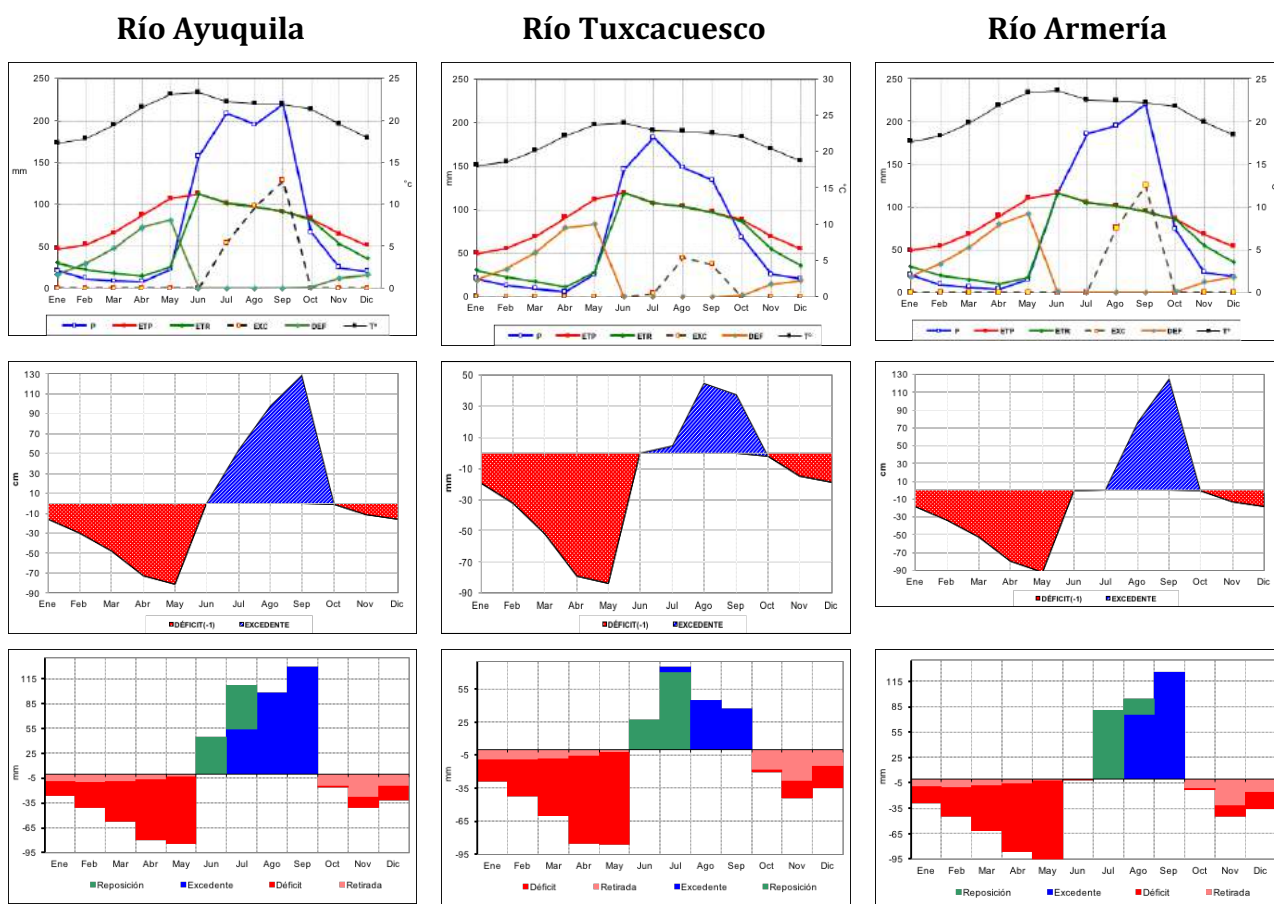


Figura 3.8. Balance hídrico de las subcuencas de los ríos Ayuquila, Tuxcacuesco y parte alta del Armería. De arriba abajo se muestran los gráficos de los hidrogramas, el extracto del balance hídrico mensual y el déficit, excedente, retirada y reposición hídrica a lo largo del año para las tres subcuencas.

3.1.5. Suelos

La variación climática y la complejidad geomorfológica y geológica de la región, que se han descrito en las secciones precedentes, se reflejan en la diversidad de los suelos de la región. En el Mapa 5 se puede observar la diversidad de condiciones geomorfoedafológicas de la región. Este mapa muestra unidades del paisaje que describen la forma del relieve (geomorfología), los tipos de suelos de acuerdo con la clasificación de la FAO[†] y el material parental (litología superficial) del cual se derivan los suelos.

En la región predominan suelos someros rocosos (Litosoles) o sobre material parental no consolidado o altamente intemperizado (Regosoles), característicos de terrenos montañosos, que cubren el 64% del área de estudio. Los suelos forestales, de perfil poco

[†] Las características de los tipos de suelos pueden ser consultadas en la guía de la Carta Edafológica del INEGI (1995), así como en diferentes tratados de edafología.

diferenciado (Acrisoles, Andosoles, Cambisoles, Luvisoles), cubren cerca del 13% de la superficie, y los suelos de praderas o llanuras, ricos en materia orgánica y que son los más aptos para la producción agrícola (Feozem, Chernozem, Castañozem y Vertisoles), cubren aproximadamente el 20% del área y pueden considerarse como un recurso escaso que debe ser conservado y cuidadosamente manejado. El 2.8% de la superficie corresponde a suelos hidromórficos en lugares con influencia de escurrimientos fluviales (Fluvisoles) o zonas inundables (Gleysoles, Vertisol gléyico, Planosol) (Fig. 3.9).

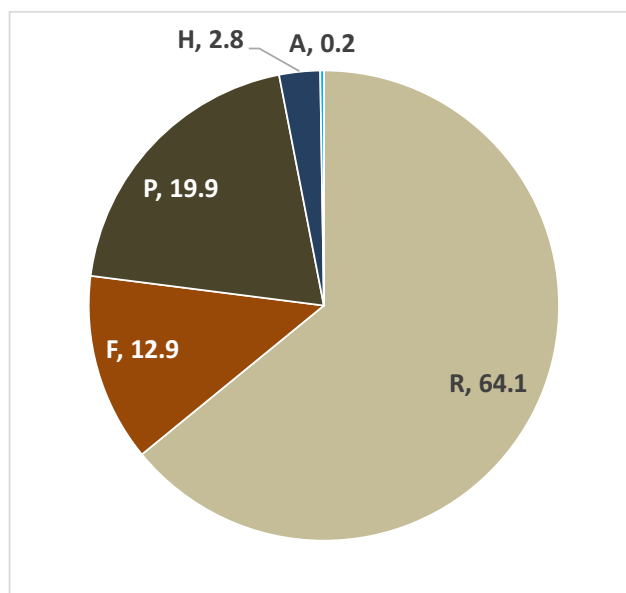


Figura 3.9. Porcentaje de la superficie de la JIRA por grandes tipos de suelos: **R**, suelos someros, rocosos o pedregosos (Litosol, Regosol, Rendzina); **F**, suelos forestales (Acrisol, Andosol, Cambisol, Luvisol); **P**, suelos de pradera (Feozem, Chernozem, Castañozem, Vertisol); **H**, suelos hidromórficos (Gleysol, Planosol, Vertisol gléyico, Fluvisol); **A**, cuerpos de agua.

Las características de los suelos y su variación en el paisaje, están determinadas por la interacción entre gradientes topográficos (variación en la forma del relieve y ángulos de inclinación de las pendientes) y la roca (material parental), bajo la influencia del clima y las interacciones con la biota a través del tiempo (Jenny 1941). La interpretación de la relación entre variables que describen la morfología del terreno, la roca y las propiedades de los suelos, permite hacer inferencias acerca de la relación entre los procesos dinámicos de formación del relieve (morfogénesis) y del suelo (pedogénesis) que son relevantes para evaluar el potencial y las limitaciones de uso del suelo (Tricart 1977).

Desde la perspectiva de la ecología del fuego, la geomorfología es uno de los tres factores que controlan el régimen de incendios a escala del paisaje (Falk *et al.* 2007, McKenzie *et al.* 2011). La topografía es uno de los tres componentes del triángulo del ambiente del fuego en los incendios forestales (Pyne *et al.* 1996); la forma del terreno, la variación en el ángulo de la pendiente y las barreras topográficas como barrancos o escarpes, influyen de manera directa en la propagación del fuego y los mecanismos de transferencia de

calor (Planas y Pastor 2013). Los gradientes de forma, exposición y pendiente influyen en las propiedades de los combustibles; por ejemplo estos tienden a estar más secos en posiciones topográficas altas, exposiciones soleadas y pendientes inclinadas donde el drenaje del agua es más fuerte. La posición topográfica de un sitio también está relacionada con su exposición a vientos que influyen en el comportamiento del fuego.

La forma del terreno puede caracterizarse cualitativamente a través de los patrones observables en el campo, en imágenes satelitales o fotografías aéreas o a través de la interpretación de mapas topográficos, y cuantitativamente a través de modelos digitales de elevación que permiten estimar parámetros morfo-métricos como el ángulo de inclinación de la pendiente, la disección vertical y la disección horizontal (Bocco *et al.* 2010, Priego *et al.* 2010), como se muestra en los Mapas 5-8.

Las condiciones geomorfológicas influyen en la redistribución de la energía (radiación solar y temperatura, fuerza de los vientos, propagación del fuego) y los materiales (agua, nutrientes y partículas del suelo, rocas) en los ecosistemas terrestres (Pielou 2001) y producen variación en las condiciones ambientales que influyen en la productividad primaria y en la distribución de los organismos dentro de una misma zona bioclimática. Esto es, producen variación intrazonal en la vegetación y, por lo tanto, en el complejo de combustibles (Jardel *et al.* 2009).

Los gradientes topográficos (por ejemplo, el cambio gradual de forma e inclinación de la pendiente desde la cima de una montaña a sus laderas y de estas a un valle o una llanura), junto con la variación del sustrato geológico y la influencia del clima y la misma vegetación, producen la formación de *catenas* de suelos (Duchaufour 1970). Mientras que las geo-formas convexas como las cimas y parteaguas pierden humedad y partículas finas y nutrientes del suelo por el escurrimiento del agua y la fuerza de gravedad, siendo más secas y menos fértiles, las geo-formas cóncavas acumulan humedad y nutrientes, siendo más productivas para la vegetación. Las condiciones topográficas son también un factor clave en la exposición a la influencia de perturbaciones meteorológicas (Frelich 2006) e influyen en el comportamiento del fuego en los incendios forestales (Falk *et al.* 1997). La disección vertical y horizontal del terreno y el ángulo de inclinación de la pendiente indican la energía potencial para el escurrimiento de agua, el movimiento de partículas, materiales y nutrientes del suelo y la estabilidad del terreno, y son por lo tanto factores clave para evaluar riesgos de erosión y el potencial de uso del suelo (Bocco *et al.* 2005).

Las geo-formas y los gradientes topográficos, junto con la variación en la litología superficial (los tipos de roca) influyen en los tipos de suelo, produciendo variación intrazonal dentro de una misma zona bioclimática. Un ejemplo de esto es el patrón de distribución de bosque mesófilo de montaña en cañadas, hondonadas y barrancas y bosque de pino en laderas, parteaguas y cimas en la zona de clima templado-cálido húmedo (Jardel *et al.* 2004b) o en la zonación topográfica de selva mediana subcaducifolia en geo-formas cóncavas y selva baja caducifolia en geo-formas convexas en la zona de bosque seco basal al suroeste de la región, en la Sierra de Manantlán (Jardel-Peláez *et al.* 2013).

Las características de los suelos se relacionan también con el potencial de incendios. En suelos con alto contenido de materia orgánica, pueden presentarse incendios

subterráneos. En la región de la JIRA esta condición se presenta principalmente en los suelos de zonas kársticas como Cerro Grande.

En el cuadro 3.6 se describen las unidades geomorfoedafológicas de la región, de acuerdo con la leyenda del Mapa 5.

Cuadro 3.6. Unidades geomorfoedafológicas de la región de la JIRA. Las unidades mayores, señaladas con una letra mayúscula en orden alfabético, corresponden a las unidades geomorfológicas mayores y al tipo de rocas. Las subunidades están definidas por grandes grupos de suelos. Para las unidades menores se indica el tipo de suelo, el material parental del que se deriva y las geo-formas en que se encuentra; en la primer columna aparece su identificador en la leyenda del Mapa 5. Fuente: Jardel *et al.* (2015)

ID	Unidades geomorfoedafológicas	Superficie	
		ha	%
A. ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS DEL CRETÁCICO / LADERAS BAJAS DE MONTAÑA Y LOMERÍOS			
I/Igi	Litosol/ rocas ígneas intrusivas/laderas bajas de montaña y lomeríos.	7,843.7	1.9
R/Igi	Regosol/ rocas ígneas intrusivas/ laderas bajas de montaña y lomeríos.	9,879.3	2.4
T/Igi	Andosol/ rocas ígneas intrusivas/laderas bajas de montaña.	738.7	0.2
	Subtotal	18,461.7	4.4
B. ROCAS SEDIMENTARIAS (CALIZA-DOLOMITA) DEL CRETÁCICO / MONTAÑAS KÁRSTICAS			
B.1. Suelos someros, rocosos o pedregosos, sobre caliza-dolomita en terrenos montañosos.			
I/cz	Litosol/ caliza-dolomita/ laderas de montaña con pendientes fuertes.	32,754.8	7.8
E/cz	Rendzina/caliza-dolomita/ hondonadas y colinas.	3,633.4	0.9
R/cz	Regosol/caliza-dolomita/ laderas bajas de montaña.	2,559.4	0.6
R/y	Regosol (feozem, cambisol)/ yeso/ montañas bajas y lomeríos.	1,355.0	0.3
	Subtotal	40,302.5	9.7
B.2. Suelos forestales de perfil poco diferenciado, relativamente profundos, sobre caliza-dolomita.			
B/cz	Cambisol/caliza-dolomita (lutita-arenisca, yeso) del Cretácico/laderas altas de montañas kársticas..	1,302.0	0.3
T/cz	Andosol calcáreo/ caliza-dolomita, con aporte de cenizas volcánicas/ mesetas kársticas.	5,654.5	1.4
L/cz	Luvisol/ caliza-dolomita/ hondonadas en laderas altas de montañas y mesetas kársticas.	3,605.3	0.9
H/cz	Feozem/ caliza-dolomita/ hondonadas en montañas kársticas.	495.6	0.1
	Subtotal	11,057.3	2.6

Cuadro 3.6. Continuación			
ID	Unidades geomorfoedafológicas	Superficie	
		ha	%
C. ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS DEL Terciario y Cuaternario/ Montañas medias a altas			
C.1. Terrenos montañosos con suelos someros, rocosos o pedregosos, sobre rocas ígneas extrusivas.			
I/Ige	Litosol/ rocas ígneas extrusivas/ laderas de montaña con pendientes fuertes a muy fuertes.	63,155.1	15.1
R/Ige	Regosol/ rocas ígneas extrusivas/ laderas de montaña y lomeríos con pendientes moderadas a fuertes.	106,757.7	25.6
Subtotal		169,912.8	40.7
C.2. Terrenos montañosos con suelos forestales de perfil poco diferenciado, relativamente profundos, sobre rocas ígneas extrusivas.			
A/to-Ige	Acrisol/ toba volcánica o rocas ígneas extrusivas ácidas/ cimas en forma de mesetas redondeadas y laderas altas de montaña.	1,231.7	0.3
B/Igea	Cambisol/rocas ígneas extrusivas ácidas altamente intemperizadas/laderas de montaña con pendientes moderadas a fuertes.	3,562.4	0.9
B/Igea(i)	Cambisol derivado de rocas ígneas extrusivas ácidas o intermedias en complejo de lomeríos y hondonadas ("joyas") de partes altas de montañas.	18,260.7	4.4
T/Ige	Andosol/ toba volcánica, basalto y otras rocas ígneas extrusivas/ laderas de montaña.	1,057.2	0.3
L/Ige	Luvisol/ rocas ígneas extrusivas/ hondonadas y barrancas.	923.3	0.2
Subtotal		25,035.4	6.0
C.3. Laderas bajas de montaña, lomeríos, colinas y llanuras onduladas con suelos de pradera, ricos en materia orgánica, relativamente profundos.			
B/to	Cambisol/ toba volcánica/ llanuras onduladas y colinas.	13,203.3	3.2
C/to-Ige	Chernozem/toba volcánica y otras rocas ígneas extrusivas/ llanuras onduladas inclinadas.	6,278.3	1.5
V/Ige	Vertisol/rocas ígneas extrusivas/ llanuras.	6,361.2	1.5
Subtotal		25,842.9	6.2
D. ARENISCA Y ARENISCA CONGLOMERADO - LADERAS BAJAS DE MONTAÑA, ABANICOS ALUVIALES Y LLANURAS.			
I/ar-cg	Litosol/ arenisca-conglomerado/ barrancas en laderas bajas de montaña y lomeríos.	12,420.2	3.0
R/ar-cg	Regosol/ arenisca-conglomerado/ llanuras aluviales.	27,243.2	6.5
B/ar-cg	Cambisol/arenisca-conglomerado/ llanuras onduladas y colinas.	3,090.2	0.7
H/ar-cg	Feozem/arenisca-conglomerado/ piedemonte y abanicos aluviales.	3,518.4	0.8
V/ar-cg	Vertisol/arenisca-conglomerado/ llanuras onduladas.	3,514.7	0.8
K/al-ar-cg	Castañozem/suelos aluviales, arenisca-conglomerado/avanicos aluviales	4,513.3	1.1
C/ar-cg	Chernozem/ arenisca-conglomerado/ llanuras inclinadas y abanicos aluviales.	3,020.6	0.7
Subtotal		57,320.6	13.7
		ha	%

Cuadro 3.6. Continuación			
ID	Unidades geomorfoedafológicas	Superficie	
		ha	%
E. LLANURAS ALUVIALES - VALLES			
A.1. Suelos profundos, de llanuras, hondonadas o valles.			
B/al	Cambisol/ sedimentos aluviales/ llanuras, hondonadas y valles.	1,372.6	0.3
H/alu	Feozem/ sedimentos aluviales/ llanuras planas u onduladas.	31,684.0	7.6
H/Ige	Feozem/ rocas ígneas extrusivas/ colinas y llanuras onduladas o colinosas.	22,210.2	5.3
H/Igi	Feozem/ rocas ígneas intrusivas/ piedemonte y llanuras inclinadas.	1,595.4	0.4
		56,862.2	13.6
A.2. Suelos hidromórficos, asociados a zonas inundables y cuerpos de agua.			
J/alu	Fluvisol/ sedimentos aluviales/ riberas de ríos y arroyos y terrazas de inundación.	4,973.8	1.2
J/ar-cg	Fluvisol/arenisca, arenisca conglomerado o conglomerado/ barrancas, cañadas y terrazas aluviales.	3,012.0	0.7
G/alu	Gleysol/ sedimentos aluviales/ llanuras inundables.	483.5	0.1
W/Ige-al	Planosol/ toba y sedimentos aluviales/ llanuras inundables.	126.9	0.0
V/al	Vertisol/ sedimentos aluviales/ llanuras inundables.	3,122.3	0.7
		11,718.5	2.8
F. CUERPOS DE AGUA			
AGUA	Ríos y arroyos permanentes, lagos y embalses artificiales.	1,040.3	0.2
	Total	417,554.0	100.0

3.1.6. Vegetación y uso del suelo

La cubierta vegetal de un territorio es una expresión de las interacciones entre las especies y comunidades de plantas con los factores del ambiente físico como el clima, la forma del relieve y los suelos, así como la influencia de las actividades humanas a través de los usos del suelo y los recursos naturales. Las características de composición, estructura y fisonomía de los tipos de cobertura vegetal, sean naturales o transformados (antropogénicos), indica las condiciones del hábitat en las que viven las diferentes especies de plantas, animales, hongos y microorganismos que constituyen la biodiversidad (Jardel 2015b). Desde la perspectiva de la ecología y manejo del fuego, las unidades fisonómicas de vegetación representan una primera aproximación a la caracterización de camas de combustibles (Morfín *et al.* 2012), esto es, unidades del paisaje relativamente homogéneas que representan ambientes de propagación del fuego y que tienen un potencial de incendios determinado (Ottmar *et al.* 2007, Riccardi *et al.* 2007).

En esta sección se describen la cubierta vegetal y los usos del suelo del área de estudio. De manera general, se diferenciaron seis usos del suelo: (1) uso forestal, que incluye todas las formaciones vegetales “naturales”, esto es, que se desarrollan espontáneamente en el área y que tienen su origen en procesos ecológicos y biogeográficos históricos, aunque puedan estar en mayor o menor grado influidas por factores antropogénicos (bosques, selvas, matorrales secundarios, pastizales naturales y otros tipos de vegetación no cultivada); son áreas dedicadas tanto a la producción forestal maderable como no maderable así como áreas dedicadas a la conservación; (2) uso pecuario o ganadero (pastizales inducidos); (3) uso agrícola (terrenos de cultivo de temporal o de riego, incluyendo plantaciones de frutales, agaves, etc.); (4) centros de población o asentamientos humanos; (5) minas a cielo abierto, y (6) cuerpos de agua. Otros tipos de cobertura incluyen las superficies de afloramientos rocosos en cimas de montaña y áreas con actividad volcánica, así como áreas erosionadas sin vegetación aparente. Esta división de usos del suelo considera el uso predominante del espacio, ya que muchas áreas tienen usos múltiples; por ejemplo, los terrenos con cobertura de bosque o selva, así como las áreas de cultivo agrícola en barbecho, son utilizadas para el apacentamiento de ganado. Por otra parte, una parte considerable de los terrenos en colinas, lomeríos o laderas de montaña presentan un mosaico complejo y cambiante de coberturas con matorrales secundarios, pastizales inducidos y cultivos agrícolas, debido al patrón de uso del suelo para la agricultura con ciclo de barbecho (véase la discusión al respecto en la sección del diagnóstico donde se discuten los cambios de cobertura y uso del suelo).

La vegetación fue descrita con criterios fisonómicos (Vélica 2013). El mapa 6 presenta la vegetación y uso del suelo de la región a principios del año 2014 (Jardel *et al.* 2015); la figura 3.8 y el cuadro 3.7 presentan los datos de superficie por categoría de vegetación y uso del suelo.

Métodos para la actualización del mapa de vegetación y uso del suelo. Para la actualización del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo se utilizó el método de interpretación visual interdependiente (FAO 1996, 2001), en el cual los polígonos de un mapa o imagen de una primera fecha, previamente clasificados, sirven de referencia para interpretar las imágenes de satélite o fotografías aéreas de fechas posteriores, modificándose aquellos segmentos en donde se visualizan cambios. Este es un método más seguro que la clasificación automatizada de imágenes satelitales, debido a que reduce al mínimo los errores de posición y de clasificación (Ramírez y Zubieta 2005), que resultan de comparar escenas de diferentes fechas donde las condiciones atmosféricas, humedad del suelo, el ángulo del sol y otros factores, dan lugar a cambios en la radiancia que no corresponden propiamente a cambios en la vegetación (Mas 1999). En zonas montañosas la complejidad del relieve, los gradientes ambientales pronunciados, las condiciones atmosféricas y la variación de la cubierta vegetal dificultan la clasificación automática de imágenes de satélite. Además con este método, se pueden resolver algunos problemas de la interpretación de ciertos rasgos de la imagen (nubosidad, sombras, centros de población, formas complejas difíciles de discriminar, etc.) que son más claros en la interpretación visual (Chuvienco 1990, 2010, Mas 1999).

Se utilizó un conjunto de imágenes satelitales SPOT 5 multiespectrales, con resolución espacial de 10 m y pancromáticas con resolución espacial de 2.5 m. Las escenas

corresponden a los meses de noviembre-diciembre de 2013 y enero de 2014, periodo seco del año en el cual se observa el mayor contraste en la cubierta vegetal y existe menor nubosidad. La ortorrectificación de las imágenes de satélite se realizó sobre la base de un mosaico de orto fotos aéreas (INEGI 1996) con una resolución de 2 m. Con estas imágenes se generó una imagen compuesta en falso color con las bandas 1, 2 y 3, las cuales fueron seleccionadas porque su combinación facilita el reconocimiento cartográfico de los tipos de vegetación (Jensen 1996, Guerra y Ochoa 2005, Chuvieco 2010). La imagen compuesta se fusionó con la imagen pancromática para contar con mayor resolución espacial y facilitar la interpretación visual.

Como referencia para la interpretación y clasificación de las imágenes de satélite fusionadas en un compuesto en falso color RGB 123, se utilizaron las cartas impresas de uso del suelo, escala 1:50,000, elaboradas por CETENAL (1976) a partir de fotografía aérea de 1970-1972, que cubren el área de estudio. Todos los insumos cartográficos se estandarizaron bajo la proyección UTM Zona 13Q Norte de acuerdo con el datum WGS84 (World Geodetic System 1984). El área mínima cartografiable fue de 4 × 4 mm en el mapa, que corresponde a polígonos con una extensión mayor a 4 hectáreas en el terreno y a una escala de análisis de 1:50,000 (Priego et al. 2010).

La interpretación de las imágenes se facilitó por el conocimiento previo del terreno por parte del interprete. Se generó una primera versión del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo, la cual se verificó en el terreno haciendo recorridos de campo.

Para clasificar las categorías de vegetación, se definieron previamente criterios fisonómicos (esto es, basados en la apariencia de la cubierta vegetal), acordes con las categorías de los mapas de CETENAL (1976) y las clasificaciones de la vegetación de México de Miranda y Hernández-Xolocotzi (1963), Rzedowski (1978) y González-Medrano (2003). Se utilizaron también como referencia estudios de la vegetación de la región (Jardel 1993, Jardel y Moreno 1995, Vázquez *et al.* 1995, Jardel *et al.* 2004b, Alvarado *et al.* 2008, Cuevas *et al.* 2011, Vélica-Zúñiga 2013). Estos criterios fueron los siguientes:

- (a) La *forma de vida dominante* fue utilizada para designar la unidad mayor de vegetación; si dominan árboles (plantas leñosas con altura mayor a 4 m) la unidad se designó como bosque o selva, si los elementos dominantes eran arbustos (plantas leñosas menores a 4 m) se denominó como matorral, y si predominaron pastos o hierbas se nombró como pastizal.
- (b) *Densidad*: para designar una unidad como bosque, selva o matorral, se consideró que la cobertura de copas sobre el suelo fuera mayor del 20.
- (c) Altura del estrato arbóreo (dosel) en el caso de bosques o selvas: bajos de 4 a 15 m, medianos de 15-30 m y altos ≥ 30 m.
- (d) *Estratificación vertical* (capas o estratos de vegetación en el plano vertical); siguiendo el criterio de Miranda y Hernández-Xolocotzi (1963), utilizado en las cartas de CETENAL e INEGI, las unidades de vegetación con una estratificación simple, esto es, con un dosel arbóreo (generalmente con dominancia definida de una o pocas especies) claramente diferenciado respecto al sotobosque, se designaron como bosque y aquellas con estratificación compleja (varios estratos

con continuidad vertical) como selva, exceptuando el caso del bosque mesófilo de montaña (que presenta estratificación compleja) para el que se conservó esta denominación por su uso generalizado y aceptado.

- (e) *Tipo de hojas* de los elementos dominantes: hojas en forma de acículas o escamas, características de las coníferas y hojas planas o latifoliadas, características de las angiospermas, que se subdividieron en latifoliadas esclerófilas (como los encinos y robles, género *Quercus*) y membranosas. Las plantas crasas o suculentas como las cactáceas o rosetófilas como los agaves están presentes en la vegetación del área de estudio, pero no son elementos dominantes en ninguno de los tipos de vegetación.
- (f) *Hábito o fenología de las hojas*: vegetación perennifolia o de apariencia siempre verde, subcaducifolia cuando una alta proporción (25-75 de los elementos arbóreos pierde las hojas durante la temporada seca del año pero de manera alternada de modo que siempre existen elementos con follaje), y caducifolia (cuando más del 75 de los elementos arbóreos pierden las hojas durante la sequía). Este es un importante indicador de las relaciones entre la productividad de las plantas y las condiciones bioclimáticas.

Los atributos florísticos, esto es, los que se refieren a la composición de la vegetación y la dominancia de grupos taxonómicos (familias, géneros o especies), sólo fueron considerados para complementar la descripción de las unidades de vegetación. El uso de nombres como bosque de pino, bosque de encino o mezquital se refiere en este estudio a unidades en las cuales la dominancia de un género de plantas caracteriza la fisonomía de la vegetación. Otras reglas utilizadas para la interpretación o clasificación fueron evitar en la designación de los tipos de vegetación términos que se refieren a condiciones bioclimáticas como bosque “templado”, selva “húmeda” o matorral “semiárido”, de manera que pueda posteriormente analizarse la relación entre las unidades de vegetación y las condiciones ambientales sin caer en argumentos circulares.

A diferencia de las cartas de CETENAL, se incluyó una categoría adicional correspondiente a la vegetación de afloramientos rocosos; estas áreas suelen designarse como “sin vegetación aparente”, confundiendo con áreas erosionadas o desmontadas, pero constituyen un hábitat de interés para la conservación por la presencia de componentes florísticos raros o endémicos (Vázquez et al. 1995, Jardel et al. 2004b).

Debido a su pequeña extensión, algunos tipos de vegetación presentes en la región, que son importantes en términos de diversidad y por su función como hábitat, no aparecen en el mapa; es el caso de los pantanos herbáceos (tulares y otros) y la vegetación hidrófila, cuyas condiciones se discuten más adelante.

En el siguiente cuadro (3.7) se resume la descripción de las unidades de vegetación y uso del suelo del área de estudio.

Cuadro 3.7. Características fisonómicas generales de los tipos de vegetación y descripción de los usos del suelo de la región de la JIRA. Ver cuadro 15 para las equivalencias con las unidades de CETENAL (1976), Miranda y Hernández-Xolocotzi (1963) y Rzedowski (1978). Referencias de estudios para la región se presentan en el cuadro.

Tipo de vegetación/ uso del suelo	Descripción
BOSQUES Y SELVAS/ USO FORESTAL	Formaciones vegetales dominadas por elementos leñosos mayores a 4 m de altura (árboles), con cobertura de copas >20 de la superficie del suelo.
A. Bosques de coníferas	Bosques medianos (altura del dosel de 15-30 m), dominados por árboles con hojas en forma de aguja (aciculifolios) o escamosas (escumófilos), formando generalmente masas densas (>60 de la cobertura); pueden presentar dos o tres estratos definidos (dosel arbóreo y sotobosque herbáceo, arbustivo o herbáceo-arbustivo), en algunos casos con mezcla de árboles latifoliados, menor a 50 de la cobertura del dosel. Su fisonomía es siempre verde.
1. Bosque de oyamel	Bosques donde la especie dominante es el oyamel <i>Abies religiosa</i> , con más del 50 de la cobertura de dosel; puede haber mezcla de otros géneros como <i>Pinus</i> , <i>Alnus</i> o <i>Quercus</i> . Se encuentra principalmente en la parte alta del Nevado de Colima (Cuevas <i>et al.</i> 2011).
2. Bosque de coníferas y latifoliadas	Bosques mixtos con mezcla de coníferas (<i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. leiophylla</i> , <i>Abies religiosa</i> y <i>Cupressus lusitánica</i>) que son dominantes y de encinos codominantes (<i>Quercus laurina</i> , <i>Q. rugosa</i>); otros géneros de latifoliadas presentes son <i>Alnus</i> , <i>Ternstroemia</i> , <i>Prunus</i> , <i>Ilex</i> , <i>Oreopanax</i> , que aparecen dispersos en el dosel o pueden llegar a formar un subdosel. En esta categoría se incluyeron pequeños rodales de oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y las "cipreseras" (rodales con dominancia de <i>Cupressus</i>) de Cerro Grande (Jardel y Moreno 1995), y los bosques de <i>Pinus pseudostrobus-Abies religiosa-Quercus laurina</i> de la parte central de la Sierra de Manantlán (Alvarado <i>et al.</i> 2008, Vélica 2013). En el mosaico de vegetación aparecen rodales de <i>Alnus jorullensis</i> y matorrales altos de <i>Ceanothus caeruleus</i> en lugares donde incendios severos han formado claros.
3. Bosque de pino 3.1. Bosque de pino 3.2. Bosque de pino-encino	Bosques cuya fisonomía se caracteriza por la dominancia del género <i>Pinus</i> (más del 50 de la cobertura de copas). Incluye rodales donde los pinos representan más del 80 de la cobertura (bosque de pino) o con mezcla de encinos (bosque de pino-encino) donde estos alcanzan del 20 al 40 de la cobertura. En la región se encuentran al menos diez especies de pinos (Cuevas <i>et al.</i> 2015): <i>P. hartwegii</i> , <i>pseudostrobus</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. devoniana</i> , <i>P. douglasiana</i> , <i>P. lumholtzii</i> , <i>P. ocarpa</i> , <i>P. maximinoi</i> , <i>P. herrerae</i> y <i>P. leiophylla</i> ; cualquiera de estas especies puede aparecer como dominante en los rodales, dependiendo de las condiciones de sitio. Otros géneros presentes son <i>Alnus</i> , <i>Arbutus</i> , <i>Quercus</i> y <i>Clethra</i> . Pueden encontrarse rodales densos (cobertura total >60), abiertos (cobertura 30-60) o incluso sabanoides (cobertura de 10-30 de árboles dispersos sobre pastizales o zacatonales, como es el caso del pinar de alta montaña de <i>P. hartwegii</i>). Los pinos son el elemento dominante en etapas tempranas de la sucesión después de eventos de perturbación como incendios, extracción intensiva de madera o una condición mantenida por incendios frecuentes de baja severidad (Jardel 1991, 1998, Jardel <i>et al.</i> 2004a, 2004b, Vargas 2010).

Tipo de vegetación/ uso del suelo	Descripción
4. Bosque de pino-latifoliadas	Bosque con dominancia de especies del género <i>Pinus</i> (50 o más de la cobertura), como <i>P douglasiana</i> , <i>P herrerae</i> o <i>P maximinoi</i> . Los encinos (como <i>Quercus candicans</i> , <i>Q. nixoniana</i> , <i>Q. acutifolia</i>) y otras latifoliadas (<i>Carpinus tropicalis</i> , <i>Cornus disciflora</i> , <i>Fraxinus uhdei</i> , <i>Ilex brandegeana</i> , <i>Magnolia iltisiana</i> , entre las más comunes) se encuentran dispersos en el dosel en el dosel. Las latifoliadas llegan a formar un subdosel denso. Dada la generalización de las unidades a la escala del mapa de referencia (1:50,000), se incluyen aquí polígonos donde existe un mosaico de rodales o sub-rodales pequeños de pino o pino-encino, pino-latifoliadas en laderas bajas y bosque mesófilo de montaña Este tipo de bosque es una condición transicional entre los bosques de pino y el bosque mesófilo de montaña en ecotonos o en etapas tempranas de la sucesión (Jardel <i>et al.</i> 2004b, 2004c).
B. Bosques de latifoliadas	Bosques medianos (15-30 m de altura de dosel) o bajos (4-15 m de altura de dosel), con dominancia de especies arbóreas de hojas planas (latifoliadas).
5. Bosque de encino 5.1. Bosque subcaducifolio de encino. 5.2. Bosque de encino caducifolio. 5.3. Bosque de encino-pino	<p>Bosques de latifoliadas esclerófilas, con dominancia del género <i>Quercus</i>, que constituye más del 50 de la cobertura de dosel. Este género está representado por un gran número de especies en la región (28 especies en el listado de Cuevas <i>et al.</i> 2015), adaptadas a diferentes condiciones bioclimáticas y edáficas, por lo cual es posible diferenciar distintos subtipos dentro de los bosques de encinos, que varían en su altura, fenología y especies dominantes características. Esta diferenciación se discute con mayor detalle en la sección de ecosistemas y hábitats terrestres. En la región se identifican tres subtipos fisonómicos del bosque de encino:</p> <p><i>Bosque de encino subcaducifolio.</i> Encinares medianos (altura de dosel 15-30 m, con algunos árboles que pueden alcanzar hasta 45 m); los árboles pierden las hojas por periodos cortos y la fisonomía del bosque es subcaducifolia. Los elementos dominantes o codominantes son los encinos <i>Q. candicans</i>, <i>Q. crassipes</i>, <i>Q. castanea</i>, <i>Q. laurina</i> o <i>Q. rugosa</i>, con mezcla de otras latifoliadas dispersas o formando un subdosel (<i>Arbutus xalapensis</i>, <i>Alnus jorullensis</i>, <i>Ternstroemia lineata</i>, <i>Oreopanax xalapensis</i>, <i>Ilex toluicana</i>, <i>Simplocos ciatrea</i>, entre las más comunes). Se encuentran también coníferas como <i>Pinus pseudostrobus</i>, <i>P. leiophylla</i>, <i>Abies religiosa</i>, <i>A. guatemalensis</i> y <i>Cupressus lusitánica</i> (Jardel y Moreno 1995).</p> <p><i>Bosque caducifolio de encinos</i> (regionalmente conocido como roblada); presenta dominancia del género <i>Quercus</i> mayor al 80-90 de la cobertura, con mezcla de otros elementos arbóreos aislados del género <i>Pinus</i>; en ecotonos con selva baja caducifolia pueden encontrarse algunos elementos de este tipo de vegetación. Es un bosque bajo (el dosel alcanza entre 5 y 15m de altura), marcadamente caducifolio. <i>Quercus resinosa</i> y <i>Q. magnoliifolia</i> son los encinos más comunes; se encuentran también <i>Q. sororia</i>, <i>Q. castanea</i> y <i>Q. obtusata</i>. En los polígonos de esta categoría se encierran cañadas con otros elementos latifoliados membranosos (por ejemplo <i>Croton</i>) asociados a condiciones más húmedas, que forman parte del complejo de vegetación, pero que por su tamaño no fueron separados en el mapa.</p> <p><i>Bosque de encino-pino.</i> Corresponde a cualquiera de los dos subtipos anteriores en rodales donde especies de <i>Pinus</i> pueden alcanzar hasta 40 de la cobertura de copas.</p>
6. Bosque mesófilo de montaña	Bosques medianos (altura del dosel 15-30 m; a veces con árboles mayores a 30 m emergentes), con dominancia de latifoliados membranosos, formando masas densas (>60 de la cobertura sobre el suelo, con estratificación vertical compleja. Son bosques subcaducifolios, esto es, la mayor parte de los elementos arbóreos (50-75) pierden sus hojas en la estación seca del año, por periodos cortos, por lo cual siempre hay una alta proporción de dosel con cobertura de hojas. Se localiza en los sitios más húmedos en condiciones semicálidas o templadas, principalmente en hondonadas, cañadas y barrancas, o en laderas expuestas a neblinas (Rzedowski 1978, Jardel <i>et al.</i> 2004b, 2014). Es uno de los tipos de vegetación de la

Tipo de vegetación/ uso del suelo	Descripción
	<p>región con mayor diversidad florística. Algunos componentes característicos de la flora arbórea son: <i>Magnolia iltisiana</i>, <i>Ilex brandegeana</i>, <i>Cornus disciflora</i>, <i>Tilia mexicana</i>, <i>Dendropanax arboreus</i>, <i>Carpinus tropicales</i>, <i>Fraxinus uhdei</i>, <i>Ostrya virginiana</i>, <i>Saurauia serrata</i>, <i>Styrax ramirezii</i>, <i>Clethra fragans</i>, <i>Quercus salicifolia</i>, <i>Symplocarpon purpussi</i> y <i>Clusia salvini</i> (Jardel <i>et al.</i> 1993, Santiago <i>et al.</i> 1993). Las coníferas (<i>P. douglasiana</i>, <i>Abies flinckii</i>, <i>A. guatemalensis</i>) aparecen como un componente de algunos rodales del bosque mesófilo de montaña.</p> <p>En esta unidad se incluyeron los bosques mixtos de encinos y latifoliadas de Cerro Grande (Santiago <i>et al.</i> 1993, Jardel y Moreno 1995, Vélica 2013), que debido a las condiciones del relieve kárstico forman un mosaico complejo en el cual varían gradualmente y se mezclan las coberturas de encinar subcaducifolio y lo que es propiamente bosque mesófilo de montaña; a la escala del mapa no es posible discriminar entre ambos tipos de vegetación. El bosque de encino-mesófilo de montaña de Cerro Grande está compuesto por <i>Quercus candicans</i>, <i>Q. rugosa</i>, <i>Q. laurina</i> y <i>Q. castanea</i> que llegan a ser elementos dominantes, dependiendo de las condiciones de sitio; <i>Ternstroemia lineata</i> es un elemento característico abundante en el sotobosque o subdosel; otras latifoliadas características son <i>Oreopanax xalapensis</i>, <i>Arbutus xalapensis</i>, <i>Ilex tolucana</i>, <i>Symplocos ciatrea</i> y <i>Styrax argenteus</i>, y se encuentran también <i>Pinus pseudostrobus</i>, <i>P. leiophylla</i> y <i>Abies guatemalensis</i>.</p>
7. Selva mediana subcaducifolia	<p>Formaciones vegetales, en donde el 50 y el 75 de sus componentes pierden las hojas en la época más seca del año. En las partes bajas de la Sierra, en la parte noroeste y sur, o en cañadas húmedas, se encuentran componentes arbóreos latifoliados, que alcanzan entre 20 y 30 m de altura, y que corresponde al bosque tropical subcaducifolio de Rzedowski (1978) o selva mediana subperennifolia de Miranda y Hernández X. (1963). Esta comunidad incluye principalmente árboles caducifolios, no obstante, permanece verde la mayor parte del año debido a la presencia de elementos perennifolios y a su fenología diferencial. Entre las especies más características se encuentran <i>Aphanante monoica</i>, <i>Brosimum alicastrum</i>, <i>Bursera simaruba</i>, <i>Calophyllum brasiliense</i>, <i>Cedrela odorata</i>, <i>Enterolobium cyclocarpum</i>, <i>Ficus spp.</i>, <i>Guarea glabra</i>, <i>Hura polyandra</i>, <i>Tabebuia spp.</i>, <i>Trophis racemosa</i> y <i>Swietenia humilis</i>. La especie arbórea típica de bordes, claros y sitios perturbados es <i>Cecropiaobtusifolia</i>.</p>
8. Selva baja caducifolia	<p>Dominan elementos arbóreos bajos (5-15m), latifoliados (predominantemente micrófilos), caducifolios (>75 pierden las hojas durante la estación seca por un periodo largo). Forman masas densas con estratificación compleja. Pueden presentar mezcla de cactáceas arborescentes. Elementos arbóreos comunes de la selva baja caducifolia de la región son <i>Bursera fagaroides</i>, <i>B. grandiflora</i>, <i>Acacia macracantha</i>, <i>Ceiba aesculifolia</i>, <i>Lysiloma acapulcense</i>, <i>L. Microphyllum</i>, <i>L. divaricatum</i>, <i>Guazuma ulmifolia</i>, <i>Helicarpus terebenthinaceus</i>, <i>Jacaratia mexicana</i>, <i>Amphipterygium adstringens</i>, <i>Senna atomari</i>, <i>Conzattia multiflora</i>, <i>Jacaratia mexicana</i>, <i>Pithecellobium dulce</i>, <i>Pseudobombax ellipticum</i>, <i>Cerridium praecox</i>, <i>Urera corallina</i>, <i>Zanthoxylum mollissimum</i>, <i>Z arborescens</i>, y cactáceas columnares como <i>Stenocereus queretaroensis</i> y <i>Pachycereus pecten-aboriginus</i> (Vázquez <i>et al.</i> 1995, Sánchez-Velázquez <i>et al.</i> 2002, Bustos 2011, Rodríguez-Vázquez 2014).</p>
9. Mezquital	<p>Bosques densos o abiertos, bajos (4-10 m de altura de dosel) con dominancia de mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>), con presencia de cactáceas (<i>Opuntia</i>, <i>Stenocereus</i>) y sotobosque de pastos bajos.</p>
10. Bosque de galería	<p>Bosques de las riberas de ríos y arroyos; se desarrollan sobre sedimentos aluviales, bajo condiciones de humedad y con influencia de inundaciones periódicas en suelos hidromórficos (Fluvisoles). Las especies dominantes características son <i>Salix bomplandiana</i> y <i>Astianthus viminalis</i> (Ortíz-Arrona 2015).</p>

Tipo de vegetación/ uso del suelo	Descripción
C. Otros tipos de vegetación o cobertura	Se incluyen aquí categorías de vegetación natural con características particulares, generalmente de poca extensión en el área de estudio y asociados a condiciones ambientales específicas. Es el caso de la vegetación de alta montaña, de afloramientos y paredes rocosas y de zonas inundables (humedales). Se incluyen también aquí áreas sin cubierta vegetal de afloramientos y paredes rocosas y sustrato de formación reciente por erupciones volcánicas.
11. Zacatonal	Pastizal denso, de altura media (30-60 cm), de pastos amacollados (<i>Muhlenbergia</i> , <i>Festuca</i>), que se encuentran en partes altas de montañas en condiciones templado frías o semifrías. Es el tipo de vegetación que alcanza mayores elevaciones en el área de estudio. Se encuentran árboles dispersos de <i>Pinus hartwegii</i> .
12. Vegetación de afloramientos rocosos	Formaciones herbáceas y arbustivas, a veces con árboles dispersos (<i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Arbutus</i>), que se desarrollan en cimas de montañas, escarpes y paredes rocosas. Los elementos rosetófilos como <i>Agave maximilliana</i> son comunes; otros elementos presentes son <i>A. vazquezgarciae</i> , <i>A. manantlensis</i> , <i>Brickelia squarrosa</i> , <i>Hieracium abcissum</i> , <i>H. pringlei</i> , <i>Stevia organoides</i> y <i>Muhlenbergia dumosa</i> . Es un tipo de vegetación relevante para la conservación por la presencia de endemismo. Estas formaciones vegetales son únicas no solo en términos estructurales, sino también en su composición biológica.
13. Afloramientos rocosos	Áreas sin cubierta vegetal aparente. Roca desnuda en la cima del Nevado de Colima, y cenizas volcánicas y material piroclástico reciente en la cima y las faldas del Volcán de Fuego.
14. Matorrales secundarios	Formaciones vegetales dominadas por arbustos. Vegetación de remplazo de bosques o selvas en áreas desmontadas en proceso de sucesión.
CULTIVOS AGRÍCOLAS Y PASTIZALES/ USO AGROPECUARIO	Áreas dedicadas a usos agrícolas o ganaderos. Incluye pastizales inducidos o cultivados y áreas de cultivo permanente. También incluye el complejo de áreas bajo cultivo o en barbecho, que forman un mosaico cambiante en el tiempo, sobre todo en las zonas de lomeríos y laderas de montaña donde se desarrollan cultivos con ciclo de barbecho.
15. Pastizal inducido	Cobertura de pastos o hierbas, a veces con arbustos dispersos. La mayor parte de los pastizales de la región son inducidos por desmonte, quema y establecimiento de pastos introducidos, generalmente de origen africano (<i>Panicum maximum</i> , <i>Andropogon</i> , <i>Penisetum clandestinum</i> , etc.). Algunas áreas identificadas como pastizal pueden ser terrenos en barbecho.
16. Agricultura de temporal	Áreas con cultivos de temporal en el momento de la toma de la imagen. Principalmente cultivos de maíz, sorgo o agave.
17. Agricultura de riego	Áreas con agricultura irrigada, identificadas por la presencia de canales de riego. Incluye cultivos de caña de azúcar y hortalizas, cultivos de invernadero y plantaciones de frutales (aguacate, cítricos y otros).
OTROS TIPOS DE COBERTURA Y USOS DEL SUELO	Áreas erosionadas, centros de población y cuerpos de agua.
18. Erosión	Áreas sin vegetación aparente o con plantas dispersas en las que se observan procesos erosivos fuertes (formación de cárcavas, surcos y erosión laminar).
19. Centros de población	Áreas cubiertas por asentamientos humanos urbanos o rurales. Incluye edificaciones, infraestructura física, calles, etc., así como áreas verdes (parques y jardines, huertos) y terrenos baldíos dentro de la mancha urbana, no diferenciados a la escala del mapa.
20. Cuerpos de agua	Áreas cubiertas por ríos o arroyos permanentes, lagunas o embalses artificiales (presas, bordos o jagüeyes).

Tipo de vegetación/ uso del suelo	Descripción
OTRAS COBERTURAS DE PEQUEÑA EXTENSIÓN	Coberturas que por su extensión son menores al área mínima cartografiable en el mapa, pero que son de interés para el ordenamiento ecológico del territorio y que fueron observadas en campo.
(*) Pantanos herbáceos	Vegetación asociada a márgenes de cuerpos de agua permanentes o estacionales y a terrenos inundables. Incluye principalmente a los tulares de <i>Typha latifolia</i> , y otros tipos de vegetación de terrenos pantanosos. Ocupa extensiones pequeñas (menores a la unidad mínima cartografiable, por lo que no aparece en el mapa de vegetación), pero es importante en términos de su papel como hábitat y sus funciones ecológicas. Algunas de estas áreas se identifican en el mapa de regionalización ecológica.
(**) Minería a tajo abierto	Terrenos abiertos, sin vegetación aparente, dedicados a exploración o explotación minera.

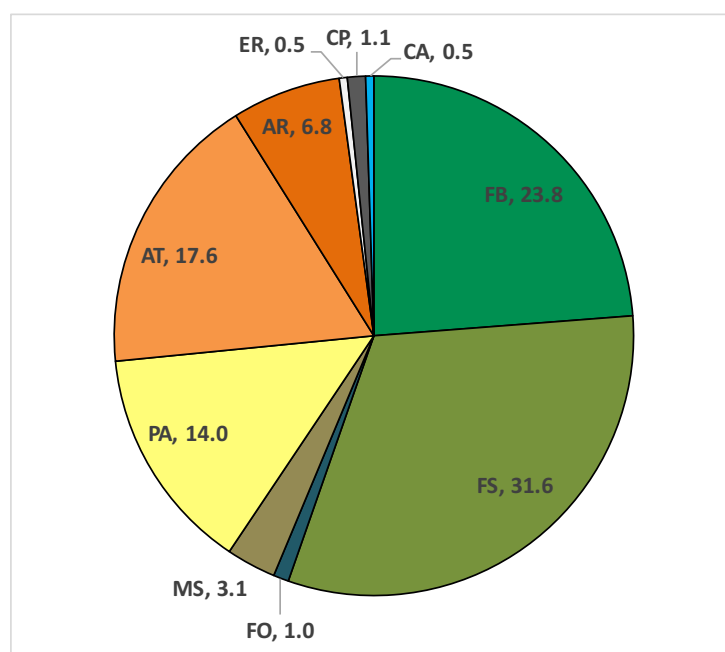


Figura 3.8. Porcentaje de la superficie por tipo de cobertura de vegetación y uso del suelo en la región de la JIRA en 2014. FB, bosques; FS, selvas; FO, otras coberturas forestales; MS, matorrales secundarios; PA, pastizales; AT, agricultura de temporal; AR, agricultura de riego; ER, áreas erosionadas; CP, centros de población; CA, cuerpos de agua. Fuente: elaboración propia a partir del mapa de vegetación y uso del suelo.

En el cuadro 3.8 se muestran los datos de superficies por tipo de vegetación y uso del suelo. Los bosques cubren cerca del 24% del área de estudio y las selvas el 32%; esto es, 56% de la región de la JIRA mantiene aún cobertura de formaciones vegetales dominadas por elementos arbóreos, bajo uso forestal (ya sea como bosques de protección o de producción). El 3% del área son matorrales secundarios; la superficie bajo usos agropecuarios cubre el 39% de la región y los centros de población representan el 1% del área.

Cuadro 3.8. Tipos de vegetación y uso del suelo de la región de la JIRA.

No	ID	Tipo de vegetación-uso del suelo	Superficie (ha)	
	FB	Bosques	99,274.3	23.8
1	BAB	Bosque de oyamel (<i>Abies</i>)	4,890.5	1.2
2	BCL	Bosque mixto de coníferas-latifoliadas	2,389.3	0.6
3	BPL	Bosque mixto de pino-latifoliadas	3,520.2	0.8
4	BPP	Bosque de pino y pino-encino	26,336.1	6.3
5	BQQ	Bosque de encino	44,292.8	10.6
6	BMM	Bosque mesófilo de montaña	17,845.4	4.3
	FS	Selvas	131,837.2	31.6
7	SMS	Selva mediana subcaducifolia	952.0	0.2
8	SBC	Selva baja caducifolia	130,885.2	31.3
	FO	Otros tipos de cobertura forestal	3,984.1	1.0
9	ZAC	Zacatonal de alta montaña	1,833.5	0.4
10	MEZ	Mezquital	474.6	0.1
11	VEGA	Vegetación de galería (ribereña)	395.7	0.1
12	VAFL	Vegetación de afloramientos rocosos	755.3	0.2
13	AFRO	Afloramientos rocosos	524.9	0.1
14	MA(S)	Matorrales secundarios	12,930.8	3.1
	FOR	SUPERFICIE FORESTAL	248,026.3	59.4
15	PAI	Pastizal inducido	58,609.5	14.0
16	ATP	Agricultura de temporal	73,681.0	17.6
17	ARI	Agricultura de riego	28,320.1	6.8
	AGR	SUPERFICIE AGROPECUARIA	160,610.7	38.5
18	ERO	Erosión	2,088.7	0.5
19	CPO	Centros de población	4,707.2	1.1
20	AGUA	Cuerpos de agua	2,122.4	0.5
	OTR	OTROS USOS DEL SUELO	8,918.3	2.1
TOTAL			417,555.3	100.0

De acuerdo con la NOM-015, aproximadamente el 64% de la cobertura forestal de la región correspondería a tipos de vegetación sensibles al fuego y el 36% a vegetación mantenida por el fuego. Sin embargo esta es una generalización demasiado simplista, ya que el régimen potencial de incendios y las probables respuestas de la vegetación al fuego son mucho más variadas y complejas, como se muestra más adelante al hacer una reclasificación de la cobertura vegetal considerando las condiciones bioclimáticas y geomorfoedafológicas, como base para inferir el régimen potencial de incendios.

3.1.7. Tipos de hábitat y ecosistemas terrestres

En esta sección se presenta una caracterización de los tipos de hábitat de la región a través de la clasificación de unidades de paisaje definidas por el tipo de vegetación-uso del suelo y las zonas bioclimáticas. Esta clasificación permite identificar los tipos de hábitat de alto valor para la conservación por su unicidad, rareza, alta riqueza o diversidad de especies, o valores del patrimonio natural o culturales asociados, así como aquellos que son de alto valor para la producción forestal (Jardel 2015b). Así mismo, esta caracterización fue utilizada como base para la determinación del régimen potencial de incendios, de acuerdo con el modelo conceptual desarrollado por Jardel *et al.* (2014).

Un ecosistema es un sistema formado por un conjunto de componentes bióticos (las plantas, microorganismos, hongos y animales) y abióticos (radiación solar, agua, aire, minerales y sustrato de rocas) que interactúan dando lugar a flujos de energía, ciclos de materiales (agua, carbono, nutrientes) e información (un ecosistema es un sistema cibernético en el cual los cambios en un componente se reflejan en cambios en otros componentes dando lugar a la conducta total del sistema). Estos procesos fundamentales de los ecosistemas mantienen y regulan las condiciones ambientales que soportan la vida en el planeta y proveen los recursos naturales de los que depende el sustento de los seres humanos. A estos beneficios que recibe la sociedad, derivados del funcionamiento de los ecosistemas, se les reconoce actualmente con el concepto de servicios ambientales o ecosistémicos (Millenium Ecosystem Assessment 2005). De aquí la importancia de caracterizar y delimitar espacialmente distintos tipos de ecosistemas, como parte fundamental del proceso de ordenamiento ecológico.

El tipo de vegetación es comúnmente utilizado para designar a los ecosistemas terrestres; la vegetación representa a una parte clave de los componentes bióticos de los ecosistemas (las plantas), es un elemento fundamental del hábitat de la biota y en sus características fisonómicas, estructurales y de productividad es una expresión de la influencia de factores abióticos como el clima, las geo-formas y los nutrientes y minerales del suelo, así como la influencia humana; pero, utilizar únicamente la vegetación para caracterizar a los ecosistemas terrestres no es solo insuficiente, sino que además genera confusión. La elaboración de mapas que representan tipos de ecosistemas se ha basado, por lo tanto, en la combinación de diversos atributos del paisaje que combinan elementos bióticos y abióticos, como la vegetación, el clima, las geo-formas y los suelos (Bailey 1996). La elaboración de mapas que definen unidades de paisaje a partir de estos atributos, puede utilizarse para una interpretación funcional de dichas unidades considerando los procesos ecosistémicos fundamentales (Jardel *et al.* 2015).

Para el caso de la caracterización de los ecosistemas terrestres de los municipios de la JIRA, utilizamos una clasificación de unidades del paisaje basada en el mapa de vegetación actual (Mapa 6), como subrogado del componente biótico (y del complejo de combustibles), y el mapa de zonas bioclimáticas (Mapa 3), que representa la entrada de energía y el balance hídrico de los ecosistemas, determinando su productividad primaria (Jardel *et al.* 2015). En este mapa un mismo tipo de vegetación definido con criterios fisonómico-florísticos como bosque de pino, por ejemplo, es diferenciado por las condiciones climáticas que influyen en su mayor o menor productividad primaria y acumulación de biomasa.

Dado que la vegetación y las condiciones de temperatura, precipitación y humedad caracterizan un conjunto de factores ambientales fundamentales que determinan las condiciones de vida y la distribución de las especies de plantas y animales, el mapa de geo-ecosistemas (Mapa 18) puede ser interpretado también como un mapa de hábitats. Un hábitat puede ser definido como la suma total de condiciones ambientales de un lugar específico donde vive (habita) una especie o un conjunto de especies de plantas o animales (Thomas 1979). Para una especie en particular su hábitat reúne las condiciones físicas y los recursos que permiten su sobrevivencia, crecimiento y reproducción. Para las plantas, los factores clave del hábitat son el clima y disponibilidad de agua y nutrimentos del suelo, además de otras plantas que constituyen la cobertura vegetal del lugar donde habitan. Para la fauna silvestre, los hábitats se caracterizan por la composición y estructura de la vegetación, la disponibilidad de alimento, agua, refugios, sitios de reproducción, anidamiento, etc. La diversidad de hábitats es determinante en la diversidad de especies y es un elemento clave para su conservación (Lindenmayer y Franklin 2002).

El Mapa 7 presenta los tipos de ecosistemas terrestres de la región y en el cuadro 3.9 se reportan los datos de su extensión espacial.

La siguiente descripción de los geo-ecosistemas (los ecosistemas terrestres caracterizados por la vegetación y las condiciones bioclimáticas), hace énfasis en la diversidad de condiciones físico-geográficas y ecológicas presentes en el área de estudio. Se diferencian por ejemplo distintos tipos de bosques de pino y de encino o de selva baja caducifolia que se desarrollan bajo diferentes condiciones bioclimáticas, de geomorfología y de suelos. La diferenciación de estas unidades es relevante para fines de conservación, porque representan tipos de hábitat diferentes, con una composición de especies particular, lo cual debe de ser tomado en cuenta para el establecimiento de lineamientos y estrategias para la consecución de los objetivos del ordenamiento ecológico regional. Estas unidades varían también en aspectos tales como su régimen potencial de incendios forestales (Jardel *et al.* 2011), su dinámica sucesional, el tipo de recursos naturales disponibles y su potencial de uso del suelo. Esta clasificación se utiliza más adelante para la evaluación de aptitud de uso del suelo que se presenta en la sección de diagnóstico y para la propuesta de ordenamiento ecológico regional.

A continuación se describen los geo-ecosistemas, ordenados jerárquicamente por zona bioclimática; los números entre paréntesis antes del nombre de la unidad (definido en función de la cobertura vegetal) corresponden a la numeración de las categorías en el mapa de geo-ecosistemas (Mapa 18); en el Anexo VI se resume la descripción de las diferentes unidades del mapa.

ECOSISTEMAS TERRESTRES DE LA REGIÓN DE LA JIRA

I. ZONA SEMIFRÍA A TEMPLADO FRÍA MUY HÚMEDA (PISO SUBALPINO TRANSICIÓN A MONTANO ALTO)

Esta zona corresponde a los pisos altitudinales más elevados de la región, ubicados en las cimas del Nevado de Colima y el Volcán de Fuego. Se agruparon aquí dos zonas bioclimáticas, la semifría muy húmeda que se extiende solamente sobre 11.5 ha (el 0.003% de la superficie de la región) y la zona templada fría muy húmeda que la rodea.

Una extensión muy pequeña (menor a la unidad mínima cartografiada de 4 ha), arriba de los 4200 m sobre el nivel del mar, presenta condiciones frías ($T_{med} < 3^{\circ}\text{C}$), que marcan el límite de distribución de la vegetación. En la zona fría y semifrías el crecimiento de las plantas está limitado por la combinación de bajas temperaturas, heladas frecuentes y acumulación de nieve en el invierno, desecación por el viento constante, baja tensión de oxígeno y alta radiación ultravioleta, condiciones típicas de zonas de alta montaña; influye también el sustrato de roca desnuda. Entre los 3400-4200, las condiciones bioclimáticas son semifrías ($T_{med} 3-7^{\circ}\text{C}$) y templado frías ($T_{med} 7-11^{\circ}\text{C}$) entre los 2800-3600 m (Cuadro 5, Figura 12). Aunque la precipitación anual es de alrededor de 1400 mm, las condiciones son muy húmedas ($RETP < 0.5$) debido a bajas temperaturas y baja evapotranspiración potencial.

(1) **Afloramientos rocosos en cimas de montañas altas.** Esta unidad corresponde a áreas desprovistas de vegetación (sin cubierta vegetal aparente), que se encuentran por arriba de los 4000 m de altitud en la cima rocosa del Nevado de Colima y en las superficies cubiertas por cenizas volcánicas y material piroclástico reciente en la cima y las faldas del Volcán de Fuego que se encuentra activo.

(2) **Zacatonal de alta montaña (Zacatonal subalpino).** El zacatonal es un pastizal denso, de altura media (30-60 cm), formado por pastos amacollados (*Muhlenbergia*, *Festuca*, *Stipa*), que se encuentran en partes altas de las montañas (Miranda y Hernández-Xolocotzi 1963), principalmente en la Faja Volcánica Transmexicana. en el límite altitudinal de la vegetación arbórea, sobre litosolos, regosoles o andosoles. en condiciones templado frías o semifrías. Es el tipo de vegetación que alcanza mayores elevaciones en el área de estudio. En esta formación vegetal se encuentran árboles dispersos de *Pinus hartwegii*, y en muchos lugares el zacatonal puede considerarse la vegetación de remplazo o una etapa temprana de la sucesión de los pinares que han sido afectados por incendios severos. La distribución del zacatonal está determinada por la combinación de las condiciones bioclimáticas y el régimen de incendios frecuentes que limitan el establecimiento de los árboles.

(3) **Pinar de alta montaña (Bosque de pino subalpino).** Bosques abiertos de *Pinus hartwegii*, con sotobosque de zacatonal. El fuego ha sido un factor común en la dinámica de este tipo de bosques (Rodríguez-Trejo 2004). En el área de estudio se encuentra fuertemente alterado por factores como el sobrepastoreo y cortas sanitarias que han sido justificadas para el control del muérdago (*Arceuthobium vaginatum*). El área de estos bosques, a pesar de encontrarse dentro de un Parque Nacional, se ha reducido significativamente y el pinar de alta montaña de la región puede considerarse como un hábitat amenazado.

II. ZONA TEMPLADO FRÍA HÚMEDA (PISO MONTAÑO ALTO)

Esta zona corresponde a altitudes entre 2800-3300 m en las laderas altas del Nevado de Colima, con condiciones templado frías ($T_{med} 7-11^{\circ}\text{C}$) húmedas ($RETP 0.5-1.0$).

(4) **Bosque húmedo montano alto de oyamel.** La especie dominante es el oyamel *Abies religiosa*, que llega a formar masas puras o mezcladas (pero siempre representando más del 50% de la cobertura de dosel); otras especies arbóreas presentes en estos bosques

son *Pinus pseudostrobus*, *Quercus laurina*, *Alnus*, y *Salix paradoxa* (Cuevas *et al.* 2011). Los suelos son cambisoles o regosoles.

III. ZONA TEMPLADO CÁLIDA HÚMEDA (PISO MONTANO BAJO)

Partes altas de la Sierra de Manantlán, la Sierra de Cacoma y el Nevado de Colima entre los 2000-2400 y 2800 m de altitud, con condiciones templadas con verano cálido (T_{med} 11-16°C) y húmedas (precipitación 1200-2000 mm, RETP 0.5-1.0).

Predominan bosques medianos a altos (altura del dosel 15-25 m, llegando incluso a 30-45 m), densos (>60% de cobertura). En esta zona se encuentran cuatro tipos de bosques que varían en cuanto a su fisonomía y composición en función de la influencia de las condiciones geomorfoedáficas, los regímenes históricos de incendios y su historial de explotación maderera. Las especies del género *Pinus* tienden a dominar en las posiciones topográficas altas, en suelos rocosos, áreas bajo influencia de incendios frecuentes o sitios que fueron explotados intensivamente para la producción maderera.

(5) *Bosque húmedo montano bajo de coníferas y latifoliadas*

Bosques mixtos con mezcla de coníferas (*Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* y *Cupressus lusitánica*) que son dominantes y de encinos codominantes (*Quercus laurina*, *Q. rugosa*); otros géneros de latifoliadas presentes son *Alnus*, *Ternstroemia*, *Prunus*, *Ilex*, *Oreopanax*, que aparecen dispersos en el dosel o pueden llegar a formar un subdosel. En esta categoría se incluyeron pequeños rodales de oyamel (*Abies religiosa*) y las “cipreseras” (rodales con dominancia de *Cupressus*) de Cerro Grande (Jardel y Moreno 1995), y los bosques de *Pinus pseudostrobus-Abies religiosa-Quercus laurina* de la parte central de la Sierra de Manantlán (Alvarado *et al.* 2008, Vélica 2013). En el mosaico de vegetación aparecen rodales de *Alnus jorullensis* y matorrales altos de *Ceanothus caeruleus* en lugares donde incendios severos han formado claros.

Bosques de oyamel *Abies religiosa* (dominante) con pino *Pinus pseudostrobus* (co-dominante), ciprés *Cupressus lusitánica*, encino laurelillo *Quercus laurina*, aile *Alnus jorullensis* y otras latifoliadas (*Oreopanax xalapensis*, *Ilex tolucana*, *Prunus serótina*, *Salix paradoxa*, *Ternstroemia lineata*, entre otras, cuya densidad aumenta en las cañadas más húmedas), en cimas de montaña y hondonadas con suelos forestales profundos (cambisoles) sobre material parental fuertemente intemperizado (rocas ígneas extrusivas básicas o intermedias). Los rodales mejor conservados con este tipo de vegetación se encuentran reducidos a extensiones relativamente pequeñas, ya que la mayor parte de estos bosques fueron afectados por la explotación maderera entre 1940 y 1985 (Jardel 1998). Corresponde al bosque de *Abies* en el trabajo de Vázquez *et al.* (1995). Localidades típicas: entre el Cerro de la Bandera y Llano del Venado (Cuevas *et al.* 2011; foto BMS13 en Alvarado *et al.* 2008), cañadas al noroeste del Cerro de las Capillas (en condiciones alteradas por incendios repetidos), barranca del arroyo La Lupe y entre el Llano de San Miguel y Neverías. En claros abiertos por la repetición de incendios severos, pueden establecerse bosquetes (pequeños rodales) de *A. jorullensis* y matorrales de membrillillo *Ceanothus caeruleus*, con renuevo disperso de *A. religiosa*, *Q. laurina* y *C. lusitánica*.

En cañadas sombreadas y exposiciones norte de la parte alta de Cerro Grande, en elevaciones entre 2200 y 2500 m, se presentan condiciones de temperatura y humedad similares a las de la zona de bosque húmedo montano alto del Nevado de Colima y la Sierra de Manantlán, pero sobre suelos derivados de roca caliza. La vegetación está formada por un bosque dominado por *Abies religiosa* con mezcla de *Pinus pseudostrobus*, *Quercus crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. laurina* y otras especies arbóreas como *Garrya laurifolia*, *Prunus serótina*, *Ternstroemia lineata*, *Oreopanax xalapensis*, y *Styrax argenteus* entre otras. Los suelos corresponden a un tipo particular de andosoles derivados de roca caliza con aporte de cenizas volcánicas del cercano Volcán de Fuego de Colima. La localidad típica es la Cañada de Las Pilas en el Ejido El Terrero (foto BMS14 en Alvarado *et al.* 2008); otros rodales de bosque de oyamel se encuentran en laderas expuestas al norte entre El Tapeiste y el Pozo Blanco en terrenos del Ejido Toxín. Se incluyen en esta unidad las cipreseras (pequeños rodales de *Cupressus lusitánica*) localizadas en Cerro Grande (Jardel y Moreno 1995).

(6) *Bosque húmedo montano bajo de pino*

Esta es la unidad de paisaje característica de las partes más altas de la Sierra de Manantlán central, la Sierra de Cacoma y el Cerro de La Elisa. La especie dominante en estos bosques es *Pinus pseudostrobus* (>60-80 % de la cobertura de copas), con mezcla de *Quercus laurina*, aile *Alnus jorullensis*, oyamel *Abies religiosa* y ciprés *Cupressus lusitánica*. Pueden aparecer otras especies de pino como *Pinus montezumae* y *P. durangensis* o encinos como *Q. crassifolia*, *Q. excelsa* o *Q. rugosa*, y madroño *Arbutus xalapensis*. Se encuentran en cimas de montaña y hondonadas con suelos forestales profundos (cambisoles) sobre material parental fuertemente intemperizado (rocas ígneas extrusivas básicas o intermedias). Las condiciones bioclimáticas y geomorfoedafológicas son las mismas que en la unidad anterior, y la composición de la vegetación en esta unidad de paisaje parece ser resultado de la dominancia de los pinos en etapas tempranas o intermedias de la sucesión posterior a la apertura de claros por la explotación maderera o incendios de remplazo de rodales. Los incendios frecuentes de baja severidad favorecen la persistencia de los pinos y limitan el establecimiento de las otras especies (Jardel 1998, Jardel *et al.* 2006). El fuego ha sido históricamente un componente de la dinámica de estos bosques (Figuro *et al.* 2009, Balcázar 2011, Llamas-Casillas 2013). En ausencia de perturbaciones que forman claros grandes y cuando los intervalos de incendios son largos, se establecen oyameles, cipreses y encinos que tienden a remplazar sucesionalmente a los pinos.

Bosques con marcada dominancia de pino (>90% de la cobertura) en cimas, escarpes y laderas altas de montaña, sobre suelos someros rocosos (litosol) o pedregosos (regosol) derivados de rocas ígneas extrusivas. Una condición típica de esta unidad son los rodales de *Pinus durangensis* en los escarpes rocosos del Cerro de las Capillas, de *P. devoniana* en la cima de El Muñeco o de *P. pseudostrobus* en las elevaciones al norte del Llano de San Miguel. En la zona de bosque húmedo montano alto se encuentran también masas casi puras de pinos en sitios donde los suelos fueron alterados por la explotación maderera, los incendios o el establecimiento de centros de población alrededor de los aserraderos. Los rodales puros o con marcada dominancia de pinos son generalmente secundarios. Localidades típicas: rodales de *P. pseudostrobus* entre Capillas y El Guízar y rodales

abiertos de *P. montezumae*-*P. pseudostrobus* en el Llano de San Miguel (fotos BMS12 y BMS11, respectivamente, en Alvarado *et al.* 2008).

(7) **Bosque húmedo montano bajo de encino.** Bosque de encino subcaducifolio En Cerro Grande bosques subcaducifolios de encino con *Q. crassipes*, *Q. castanea*, *A. xalapensis*, *Alnus jorullensis*, *P. pseudostrobus*, y *P. leiophylla* Bosque con dominancia de *Quercus*, con mezcla de pinos (y ocasionalmente *Abies*) y latifoliadas como *Alnus*, *Prunus* y *Arbutus*. El dosel alcanza entre 15-25m y los encinos pierden las hojas por un periodo corto de tiempo Este tipo de vegetación se encuentra en el macizo montañoso de Cerro Grande entre los 1800-2400 m de altitud. Entre los elementos característicos de esta unidad de vegetación se encuentran *Q. candicans*, *Q. crassipes*, *Q. castanea*, *Q. laurina* y *Q. rugosa* con aile (*Alnus jorullensis*) y latifoliadas como *Arbutus xalapensis*, *Ternstroemia lineata*, *Oreopanax xalapensis*, *Ilex toluca*, *Simplocos ciatrea*.

(8) **Bosque húmedo montano bajo de encinos y latifoliadas.** Bosques mixtos de encinos y latifoliadas con *Q. candicans*, *Q. rugosa*, *Q. castanea*, *Q. laurina*, *Oreopanax xalapensis*, *Ternstroemia lineata*, *Symplocos ciatrea* y otras latifoliadas (Jardel y Moreno 1995). Incluye bosque mesófilo de montaña. Bosque denso, mediano (el dosel alcanza 15-30m, con elementos que pueden alcanzar hasta 45m), con dominancia se encinos, mezclados con latifoliadas y coníferas. Este tipo de vegetación forma un mosaico complejo en el cual predomina la dominancia de encinos pero en medio de la matriz formada por estos se encuentran pequeños rodales o subrodales de latifoliadas en barrancas u hondonadas húmedas y de pinos en cimas y parteaguas. En las partes oeste y sur de la Sierra se encuentra en la transición de los bosques de pino-encino o encino bajo caducifolio a bosque mesófilo de montaña o selva mediana subcaducifolia. En Cerro Grande este tipo de vegetación esta compuesto por *Quercus candicans*, *Q. rugosa*, *Q. laurina* y *Q. castanea* como elementos dominantes; *Ternstroemia lineata* es un elemento característico abundante en el sotobosque o subdosel; otras latifoliadas características son *Oreopanax xalapensis*, *Arbutus xalapensis*, *Ilex toluca*, *Symplocos ciatrea* y *Styrax argenteus*, y se encuentran también *Pinus pseudostrobus*, *P. leiophylla* y *Abies guatemalensis*. En la clasificación de CETENAL (1972, INEGI 2005), se encuentra clasificado como bosque mesófilo de montaña, pero difiere de este por la marcada dominancia de encinos.

IV. ZONA SEMICÁLIDA HÚMEDA (PISO MONTANO BAJO TRANSICIÓN A PREMONTANO)

Esta zona se encuentra a elevaciones medias entre 1300 y 2000-2200 m. Las condiciones bioclimáticas son semicálida húmeda (T_{med} 16-19°C, RETP 0.5-1.0). Es no solo una zona de transición entre los pisos térmicos templado y cálido, sino también biogeográfica: especialmente en el bosque mesófilo de montaña se observa la mezcla de elementos florísticos holárticos y neotropicales (Jardel *et al.* 1993).

(9) **Bosque húmedo montano bajo transición a premontano de pino-encino-latifoliadas.** La vegetación se caracteriza por la dominancia de *Pinus*, con mezcla de encinos y otras latifoliadas. Está formada por un mosaico de rodales cuya composición varía debido a la influencia de gradientes geomorfoedáficos y de perturbación: los rodales de pino y pino-encino se encuentran en cimas, parteaguas y laderas altas, sitios con influencia de incendios frecuentes de baja severidad, y los rodales de pino-

latifoliadas en las laderas bajas y hondonadas, entrando en transición con el bosque mesófilo de montaña, en sitios donde los incendios son más infrecuentes (Jardel et al. 2004b).

En los bosques de pino-encino de la parte centro-oeste de la Sierra de Manantlán, sobre cambisoles o regosoles, la especie dominante es *P. douglasiana*; se encuentran también *P. herrerae*, *P. oocarpa*, *Quercus scytophylla*, *Q. candicans*, *Q. obtusata* y *Arbutus xalapensis*. Este tipo de vegetación puede ser una etapa en la sucesión hacia el bosque mixto de coníferas y latifoliadas o al bosque de pino-encino, después de eventos de perturbación como incendios severos o extracción intensiva de madera o una condición mantenida por incendios frecuentes de baja severidad (Jardel 1991, 1998, Jardel et al. 2004a, 2004b, Vargas 2010). En sitios con acrisoles derivados de toba volcánica, *P. herrerae* llega a ser dominante o codominante con *P. douglasiana*. En cambisoles sobre roca caliza de Cerro Grande la especie de pino más común es *P. pseudostrobus* y se encuentran también *P. Devoniana*, *Q. castanea* y *Q. obtusata*.

(10) **Bosque húmedo montano bajo transición a premontano de encino.** En la zona semicálida húmeda los encinares se encuentran en suelos bien drenados y someros. Son bosques con dominancia de encinos como *Quercus castanea* y *Q. obtusata* en Cerro Grande (en litosoles y regosoles sobre calizas). En la Sierra de Manantlán y Sierra de Cacoma, aparecen estas mismas especies y también *Q. magnoliifolia* y *Q. resinosa*. Asociadas aparecen especies de pino como *P. douglasiana* o *P. oocarpa*. En algunos rodales, la dominancia de los encinos sobre los pinos puede ser resultado de la explotación selectiva de los segundos y su remplazo por la liberación de los primeros.

(11y 14) **Bosque húmedo montano bajo transición a premontano de latifoliadas (Bosque mesófilo de montaña).** En hondonadas, cañadas y barrancas se encuentran bosques latifoliados con una composición mezclada y diversa de especies, tales como *Carpinus tropicalis*, *Clethra fragans*, *Cornus disciflora*, *Fraxinus uhdei*, *Ilex brandegeana*, *Magnolia iltisiana*, *Persea hintoni*, *Q. salicifolia*, *Q. xalapensis*, *Styrax ramirezii*, *Symplocos citraea* y *Zinowiewia concinna* (Santiago et al. 1993, Vázquez et al. 1995, Jardel et al. 2004b). En las condiciones bioclimáticas de la zona semicálida húmeda (unidad 11) o subhúmeda (unidad 14), el bosque mesófilo de montaña está restringido a geoformas cóncavas (hondonadas o “joyas”, cañadas y barrancas) o en áreas expuestas a neblinas persistentes, donde se acumula humedad (Jardel et al. 2014). Las coníferas (*Abies guatemalensis*, *Pinus douglasiana*) forman parte también de estos bosques, por ejemplo en la parte centro-oeste de la Sierra de Manantlán y en las faldas del Nevado de Colima, dentro del Parque Estatal en el municipio de Zapotitlán de Vadillo.

V. ZONA SEMICÁLIDA SUBHÚMEDA (PISO MONTANO BAJO TRANSICIÓN A PREMONTANO)

Las condiciones son semicálidas (T_{med} 16-19°C), pero más secas que en el caso de la zona anterior. La RETP es mayor a 1.0 y menor a 2.0, lo que indica déficit de humedad en el balance anual.

(12) **Bosque subhúmedo montano bajo transición a premontano de pino.** Bosques de pino y pino-encino de la Sierra de Tapalpa. Las condiciones son más secas que las de las sierras de Manantlán y de Cacoma.

(13) **Bosque subhúmedo montano bajo transición a premontano de encino.** Bosques de encino y encino-pino de la Sierra de Tapalpa. Las condiciones son más secas que las de las sierras de Manantlán y de Cacoma.

VI. ZONA CÁLIDA HÚMEDA (PISO PREMONTANO)

Esta zona se extiende hacia las laderas bajas de las montañas, y las colinas, lomeríos y altiplanos en elevaciones entre 600 y 1400 m. El clima es cálido (T_{med} 19-24°C) y húmedo (RETP 0.5-1.0). En esta zona se observa la transición entre formaciones vegetales dominadas por elementos holárticos como los pinos y encinos y los elementos neotropicales de las selvas bajas caducifolias. En este piso se observa la transición entre los encinares y la selva baja caducifolia. Mientras que los encinares pueden bajar hasta los 600-800 msnm, la selva baja alcanza elevaciones hasta los 1200 msnm en exposiciones sur más cálidas o, en Cerro Grande, llega hasta incluso 1600 m en laderas con pendientes fuertemente inclinadas y litosoles donde se presentan condiciones muy secas por el drenaje del agua. Las condiciones son relativamente más secas y cálidas que en la unidad anterior.

(15) **Bosque húmedo premontano de pino.** Son los bosques de pino que se encuentran a menor altitud en el área de estudio. Las especies dominantes son *Pinus maximinoi* y *P. oocarpa*; se presenta mezcla de encinos como *Q. magnoliifolia* y *Q. resinosa*.

(16) **Bosque húmedo premontano de encino.** Son los bosques de encino que se encuentran a menor altitud en el área de estudio. Estos bosques de encino caducifolios, denominados *robladas* en la región, están compuestos por *Q. resinosa* y *Q. magnoliifolia*, como especies dominantes (>90% de la cobertura), con mezcla en algunos rodales de *Pinus maximinoi* y *P. oocarpa*. Son bosques bajo (el dosel alcanza entre 5 y 15m de altura), marcadamente caducifolio. En los polígonos de esta categoría se encierran cañadas con otros elementos latifoliados membranosos (por ejemplo *Croton*) asociados a condiciones más húmedas, que forman parte del complejo de vegetación pero que por su tamaño no fueron separados en el mapa.

(17) **Bosque húmedo premontano de latifoliadas (Selva mediana subcaducifolia).** La vegetación corresponde a selva mediana subcaducifolia (con especies como *Anona purpurea*, *Aphanante monoica*, *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Calophyllum brasilense*, *Cedrela odorata*, *Cordia eleagnoides*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guarea glabra*, *Hura poliandra*, *Tabebuia* spp., etc.), con selva baja caducifolia en posiciones topográficas altas. Se encuentran también relictos de humedales. La influencia humana ha modificado significativamente la vegetación y se encuentran matorrales secundarios y pastizales inducidos, así como vegetación sabanoide de *Byrsonima crassifolia* y *Curatella americana* (Vázquez *et al.* 1995). Dominan elementos arbóreos medianos (dosel 15-30 m; a veces con árboles mayores a 30 m emergentes), latifoliados membranosos, formando masas densas (>60% de la cobertura sobre el suelo, con estratificación vertical compleja. Son bosques subcaducifolios, esto es, la mayor parte de los elementos arbóreos (50-75%) pierden sus hojas en la estación seca del año, por periodos cortos, por lo cual siempre hay una alta proporción de dosel con cobertura de hojas.

Formaciones vegetales, en donde el 50 y el 75% de sus componentes pierden las hojas en la época más seca del año. En las partes bajas de la Sierra, en la parte noroeste y sur, o en cañadas húmedas, se encuentran componentes arbóreos latifoliados, que alcanzan entre 20 y 30 m de altura, y que corresponde al bosque tropical subcaducifolio de Rzedowski (1978) o selva mediana subperennifolia de Miranda y Hernández-Xolocotzi (1963). Esta comunidad incluye principalmente árboles caducifolios, no obstante, permanece verde la mayor parte del año debido a la presencia de elementos perennifolios y a su fenología diferencial. La superficie que cubre esta unidad de vegetación son 12,942.7 ha.

Al oeste de la Sierra de Manantlán, Vélica-Zúñiga (2013) mapeo algunas zonas como un complejo de selva mediana subcaducifolia-selva baja caducifolia (SMS propiamente en cañadas y en laderas más bajas, y en laderas medias y altas encontramos elementos caducifolios y abiertos de SBC). Este complejo de vegetación lo encontramos hacia la transición a encinar y es resultado de una mezcla de influencias de gradientes geomorfoedáficos y de perturbación y fragmentación.

VII. ZONA CÁLIDA A MUY CÁLIDA SUBHÚMEDA (PISO BASAL)

Corresponde a la zona de menor altitud, entre 500 y 1000 m de altitud, del área de estudio. Las condiciones bioclimáticas son cálidas (T_{med} 22-24°C) a muy cálidas (T_{med} >24°C) y subhúmedas (RETP 1.0-2.0).

(18) *Bosque subhúmedo basal de latifoliadas (Selva baja caducifolia)*

La vegetación corresponde a selva baja caducifolia, con especies características como *Amphipterygium adstringens*, *Bursera fagaroides*, *B. bipinata*, *B. copalifera*, *B. graveolens*, *Ceiba pentandra*, *Cercidium praecox*, *Fouquieria formosa*, *Guaicum coulteri*, *Heliocarpus terebinthaceus*, *Jacaratia mexicana*, *Lysiloma acapulcensis*, *L. microphyllum*, *Pithecellobium acatlense*, *Pseudobombax ellipticum*, entre otras, además de cactáceas columnares como *Pachycereus pecten-aboriginum*, *Stenocereus queretaroensis* y *Neobuxbaumia mezcalensis* (Vázquez et al. 1995). En barrancas húmedas se encuentra selva mediana subcaducifolia. Dominan elementos arbóreos bajos (5-15m), latifoliados (predominantemente micrófilos), caducifolios (>75% pierden las hojas durante la estación seca por un periodo largo). Forman masas densas con estratificación compleja. Pueden presentar mezcla de cactáceas arborescentes.

(19) ***Bosque ribereño subhúmedo basal de latifoliadas (Bosque de galería)***. Bosques de márgenes de ríos y arroyos.

VIII. ZONA CÁLIDA A MUY CÁLIDA SEMIÁRIDA (PISO BASAL)

Igual que la zona anterior, son zonas cálidas a muy cálidas (T_{med} 22-24°C a >24°C), pero con condiciones de déficit de humedad más marcado (RETP 2.0-4.0). Esta zona se encuentra en las tierras bajas entre la Sierra de Manantlán y las montañas de el Nevado de Colima y la Sierra de Tapalpa y sus condiciones de sequía son consecuencia del efecto de la sombra orográfica.

(20) **Bosque seco basal de latifoliadas (Selva baja caducifolia).** Es una selva baja caducifolia muy seca. En la depresión formada por los valles de los ríos Ayuquila y Tuxcacuexco, donde es marcado el efecto de sombra orográfica, se encuentran las condiciones más secas del área de estudio. La vegetación ha sido muy alterada y está formada por selva baja caducifolia, huizacheras y otros tipos de matorrales secundarios.

(21) **Bosque seco basal de mezquite (Mezquital).** Bosque bajo donde la especie dominante es *Prosopis laevigata*.

IX. COBERTURAS AZONALES EN AFLORAMIENTOS ROCOSOS

(22) **Vegetación de afloramientos rocosos.** Estas formaciones se restringen a roca expuesta, con suelo desnudo, con escarpes pronunciados y cobertura vegetal dispersa, principalmente de plantas herbáceas, arbustivas y suculentas rosetofilas, donde puede prevalecer una alta diversidad y endemismo de especies vegetales. Estas formaciones vegetales son únicas no solo en términos estructurales, sino también en su composición biológica. Formaciones herbáceas y arbustivas, a veces con árboles dispersos (*Pinus*, *Quercus*, *Arbutus*), que se desarrollan en cimas de montañas, escarpes y paredes rocosas. Los elementos rosetófilos como *Agave maximilliana* son comunes; otros elementos presentes son *A. vazquezgarciae*, *A. manantlensis*, *Brickelia squarrosa*, *Hieracium abcissum*, *H. pringlei*, *Stevia organoides* y *Muhlenbergia dumosa*. Es un tipo de vegetación relevante para la conservación por la presencia de endemismo. Estas formaciones vegetales son únicas no solo en términos estructurales, sino también en su composición biológica.

(23) **Afloramientos rocosos sin vegetación aparente.** Corresponde a áreas de roca o suelo desnudo, que se localizan principalmente en la cima del Nevado de Colima y del Volcán de Fuego y a las áreas afectadas por la deposición de cenizas volcánicas y material piroclástico.

X. MATORRALES SECUNDARIOS

(24-27) **Matorrales secundarios.** Vegetación dominada por elementos arbustivos, que se desarrolla en sitios desmontados y posteriormente abandonados o en barbecho, en distintas condiciones bioclimáticas.

XI. AGROECOSISTEMAS

Coberturas que corresponden a terrenos dedicados permanentemente a cultivos agrícolas (de riego, de temporal o de plantación), terrenos en barbecho cubiertos por pastizal, herbazal o matorral (importante en el área montañosa debido al predominio de agricultura de ladera con ciclo de barbecho), pastizales inducidos (por desmonte, quema y siembra o plantación de pastos generalmente exóticos) o cultivados para la ganadería, y coberturas de vegetación de pastizales, herbazales o matorrales considerados como secundarios por su origen en desmontes dentro de áreas boscosas, y que pueden persistir por varios años.

(28-31) **Pastizales inducidos o secundarios.** Vegetación dominada por pastos y otros elementos herbáceos, en áreas desmontadas, cultivos abandonados o en barbecho.

(32-35) **Agroecosistemas de temporal.** Áreas dedicadas a cultivos agrícolas de temporal.

(36) Agroecosistemas de riego. Áreas dedicadas a cultivos agrícolas de riego.

XII. OTROS

(37) **Áreas erosionadas.** Áreas desprovistas de vegetación o con vegetación dispersa donde se observan procesos de erosión fuerte, como formación de cárcavas, surcos o pérdida laminar de suelo.

(38) **Centros de población.** Ciudades y poblados.

(39) **Cuerpos de agua.** Incluye todos los cuerpos de agua naturales o artificiales.

(SN) **Minería a tajo abierto** Esta categoría incluye áreas pequeñas dedicadas a la explotación minera y bancos de materiales que se encuentran desprovistos de vegetación.

Cuadro 3.9. Superficie por tipo de ecosistema terrestre en la región de la JIRA. Los tipos de ecosistemas, caracterizados por la cubierta vegetal, están agrupados por zona bioclimática. Fuente: Jardel *et al.* (2015a).

ID	Categorías	Superficie	
		(ha)	(%)
I	Zona templado fría y semifría muy húmeda	4,126.2	0.8
1	Afloramientos rocosos en cimas de montañas altas.	386.3	0.1
2	Zacatonal de alta montaña	3,445.5	0.7
3	Pinar de alta montaña	294.4	0.1
II	Zona templado fría húmeda	5,509.2	1.1
4	Bosque de oyamel	5,509.2	1.1
III	Zona templado cálida húmeda	25,304.9	5.2
5	Bosque mixto de coníferas y latifoliadas	4,781.0	1.0
6	Bosque de pino	9,349.4	1.9
7	Bosque de encino subcaducifolio	4,164.0	0.9
8	Bosque de encino-Bosque mesófilo de montaña	7,010.4	1.4
IV	Zona semicálida húmeda	25,814.4	5.3
9	Bosque de pino-encino-latifoliadas	12,281.5	2.5
10	Bosque de encino caducifolio	9,234.1	1.9
11	Bosque mesófilo de montaña	4,298.7	0.9
V	Zona semicálida subhúmeda	33,325.1	6.8
12	Bosque de pino	15,010.3	3.1
13	Bosque de encino caducifolio	7,621.6	1.6
14	Bosque mesófilo de montaña	10,693.2	2.2

ID	Categorías	Superficie	
		(ha)	(%)
VI	Zona cálida húmeda	41,712.4	8.6
15	Bosque de pino	3,312.9	0.7
16	Bosque de encino caducifolio	33,784.5	6.9
17	Selva mediana subcaducifolia	4,615.0	0.9
VII	Zona cálida a muy cálida subhúmeda	124,339.0	25.5
18	Selva baja caducifolia	123,943.0	25.4
19	Vegetación de galería	396.0	0.1
VIII	Zona cálida a muy cálida semiárida	8,567.0	1.8
20	Selva baja caducifolia	8,091.8	1.7
21	Mezquital	475.2	0.1
IX	Coberturas azonales (escarpes y afloramientos rocosos; "relices" y "malpaís")	1,290.4	0.3
22	Vegetación de afloramientos rocosos	912.7	0.2
23	Roca desnuda	377.7	0.1
X	Matorrales secundarios	18,484.6	3.8
24	Matorrales de zonas templadas húmedas	1,224.3	0.3
25	Matorrales de zonas semicálidas subhúmedas	1,304.0	0.3
26	Matorrales de zonas cálidas subhúmedas	14,673.2	3.0
27	Matorrales de zonas cálidas semiáridas	1,283.1	0.3
XI	Pastizales secundarios e inducidos	67,322.5	13.8
28	Pastizales de zonas templadas húmedas	2,138.3	0.4
29	Pastizales de zonas templadas subhúmedas	3,024.0	0.6
30	Pastizales de zonas cálidas subhúmedas	54,503.8	11.2
31	Pastizales de zonas muy cálidas subhúmedas y semiáridas	7,656.5	1.6
XII	Agricultura	122,695.9	25.2
32	Agricultura de temporal de zonas templadas húmedas y subhúmedas.	1,522.4	0.3
33	Agricultura de temporal en zonas semicálidas húmedas y subhúmedas	8,966.6	1.8
34	Agricultura de temporal en zonas cálidas húmedas y subhúmedas	74,357.7	15.3
35	Agricultura de temporal de zonas cálidas y muy cálidas semiáridas	9,068.2	1.9
36	Agricultura de riego	28,780.9	5.9
37	Áreas erosionadas	1,077.3	0.2
38	Centros de población	4,999.7	1.0
39	Cuerpos de agua	2,684.4	0.6
		487,253.0	100.0

3.1.8. Diversidad de la flora y la fauna

La diversidad de la flora

La variada y compleja cubierta vegetal de la región de la JIRA alberga una gran riqueza florística. Tan solo para la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, la flora vascular está compuesta por más de 3000 especies pertenecientes a 281 géneros y 187 familias, que representan alrededor del 40% de la flora vascular del Estado de Jalisco y aproximadamente el 10% de la de México (Cuevas *et al.* 2000, Vázquez *et al.* 1995). En hongos se han reportado 32 familias, 44 géneros y alrededor de 200 especies (Nieves 1989).

Tanto la riqueza de especies como otros aspectos de la flora de la región de la JIRA y sus zonas montañosas, como la Sierra de Manantlán, la Sierra de Cacoma y el Nevado de Colima, pueden considerarse únicos. Además de la frecuencia de elementos endémicos que caracteriza a las zonas montañosas (Kruckeberg y Rabinowitz 1985), la Región de la Sierra de Manantlán forma parte de una zona de transición biogeográfica (Halffer 1987, Rzedowski 1978). Si consideramos los niveles de endemismo reportados para México (Rzedowski 1991 y 1993), es probable que un 50% de las especies presentes en el área de estudio puedan considerarse endémicas al territorio nacional. En cuanto al endemismo local, aún está en proceso de estudio, pero puede señalarse que unas 30 especies de plantas vasculares han sido reportadas hasta ahora únicamente para la Región de la Sierra de Manantlán (véase más adelante). Entre los endemismos más notables se encuentra el teocintle diploide perenne *Zea diploperennis* (Iltis *et al.* 1979), pariente silvestre del maíz cuyo descubrimiento llamó la atención sobre el valor de la Sierra de Manantlán para la conservación de la biodiversidad.

La diversidad de tipos de vegetación y condiciones de hábitat está determinada por un conjunto de factores físico-geográficos e históricos. Por la ubicación latitudinal de la región, su historia geológica y el gradiente altitudinal, se presenta un interesante fenómeno de transición biogeográfica y una mezcla de especies con afinidades con la flora de las regiones Holártica y Neotropical. El régimen de perturbaciones naturales (ciclones, tormentas, deslizamientos de suelos, etc.) y la influencia humana a través del uso del fuego y la explotación de los recursos naturales durante varios siglos, han contribuido también a la variedad de condiciones de hábitat y a la conformación del paisaje actual, introduciendo presiones selectivas en la evolución de las especies. Es importante considerar el hecho de que algunos hábitats marcadamente influidos por perturbaciones antropogénicas (pinares, encinares, matorrales secundarios y pastizales; Jardel 1991, 1993) albergan una alta diversidad de especies, muchas de ellas endémicas (como *Zea diploperennis*), que son fuente importante de recursos naturales (Benz *et al.* 1990, 1994), presentan un potencial para la recuperación de áreas degradadas o bien son fuente importante de recursos forestales (Jardel 1992).

La caracterización de la flora de la región se basa en el trabajo de Cuevas *et al.* (2014). El inventario de la diversidad florística para los diez municipios que integran la Cuenca Baja del Río Ayuquila, podría decirse que inicia en forma más o menos sistemática en 1985 con los estudios biológicos por personal del Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad en la Sierra de Manantlán, principalmente para los

municipios que forman parte de la Junta Intermunicipal de la Cuenca Baja del Río Ayuquila y que también forman parte de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán como lo son Autlán de Navarro, Tuxcacuesco y Zapotitlán de Vadillo, además de recolectas realizadas en forma más esporádica en los siete municipios restantes.

Desde 1985 y a la fecha se han realizado unos 50 recorridos de campo, principalmente en Autlán de Navarro, El Grullo, Tuxcacuesco y Zapotitlán de Vadillo, durante los cuales se han reunido alrededor de 3700 ejemplares de herbario, los cuales se encuentran depositados en el Herbario ZEA del Centro Universitario de la Costa Sur, y los cuales sirven de referencia para los resultados que se presentan.

Para la identificación del material se realizaron revisiones minuciosas al microscopio de las diferentes estructuras vegetales y reproductivas de los ejemplares y se utilizaron claves disponibles en floras regionales, monografías y tratamientos taxonómicos. Una vez identificado el material se procedió a corroborar su determinación a través de la revisión detallada de las descripciones disponibles en la literatura especializada y corroborando con ejemplares disponibles en los herbarios. En algunos casos se hace necesario recurrir al apoyo de especialistas de grupos taxonómicos que se encuentran en México u otros países, además de recurrir a la consulta de ejemplares depositados en el Herbario del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara, Herbario Nacional de la Universidad Nacional Autónoma de México o el del Instituto de Ecología del Bajío en Pátzcuaro, Michoacán. Una vez etiquetadas las muestras, se separó un ejemplar para su montaje, el cual se incorporó al Herbario ZEA, donde el material queda como referencia de la investigación y podrá ser consultado.

El análisis del estado de conservación de las especies se realizó tomando como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, que establece las siguientes categorías:

- (a) *Especie en peligro de extinción*: aquella cuya área de distribución o tamaño poblacional han sido disminuidas drásticamente, poniendo en riesgo su viabilidad biológica en toda su amplitud de distribución debido a múltiples factores, tales como la destrucción o modificación drástica de su hábitat, restricción severa de su distribución, sobreexplotación, enfermedades, y depredación, entre otros.
- (b) *Especie amenazada*: la que podría llegar a encontrarse en peligro de extinción si continúan operando factores que ocasionan el deterioro o modificación del hábitat donde éstas se encuentran o que disminuyan sus poblaciones. En el entendido de que especie amenazada es equivalente a especie vulnerable.
- (c) *Especie sujeta a protección especial*; especies sujetas a limitaciones o vedas en su aprovechamiento por tener poblaciones reducidas o una distribución geográfica restringida, o bien para propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de especies asociadas. Además, fueron revisados los listados disponibles en el libro rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y en los CITES.

Como resultados del análisis de la información disponible sobre la flora de la región de la JIRA, se obtuvieron los siguientes. Se registran 1589 especies de 881 géneros y 182 familias de plantas vasculares para los diez municipios que comprende la JIRA (Cuevas *et*

al. 2014). La mayor cantidad de especies, géneros y familias se registran para el municipio de Autlán de Navarro y el que cuenta con menos registros de especies es Tonaya. Indudablemente que los números tan dispares en la cantidad de especies es un reflejo de las intensidades de muestreo en cada uno de ellos.

Las familias con más especies corresponden a las Asteráceae, Fabaceae, Poaceae, Orchidaceae y Malvaceae (cuadro 3.8). Este es un patrón que coincide con los inventarios realizados para otras regiones del occidente de México.

Los géneros con más especies corresponden a *Solanum* con 31 especies, *Quercus* 28, *Salvia* 26 y *Euphorbia* 25 (Cuadro 3.9). Es sorprendente como un área tan pequeña concentre una riqueza tan alta de géneros como *Solanum* y *Quercus*, pues para el caso del primero la cantidad de especies representa el 20 de las registradas para México y en el caso del segundo representan más del 50 de las registradas para el estado de Jalisco.

Cuadro 3.8. Familias con mayor riqueza de géneros y especies. Fuente: Cuevas *et al.* 2014.

Familia	Genero	Especie	Familia	Genero	Especie
Asteraceae	95	260	Bromeliaceae	6	29
Fabaceae	60	200	Pteridaceae	15	29
Poaceae	70	104	Fagaceae	1	28
Orchidaceae	43	96	Acanthaceae	13	26
Malvaceae	36	77	Commelinaceae	7	22
Euphorbiaceae	18	74	Cucurbitaceae	14	22
Solanaceae	14	66	Onagraceae	6	19
Lamiaceae	12	51	Piperaceae	2	19
Apocynaceae	25	40	Amaranthaceae	11	18
Rubiaceae	21	36	Boraginaceae	10	18
Convolvaceae	7	34	Asparagaceae	8	17
Cyperaceae	10	32			

Cuadro 3.9. Géneros con más riqueza de especies. Fuente: Cuevas *et al.* 2014.

Género	No. especies	Género	No. especies
<i>Solanum</i>	31	<i>Stevia</i>	14
<i>Quercus</i>	28	<i>Sida</i>	13
<i>Salvia</i>	26	<i>Bouteloua</i>	12
<i>Euphorbia</i>	25	<i>Acalypha</i>	11
<i>Paspalum</i>	22	<i>Digitaria</i>	11
<i>Ipomoea</i>	21	<i>Ficus</i>	11
<i>Desmodium</i>	19	<i>Habenaria</i>	11
<i>Tillandsia</i>	19	<i>Peperomia</i>	11
<i>Muhlenbergia</i>	16	<i>Crotalaria</i>	10
<i>Senna</i>	16	<i>Croton</i>	10
<i>Ageratina</i>	15	<i>Cuphea</i>	10
<i>Cyperus</i>	15	<i>Phoradendron</i>	10
<i>Bursera</i>	14		

La diversidad de la fauna silvestre

México es uno de los 12 países mega-diversos del mundo. La fauna silvestre constituye un elemento fundamental de la biodiversidad de los ecosistemas en la región de estudio y constituye además un componente utilizado ampliamente por los habitantes de la zona, fundamentalmente como fuente alterna de proteína animal (cacería de autoconsumo) y de recursos económicos (venta de carne, mascotas o subproductos).

La fauna de mamíferos de México es una de las más diversas del mundo, ya que en términos de número de especies ocupa el segundo lugar mundial, después de Indonesia (Arita y Ceballos 1997). En la Región de estudio se identificaron 101 especies pertenecientes a 67 géneros, de las cuales 16 son especies endémicas de México y con algún estatus de conservación según la Norma Oficial Mexicana. En los bosques de la región se ha registrado la presencia de especies amenazadas y con protección especial como el puma (*Puma concolor*), jaguar (*Panthera onca*), leopardo (*Leopardus pardalis* y *L. wiedii*), musarañas (*Cryptotis goldmani* y *Sorex saussurei*) y murciélagos (*Leptonycteris curasoae* y *L. nivalis*).

México es el quinto país respecto a la riqueza de anfibios, en con un nivel de endemismo alto (Flores-Villela. En la región de estudio se han identificado 17 especies de anfibios, 76% de las especies son endémicas de México y de las cuales 7 tienen algún estatus de conservación según la Norma Oficial Mexicana: especies raras (*Eleutherodactylus modestus*, *Hyla bistincta*, *Hyla smaragdina*, *Rana pustulosa*), amenazadas (*Hyla Sartori* y *Pseudoeurycea belli*) y en protección especial (*Rana forreri*).

La fauna de reptiles de México es una de las más diversas del mundo y además con un alto grado de endemismo. México ocupa el segundo lugar en riqueza de reptiles después de Australia (Flores-Villela y García-Vázquez 2014). En la región de la JIRA se han registrado 74 especies de reptiles con 43 endemismos de México y 32 especies con algún estatus de conservación según la Norma Oficial Mexicana: 14 especies raras, por ejemplo *Leptodeira maculata* y *Salvadora mexicana*, 6 protección especial por ejemplo *Crotalus basiliscus* e *Iguana iguana* y 14 amenazadas por ejemplo *Boa constrictor* y *Leptophis mexicanus*.

Las aves son un grupo que proporciona servicios ambientales invaluable, como el control de plagas, la dispersión de semillas y la polinización. Cerca del 11 de la riqueza de especies de aves a nivel mundial, se han registrado en México, la mayoría de las cuales se reproducen en México y la mayor parte son especies residentes permanentes, seguidas en número por las visitantes de invierno y las migratorias de paso (Navarro-Sigüenza *et al.* 2014). En la región de la JIRA se han registrado 256 especies, 32 de distribución neoártica, 7 de distribución extensa, 10 de distribución mesoamericana, 6 de México-montano, 15 neo-tropical, 6 del occidente de México. 73 especies tienen algún estatus de conservación según la Norma Oficial Mexicana: 32 amenazadas, 6 en peligro de extinción, 9 en protección especial y 26 raras.

Se tienen reportadas hasta la fecha 16 especies de peces pertenecientes a 8 familias. Trece especies son nativas, y cuatro de éstas son endémicas a la región. La Región de la

Sierra de Manantlán y su región de influencia es el límite biogeográfico para tres de las ocho familias de peces de la región: Characidae, de afinidad neotropical, e Ictaluridae y Catostomidae, de afinidad neártica.

3.1.9. Áreas protegidas y zonas de conservación

En el área de estudio se encuentra parte de tres áreas naturales protegidas: el Parque Nacional Nevado de Colima, el Parque Estatal Bosques Mesófilos del Nevado de Colima y la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (Mapa 8).

En la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán se han implementado acciones estratégicas de manejo del fuego desde 1999 y en 2006 se aprobó por parte de sus Consejos Asesores un programa de manejo del fuego (Jardel *et al.* 2006), que aunque no ha sido aplicado consistentemente por la Dirección del área protegida (CONANP), ha servido de base para orientar acciones importantes de protección contra incendios forestales y algunas prácticas de manejo del fuego.

Dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán se encuentra la Estación Científica Las Joyas, donde se han realizado acciones de manejo del fuego desde 1987 (Jardel 2008).

En el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional (POER) de la JIRA (Jardel *et al.* 2015), que al tiempo de integrar este plan de manejo del fuego estaba aún en proceso de elaboración, toda la superficie de bosques y selvas de los 10 municipios se consideraba dentro de alguna categoría de conservación. De acuerdo con el POER, debe mantenerse a largo plazo la cobertura forestal actualmente existente e incluso aumentarse mediante acciones de restauración. Esta política de conservación no excluye los usos del suelo y los recursos naturales que sean compatibles con el mantenimiento de cobertura forestal y que incorporen criterios de conservación de biodiversidad, agua y suelos (Jardel 2015b).

En el POER-JIRA se plantea también el establecimiento de áreas protegidas municipales con objetivos de protección de cabeceras de cuencas, mitigación de riesgos de desastres naturales, conservación biológica, mantenimiento de corredores biológicos y conectividad entre las áreas protegidas ya existentes, protección del paisaje y oferta de espacios de recreación al aire libre. Estas áreas, aún no delimitadas, se ubicarían en el cañón del Río Ayuquila entre Unión de Tula y El Corcovado (el límite con el municipio de Autlán), partes altas de la Sierra de Cacoma, las montañas entre Ejutla y El Limón, Sierra de la Vainilla, el Cerro de El Petacal y la Barranca de Huisichi, y la cuenca alta del Río Tuxcacuesco.

3.2. Condiciones socioeconómicas

3.2.1. Condiciones sociodemográficas

Los municipios de Autlán de Navarro, Ejutla, El Grullo, El Limón, San Gabriel, Tolimán, Tonaya, Tuxcacuesco, Unión de Tula y Zapotitlán de Vadillo. En este contexto, los datos del censo realizado por el INEGI (2010) dan cuenta de una población de 144,472 habitantes en el conjunto de éstos municipios, que representa 1.96% de la población total en el Estado de Jalisco. Cuatro municipios (Autlán de Navarro, El Grullo, San Gabriel y Unión de Tula) concentran la mayoría de la población (76.45%), misma que para efectos prácticos se concentra en las cabeceras municipales. De acuerdo con la distribución de sexo y rango de edades, se observa una típica con un comportamiento similar que destaca en los rangos de edad entre 6-11 y 18-24 años.

La proyección demográfica regional muestra que para los municipios en general, no habrá crecimiento en la población de 0 a 14 años, principalmente en los municipios de Tuxcacuesco y Zapotitlán de Vadillo. Sin embargo en los municipios de Autlán de Navarro, Ejutla y El Grullo, se mantendrá constante. Por otro lado, se observa incremento general en el resto de los rangos de población, acentuándose en los 45 a 64 años y más de 65 años, situación que implica previsiones de seguridad social, dado que también existirá un menor número de nacimientos y jóvenes en edad productiva.

El patrón de distribución territorial de la población en la región de la JIRA está polarizado, existe alta concentración de población en cuatro ciudades (Autlán, El Grullo, Unión de Tula y San Gabriel) y en el medio rural hay una importante dispersión en cientos de localidades con menos de 250 habitantes

Los municipios que tienen una proporción mayor a un cuarto de la población dispersa en localidades menores de 250 habitantes son Zapotitlán de Vadillo (35.7%), Ejutla (32.1%) y Tonaya (26.4%), pero además éstos municipios también tienen los valores más altos de localidades con estas características 94.6, 94 y 88% respectivamente. Aunque Autlán y Unión de Tula, también cuentan con alta proporción de localidades pequeñas.

Los municipios con mayor grado de escolaridad son Autlán, El Grullo y Unión de TULA, mismos que se ubican como predominantemente urbanos; en tanto al analfabetismo Resaltan los municipios de Tolimán, Tuxcacuesco y Zapotitlán de Vadillo con valores proporcionales a su población, mayores que 10 puntos.

De acuerdo con los servicios básicos en hogares En este cuadro se observa que en términos generales existe una cobertura de servicios superior a 90%, sin embargo estos valores (excepto Autlán y El Limón) son inferiores a la media en Jalisco.

Otro aspecto que influye en el desarrollo de la región es la migración e inmigración sobre todo con motivos laborales. En los municipios predominantemente urbanos, existe un desplazamiento migratorio importante tanto interno como externo. Sin embargo la migración hacia el vecino país del norte Estados Unidos de Norteamérica ha resultado ser uno de los principales destinos para la migración externa, siendo parte de la dinámica económica de muchas familias en la región, con mayor trascendencia para los municipios predominantemente rurales.

De acuerdo con los servicios de salud en relación al total de la población en los 10 municipios, el acceso a la salud está presente para la mayoría de la población, sobre todo en los municipios predominantemente urbanos, donde el Seguro Popular es el servicio de salud con más personas inscritas. Si bien existen servicios de salud disponibles, la calidad de los mismos no es buena y carece de eficiencia sobre todo de instalaciones dignas, personal capacitado y suministro de medicamentos, lo cual deja vulnerable en este sentido a la población sobre todo de las comunidades rurales.

Relacionado con las carencias económicas, los escasos y precarios servicios de salud, así como los hábitos alimenticios y condiciones ambientales, la tasa de mortalidad para el 2014 estuvo vinculada principalmente a las muertes infantiles, cáncer cérvico-uterino, cáncer de mama y diabetes mellitus, siendo esta último la enfermedad por la cual se causaron la mayoría de las defunciones en adultos, sin embargo se muestra un incremento en las muertes infantiles por diversas causas (no especificadas).

3.2.2. Sistemas de producción y uso del suelo

En el territorio de los municipios que integran la JIRA coexisten diversos sistemas tradicionales de cultivos básicos, sistemas convencionales con alto uso de insumos agroquímicos, así como una importante producción pecuaria (bovinos y porcinos) como base de la economía regional. En menor escala y no por ello menos relevante en relación con su contribución al deterioro de los recursos naturales, se desarrollan sistemas agroindustriales, aprovechamiento forestal y minero, así como una incipiente industria de transformación.

La producción agrícola se divide en dos tipos: agricultura tradicional y agricultura comercial y/o agroindustrial. Dentro de los 10 municipios la superficie sembrada asciende a 79,542 ha, siendo los cultivos predominantes el maíz, pastos, caña de azúcar, sorgo, agave y aguacate. El municipio de San Gabriel se destaca por tener la mayor diversidad de cultivos.

La agricultura en su gran mayoría se caracteriza por realizarse de forma convencional, sin embargo, dentro de la intermunicipalidad también se desarrolla de manera industrial. Entre los cultivos que se producen bajo métodos industrializados es la caña de azúcar, el agave, las hortalizas sembradas en invernaderos y el aguacate.

En el aspecto ganadero, destacan los municipios de Unión de TULA, Tonaya y Tuxcacuesco, donde los productores destinan más de la mitad del territorio para realizar actividades ganaderas. En la proporción de predominancia de las especies que más se producen en la región destaca la producción de carne en canal de bovino (58.8%), porcino (38.7%) y aves (1.99%).

En los últimos años se ha estado socializando el término de sistemas agroforestales para buscar la implementación de los mismos, aunque cabe señalar que existen en la región ya algunas parcelas diversificadas.

Referente a la producción forestal, esta es una fuente de empleo temporal y se desarrolla principalmente en cuatro municipios de la JIRA los cuales cuentan con un alto volumen

de aprovechamiento para cuatro principales tipos de bosque. La superficie aprovechable suma 20,683.62 ha divididas en los 45 permisos vigentes al año 2010.

La pesca no una fuente de ingreso a gran escala, sin embargo, hay comunidades que están situadas a la orilla del río cuyo principal ingreso depende de esa actividad. También se desarrolla la actividad acuícola en granjas establecidas para este fin o en las presas. En la actualidad existen 18 organizaciones piscícolas.

La minería se caracteriza por ser una actividad que tiene un gran impacto negativo en el medio ambiente. En el territorio de la JIRA el principal mineral es el Hierro, aunque también se han identificado Manganeso, Oro, Plata y Cobre. Actualmente se tienen registrados 13 proyectos mineros.

La actividad industrial en la región se concentra en pocas empresas, siendo la mayoría de enfoque agrícola. Las que tienen el enfoque de hortalizas están ubicadas en el llano en los municipios de Tuxcacuesco y San Gabriel, las cuales realizan su producción por medio de invernaderos. Por otro lado está el ingenio azucarero cuya planta se localiza en el municipio de Autlán de Navarro pero la siembra de caña se distribuye en los valles de Autlán de Navarro, El Grullo y El Limón.

4. Diagnóstico y pronóstico

Esta sección debe abordar los distintos componentes de la problemática asociada con los incendios forestales en el área de estudio. Es una parte esencial del PMF, en la cual deben identificarse con claridad los problemas que se busca resolver con la aplicación del PMF y cuales son las tendencias o escenarios futuros.

La mayor parte de la información en esta sección se deriva de los resultados de la investigación sobre ecología y manejo del fuego realizada en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán desde 1986. La Reserva, y particularmente la Estación Científica Las Joyas, son una de las áreas más estudiadas y por mayor tiempo en México, en lo que se refiere a la ecología del fuego.

4.1. Incidencia de incendios forestales

Los resultados se presentan y discuten a continuación iniciando con el análisis de la incidencia de incendios durante el periodo 2001-2008, a partir de los registros de CONAFOR para toda la CMRA y del SIMIF-RBSM para la porción de los municipios de Autlán de Navarro, Tuxcacuesco y Tolimán dentro de la Reserva. Después de esto se presentan los resultados obtenidos del registro y medición en campo de los incendios forestales en los diez municipios de la JIRA durante la temporada 2010, discutiendo la incidencia del fuego por tipo de vegetación, geoecosistema y régimen potencial de incendios. Finalmente se discuten las causas de incendios registradas y se identifican las áreas críticas con mayor incidencia de incendios a partir de los registros de 2001-2015.

De acuerdo a la base de datos proporcionada por la CONAFOR a la JIRA, durante el periodo 2001-2008 se registró un total de 162 incendios forestales y 4,780 ha afectadas por el fuego. El promedio anual del número de incendios forestales fue de 20 ± 3 y de la superficie 597.5 ± 172.8 ha·año⁻¹.

En la figura 4.1. se muestran los resultados de la incidencia de incendios registrada por CONAFOR en el periodo 2001-2014. Los municipios de Autlán de Navarro y San Gabriel presentaron la mayor incidencia en número de incendios forestales por año, con el 73.6% del total registrado (Figura 4.1a); estos dos municipios también presentaron la mayor superficie anual quemada, representando el 62.6% de la superficie total de los incendios registrados; los municipios de Tolimán y Tuxcacuesco tuvieron un 13.1% y 10.8% respectivamente de la superficie quemada anual (Figura 4.1b); sin embargo los municipios que presentaron incendios con mayor tamaño promedio fueron Tolimán, Tuxcacuesco y Autlán de Navarro respectivamente (Figura 4.1c).

La mayoría de los incendios forestales fueron relativamente pequeños en extensión: de los 307 incendios registrados 259 (84.3%) tuvieron una superficie menor a 50 ha, 36 incendios (11.7%) tuvieron una afectación de 50 a 199 ha, en la categoría de 200 a 500 ha se registraron 8 incendios (2.6%) y solo los 4 incendios restantes (1.3%) fueron mayores de 500 hectáreas. El incendio con mayor superficie afectada ocurrió en 2011 con una extensión de 2,234 ha y el más pequeño de 0.5 ha. Los incendios de mayor extensión

se presentaron en áreas montañosas donde se dificulta el acceso y las labores de combate del fuego.

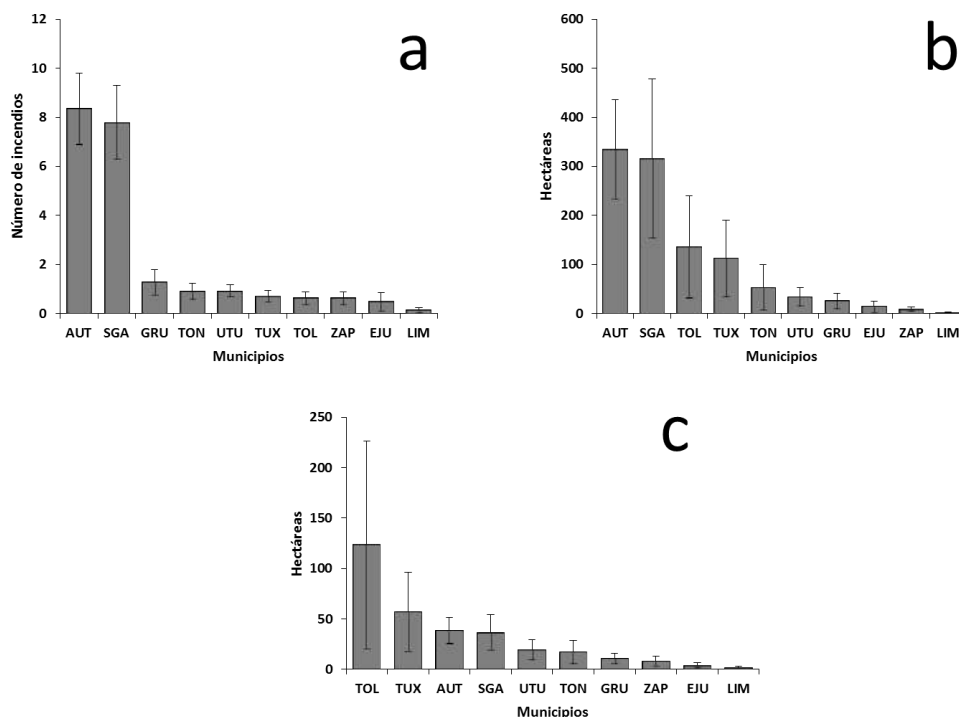


Figura 4.1. (a) promedio del número de incendios en registrados, (b) promedio de superficie reportada y (c) superficie por incendio (superficie total entre número de incendios) por municipio (AUT Autlán de Navarro, EJU Ejutla, GRU El Grullo, LIM El Limón, SGA San Gabriel, TOL Tolimán, TON Tonaya, TUX Tuxcacuesco, UTU Unión de Tvla y ZAP Zapotitlán de Vadillo). Se muestran los promedios anuales del periodo 2001-2014 ordenados de mayor a menor y el error estándar de la media. Fuente: registros de CONAFOR 2001-2014.

Como ha sido señalado por Balcázar (2011), los registros de incendios en los que se basan las estadísticas oficiales tienen varios problemas; las superficies quemadas son estimadas a partir de una apreciación general por el personal de las brigadas en el campo, sin hacer una medición, por lo cual las superficies reales pueden estar sobreestimadas en el caso de incendios pequeños y subestimadas en el caso de incendios grandes.

Otro problema es el de la localización geográfica de los incendios; algunos incendios reportados dentro de los municipios del área de estudio, de acuerdo con la base de datos proporcionada por CONAFOR, caen fuera de estos municipios; incluso se encontraron errores de localización de incendios reportados para alguno de los municipios, pero que de acuerdo a las coordenadas de la base de datos se localizarían en puntos bastante alejados de la región. Además de esto, con la información disponible solo se cuenta con una coordenada del incendio y no con los límites de los polígonos de las áreas quemadas,

lo cual permite sólo la localización aproximada del incendio, pero no la cuantificación de la superficie afectada por tipo de vegetación y otras condiciones del paisaje.

Debido a las deficiencias que tienen los reportes y las bases de datos de CONAFOR en la región, es necesario el mejoramiento de la calidad de toma de datos y cuantificación de lo que se está quemando. Por dichas razones es esencial la medición en campo de los incendios, la observación en el terreno de los tipos de vegetación en los cuales pasó el fuego y la determinación de causas del porqué ocurrió el incendio en cuestión. El monitoreo y la información sobre incendios forestales es un insumo elemental en la toma de decisiones para el manejo del fuego (Jardel 2010).

4.1.1. Registros de incendios forestales del SIMIF-RBSM

A diferencia de los datos que reporta CONAFOR, para la RBSM se ha cuantificado la información sobre localización, tamaño, tipos de vegetación, causas de los incendios (Castillo-Navarro *et al.* 2003, Balcázar 2011), insumo que ha servido para la generación del programa de manejo del fuego de la Reserva (Jardel *et al.* 2006).

En la parte sur del área de estudio, dentro de la porción de los municipios de Autlán de Navarro, Tuxcacuesco y Tolimán que se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM), se cuenta con registros de incendios cuya localización y límites han sido determinados en estudio de campo, como parte del sistema de información y monitoreo de incendios del área protegida (SIMIF-RBSM; Balcázar 2011). Los datos del SIMIF-RBSM muestran diferencias importantes con los registros de la CONAFOR, como se puede observar en el cuadro 4.1.

A partir de la medición en campo de los incendios que se realizó anualmente durante la temporada de incendios, el SIMIF-RBSM reportó un total de 39,375.3 ha afectadas entre 2001 y 2014 (total "A" en el cuadro 4.1), corrigiendo el dato de 25,486.8 ha (total "B") reportado por las brigadas de incendios antes de la medición; esto indica el error de los reportes basados en apreciaciones generales en comparación con la medición metódica (Balcázar 2011): la superficie quemada fue subestimada por las brigadas en 13,888.6 ha, reportándose el 64.7% de lo que se quemó realmente de acuerdo a la medición en campo. La diferencia con la base de datos proporcionada a la JIRA por la CONAFOR es mucho más marcada: solo se reportan 8,172.7 ha incendiadas, esto es, solo el 20.7% del área afectada, lo cual representa una fuerte subestimación, considerando que esta cifra corresponde al total de la superficie de los tres municipios y no solo al área dentro de la RBSM (ya que sólo el 35.8% de los municipios de Autlán de Navarro, Tuxcacuesco y Tolimán es ocupada por la RBSM).

De acuerdo con los datos del SIMIF-RBSM la superficie quemada anualmente fue en promedio de $2,812.5 \pm 618.6$ ha·año⁻¹, mientras que utilizando la base de datos de CONAFOR se estaría considerando un promedio mucho menor: 583.8 ± 233.5 ha·año⁻¹. Esto indica que en las estadísticas oficiales hay una pérdida de información, ya sea porque solo se registran los incendios combatidos por personal de esta dependencia o por falta de un control y mantenimiento adecuado de las bases de datos, o bien, debido a

la falta de capacidad institucional para llevar a cabo el registro de los incendios forestales.

Los registros de incendios forestales de la base de datos de la CONAFOR no solo subestimaron la superficie afectada por incendios en los municipios de Autlán de Navarro, Tolimán y Tuxcacuesco entre 2001 y 2014, sino que además ni siquiera se observa la misma tendencia que los registros del SIMIF-RBSM. Por el contrario los datos de reportes de brigadas y medición en campo, aunque muestran diferencias en la cantidad de superficie, presentan el mismo patrón de variación (Figuras 4.2. y 4.3)

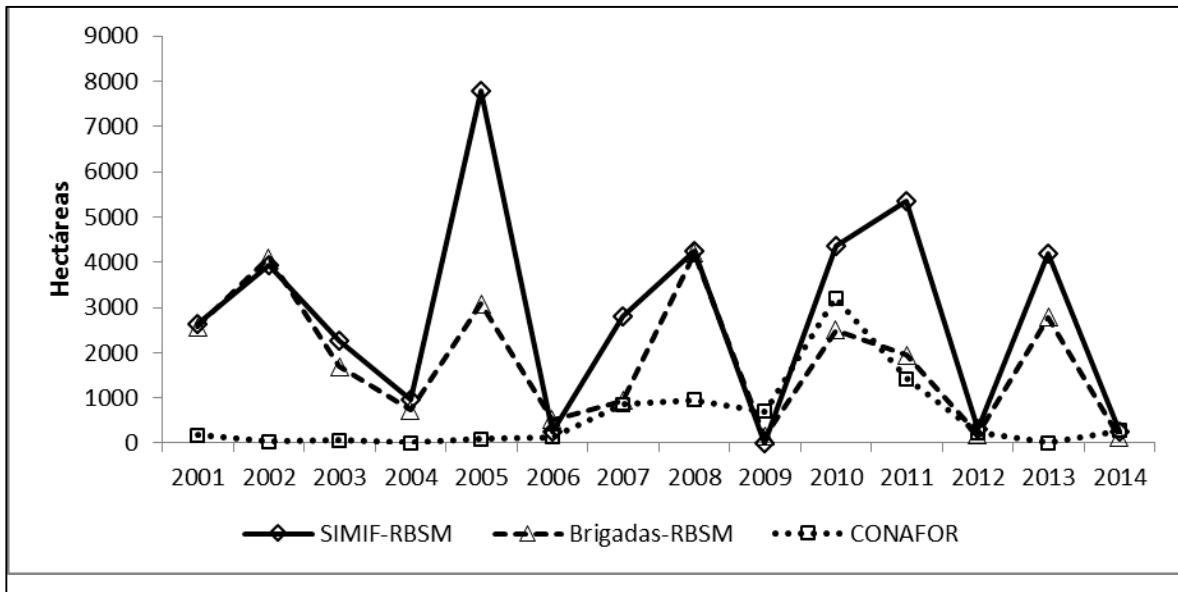


Figura 4.2. Comparación de la variación interanual de la superficie de incendios reportada para los municipios de Autlán de Navarro, Tolimán y Tuxcacuesco en el periodo 2001-2014. Las cifras de reportes de brigadas y SIMIF-RBSM corresponden solamente a la porción de los municipios dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán; los datos de registros de CONAFOR corresponden a la superficie total de los municipios

Cuadro 4.1. Comparación de la superficie de incendios (hectáreas) reportada para la porción de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán dentro de los municipios de Autlán de Navarro (AUT), Tolimán (TOL) y Tuxcacuesco (TUX) (A y B) y por CONAFOR (C) para la extensión total de los tres municipios en el periodo 2001-2014.

Año	A. Registros SIMIF-RBSM				B. Registros Brigadas RBSM				C. Registros CONAFOR				Diferencia totales C-A	Diferencia totales B-A
	Municipios			Total A	Municipios			Total B	Municipios			Total C		
	AUT	TOL	TUX			AUT	TOL		TUX		AUT		TOL	TUX
2001	1071.2	1341.7	228.5	2641.4	1188.0	1180.0	200.0	2568.0	177.0	0.0	5.0	182.0	-2459.4	-73.4
2002	3311.1	414.2	215.0	3940.4	3205.0	361.0	530.0	4096.0	0.0	30.0	0.0	30.0	-3910.4	155.6
2003	1203.2	354.6	707.5	2265.3	971.8	322.0	400.0	1693.8	59.0	0.0	0.0	59.0	-2206.3	-571.5
2004	566.7	0.0	390.1	956.8	485.0	125.0	125.0	735.0	5.0	0.0	0.0	5.0	-951.8	-221.8
2005	2751.3	975.5	4061.5	7788.3	1200.0	680.0	1200.0	3080.0	88.0	6.0	3.0	97.0	-7691.3	-4708.3
2006	117.1	128.5	0.0	245.6	118.0	216.0	175.0	509.0	128.0	0.0	2.0	130.0	-115.6	263.4
2007	580.8	446.8	1788.3	2815.8	587.0	175.0	175.0	937.0	495.0	353.0	10.0	858.0	-1957.8	-1878.8
2008	1840.6	68.6	2336.7	4245.9	2337.3	956.0	900.0	4193.3	960.0	0.0	0.0	960.0	-3285.9	-52.7
2009	1.5	0.0	6.5	8.0	143.5	sd	sd	143.5	664.5	30.0	0.0	694.5	686.5	135.5
2010	1755.0	0.0	2603.6	4358.6	1683.0	0.0	820.0	2503.0	1216.5	1450.0	545.0	3211.5	-1147.1	-1855.6
2011	4925.8	0.0	413.2	5339.1	1543.0	100.0	300.0	1943.0	427.5	0.0	1000.0	1427.5	-3911.6	-3396.1
2012	104.7	50.6	167.0	322.3	126.0	8.0	50.0	184.0	193.7	41.5	0.0	235.2	-87.1	-138.3
2013	1435.9	359.3	2387.0	4182.2	793.0	170.0	1813.0	2776.0	1.5	0.0	0.0	1.5	-4180.7	-1406.2
2014	258.5	0.6	6.7	265.8	118.9	0.3	6.0	125.2	274.5	0.0	7.0	281.5	15.7	-140.6
TOTAL	19923.4	4140.2	15311.7	39375.3	14499.5	4293.3	6694.0	25486.8	4690.2	1910.5	1572.0	8172.7	-31202.6	-13888.6
Media	1423.1	295.7	1093.7	2812.5	1035.7	330.3	514.9	1820.5	335.0	136.5	112.3	583.8	-2941.9	-992.0
ES	380.3	109.4	346.4	618.6	245.8	99.9	141.8	380.9	101.4	104.0	78.5	233.5	-601.9	-401.9

Fuente: Datos del SIMIF-RBSM de medición en campo (A) y reportes de brigadas de incendios para la RBSM (Balcázar 2011), y base de datos proporcionada a la JIRA por CONAFOR con registros de la Gerencia Regional VIII. Lerma-Santiago-Pacífico (C).

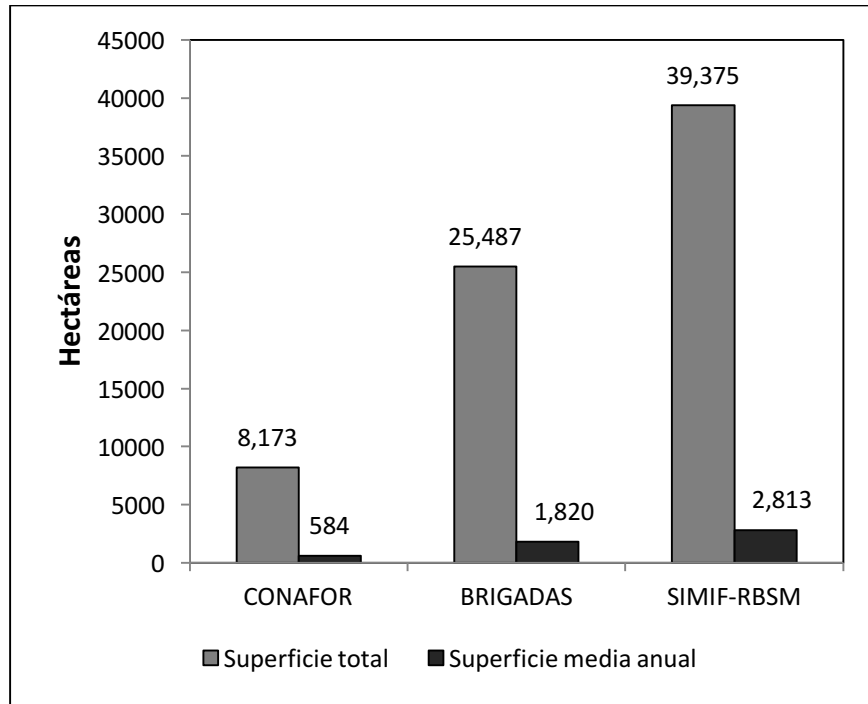


Figura 4.3. Comparación de la superficie total reportada para el periodo y superficie media anual de incendios reportada para los municipios de Atlán de Navarro, Toluán y Tuxcacuesco en el periodo 2001-2014. Las cifras de reportes de brigadas y SIMIF-RBSM corresponden solamente a la porción de los municipios dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán; los datos de registros de CONAFOR corresponden a la superficie total de los municipios.

Identificar qué tipos de vegetación se queman es fundamental para llevar a cabo acciones de manejo apropiadas para salvaguardar la integridad de los ecosistemas y atender las necesidades de los usufructuarios directos e indirectos de los recursos naturales.

Los registros de la base de datos de la CONAFOR sólo proporcionaron información de tipos de vegetación afectados por incendios para dos años (2007 y 2008). Del total del área afectada por los incendios (1,807 ha) para estos dos años de registro la selva baja caducifolia fue la que presentó mayor superficie quemada, representando el 43.0% (777 ha), el bosque de encino registra el 27% (490 ha), siguiendo con el bosque de pino-encino con el 24.3% (440 ha), el 3.8% (69 ha) se reporta para el tipo de vegetación que registra CONAFOR como “arbustos y matorral” y el 1.7% (31 ha) de la superficie quemada total se reporta para el bosque de pino.

Para el periodo de 2001-2014 la información de la superficie incendiada por tipo de vegetación (Figura 4.4) se obtuvo de la cruz del mapa de vegetación y uso del suelo 2014 (Mapa 6) con los polígonos de incendios evaluados (Mapa 9).

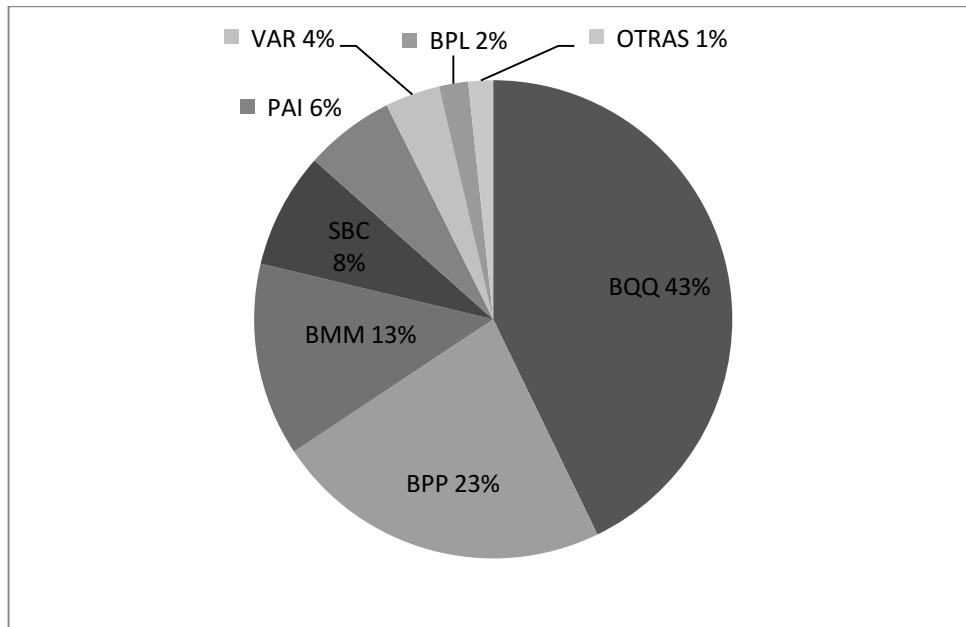


Figura 4.4. Porcentaje de la superficie por tipo de vegetación en la porción de los municipios de la JIRA en el periodo 2001-2014. (BQQ Bosque de encino, BPP Bosque de pino, BMM Bosque mesófilo de montaña, SBC Selva baja caducifolia, PAI Pastizales inducidos, VAR Vegetación de afloramientos rocosos, BPL Bosque de pino-latifoliadas, OTRAS incluye: MAS Matorrales secundarios BCL Bosque de Pino-oyamel-latifoliadas, ATP Agricultura de temporal, ERO Erosión, SMS Selva mediana subcaducifolia, RCO Afloramientos rocosos, CPO centros de población, AGUA cuerpos de agua, ARI Agricultura de riego y VGA Vegetación de galería).

La mayor superficie de incendios forestales se concentró en los bosques de encino (43%) y de pino (23%). La selva baja caducifolia cubre el 30.5% de la superficie forestal; sin embargo, en este tipo de vegetación solo se registró el 7.8% de la superficie quemada total de 2001-2014. En contraste, los incendios en bosque mesófilo de montaña, que ocupa el 4.4% de la superficie forestal, contribuyeron al 13.1% de la superficie total quemada.

En términos generales las proporciones de la superficie afectada por los incendios forestales por tipo de vegetación se mantuvieron en los catorce años (Figura 4.5). La proporción de área quemada total en el periodo 2001-2014 respecto a la superficie total de cada tipo de vegetación forestal fue de 62.0% en bosque de encino, 43.6% en bosque de pino-encino, 48.2% en bosque mesófilo de montaña y 3.0% en selva baja caducifolia.

En el caso de los bosques de encino y pino, que corresponden a ecosistemas propensos a incendios frecuentes, superficiales y de baja severidad (Agee 1993, Pyne *et al.* 1996, Jardel *et al.* 2009), los incendios registrados se encuentran dentro de la amplitud de la variación de su régimen de incendios potencial (Jardel *et al.* 2011). Debido a que en el periodo comprendido de 2001 a 2014 hubo una incidencia constante de incendios para el área que cubre terrenos con bosques de encino y pino en el área analizada que comprende superficie tanto de la RBSM como de la CMRA.

En las selvas bajas, a pesar de su extensión, el potencial de incendios es bajo, dadas las características de sus camas de combustibles (Michel-Fuentes 2010) y los incendios son infrecuentes (Jardel *et al.* 2009, 2011). En cambio, en el caso del bosque mesófilo de montaña, que es un tipo de ecosistema reacio al fuego (Jardel *et al.* 2009), es preocupante que el 13.1% de la superficie total de este tipo de vegetación se encontró dentro de los polígonos de incendios (Figura 4.1.6). Si bien el fuego no se propaga fácilmente dentro del bosque mesófilo, dada la persistencia de condiciones de humedad, los bordes de este tipo de vegetación son dañados por el fuego que proviene de áreas circundantes y en años extremadamente secos los efectos de los incendios pueden ser muy severos (Abjornsen y Gallardo 2004, Jardel *et al.* 2006). Además, el bosque mesófilo de montaña es considerado como una prioridad para la conservación por su valor e importancia ecológica y social por su biodiversidad y los servicios hidrológicos que proveen (INE 2000, Cuevas *et al.* 2010).

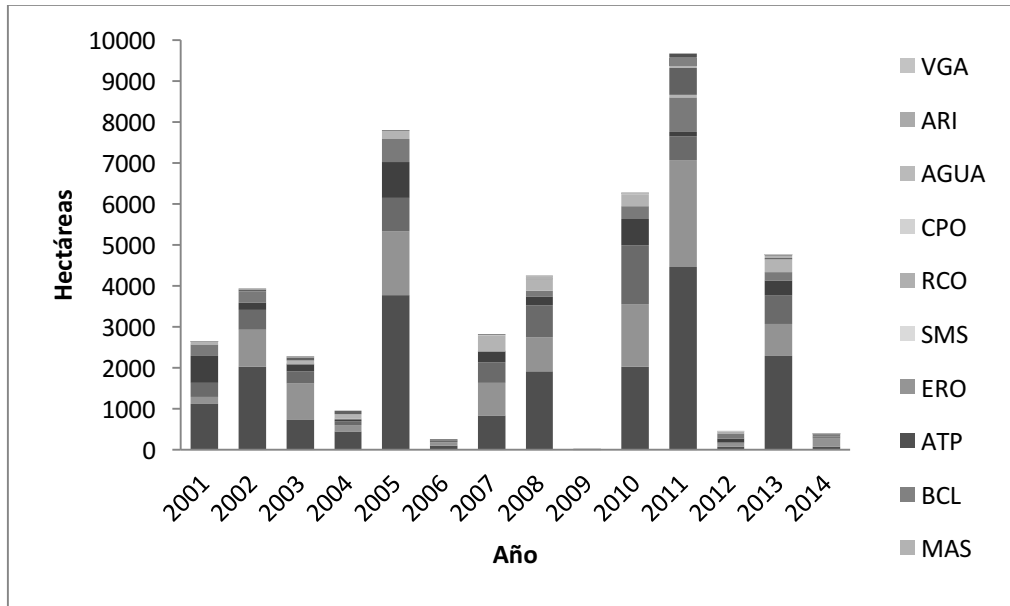


Figura 4.5. Variación interanual (2001-2014) en la superficie quemada por tipo de vegetación en la porción de los municipios de la JIRA. (BQQ Bosque de encino, BPP Bosque de pino, BMM Bosque mesófilo de montaña, SBC Selva baja caducifolia, PAI Pastizales inducidos, VAR Vegetación de afloramientos rocosos, BPL Bosque de pino-latifoliadas, MAS Matorrales secundarios BCL Bosque de Pino-oyamel-latifoliadas, ATP Agricultura de temporal, ERO Erosión, SMS Selva mediana subcaducifolia, RCO Afloramientos rocosos, CPO centros de población, AGUA cuerpos de agua, ARI Agricultura de riego y VGA Vegetación de galería).

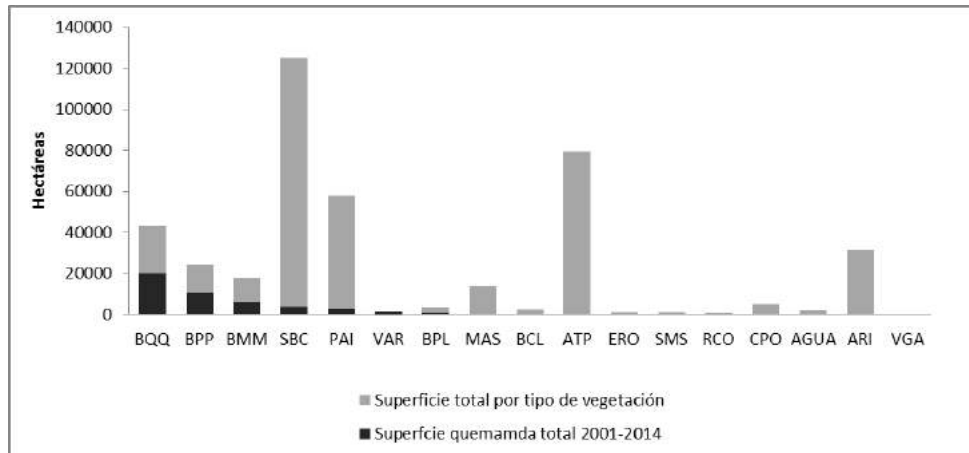


Figura 4.6. Superficie quemada total en el periodo 2001-2014 (barras oscuras) como proporción de la superficie total de cada tipo de vegetación (barras grises) de los municipios de la JIRA. (BQQ Bosque de encino, BPP Bosque de pino, BMM Bosque mesófilo de montaña, SBC Selva baja caducifolia, PAI Pastizales inducidos, VAR Vegetación de afloramientos rocosos, BPL Bosque de pino-latifoliadas, MAS Matorrales secundarios BCL Bosque de Pino-oyamel-latifoliadas, ATP Agricultura de temporal, ERO Erosión, SMS Selva mediana subcaducifolia, RCO Afloramientos rocosos, CPO centros de población, AGUA cuerpos de agua, ARI Agricultura de riego y VGA Vegetación de galería).

No existe certeza en cuanto a la superficie real afectada por el fuego en el bosque mesófilo de montaña. Como lo discute Balcázar (2011), en muchos de los polígonos de incendios que contienen bosque mesófilo sólo se afecta el perímetro de los rodales de este tipo de vegetación. Otro efecto del fuego es que arresta la sucesión eliminando a las latifoliadas sensibles al fuego que en ausencia de este factor tienden a remplazar a los pinos en los sitios húmedos (Jardel 2008).

4.1.2. Incendios forestales en el periodo 2010-2014 en los municipios de la JIRA

Considerando las limitaciones de la información disponible en los registros de la CONAFOR y que solo se cuenta con información adecuada para la porción de la CMRA dentro de la RBSM, la JIRA puso en marcha su propio sistema de información y monitoreo de incendios forestales. A continuación se presentan los resultados de los primeros años de registros.

En la temporada 2010 en los 10 municipios de la JIRA se registraron 23 incendios forestales, los cuales fueron delimitados en el campo, estimando su superficie (Figura 4.7).

La superficie total de los incendios registrados en 2010 en la CMRA y áreas adyacentes alcanzó 7,480.1 ha; de estas 6,839.7 ha quedaron dentro de los límites de los 10 municipios de la (Figura 4.7). Autlán de Navarro y San Gabriel presentaron el mayor número de incendios (7 y 5 respectivamente, figura 4.7a), mientras que la mayor superficie quemada se registró en Tuxcacuesco, seguido de Autlán de Navarro

y San Gabriel (Figura 4.7b). Tuxcacuesco y Tolimán presentaron la mayor superficie promedio por incendio, esto es, los incendios con mayor tamaño (Figura 4.7c).

La mayoría de los 23 incendios registrados fueron de extensión pequeña; 6 fueron menores a dos hectáreas, 4 fueron de pequeña extensión (2 a 20 ha), otros 4 de mediana extensión (20 a 100 ha) y 9 incendios fueron de extensión grande (mayor a 100 ha), esto si tomamos como referencia la media nacional que es aproximadamente de 30-40 ha (CONAFOR 2011) y los datos de la RBSM (Balcázar 2011). Sólo 2 incendios fueron mayores a 1,000 ha (Figura 4.8a). Los incendios con superficie mayor a 500 ha representaron el 65.4% de la superficie quemada total durante la temporada de 2010 (Figura 4.8b)

En la temporada 2010 no se observó una correspondencia entre la proporción de la superficie quemada total por municipio y el porcentaje de superficie forestal de la cuenca dentro de cada municipio (Figura 4.9). La mayor parte del área quemada se concentró en Tuxcacuesco (33.6%), Autlán de Navarro (29.1%) y Tonaya (11.6%) que respectivamente tienen el 10.9%, 19.3% y 6.0% de la superficie forestal de la CMRA.

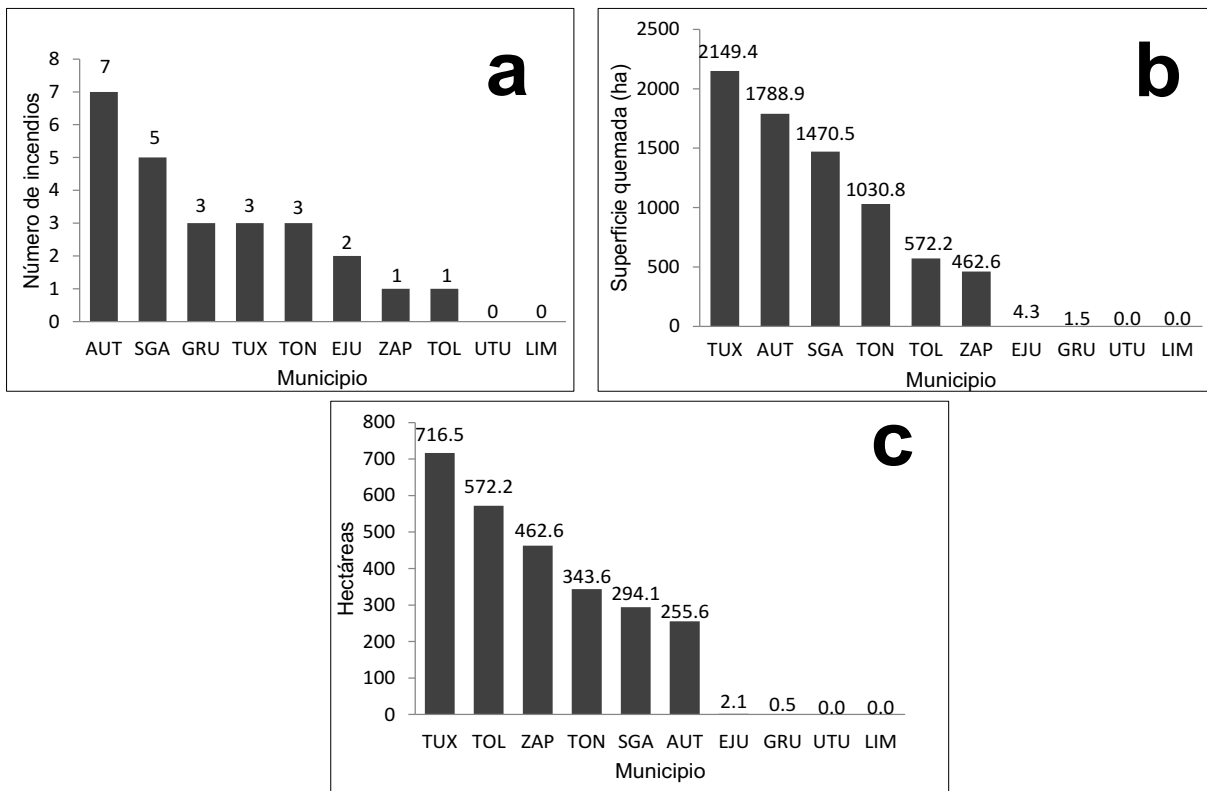


Figura 4.7 (a) Número de incendios, (b) superficies quemadas y (c) superficie quemada sobre el número de incendio en los diez municipios de la JIRA (AUT Autlán de Navarro, EJU Ejutla, GRU El Grullo, LIM El Limón, SGA San Gabriel, TOL Tolimán, TON Tonaya, TUX Tuxcacuesco, UTU Unión de Tula y ZAP Zapotitlán de Vadillo).

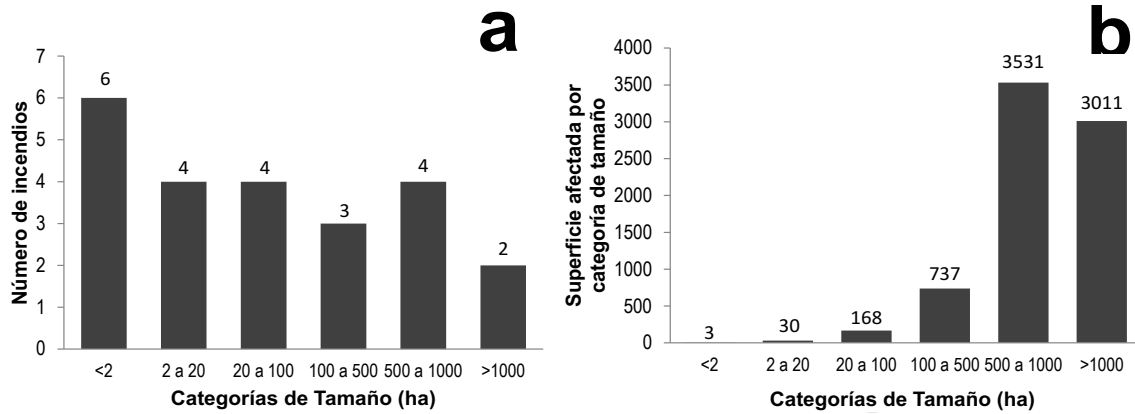


Figura 4.8. Distribución de tamaños. (a) Número de incendios por categoría de tamaño y (b) superficie quemada en hectáreas por categoría de tamaños.

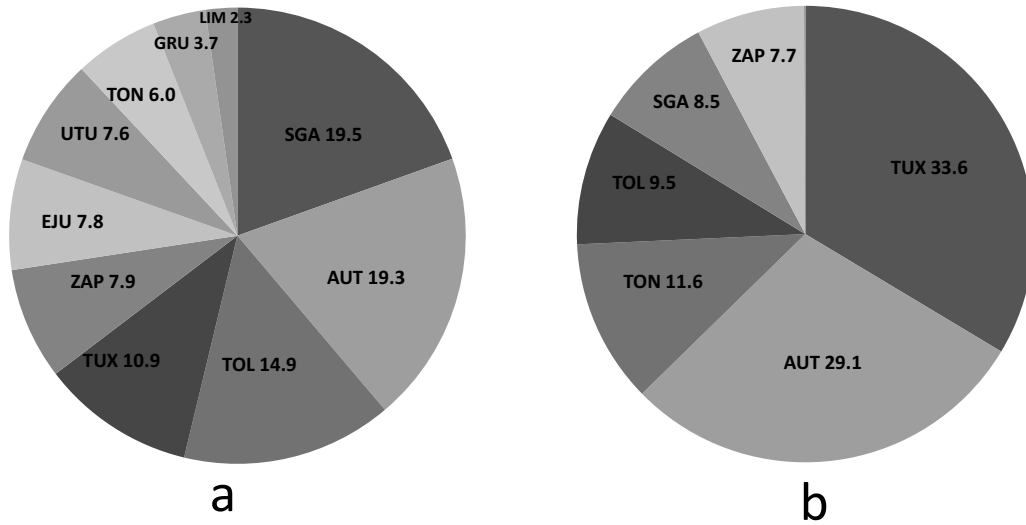


Figura 4.9. (a) Porcentaje de la superficie forestal de la CMRA por municipio. (b) Porcentaje de la superficie quemada total por municipio. Los municipios de El Grullo y Ejutla no figuran debido a que los incendios ocurridos en estos tuvieron una extensión muy pequeña.

4.2. Causas de incendios forestales

Para el análisis de las causas de los incendios, este se dividió en tres partes de acuerdo con el origen de la información: los registros proporcionados por la CONAFOR que cubren solamente el periodo 2005-2014 (para 2001-2004 no se reportan las causas),

las reportadas en el SIMIF-RBSM para el área protegida dentro de los municipios de Autlán de Navarro, Tuxcacuesco y Tolimán en el periodo 2001-2014 y las causas registradas para 2010.

De acuerdo con los registros de CONAFOR, la principal causa de incendios en la CMRA fueron las “actividades agropecuarias”, que originaron el 52.3 % de los incendios; para el 10.5 % de los incendios la causa no fue determinada (Figura 4.8).

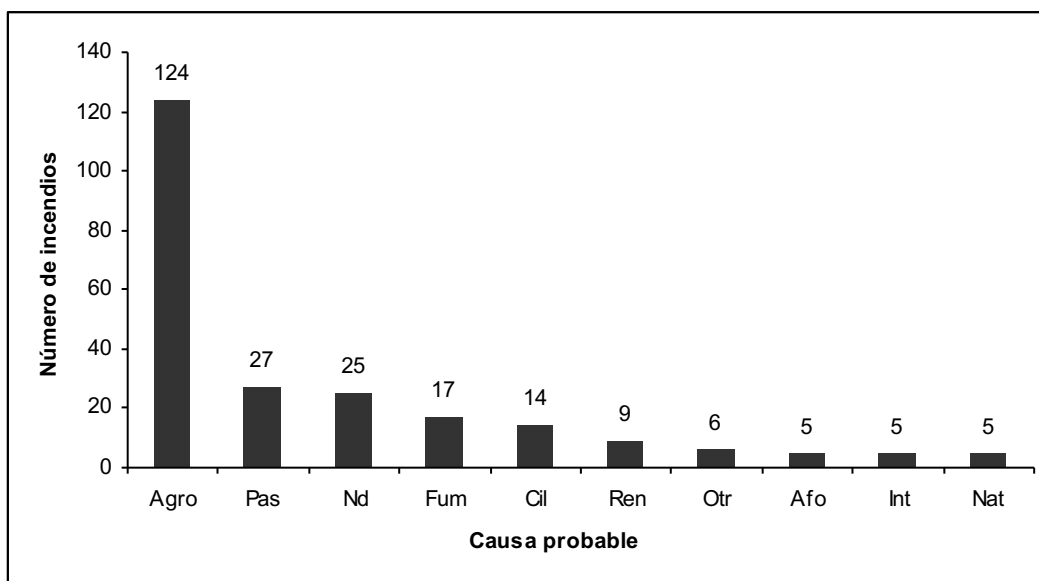


Figura 4.8. Número de incendios por tipo de causas reportadas en los registros de la CONAFOR para el periodo 2005-2014 (Agro, actividades agropecuarias; Pas, paseantes; Nd, causa no determinada; Fum, fumadores; Cil, cultivos ilícitos; Ren, rencillas y litigios; Otr, otras causas que incluyen cazadores furtivos, transportistas, quema de basurero y causas desconocidas; Afo, actividades forestales; Int, incendios intencionales; Nat, rayos y erupciones volcánicas.

En el caso de la porción de la RBSM dentro de los municipios de Autlán de Navarro, Tolimán y Tuxcacuesco, el SIMIF reportó también como causa principal las actividades agropecuarias (43 de 131 incendios, esto es, el 32.8%). La segunda causa en importancia fueron los incendios intencionales (29.8%) y la tercera los cultivos ilegales (21.4%); solo en 10 incendios (7.6%) la causa no fue determinada (Figura 4.9).

Como ha sido discutido en otros trabajos (Jardel *et al.* 2006, Balcázar 2011), no hay realmente un procedimiento de investigación de causas de los incendios y las causas reportadas se basan en apreciaciones de las brigadas de combate de incendios. Ante la falta de rigor en la toma de un dato esencial para el manejo del fuego, no existe información adecuada para fundamentar acciones de prevención de incendios. Por ejemplo, en la causa “actividades agropecuarias” se mezclan en realidad tres tipos diferentes de factores que originan los incendios: el escape accidental del fuego durante la quema de parcelas agrícolas, la quema de agostaderos cerriles para favorecer el rebrote de plantas forrajeras y la quema para desmontar áreas boscosas como parte de procesos de cambio de uso del suelo (Balcázar 2011).

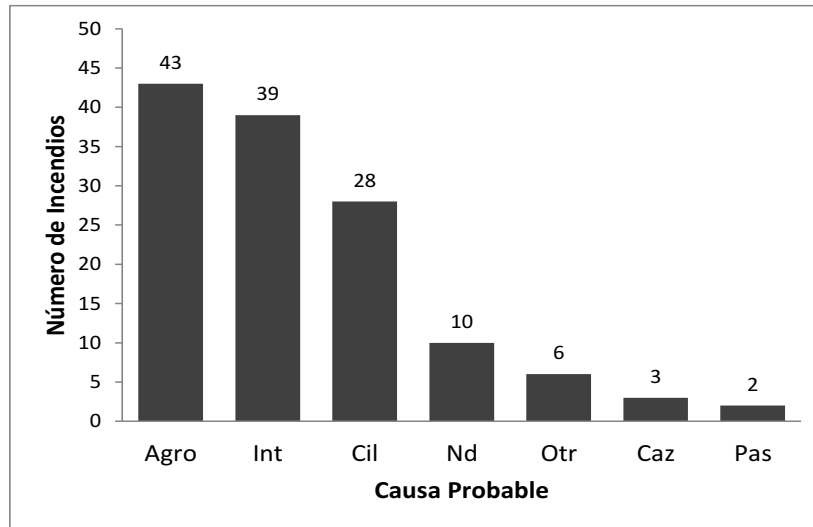


Figura 4.9. Número de incendios por tipo de causas reportadas en SIMIF-RBSM (Balcázar 2011) para la porción de la reserva en los municipios de Autlán de Navarro, Tolimán y Tuxcacuesco (Agro, actividades agropecuarias; Int, incendios intencionales; Cil, cultivos ilícitos; Nd, causa no determinada; Otr, otras causas; Caz, cazadores furtivos, y Pas, paseantes).

Al tratarse de causas diferentes, esto implica también diferentes intervenciones de prevención de incendios; por ejemplo, en los incendios accidentales generados por las quemas de cultivo agrícola deberían aplicarse las recomendaciones de la NOM-015 (programación de las quemas, construcción de guardarrayas, vigilancia de la quema, aviso a las brigadas de combate para intervenir en caso de accidente, etc.), mientras que las quemas de agostaderos deberían ser reguladas y manejadas como quemas prescritas, o bien en ambos casos se deberían buscar alternativas para reducir o eliminar el uso del fuego (Jardel *et al.* 2006). Las quemas de desmonte, en cambio, son esencialmente un problema de prevención del cambio de uso del suelo y, por lo tanto, requieren de intervenciones de manejo diferentes, desde la aplicación de las sanciones previstas por la ley hasta la aplicación de incentivos para la conservación de la cubierta forestal (Balcázar 2011).

La proporción de incendios intencionales dentro de la RBSM en los municipios de Autlán de Navarro, Tolimán y Tuxcacuesco es alta e indica conflictos ya sea con la misma reserva o entre propietarios por problemas de tenencia de la tierra; así mismo, como este tipo de causa pueden estarse reportando también quemas de desmonte (cambio de uso del suelo) o causadas por quemas de agostaderos o quemas asociadas a cultivos ilícitos (Jardel *et al.* 2006, Balcázar 2011). En el caso de estos últimos, el fuego es utilizado para la limpia y preparación del terreno para la siembra, como en cualquier cultivo agrícola, o para eliminar rastros del cultivo ilegal, pero se deja deliberadamente que el fuego se extienda por el bosque para evitar la localización de las parcelas.

Otras causas menores de incendios, reportadas tanto por CONAFOR como en el SIMIF-RBSM son descuidos de fogatas por paseantes, uso del fuego por cazadores, y descargas eléctricas (rayos); esta última es la única causa no antropogénica y su

incidencia es reducida en gran parte debido a que es mucho mayor el número de igniciones causadas por actividades humanas. Una causa relativamente importante en los registros de CONAFOR son los fumadores; sin embargo no está confirmado, en la mayor parte de los casos, que tirar colillas de cigarro encendidas puedan iniciar un incendio; esto solo ocurre en condiciones muy secas y en lugares con abundantes combustibles finos. Otra cuestión remarcable es el elevado número de incendios sin causa determinada en los registros de CONAFOR.

La fogura 4.10 muestra los resultados del número de incendios por tipo de causas reportadas en la temporada 2010. De acuerdo con los reportes, 9 incendios (39.1%) fueron causados por quemas agropecuarias, 6 (26.1%) por cultivos ilícitos y el resto por otras causas; los tres incendios que aparecen con causa no determinada, no fueron combatidos y por lo tanto no se reportaron, pero fueron detectados durante el trabajo de medición en campo.

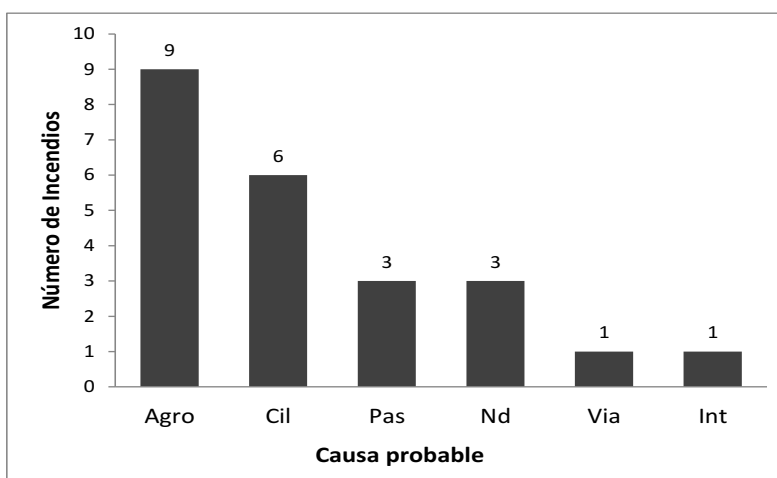


Figura 4.10. Número de incendios por tipo de causas reportadas para los incendios de la temporada de 2010 en la CMRA. (Agro, actividades agropecuarias; Cil, cultivos ilícitos; Pas, paseantes; Nd, causas no determinadas; Via, viajeros; Int, intencional) (Datos absolutos en anexo 10.5).

A partir de las observaciones en campo, las causas de los incendios reportadas por las brigadas fueron reclasificadas considerando las evidencias disponibles de la causa más probable y los resultados aparecen en el cuadro 4.2.1, incluyendo además del número de incendios por causa su superficie. El mayor número de incendios (ocho) fueron originados por quemas agropecuarias, de los cuales solo tres tuvieron como causa probable el escape accidental del fuego en quemas de cultivo, dos fueron originados por quemas de agostaderos y tres por quemas para desmontar (cambio de uso del suelo). La segunda causa en importancia por número de incendios fueron los cultivos ilícitos (7 incendios) y la tercera los incendios causados por paseantes (4 incendios). Al considerar la superficie quemada durante el año 2010 por tipo de causa, puede verse que los incendios provocados por cultivos ilegales representan el 67.2% del total de la superficie quemada en la CMRA (Cuadro 4.2.1). Los incendios generados por causas agropecuarias aportaron en conjunto 32.7%, pero la superficie afectada por quemas de desmonte fue mayor que la afectada por quemas de cultivo. Los

incendios causados por paseantes fueron de pequeña extensión. Estos resultados muestran claramente que la mayor causa de incendios en términos de superficie afectada son los cultivos ilegales y en segundo lugar las quemas agropecuarias, con una proporción relativamente alta de incendios provocados por cambios de uso del suelo. A pesar de que el 40.4% de la superficie de los municipios de la JIRA está dedicada a agricultura y pastizales, la superficie afectada por incendios causados por quemas de cultivo fue relativamente baja (Cuadro 4.2.).

Cuadro 4.2. Número de incendios y superficie quemada por tipo de causa probable, reclasificados durante las mediciones de campo, para el año 2010.

Causa	Número de incendios	%	Superficie quemada (ha)	%
Quema de cultivo	3	13.0	998.6	13.4
Quema de agostaderos	2	8.7	123.5	1.7
Quema de desmonte	3	13.0	1,320.1	17.6
Cultivos ilegales	7	30.4	5,024.5	67.2
Paseantes	4	17.4	5.3	0.1
Intencional	1	4.3	3.9	0.1
No determinado	3	13.0	4.2	0.1
Total	23	100.0	7,480.1	100.0

4.3. Riesgo de incendios

Riesgo de incendios se refiere a la probabilidad de ignición y propagación de incendios forestales, relacionada con: (a) las condiciones meteorológicas que determinan la eficiencia de ignición (combustible disponible o lo suficientemente seco para arder), fuentes de ignición como caída de rayo y las condiciones de estado del tiempo que favorecen la propagación del fuego, y (b) el inicio de incendios antropogénicos en el tiempo (por ejemplo, estacionalidad de las quemas agropecuarias) y espacio (áreas de riesgo en la interface forestal/agrícola o forestal/urbana).

El Mapa 10 presenta las áreas de riesgo de incendios antropogénicos, asociados principalmente a la agricultura. Los mapas 12, 13 y 14 integraron la información sobre riesgo de incendios asociado a las condiciones meteorológicas con las condiciones del complejo de combustibles que representan el peligro asociado al comportamiento potencial del fuego.

En la descripción de las condiciones climáticas de la sección 3 (caracterización de la región), puede observarse que la temporada de incendios, correspondiente a la estación seca del año, se extiende desde diciembre a la primera quincena de junio,

siendo el periodo de mayor riesgo el periodo de abril a mayo (e incluso principios de junio) cuando hay mayor déficit de humedad (Figs. 3.4, 3.5, 3.6 y 3.8).

4.4. Combustibles forestales y potencial de incendios

Aunque se han hecho varios trabajos de caracterización y clasificación del complejo de combustibles del área de estudio (Alvarado *et al.* 2008, Michel 2010), aún hace falta un trabajo más amplio que permita contar con mejor información, especialmente con mapas, de las condiciones del complejo de combustibles de la región. El Mapa 11 presenta una tipología preliminar de camas de combustibles relacionada con los modelos de combustibles utilizados en la simulación de comportamiento del fuego, el combate de incendios y la planeación de quemas prescritas (Scott y Burgan 2005).

4.4.1. Peligro de incendios

Peligro de incendios se refiere a los efectos potenciales del fuego en las áreas forestales, vidas y propiedades humanas y resistencia del fuego a las acciones de combate y control. Esto está determinado por los factores del “triángulo del ambiente del fuego”, en primer lugar por los combustibles forestales y por las condiciones topográficas y de estado del tiempo.

Considerando las condiciones del complejo de combustibles, la topografía y el estado del tiempo atmosférico durante la estación de incendios, de acuerdo con el clima de la región, e incorporando información de personal de combate de incendios experimentado, se hizo un ejercicio de caracterización del peligro potencial de incendios, cuyos resultados se presentan en los mapas 12, 13 y 14.

El cuadro 4.3 presenta los criterios utilizados para elaborar estos mapas; se consideró el potencial de incendios de las camas de combustibles y las condiciones climatológicas sintetizadas en la razón de evapotranspiración potencial (que es función de la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración potencial) como indicador de la humedad.

Los mapas muestran el peligro potencial de incendios en función de las condiciones anuales promedio (Mapa 12), las condiciones al inicio de la temporada de incendios en diciembre (Mapa 13) y durante la temporada de condiciones más críticas durante el mes de mayo (Mapa 14).

Cuadro 4.3. Peligro potencial de incendios en función del tipo de combustible y las condiciones de humedad ambiente. Los tipos de combustibles corresponden a los modelos de Scott y Burgan (2005).

N	Modelo de combustible	Potencial de incendios	Razon de Evapotranspiración Potencial				
			Húmedo (0.5-1.0)	Subhúmedo (1.0-2.0)	Seco (2.0-4.0)	Muy seco (4.0-8.0)	Ext. seco (>8.0)
1	GR1	2. Bajo superficial ligero	0. Nulo	1. Bajo P	1. Bajo P	2. Medio P	2. Medio P
2	GR3/GR8	4. Medio	0. Nulo	2. Medio P	3. Alto P	3. Alto P	3. Alto P
3	GR5	5. Medio alto	0. Nulo	3. Alto P	3. Alto P	3. Alto P	3. Alto P
4	SH2	4. Medio	0. Nulo	4. Bajo B	4. Bajo B	5. Medio B	5. Medio B
5	SH3	4. Medio	0. Nulo	4. Bajo B	5. Medio B	5. Medio B	5. Medio B
6	TU1	1. Muy bajo superficial ligero	0. Nulo	4. BajoB	4. Bajo B	4. Bajo B	5. Medio B
7	TL2	3. Medio bajo superficial ligero	0. Nulo	4. Bajo B	4. Bajo B	5. Medio B	5. Medio B
8	TL8	6. Alto	4. Bajo B	5. Medio B	6. Alto B	7. Muy Alto B	7. Muy Alto B
9	TL9	6. Alto	4. Bajo B	5. Medio B	6. Alto B	6. Alto B	7. Muy Alto B
10	TU5	7. Muy alto	4. Bajo B	6. Alto B	6. Alto B	7. Muy Alto B	7. Muy Alto B
11	TL5	8. Extremadamente alto	4. Bajo B	6. Alto B	7. Muy Alto B	7. Muy Alto B	7. Muy Alto B
12	GR1	9. Quemias	0. Nulo	8. Bajo A	9. Medio A	10. Alto A	10. Alto A
13	NB3 (GR9)	10. Quemias	0. Nulo	8. Bajo A	8. Bajo A	9. Medio A	10. Alto A
14	NB9 (NB2)	0. Nulo	0. Nulo	0. Nulo	0. Nulo	0. Nulo	0. Nulo
15	NB1	Centros de población	11	11	11	11	11
16	NB8	Cuerpos de agua	12	12	12	12	12

4.5. Régimen de incendios

Un aspecto básico para la planificación del manejo del fuego, como ya se señaló en la sección 2 al presentar el marco conceptual, es la clasificación de los ecosistemas de la unidad de manejo por su régimen potencial de incendios forestales. Como se discute en otros trabajos (Jardel 2010, Jardel *et al.* 2009, 2014), partiendo de la revisión de los principios de la ecología del fuego a escala del paisaje (McKenzie *et al.* 2011) y diversos estudios sobre regímenes de incendios (Agee 1993, Schmidt *et al.* 2002, Sughiara *et al.* 2006), la tipología de regímenes de incendios que establece la NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007, que se reduce a tres condiciones (ecosistemas mantenidos, influenciados, sensibles o independientes al fuego), es muy limitada para caracterizar la variabilidad existente en una región tan heterogénea en sus condiciones ecológicas como lo es la región de la JIRA.

El régimen potencial de incendios de los ecosistemas terrestres de la región de la JIRA fue determinado a partir del modelo conceptual descrito en el trabajo de Jardel *et al.* (2014), que se presenta en la figura 4.11. Se tomó como base un estudio preliminar sobre el régimen potencial de incendios de la región (Jardel *et al.* 2010) y se actualizó con nueva información disponible.

Se definieron categorías de los atributos de frecuencia (intervalo de retorno), intensidad (como tipo de incendio) y severidad de los incendios (cuadro 2.1), de acuerdo con el modelo conceptual descrito en Jardel *et al.* (2010, 2014) que se ilustra

en la figura 4.11, para elaborar los gráficos tridimensionales (Fig. 4.12) que corresponden a los modelos de regímenes de incendios presentados por Jardel *et al.* (2009, 2014), que fueron revisados y ajustados como se muestra en el cuadro 4.4. Se utilizó un método basado en reglas de decisión (McKenzie *et al.* 2007) para mapear los regímenes de incendios, asignando a las unidades de paisaje el régimen de incendios correspondiente de acuerdo con el modelo conceptual (Fig. 4.11) y los criterios establecidos en el cuadro 2.1. El resultado fue examinado a partir de la revisión de la literatura sobre ecología del fuego y estudios realizados en la región (Jardel 1991, 2008, Jardel *et al.* 2006, Castillo 2007, Rubio 2007, Michel 2010, Vargas 2010, Balcázar 2011) y sobre tipos de geosistemas del mundo análogos a los que se encuentran en el área de estudio. Finalmente el resultado fue sometido a una consulta con expertos, incluyendo tanto a científicos como a técnicos y prácticos con experiencia de campo en el combate de incendios y el manejo del fuego.

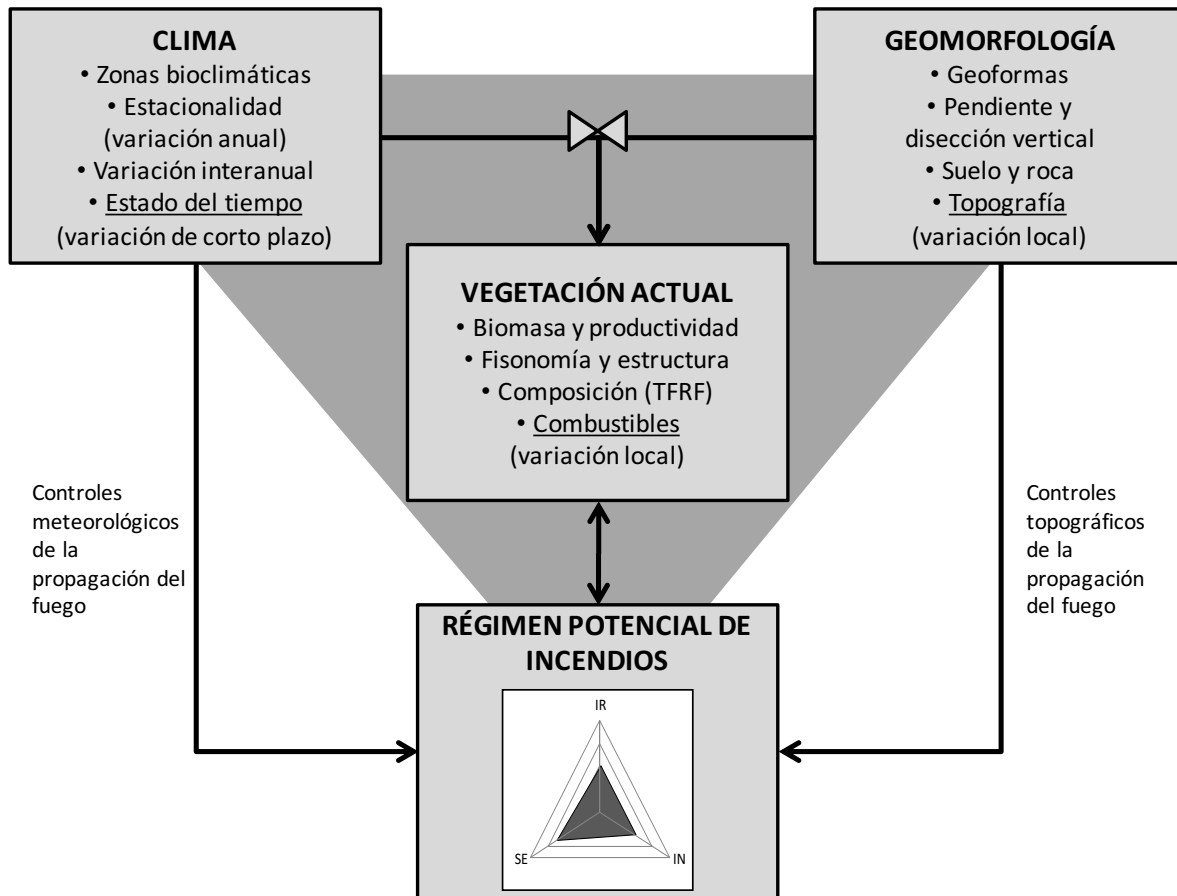


Figura 4.11. Modelo conceptual de los factores ambientales que controlan el régimen potencial de incendios (RPI) a escala del paisaje. Las relaciones entre los controles ambientales (clima, geomorfología y vegetación) y las variables del RPI se describen en la sección de marco conceptual y el cuadro 2.1. Véase también Jardel *et al.* (2014).

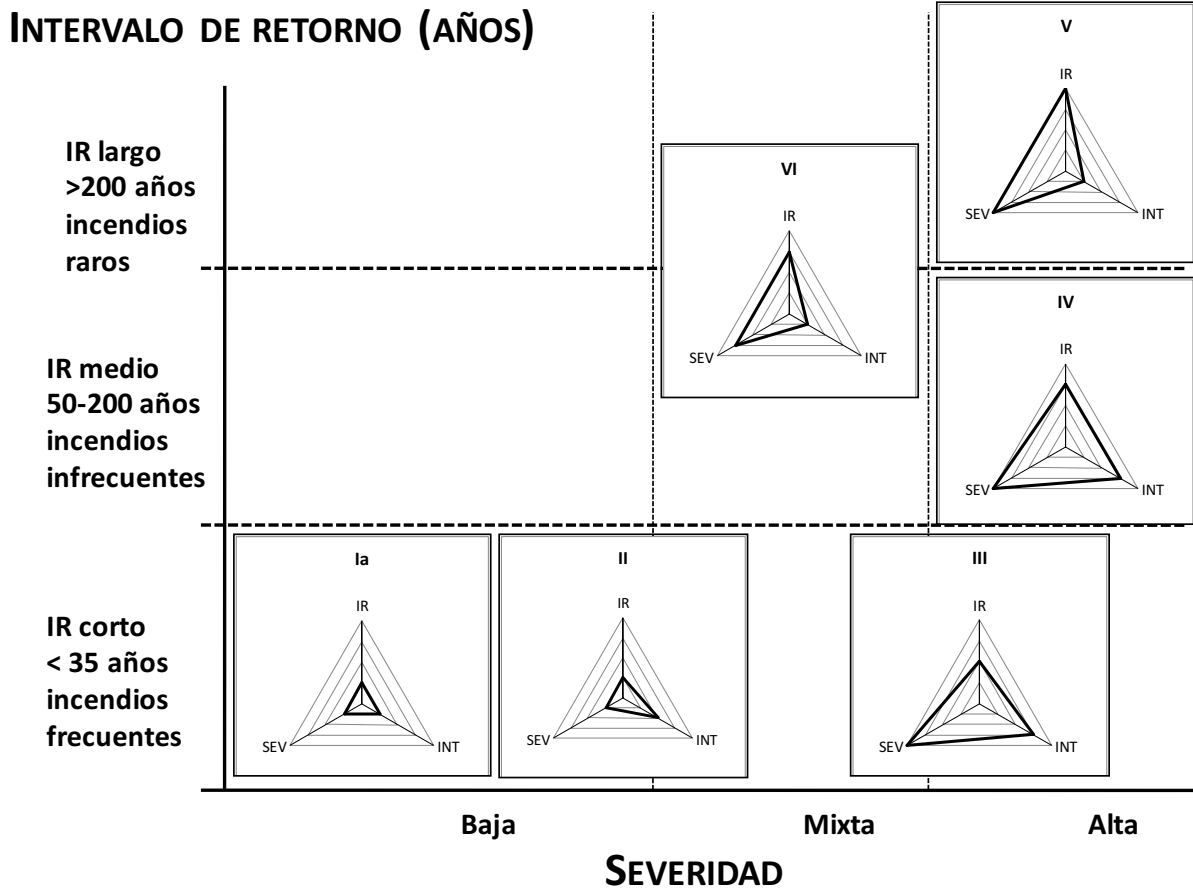


Figura 4.12. Los tipos de regímenes de incendios, representados por el gráfico de tres dimensiones (donde IR es el intervalo de retorno, INT la intensidad y SEV la severidad), están relacionados con las zonas bioclimáticas definidas por los gradientes de humedad (eje x) y temperatura (eje y). Se muestra la distribución aproximada de los geoecosistemas de la región (siglas de las categorías de acuerdo con la figura 6 y el cuadro 5). Los asteriscos indican condiciones de variación determinadas por la geomorfología y los suelos como QMK y QQK, bosques de encino sobre suelos derivados de calizas, PHA, pastizal halófilo sobre suelos salinos y CIM, cimas de montaña (roca desnuda sin vegetación aparente).

El cuadro 4.4. presenta una descripción de las unidades de paisaje y los criterios para asignar el régimen potencial de incendios y elaborar el mapa correspondiente (Mapa 15).

Cuadro 4.4. Condiciones de vegetación, clima y geomorfología de los geosistemas (unidades de paisaje) de la región Sierra de Manantlán-Cuenca del Río Ayuquila y criterios utilizados en la asignación de los tipos de régimen potencial de incendios.

Vegetación	Clima	Geomorfología y suelos	Criterios	Régimen potencial
ZAC– Zacatonal de alta montaña	Transición del clima frío, E, a templado subhúmedo con verano fresco, Cb. Estación seca larga (6-7 meses)..	Cimas y laderas de alta montaña, con pendientes moderadas a fuertes. Suelos: litosoles, regosoles o andosoles, sobre rocas ígneas extrusivas del Terciario y Cuaternario y cenizas volcánicas recientes.	Pastizales densos, formando una cama de combustibles continua (excepto en el límite superior de distribución de la vegetación donde es más dispersa). La baja temperatura limita el establecimiento de árboles. La probabilidad de incendios es alta por la duración de la sequía y la disponibilidad de combustible. Los incendios pueden ser causados por rayos o propagarse desde las partes bajas de las montañas. Los combustibles finos superficiales, altamente inflamables, pueden mantener incendios superficiales ligeros. La exposición a vientos fuertes y las pendientes fuertes favorecen la propagación del fuego. Las plantas dominantes (zacates amacollados) son resistentes al fuego y presentan alta capacidad de rebrote post-incendio.	I(a) Incendios superficiales ligeros, frecuentes, de baja severidad.
PHA– Pastizal halófilo	Seco estepario cálido, BS. Estación seca larga >6 meses.	Llanuras inundables estacionalmente, con suelos salinos sobre sedimentos aluviales del Cuaternario.	Pastizales bajos y ralos, con conectividad horizontal, pero baja acumulación de combustibles poco inflamables. Los suelos salinos limitan el crecimiento de la vegetación. Los incendios pueden propagarse durante la temporada seca que es larga, pero la humedad del terreno reduce el período en el cual hay combustible disponible. Los pastos rebrotan durante la temporada de crecimiento inmediata al incendio.	I(b) Incendios superficiales ligeros, infrecuentes, de baja severidad.
PAM – Pinar de alta montaña	Templado subhúmedo con verano fresco, Cb, en transición a frío, E. Estación seca larga (6-7 meses).	Cimas y laderas de alta montaña, convexas, con pendientes moderadas a fuertes. Suelos: litosoles, regosoles o andosoles, sobre rocas ígneas extrusivas (T y C) y cenizas volcánicas recientes.	Bosques abiertos de pino (<i>Pinus hartwegii</i>) con zacatonal. El estrato herbáceo y la hojarasca de pinos forman una cama de combustibles continua, altamente inflamable, que puede mantener incendios superficiales de ligeros a intensos. La temperatura limita el crecimiento de las plantas, pero también la descomposición, permitiendo la acumulación de combustibles. La conectividad vertical de estos es baja. Las plantas dominantes son semilladoras (pinos) y rebrotadoras (zacates) resistentes al fuego.	II Incendios superficiales ligeros, frecuentes, de baja severidad.

Cuadro 4.4. (Continuación).

Vegetación	Clima	Geomorfología y suelos	Criterios	Régimen potencial
PPQ – Bosque de pino-encino	Templado subhúmedo con verano cálido, Ca, a elevaciones intermedias (1500-2500 m) y templado subhúmedo con verano fresco, Cb, en elevaciones arriba de 2500 m. Temporada seca larga (6-7 meses).	Laderas de montaña con fuerte disección vertical, pendientes fuertes a muy fuertes, predominantemente convexas. Suelos: regosoles, acrisoles, andosoles o litosoles sobre rocas ígneas extrusivas del Terciario.	Bosques densos dominados por pino, con mezcla de encinos y otras latifoliadas esclerófilas; sotobosques de arbustos o pastos de densidad variable. Baja continuidad vertical de los combustibles. Abundancia de combustibles finos (hojarasca de pino), altamente inflamable y continua. Condiciones húmedas y relativamente cálidas durante el verano permiten una alta productividad de la vegetación; la hojarasca (resinosa y esclerófila) es resistente a la descomposición y se acumula. La tasa de reconstrucción del combustible superficial post-incendio es rápida. La temporada de sequía es larga y las pendientes fuertes en geoformas convexas generan condiciones secas. La topografía, los combustibles y el clima favorecen la propagación de incendios superficiales intensos (ligeros con tiempo húmedo). Ocasionalmente ocurren incendios de severidad mixta después de intervalos largos de tiempo sin incendios. Predominan especies resistentes al fuego, que regeneran en claros por semilla (pinos) o rebrotadoras (encinos).	II Incendios superficiales intensos, frecuentes, de baja severidad.
QQP – Bosque de encino	Semicálido subhúmedo (A)C. Temporada seca larga (6-7 meses) y cálida.	Laderas bajas o medias de montaña y colinas con pendientes moderada a fuertes y muy fuerte, predominantemente convexas. Suelos: regosoles y litosoles sobre rocas ígneas extrusivas del Terciario y rocas ígneas intrusivas del Cretácico.	Bosques densos, dominados por encinos, con pinos dispersos que llegan a ser subdominantes; sotobosque ralo. Baja continuidad vertical del combustible. El hábito caducifolio de los encinos y la esclerofilia de las hojas resistentes a la descomposición, favorece una alta acumulación de capas gruesas de hojarasca con baja densidad, inflamables. Las condiciones secas por el clima y la topografía y la acumulación de hojarasca favorecen incendios superficiales ligeros, que pueden ser intensos en posiciones topográficas altas. Las especies arbóreas son resistentes al fuego y presentan alta capacidad de rebrote.	II Incendios superficiales ligeros a intensos, frecuentes, de baja severidad.

Cuadro 4.4. (Continuación).

Vegetación	Clima	Geomorfología y suelos	Criterios	Régimen potencial
QPK – Bosque de encino-pino	Semicálido subhúmedo (A)C y transición a templado subhúmedo con verano cálido. Temporada seca larga (6-7 meses) y cálida.	Laderas altas de montaña con pendientes fuertes, convexas. Suelos: regosoles, litosoles o cambisoles, sobre roca caliza del Cretácico.	Matriz de bosques mixtos de encino-pino, con parches de bosque de pino-encino; sotobosque generalmente abierto. Baja continuidad vertical del combustible. El hábito caducifolio de los encinos y la esclerofilia de las hojas de encinos y pinos, las hace resistentes a la descomposición y favorece la acumulación de capas gruesas de hojarasca con baja densidad, inflamables. Las condiciones secas por el clima y la topografía y la acumulación de hojarasca favorecen incendios superficiales ligeros, que pueden ser intensos en posiciones topográficas altas. En sitios con pendientes moderadas se forman capas de fermentación densas y se encuentran suelos ricos en humus que ocasionalmente pueden mantener incendios subterráneos. Predominan especies resistentes al fuego (pinos, encinos), rebrotadoras (encinos, madroños) o semilladoras (pinos) que regeneran en claros.	II Incendios superficiales ligeros a intensos, frecuentes, de baja severidad.
BCL – Bosque de coníferas y latifoliadas	Templado subhúmedo con verano cálido, Ca, a elevaciones intermedias (1500-2500 m) y templado subhúmedo con verano fresco, Cb, en elevaciones arriba de 2500 m. Temporada seca larga (6-7 meses).	Complejo de geoformas cóncavas (hondonadas o “joyas” y barrancas) y convexas (colinas y cimas) en las partes altas de las montañas. Pendientes de moderadas a fuertes. Suelos: cambisoles, sobre rocas ígneas extrusivas del Terciario.	Las condiciones geomorfológicas crean gradientes topoedáficos y un mosaico complejo de vegetación, con rodales de pino-encino en geoformas convexas secas y rodales de latifoliadas (bosque mesófilo) en geoformas cóncavas húmedas, con rodales mixtos de pino-latifoliadas en condiciones intermedias y de oyamel-pino-encino en los sitios más fríos por elevación (clima Cb) o exposición norte. Esto produce una marcada variación de camas de combustibles y una mezcla de especies resistentes y sensibles al fuego. A la escala cartográfica utilizada en este estudio, los rodales que forman el mosaico de las distintas condiciones de vegetación-geomorfología (correspondiente a las unidades de vegetación PPQ, BOY y bosques mixtos de pino-latifoliadas) no son perceptibles, por lo cual se agruparon en una sola categoría con condiciones mezcladas.	Mixto (II-IV-V) Incendios de intensidad, frecuencia variable y severidad mixta.

Cuadro 4.4 (Continuación).

Vegetación	Clima	Geomorfología y suelos	Criterios	Régimen potencial
BOY – Bosque de oyamel	Templado subhúmedo con verano fresco Cb y estación seca corta (3-4 meses).	Laderas altas de montaña con pendientes fuertes, convexas, con hondonadas y barrancas, con pendientes de moderadas a fuertes. Suelos: andosoles y cambisoles sobre rocas ígneas extrusivas del Terciario y Cuaternario.	Bosque denso de oyamel (<i>Abies religiosa</i>), con parches mezclados de pinos y encinos. La arquitectura de las copas de los oyameles y la densidad del sotobosque dan lugar a una alta conectividad vertical del combustible. Las condiciones húmedas del clima favorecen tasas relativamente altas de productividad primaria, mientras que el tipo de hojarasca (resinosa y esclerófila) y temperaturas bajas en invierno limitan la descomposición del mantillo; se forman capas de hojarasca y de fermentación densas, que conservan humedad, pero que al secarse son inflamables y pueden mantener incendios superficiales intensos, con combustión sin llama prolongada, y que dada la conectividad vertical y horizontal de los combustibles pueden potencialmente convertirse en incendio de copa pasivos o incluso activos. La especie dominante es poco resistente al fuego, pero tiene alta capacidad de reproducción por semilla y regenera en claros abiertos por los incendios.	IV Incendios de copa, infrecuentes, de severidad alta (reemplazo de rodales)..
BMM – Bosque mesófilo de montaña	Templado subhúmedo con verano cálido, Ca, temporada seca larga pero moderada por condiciones húmedas por la geomorfología o exposición a neblinas frecuentes.	Geoformas convexas (hondonadas) en partes altas de montañas o en laderas (barrancas). Suelos: cambisoles y regosoles, sobre rocas ígneas extrusivas del Terciario o ígneas intrusivas del Cretácico, o sedimentos aluviales.	Bosques densos, con estratificación compleja, dominados por especies latifoliadas, en algunos casos con mezcla de coníferas. Las condiciones geomorfológicas (predominio de geoformas cóncavas) y la exposición a vientos húmedos y neblinas (laderas sur orientadas hacia el océano), favorecen condiciones de humedad que persisten la mayor parte del año. La productividad de la vegetación y las tasas de descomposición son altas. La capa de mantillo es delgada y densa y los suelos son ricos en materia orgánica, por lo cual retienen humedad. El tipo de hojarasca es poco inflamable. Los incendios están limitados por la humedad. Las condiciones para la propagación del fuego solo se presentan por periodos cortos en años con sequía extrema. Las especies de plantas son sensibles al fuego (cortezas delgadas, raíces finas superficiales), incluso en incendios de muy baja intensidad.	V(a) Incendios superficiales ligeros, ocasionales, de severidad alta.

Cuadro 4.4. (Continuación).

Vegetación	Clima	Geomorfología y suelos	Criterios	Régimen potencial
SMS –Selva mediana subcaducifolia	Cálido subhúmedo Aw ₂ , temporada seca larga pero moderada por las condiciones geomorfológicas que permiten mantener humedad.	Geoformas convexas (hondonadas) en partes bajas de montañas, en laderas (barrancas) o valles. Suelos: cambisoles, fluvisoles y regosoles, sobre rocas ígneas extrusivas del Terciario o ígneas intrusivas del Cretácico, o sedimentos aluviales.	Selvas densas, con estratificación compleja, dominados por especies latifoliadas. Las condiciones geomorfológicas (predominio de geoformas cóncavas) y la exposición a vientos húmedos (laderas sur orientadas hacia el océano), favorecen condiciones de humedad que persisten la mayor parte del año. Condiciones húmedas y cálidas favorecen tasas altas de productividad primaria y descomposición. La capa de mantillo es delgada y densa y los suelos son ricos en materia orgánica, por lo cual retienen humedad. El tipo de hojarasca es poco inflamable. Los incendios están limitados por la humedad. Las condiciones para la propagación del fuego solo se presentan por períodos cortos en años con sequía extrema. Las especies de plantas son sensibles al fuego (cortezas delgadas, raíces finas superficiales), incluso en incendios de muy baja intensidad.	V(a) Incendios superficiales ligeros, ocasionales, de severidad alta.
QMK – Bosque de encino-mesófilo de montaña sobre calizas	Templado subhúmedo con verano cálido, Ca, o fresco, Cb, en las partes más altas (>2500 m). Temporada seca larga (6-7 meses) moderada por las condiciones geomorfológicas que permiten mantener humedad.	Mesetas kársticas con pendientes moderadas, formando un complejo de geoformas convexas (cimas y colinas) y cóncavas (barrancas, dolinas y uvalas). Suelos calcimagnésicos muy humificados sobre roca caliza del Cretácico.	Las condiciones geomorfológicas generan gradientes y un mosaico de vegetación formado por una matriz de bosque de encinos con mezcla de latifoliadas y coníferas (pino, oyamel y ciprés), con algunos rodales con dominancia de pino (laderas altas y cimas), de oyamel (exposiciones norte y cañadas sombreadas) o de latifoliadas (bosque mesófilo en hondonadas y cañadas húmedas). Predomina hojarasca esclerófila o membranosa poco inflamable; la capa de fermentación del mantillo es densa y el suelo rico en humus conserva	V(b) Incendios superficiales ligeros, ocasionales, de severidad alta.

			<p>humedad, pero en condiciones de sequía puede mantener incendios subterráneos. Los incendios están limitados por la humedad, pero la frecuencia en que se presentan condiciones secas es más alta que en BMM o SMS. Aunque predominan incendios ocasionales de baja intensidad, en los rodales de pino pueden presentarse incendios superficiales intensos y también en los de oyamel y ciprés que eventualmente pueden quemarse de copa. Las especies arbóreas presentan distintas respuestas al fuego: resistencia alta (pinos) o baja (oyamel, ciprés, encino), sensibilidad alta (latifoliadas), regeneración por semilla (coníferas) o rebrote (encinos, madroño).</p>	
<p>SBC – Selva baja caducifolia</p>	<p>Cálido subhúmedo Aw₀-Aw₂ y transición a seco estepario cálido BS. Temporada de sequía larga (>8 meses).</p>	<p>Laderas bajas o medias de montaña y colinas, con pendientes moderadas a fuertes, convexas. Suelos: litosol y regosol sobre rocas sedimentarias (arenisca, conglomerado), ígneas extrusivas del Terciario, o ígneas intrusivas del Cretácico.</p>	<p>Estrato arbóreo denso y bajo (5-10 m); estratificación compleja. Predominio de árboles caducifolios; puede haber mezcla de cactáceas. Estrato herbáceo ralo. Las condiciones secas por el clima y las geoformas limitan la productividad primaria y las tasas de descomposición durante la temporada lluviosa son altas. La abundancia y densidad de combustibles superficiales es baja, así como su conectividad horizontal. La propagación del fuego está limitada por los combustibles. Las especies arbóreas están adaptadas a la sequía, por lo que cuando sus tallos y copas sufren daño o mueren pueden rebrotar, lo que les permite soportar también el daño por fuego. Algunos componentes, como las cactáceas, son sensibles al fuego, incluso en incendios superficiales de muy baja intensidad.</p>	<p>VI(a) Incendios superficiales ligeros, ocasionales, de severidad baja.</p>
<p>MAT – Matorral-selva baja caducifolia secundaria</p>	<p>Las mismas condiciones que en SBC.</p>	<p>Las mismas condiciones que en SBC.</p>	<p>Matorrales densos, con árboles dispersos. Esta condición en el área de estudio es una mezcla no diferenciada en la cartografía de vegetación de matorral subtropical, matorral secundario y</p>	<p>VI(a) Incendios superficiales ligeros, ocasionales, de</p>

			selvas alteradas en proceso de recuperación. La abundancia y densidad de combustibles superficiales y su conectividad horizontal son bajas. Incendios limitados por los combustibles.	severidad baja.
SBK – Selva baja caducifolia sobre calizas	Cálido subhúmedo Aw _o y transición a seco estepario cálido BS. Temporada de sequía larga (>8 meses).	Laderas bajas o medias de montaña y colinas con pendientes moderadas a fuertes, convexas; Suelos: litosoles sobre roca caliza del Cretácico.	Las condiciones son las mismas que en SBC, con la diferencia de que la capa de humus del suelo orgánico, derivado de la roca caliza, puede consumirse en los incendios aumentando la severidad de sus efectos. En algunos sitios se encuentran rodales densos de otate (<i>Otatea acuminata</i>) que pueden favorecer la propagación de incendios intensos. Incendios limitados por los combustibles.	VI(a) Incendios superficiales ligeros o intensos, ocasionales, de severidad baja a mixta.
CIM – Cimas de montaña sin vegetación aparente	Frío, E, y templado subhúmedo con verano fresco, Cb.	Cimas de montañas con afloramiento de rocas ígneas extrusivas del Terciario y Cuaternario y cenizas volcánicas recientes	Roca desnuda y cenizas volcánicas, ocasionalmente cubiertas de nieve durante el invierno. Se encuentran algunas plantas dispersas y líquenes sobre la roca. El combustible está ausente o es muy escaso y discontinuo para sostener la propagación del fuego.	VIII Sin incidencia de incendios

Cuadro 4.5. Propensión a un régimen de incendios, factores que la determinan e influencia del régimen en las comunidades de plantas en distintos tipos de geoeosistemas del área de estudio y sus implicaciones para el manejo del fuego.

Propensión y régimen de incendios	Factores determinantes	Influencia en las comunidades de plantas	Tipos de geoeosistemas	Implicaciones para manejo
1. Propensos a los incendios				
1.1. Propensos a incendios frecuentes, de baja intensidad y severidad (tipos I y II)	Temporada de incendios larga. Tasa de acumulación de combustibles superficiales rápida. Combustibles superficiales abundantes, con alta continuidad horizontal; baja continuidad vertical con combustibles del dosel.	El fuego ha sido un factor importante de selección natural, favoreciendo especies resistentes a eventos de incendio superficial, con alta capacidad de regeneración post-incendio.	Zacatonal de alta montaña Pinar de alta montaña Bosque de pino-encino Bosque de encino (robladas)	Mantener el régimen de incendios o restaurarlo mediante quemas prescritas. Manejo de combustibles. La supresión del fuego aumenta el peligro de incendios severos y altera la composición y estructura de la vegetación.
1.2. Propensos a incendios infrecuentes, intensos, de reemplazo de rodales (tipos III* y IV)	Temporada de incendios corta. Tasa de acumulación de combustibles intermedia. Combustibles superficiales densos; alta continuidad vertical y horizontal de combustibles del dosel.	El fuego ha sido un factor importante de selección natural, favoreciendo especies con alta capacidad de regeneración post-incendio. Intervalos de incendios largos permiten el establecimiento de especies sensibles al fuego.	Bosque de oyamel Bosques mixtos de coníferas y latifoliadas**	Control de igniciones antropogénicas y de factores como fragmentación, tala, plagas y enfermedades que modifican el microclima o aumentan el combustible disponible y el peligro de incendios.
2. Reluctantes a incendios				
2.1. Incendios limitados por la humedad, ocasionales, superficiales de intensidad baja y severidad alta (tipo V)	Temporada de incendios ocasional o muy corta. Condiciones de humedad persistentes todo el año. Alta acumulación de biomasa.	El fuego no ha sido un factor de selección natural. Predominan especies sensibles al fuego.	Selva mediana subcaducifolia Bosques mesófilos de montaña	Control de igniciones antropogénicas y de factores como fragmentación, tala y especies invasoras que aumentan el combustible disponible o modifican el microclima, aumentando peligro y riesgo de incendios.
2.2. Incendios limitados por los combustibles,	Temporada con condiciones para incendios muy larga.	El fuego no ha sido un factor de selección natural,	Selva baja caducifolia.	Control de igniciones antropogénicas y de factores como

ocasionales, superficiales de intensidad baja y severidad baja (tipos VI y VII).	Baja acumulación de biomasa combustible y poca continuidad del combustible superficial.	pero muchas especies tienen capacidad de rebrote (adaptación a sequía) y buena regeneración post-incendio. Se encuentran especies sensibles al fuego.		fragmentación, tala y especies invasoras que aumentan el combustible disponible o modifican el microclima, aumentando peligro y riesgo de incendios.
--	---	---	--	--

El modelo de régimen potencial de incendios (RPI) presentado, indica la probable amplitud de la variación en los atributos del régimen (F-E-I-S-T, esto es frecuencia, estacionalidad, intensidad, severidad y tamaño), considerados como variables de respuesta, bajo la influencia de las condiciones de clima, geomorfología y vegetación-combustibles (C-G-VC) consideradas como variables de control a escala del paisaje. A partir de este modelo, las unidades del paisaje o geoeosistemas clasificadas y mapeadas por la combinación de los factores C-G-VC (Fig. 6) fueron asignadas a un RPI (Fig.7) en función de los criterios descritos en el cuadro 5. En el cuadro 6 se presentan finalmente los tipos de regímenes de incendios agrupados en dos grandes clases características de ambientes propensos o reacios al fuego, se describen de manera resumida los factores que determinan el tipo de régimen y sus efectos sobre la vegetación y las comunidades de plantas, indicando los geoeosistemas correspondientes a cada régimen en el área de estudio y señalando por último las implicaciones para el manejo del fuego.

Estos resultados deben considerarse como un planteamiento de hipótesis, las cuales deben someterse a prueba a través de la investigación. Desde este punto de vista, un aspecto de la utilidad del modelo es que puede servir como una guía para el diseño de estudios sobre los componentes del régimen de incendios, los factores ambientales que lo controlan y sus efectos ecológicos. Por otra parte, desde un enfoque aplicado, el modelo y los mapas constituyen una guía general, esto es, un marco de referencia provisional (que debe refinarse conforme avanza el conocimiento), que sirve para identificar factores que deben tomarse en cuenta para la planificación y evaluación del manejo del fuego en las áreas forestales.

Es importante señalar que el modelo es aplicable solamente a la escala de análisis correspondiente (en este caso una escala regional representada cartográficamente a 1:250,000). A escalas más finas, para estudios aplicables al manejo del fuego a nivel de predios forestales (v.gr. escalas \leq 1:50,000), la caracterización de las unidades del paisaje requiere de información más detallada acerca de clases de estructura (etapas sucesionales) y asociaciones (composición de las comunidades de plantas) dentro de los tipos de vegetación y datos sobre las propiedades físicas de las camas de combustibles. Así mismo, dada la importancia de la variación intrazonal, es necesaria una cartografía más detallada de la geomorfología y los suelos.

El modelo caracteriza las condiciones ambientales que permiten inferir el RPI, no su historia o condición actual, cuestiones que requieren de información adicional, pero como ya se señaló, el mapa de RPI sirve para diseñar los estudios que permitan

generar información histórica y para evaluar la condición actual del régimen de incendios.

También es importante tomar en cuenta que el modelo no pretende predecir el comportamiento del fuego ni sus efectos en incendios individuales bajo condiciones de estado del tiempo, topografía y combustibles de una localidad específica, sino solo el rango de condiciones potenciales que se pueden presentar. El manejo del fuego no puede aplicarse como una receta, sino que debe ser planificado considerando el contexto del lugar donde se aplica (Brown et al. 2004), adoptando un enfoque adaptativo (Walters y Holling 1980).

La aplicación del modelo de caracterización de RPI en la región Sierra de Manantlán-Cuenca del Río Ayuquila pone en evidencia la diversidad ecológica y la heterogeneidad ambiental del paisaje de las zonas montañosas de México, lo cual se refleja en la complejidad de los regímenes, comportamiento y efectos de los incendios, algo que es esencial considerar para el manejo del fuego.

Partiendo de los resultados obtenidos, podemos identificar varios temas de investigación que es necesario abordar para contar con un conocimiento y entendimiento más profundo de la ecología del fuego como fundamento del manejo de ecosistemas forestales (Jardel et al. 2010a). Dado su papel determinante en el comportamiento y potencial de incendios, la generación de información cuantitativa y mapas a escalas adecuadas sobre las propiedades físicas de combustibles es un tema prioritario. Otro aspecto clave es la realización de estudios retrospectivos sobre la frecuencia histórica de incendios en distintos tipos de vegetación. Además de esto es importante un mejor conocimiento de las respuestas de las comunidades de plantas a la variación en los regímenes de incendios, sobre todo pensando en las implicaciones del manejo del fuego para la conservación de biodiversidad. En este caso un enfoque potencialmente útil es la identificación de TFRF (tipos funcionales de respuesta al fuego) y el modelaje de las probables respuestas de las comunidades de plantas a los incendios. Esto debe ser complementado con la observación y experimentación de los efectos del fuego sobre la vegetación y la biodiversidad con un enfoque de investigación ecológica de largo plazo (Franklin et al. 1990). Por último, es importante considerar los factores sociales relacionados con la incidencia, uso y manejo del fuego con un enfoque socioecológico (Jardel et al. 2010a).

La ecología de los ecosistemas y paisajes forestales no puede ser entendida sin considerar que el fuego es un factor ambiental y los incendios son parte de procesos ecosistémicos y evolutivos (Agee 1993, Keeley y Bond 2001, Pausas y Keeley 2009, McKenzie et al. 2011). El manejo del fuego es en sí manejo de los regímenes de incendios con objetivos de conservación, restauración o aprovechamiento sustentable de los ecosistemas forestales y su capacidad para proveer servicios ambientales. Por lo tanto, el manejo del fuego requiere de un fundamento en el conocimiento de la ecología del fuego y de un enfoque adaptativo, que debe reemplazar al enfoque convencional de comando-y-control que se ha basado no solo en la ignorancia de los procesos ecológicos sino también en la creencia presuntuosa de la capacidad humana para dominar las fuerzas de la naturaleza.

Cuadro 4.5. Leyenda del Mapa 15 con la clasificación final de los regímenes potenciales de incendios de los ecosistemas terrestres de la región de la JIRA.

Nº	RPI	Descripción
A. ECOSISTEMAS PROPENSOS A INCENDIOS		
1	I-c	Incendios frecuentes de baja severidad en zacatonal de alta montaña.
2	II-a	Incendios frecuentes de baja severidad en bosques de pino y pino-encino templado húmedos.
3	II-b	Incendios frecuentes de baja severidad en bosques de pino y bosques de encino semicálido húmedos.
4	II-c	Incendios frecuentes de baja severidad en bosques de pino templado-fríos muy húmedos (pinar de alta montaña).
5	II-b (V)	Incendios frecuentes de baja severidad (incendios infrecuentes de severidad mixta a alta) en complejo de bosques de pino/bosques mixtos de coníferas-latifoliadas-bosque de latifoliadas.
6	V	Incendios infrecuentes de alta severidad en bosques de coníferas templado fríos.
B. ECOSISTEMAS RELUCTANTES A INCENDIOS		
7	VI	Incendios raros de severidad mixta en bosques latifoliados.
8	VIII-a	Incendios raros (limitados por combustibles) de baja severidad en selva baja caducifolia de zonas cálidas subhúmedas a semiáridas.
9	IX	Zonas libres de incendios en afloramientos rocosos.
C. REGÍMENES AZONALES		
10	X-c	Incendios raros en condiciones azonales con combustibles discontinuos o escasos: vegetación de afloramientos rocosos.
D. CONDICIONES TRANSFORMADAS (ANTROPOBIOMAS)		
11	VIII-t	Incendios raros (limitados por combustibles) de baja severidad en matorrales secundarios.
12	I-t	Incendios frecuentes de baja severidad en matorrales inducidos.
13	Agr-t	Áreas de agricultura de temporal, con aplicación de quemas de cultivo.
14	Agr-r	Áreas de agricultura de riego; aplicación de quemas de cosecha en caña de azúcar.
15	Cpio	Centros de población
E. CUERPOS DE AGUA		
16	Agua	Cuerpos de agua

4.5.1. Régimen histórico de incendios forestales

La información sobre régimen histórico de incendios forestales en la región está restringida a unas pocas localidades de bosques con dominancia de pinos en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. Esta información se resume en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6. Frecuencia de incendios superficiales registrados en estudios dendrocronológicos de historia de incendios forestales en la Sierra de Manantlán. **Loc**, localidad (CAP Cerro de las Capillas, CCP Cañada de Capillas, ETO1 Escarbadero de los Toros, PAR parteaguas Las Joyas-Cuzalapa, JOY1 Las Joyas, SCP Sancampús, LCU La Cumbre de Ahuacapán, LCO Los Colgados, SOR La Soromuta, JOV Joya Verde, ALY Alto Las Yeguas); **VEG** tipos de vegetación (PP bosque de pino, MC bosque mixto de coníferas y latifoliadas, PQ bosque de pino-encino, PL bosque de pino-latifoliadas); **%AI**, porcentaje de años del periodo de observación con incendios registrados. Intervalos de incendios: **IMI** intervalo medio, **IMW** intervalo de la mediana de la probabilidad de Weibull, **I_{min}** intervalo mínimo, **I_{max}** intervalo máximo, **IMO** intervalo medio del origen de la muestra (anillo central) al primer incendio, **TUI** tiempo desde el último incendio al año 2015, **TUI-IMI** diferencia entre TUI e IMI. Fuentes: (a) Llamas-Casillas (2013), (b) Rubio-Camacho 2007, (c) Cerano-Paredes *et al.* (2015).

Loc	VEG	Periodo	No. años	NI	% AI	Intervalos de incendios (años)							Fuente:
						IMI	IMW	I _{min}	I _{max}	IMO	TUI	TUI-IMI	
CAP	PP	1837-2010	174	10	6	10	11	3	24	34	13	3	(a)
CCP	MC	1913-2010	98	9	9	7	5	2	26	20	13	6	(a)
ETO1	MC	1936-2010	75	4	5	6	6	4	8	16	23	17	(a)
PAR	PQ	1898-2010	113	15	13	5	5	1	13	23	13	8	(a)
JOY1	PL	1899-2010	112	10	9	9	7	2	33	24	23	14	(a)
SCP	PL	1879-2010	132	9	7	12	12	5	20	35	28	16	(a)
LCU	PL	1905-2003	99	23	23	4	4	1	16	n.d.	8	4	(b)
LCO	PL	1929-2003	75	9	12	7	6	1	22	n.d.	12	5	(b)
SOR	PQ	1895-2003	109	16	15	5	5	2	15	n.d.	12	7	(b)
JOV	PQ	1936-2003	68	12	18	5	4	2	18	n.d.	13	8	(b)
ALY	PQ	1867-2010	143	28	21	6	4	1	31	n.d.	3	-3	(c)
Promedios					13	7	6	2	21	25	15	8	

4.5.2. Condición actual del régimen de incendios forestales

La incidencia de incendios en el territorio de los municipios de la JIRA, registrada durante los últimos años (desde 1995 en la porción correspondiente a la RBSM y desde 2010 en el resto del área de estudio), representa la condición actual del régimen de incendios y puede contrastarse con el régimen potencial de incendios y con la información disponible sobre el régimen histórico de incendios.

El 73.7% de la superficie de incendios en 2010 se concentró en los geoeosistemas de bosque de encino en laderas de montaña con clima semicálido subhúmedo y en bosque de pino-encino de laderas y cimas de montaña de zonas de clima templado subhúmedo; solo se quemó un área pequeña de los bosques de encino-pino sobre suelos derivados de calizas y 4.6% del área quemada afectó bosques mixtos de coníferas y latifoliadas (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.7. Superficies de los incendios forestales de 2010 en cuanto al geoeosistemas afectado con el porcentaje de la superficie quemada total.

Geoeosistema	Superficie quemada (ha)	Porcentaje
QQP-Bosque de encino	3,376.5	45.1
PPQ-Bosque de pino-encino	2,139.0	28.6
SBC-Selva baja caducifolia	684.0	9.1
PQL-Bosque de coníferas-latifoliadas	340.7	4.6
BMM-Bosque mesófilo de montaña	249.7	3.3
MAT-Matorrales	46.3	0.6
QPK-Bosque de encino-pino/calizas	3.4	<0.01
Subtotal	6,839.7	91.4
OCO-Coberturas no forestales (agricultura, pastizales inducidos, sin vegetación aparente)	640.3	8.6
Total	7,480.1	100.0

Fuente: Jardel et al. 2011 y Rodríguez-Gómez (2011).

La superficie quemada de selva baja caducifolia fue de 9.1% de la superficie quemada total (Cuadro 4.6) y 7.1% de la superficie forestal, aunque es el tipo de geoeosistema con mayor superficie dentro de la región. El 85.3% de la superficie de los incendios de 2010 se concentró en geoeosistemas forestales que presentan un régimen potencial de incendios frecuentes, superficiales, de baja severidad (Jardel *et al.* 2011) (Figura 4.13).

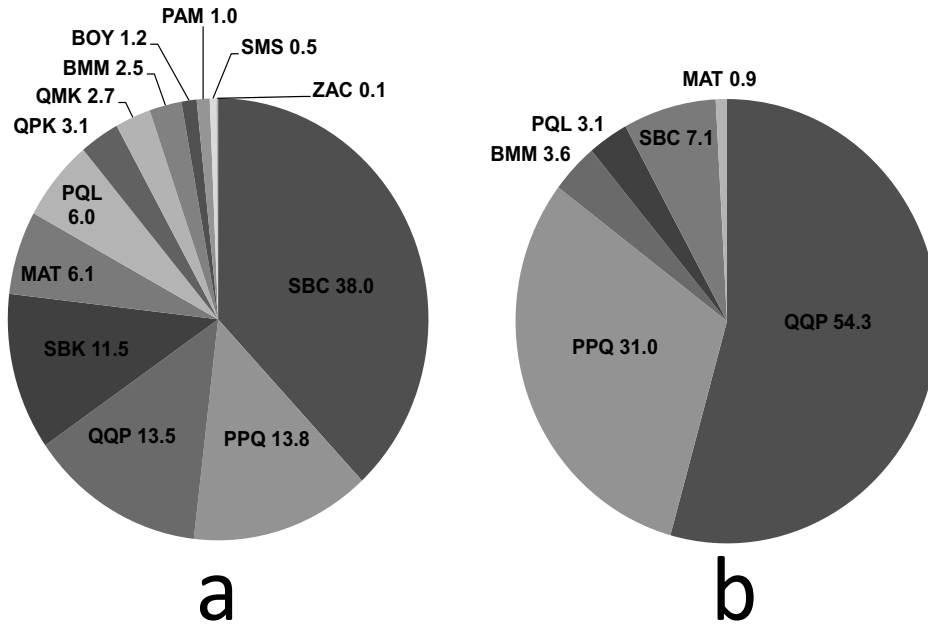


Figura 4.13. (a) Porcentajes de superficie por tipo de geosistemas forestales respecto de la superficie de la región de la JIRA y (b) porcentaje quemado por tipo de geosistema en relación con el total de la superficie forestal de la región de la JIRA.

Por su extensión y localización próxima a áreas agrícolas, pastizales y centros de población, podría esperarse una mayor incidencia de incendios en la selva baja caducifolia. Esta cubre 111,346.5 ha, 49.5% de la superficie forestal de la CMRA (11.5% en laderas y colinas sobre roca caliza, SBK, y 38.0% sobre otras condiciones geomorfológicas, SBC). En 2010 sólo se quemaron 684.0 ha de este tipo de vegetación (Cuadro 4.6), en el cual la propagación del fuego está limitada debido a la discontinuidad y bajas cargas de combustibles superficiales, los cuales son poco inflamables (Michel-Fuentes 2010). La mayor parte de la superficie afectada en selva baja caducifolia se concentró en un solo incendio de 567.4 ha ocurrido en el municipio de Tonaya. Este incendio representó el 83.0% de la superficie quemada en este tipo de vegetación en 2010, y fue posiblemente una quema intencional para provocar un cambio de uso del suelo.

En cuanto al bosque mesófilo de montaña el cual cubre una extensión relativamente pequeña (2.5%) dentro de la región, presentó una superficie quemada de 249.7 equivalente al 3.3% de la superficie total de incendios de 2010 (Cuadro 4.6); este tipo de vegetación es reluctante a incendios y aunque el área encerrada dentro de polígonos de incendios pudo no haberse quemado totalmente, el fuego afecta los bordes y esto indica que eventualmente los bosques mesófilos, cuyas especies componentes son sensibles al fuego, podrían quemarse severamente en años secos.

De acuerdo con el mapa de regímenes potenciales de incendios (RPI) de la JIRA (Jardel *et al.* 2011; Mapa 15), el 73.7% de la superficie quemada se concentró en el tipo de RPI II (incendios frecuentes, superficiales de severidad baja en bosques); 4% correspondió a áreas de zonación compleja donde se mezclan geosistemas con regímenes II y IV (IV incendios infrecuentes de reemplazo de rodal). En total, el 78%

de la superficie de incendios se presentó en ecosistemas propensos a incendios y puede considerarse que está dentro de lo esperado en función del RPI. El 10% afectó geoeosistemas que presentan un RPI VI (incendios ocasionales limitados por los combustibles, superficiales de severidad baja) como en el caso de las selvas bajas caducifolias. El 9% de la superficie incendiada afectó coberturas no forestales (áreas agrícolas y pastizales); solo 3% del área quemada afectó geoeosistemas reluctantes al fuego con un RPI V (incendios ocasionales limitados por la humedad, superficiales de alta severidad) como el bosque mesófilo de montaña.

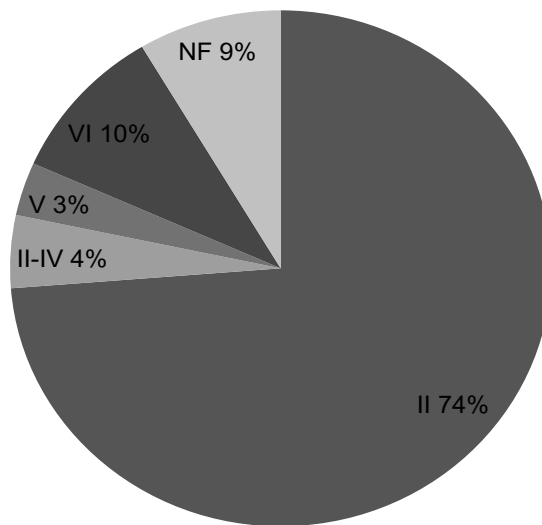


Figura 4.14. Porcentaje de la superficie quemada en 2010 portipo de régimen potencial de incendio.

El RPI tipo II, se presenta bosques densos dominados ya sea por pinos o encinos en donde existe una baja continuidad vertical de los combustibles, las especies arbóreas son resistentes al fuego las cuales se regeneran en claros por semillas (pinos) o presentan alta capacidad de rebrote (encinos) (Jardel *et al.* 2009, 2011). El 10% de la superficie quemada de 2010 se presentó en zonas con un RPI tipo VI, el predominio de árboles son caducifolios y puede haber mezcla de cactáceas. Las condiciones secas por el clima y las geformas limitan la productividad primaria y las tasas de descomposición durante la temporada lluviosa son altas. La abundancia de combustibles superficiales es baja y la propagación del fuego está limitada por los combustibles, las especies arbóreas están adaptadas a la sequía por lo que sus copas sufren daño pueden rebrotar lo que les permite también soportar el paso del fuego, sin embargo algunos componentes como las cactáceas pueden tener alta severidad incluso en incendios de baja intensidad ya que son sensibles al fuego (Jardel *et al.* 2011). Estas zonas, con un RPI VI, presentaron incidencia de incendios debido a la quema de cultivos ilegales y principalmente en un solo incendio ocurrido en el municipio de Tonaya, también, durante los recorridos de campo, se pudo observar que los incendios que afectaban la SBC (tipo de vegetación con un RPI VI) se quemaba de

manera superficial muy ligera habiendo parches en donde no había paso del fuego en los polígonos de las mediciones de los incendios en la temporada de 2010.

En cuanto a las zonas quemadas con un RPI V, las cuales equivalen al 3% de la superficie quemada total de 2010 se presentan bosques densos con estratificación compleja, dominados por especies latifoliadas, y en ocasiones con mezcla de coníferas (Jardel *et al.* 2004, Alvarado *et al.* 2008), el predominio de las formas cóncavas y la exposición a vientos húmedos y neblinas, favorecen condiciones de humedad que persisten la mayor parte del año. Los incendios están limitados por la humedad. La propagación del fuego es ocasionado principalmente por condiciones de períodos cortos en años con sequía extrema y las especies de plantas son sensibles al fuego principalmente en la regeneración en el sotobosque, incluso en incendios de baja intensidad (Jardel *et al.* 2009, 2011).

En las zonas no forestales se presentó el 9% de la superficie quemada de 2010, esto es 640.4ha, lo cual genera cierta incertidumbre acerca de si es en realidad ese tipo de cobertura (las cuales están definidas por las cartas temáticas del INEGI uso de suelo y vegetación serie III 2000, la cual sirvió de base para realizar en mapa de RPI de Jardel *et al.* 2011). Lo anterior va en sentido de que en las mediciones realizadas en campo siempre se observó algún tipo de cobertura forestal en los recorridos y posteriores polígonos marcados con el GPS.

El RPI tipo II, se presenta bosques densos dominados ya sea por pinos o encinos en donde existe una baja continuidad vertical de los combustibles, las especies arbóreas son resistentes al fuego las cuales se regeneran en claros por semillas (pinos) o presentan alta capacidad de rebrote (encinos) (Jardel *et al.* 2009, 2011). El 10% de la superficie quemada de 2010 se presentó en zonas con un RPI tipo VI, el predominio de árboles son caducifolios y puede haber mezcla de cactáceas. Las condiciones secas por el clima y las geoformas limitan la productividad primaria y las tasas de descomposición durante la temporada lluviosa son altas. La abundancia de combustibles superficiales es baja y la propagación del fuego está limitada por los combustibles, las especies arbóreas están adaptadas a la sequía por lo que sus copas sufren daño pueden rebrotar lo que les permite también soportar el paso del fuego, sin embargo algunos componentes como las cactáceas pueden tener alta severidad incluso en incendios de baja intensidad ya que son sensibles al fuego (Jardel *et al.* 2011). Estas zonas, con un RPI VI, presentaron incidencia de incendios debido a la quema de cultivos ilegales y principalmente en un solo incendio ocurrido en el municipio de Tonaya (ver datos absolutos en el anexo 10.5), también, durante los recorridos de campo, se pudo observar que los incendios que afectaban la SBC (tipo de vegetación con un RPI VI) se quemaba de manera superficial muy ligera habiendo parches en donde no había paso del fuego en los polígonos de las mediciones de los incendios en la temporada de 2010.

En cuanto a las zonas quemadas con un RPI V las cuales equivalen al 3% de la superficie quemada total de 2010 se presentan bosques densos con estratificación compleja, dominados por especies latifoliadas, y en ocasiones con mezcla de coníferas (Jardel *et al.* 2004, Alvarado *et al.* 2008), el predominio de las formas cóncavas y la exposición a vientos húmedos y neblinas, favorecen condiciones de humedad que

persisten la mayor parte del año. Los incendios están limitados por la humedad. La propagación del fuego es ocasionado principalmente por condiciones de períodos cortos en años con sequía extrema y las especies de plantas son sensibles al fuego principalmente en la regeneración en el sotobosque, incluso en incendios de baja intensidad (Jardel *et al.* 2009, 2011).

En las zonas no forestales se presentó el 9% de la superficie quemada de 2010, esto es 640.4ha, lo cual genera cierta incertidumbre acerca de si es en realidad ese tipo de cobertura (las cuales están definidas por las cartas temáticas del INEGI uso de suelo y vegetación serie III 2000, la cual sirvió de base para realizar en mapa de RPI de Jardel *et al.* 2011). Lo anterior va en sentido de que en las mediciones realizadas en campo siempre se observó algún tipo de cobertura forestal en los recorridos y posteriores polígonos marcados con el GPS.

En las áreas donde se tienen datos de la frecuencia histórica de incendios (Cuadro 4.6), el tiempo desde el último incendio se encuentra todavía por debajo del valor del intervalo máximo de 35 años. Puede decirse que en general no existe un problema de alteración del régimen de incendios debido a la supresión en ecosistemas con régimen de fuego frecuente de baja severidad. Solo en áreas localizadas la supresión ha sido realmente efectiva, y en lugares como Zona Núcleo Manantlán-Las Joyas ha sido parte de una intervención deliberada para favorecer la restauración de bosques mixtos de coníferas, bosque mixto de pino-latifoliadas y bosque mesófilo de montaña; sin embargo no se han realizado las quemas prescritas planificadas en otras áreas como parte de la estrategia de manejo (Jardel *et al.* 2006), lo cual comienza a representar un problema de aumento de la acumulación de combustibles y el peligro de incendios (Jardel 2008).

En conclusión:

- La mayor parte de la superficie quemada se presenta en ecosistemas propensos a incendios frecuentes y de baja severidad (bosques de pino y pino-encino), dentro del rango de variación histórica.
- La alteración del régimen de incendios por supresión del fuego en ecosistemas propensos a incendios frecuentes y de baja severidad (bosques de pino y pino-encino), se presenta solo en algunas áreas, principalmente en la RBSM, donde no se ha dado seguimiento a la aplicación de quemas prescritas.
- La alteración del régimen de incendios en ecosistemas propensos a incendios infrecuentes de alta severidad y en ecosistemas reluctantes al fuego, ha estado asociada a factores de cambio asociados con prácticas deficientes de aprovechamiento forestal (fragmentación y transformación de los bosques mixtos de coníferas en bosques secundarios dominados por pinos), desmontes y quemas para inducir cambios de uso del suelo (principalmente en selva baja caducifolia) y cultivos ilegales (desmonte y quema en cañadas afectando bosques mixtos de coníferas y bosque mesófilo de montaña). Estos casos no corresponden a un “problema de incendios”, sino a un problema de gestión del territorio y los recursos naturales.

4.5.3. Áreas críticas de alta incidencia de incendios

La identificación de aquellas porciones del territorio donde se presenta un mayor número de incendios, es necesaria para planificar acciones de prevención y combate de incendios, así como para definir prácticas adecuadas de manejo del fuego considerando el régimen potencial de incendios. A partir de las distintas fuentes de información disponible sobre la incidencia de incendios forestales en la CMRA y de los resultados de la medición de incendios del año 2010, se llevó a cabo la identificación de zonas críticas en las cuales se ha presentado un mayor número de incendios en los últimos 10 años (Mapa 9).

La mayor parte de los incendios registrados por CONAFOR y el SIMIF entre 2001 y 2014, se localizaron en las zonas de montaña y principalmente en los bosques de encino y de pino (Mapa 9).

Es en los municipios de Atlán de Navarro y Tuxcacuesco, dentro de la RBSM, en donde se ha registrado una mayor ocurrencia de incendios forestales, aunque hay que considerar el posible sesgo de que esta es el área más estudiada y con mayor tiempo de registro sistematizado de los incendios. Las otras zonas de alta incidencia de incendios son Sierra de Tapalpa-Nevado de Colima, la Sierra de Cacoma y la zona en los límites de los municipios de Ejutla, El Grullo y El Limón.

Otra área importante de alta ocurrencia de incendios forestales es al oeste del municipio de Atlán de Navarro (porción noroeste de la RBSM en su límite con la Sierra de Cacoma); esta zona presenta una fuerte ocurrencia de incendios a causa de desmontes (Balcázar 2011) y descuidos de personas que transitan por la carreta Atlán-Barra de Navidad (según las causas reportadas). Aunque en esta zona la mayor porción de superficie se encuentra en zonas adyacentes al municipio de Atlán de Navarro es importante tomarla en cuenta para establecer mecanismos para la prevención, mitigación o bien la remediar los impactos ambientales negativos que puedan llegar a ocasionar los incendios.

El municipio de Tuxcacuesco presentó una alta incidencia de incendios en bosques de pinos y encinos en los años de registro con los que se cuenta; estos bosques cubren el 10.5% de la superficie total de dicho municipio. De los nueve años de registro (tomando en cuenta las evaluaciones hechas en campo de la temporada del 2010), ocurrieron incendios en cinco de los nueve años registrados dentro de estos bosques, pero fue en tres años en particular (2005, 2008 y 2010) en los que hubo una mayor superficie quemada, resultando afectada entre el 51% y el 60% del área total de los bosques con un régimen de tipo II y un promedio anual de 2 incendios ocurridos en este municipio.

Los bosques de pinos y encinos del municipio de Atlán de Navarro tienen una alta incidencia de incendios en el periodo analizado; estos bosques cubren el 23.7% de la superficie total de este municipio y por lo menos una porción de la superficie de estos se quema año con año. El porcentaje de superficie quemada anual en estos bosques va del 1 al 11.8%, habiendo un promedio anual de 10 incendios forestales en este municipio.

4.5.4. Cambio de cobertura y uso del suelo

El cambio de cobertura y uso del suelo es sin duda el factor más importante de alteración de los regímenes de incendios en las selvas tropicales de la región. Un estudio reciente muestra que entre 2000 y 2010 la tasa de deforestación en las selvas bajas caducifolias de la JIRA fue de 2% (Ghilardi *et al.* 2013) y se estima que el 55% de las selvas bajas caducifolias de Autlán y Tuxcacuesco presentan condiciones de degradación (Jardel *et al.* 2013). Las principales causas de deforestación y degradación están asociadas a la expansión de pastizales para sostener una ganadería poco productiva y en segundo lugar se han debido a la expansión de cultivos agrícolas como el agave.

4.5.5. Implicaciones del cambio climático global para el manejo del fuego

Los incendios forestales constituyen un fenómeno altamente sensible a los efectos del cambio climático global. Como se ha discutido más arriba, el clima es uno de los principales factores que controlan los regímenes de incendios. La región se ve marcadamente afectada por la interacción de fenómenos oceánicos y atmosféricos (ENSO, huracanes) con la variabilidad interanual del clima.

El cambio climático global puede influir significativamente en la incidencia de incendios y la modificación del régimen potencial de incendios en la región, por lo cual es necesaria la definición de medidas de adaptación. Sin embargo, el conocimiento actual acerca de los posibles efectos del cambio climático a escala regional es muy limitado.

El manejo del fuego puede contribuir de manera importante a la mitigación de emisiones de gases con efecto de invernadero.

Tanto los efectos del cambio climático en los regímenes de incendios a escala regional, como la relación entre manejo del fuego y las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, son temas que requieren incorporarse a la investigación y monitoreo como parte de una estrategia de manejo adaptativo de los ecosistemas forestales, incluyendo en esta al manejo del fuego.

4.6. Impacto ambiental de los incendios forestales

Analizar el impacto de los incendios forestales (considerando el régimen potencial de incendios y la condición actual del régimen de incendios) en la vegetación y los ecosistemas, sistemas de producción forestal y agropecuaria, suelos, cuerpos de agua, fauna silvestre, calidad del aire y salud humana a escala regional es aún una tarea pendiente. La mayor parte de los estudios sobre efectos de los incendios se ha concentrado en los bosques de las partes altas de la Sierra de Manantlán.

Entre 1995 y 2003 el 37% de los incendios registrados afectaron bosques de pino-encino y el 27% bosques de encino caducifolio en la RBSM (Jardel *et al.* 2003). En conjunto, los bosques de pino-encino y encino cubren el 53.7% de la superficie de la

RBSM. Para el período de 2001-2003, en el que se cuenta con la delimitación en campo del polígono de las áreas afectadas, en promedio el 29.5% de la superficie quemada se registró en bosque de pino-encino, el 27.8% en bosque de encino caducifolio (bosque de roble) y el 13.8% en bosque de encino-pino; el 16.2% del área quemada correspondió a matorrales y pastizales en zonas de agricultura con ciclo de barbecho donde se realizan quemas para limpiar el terreno con fines de cultivo (Castillo *et al.* 2003).

En México las áreas afectadas por incendios forestales generalmente no son evaluadas de manera sistemática. Al mismo tiempo, existen pocos estudios sobre la ecología del fuego en los bosques mexicanos (González-Cabán y Sandberg 1989, Rodríguez-Trejo 1996) y esto constituye un vacío de información y conocimiento para definir estrategias de manejo del fuego.

Para evaluar los efectos de los incendios forestales en la RBSM, como parte de la planificación y evaluación de las actividades de manejo del fuego y restauración, se están realizando estudios ecológicos centrados principalmente en los bosques de pino y encino, donde el fuego es más frecuente y afecta mayores superficies. Además de esto se ha comenzado a sistematizar la evaluación anual de las áreas quemadas realizando recorridos de campo en los sitios afectados por incendios. Las entrevistas con pobladores locales, investigadores y personas que han estado involucradas en el manejo de la RBSM y en la prevención y control de incendios aportado información complementaria. En esta sección se hace una breve sinopsis de los resultados preliminares de los estudios ecológicos realizados en el área, algunos aspectos de los efectos del fuego sobre la vegetación y la fauna silvestre. Utilizamos también nuestro conocimiento empírico del área adquirido a través de 28 años de trabajo de campo en el área. A continuación se resumen los hallazgos más relevantes.

La mayor parte de los incendios forestales en la RBSM son superficiales y de extensión relativamente pequeña. De los incendios registrados entre 1995 y 2004 el 97% fueron superficiales y solo en el 3% se observaron áreas afectadas por fuego de copa. La media de la superficie afectada por incendio fue de 181.3 ± 19.4 ha y la moda de 50 ha; el 31% de los incendios registrados tuvieron una superficie menor a 20 ha y el 34% presentaron superficies entre 21 y 100 ha; solo el 8% de los incendios presentaron extensiones mayores a 600 ha (Fig. 5).

Dentro del área comprendida en el polígono de los incendios reportados, el efecto del fuego varía en función de la topografía, el estado del tiempo y la carga de combustibles –los tres componentes del “triángulo del comportamiento del fuego” (Pyne *et al.* 1996). De acuerdo con resultados preliminares de la evaluación de incendios forestales y quemas prescritas en la Estación Científica Las Joyas (Jardel *et al.*, en preparación), la forma del relieve ejerce un importante control sobre el comportamiento del fuego, de modo que generalmente el daño más severo –en cuanto a mortalidad de árboles y apertura de claros en el dosel del bosque –ocurre en geoformas convexas –cimas y parteaguas –y en laderas con pendientes fuertes y expuestas a la influencia del viento. En las laderas bajas y geoformas cóncavas –barrancas y depresiones del terreno –donde existen condiciones de humedad, el fuego tiende a extinguirse y dentro del polígono de un incendio pueden localizarse áreas que

no llegan a quemarse. La estructura de la vegetación y la carga de combustibles también determinan la severidad de los incendios; esta es más crítica en rodales jóvenes, muy densos y con continuidad vertical del combustible, así como en sitios que no se han quemado por períodos prolongados (más de 10-20 años) donde se acumulan combustibles en forma de hojarasca y material leñoso en descomposición.

El fuego puede provocar la apertura de claros relativamente grandes (de unos cientos de metros cuadrados a decenas de hectáreas), ya sea en parches quemados de copa, en donde ocurre una alta mortalidad de árboles en los años siguientes a un incendio, o cuando el fuego ocurre asociado con desmontes agrícolas o en sitios donde se ha cortado madera sin hacer una disposición adecuada de residuos de corta. En estos claros se establece una regeneración abundante de pinos (*Pinus pseudostrobus*, *P. douglasiana*, *P. herrerae*, *P. oocarpa*, *P. devoniana*) y algunas especies de encinos (*Quercus scotyphylla*, *Q. obtusata*, *Q. praineana*, *Q. resinosa* y *Q. castanea* entre otros) y madroños (*Arbutus xalapensis*) (Anaya 1989; Jardel 1991; Saldaña y Jardel 1992).

Los incendios superficiales favorecen también la dominancia de los pinos frente a otras especies tolerantes a la sombra pero poco resistentes al fuego, como los oyameles (*Abies religiosa* y *A. guatemalensis*), y las latifoliadas del bosque mesófilo de montaña que en ausencia del fuego tienden a reemplazar a los pinos en sitios húmedos a través de la sucesión (Saldaña y Jardel 1992; Sánchez-Velásquez y García-Moya 1993; Jardel 1998; Jardel et al. 2004 a y b).

En sitios permanentes establecidos para estudios sobre sucesión (Jardel *et al.* 2004 b) se observa que los incendios superficiales aceleran el proceso de autoaclareo al eliminar árboles suprimidos, y que en sitios donde el fuego ha sido excluido por varios años las especies de latifoliadas tolerantes a la sombra tienden a aumentar en dominancia; el fuego actúa como un factor que detiene el reemplazo sucesional de los pinos por las latifoliadas.

En resumen, las observaciones de campo indican que el fuego favorece a los bosques de pino y a algunos tipos de bosque de encino, mientras que tienen efectos negativos para la regeneración de bosques de oyamel y bosque mesófilo de montaña. Estos dos tipos de vegetación son considerados prioritarios para la conservación en México y en la RBSM (INE 2000), por lo cual se han adoptado medidas de control de los incendios para favorecer su restauración y conservación (Jardel *et al.* 2003).

Aunque el fuego favorece a los bosques de pino, cuando ocurren varios incendios repetidos en áreas de regeneración natural, se impide el establecimiento del renuevo y ocurre el reemplazo de la vegetación arbórea por matorrales secundarios (Jardel *et al.* 2003, 2004 b). Además en algunos sitios el fuego se ha combinado con otros factores que conducen a la degradación de los bosques, como la extracción de madera, la erosión provocada por caminos forestales mal construidos y el sobrepastoreo. En estas condiciones es necesario adoptar medidas de restauración que implican el control de la erosión y la estabilización y recuperación del suelo, la reforestación con especies nativas y la protección temporal contra incendios (Jardel *et al.* 2003).

Ensayos experimentales de quemas prescritas realizados en la Estación Científica Las Joyas (ECLJ), en la parte central de la RBSM, indican que el fuego controlado puede

reducir la carga de combustibles sin efectos significativos de mortalidad de árboles. Se ha observado una reducción del 65 al 70% de la carga de combustibles leñosos y una reducción de 70-80% de la profundidad de la hojarasca (Jardel et al. en preparación).

En las áreas afectadas por incendios en la Sierra de Manantlán se observan diferentes condiciones:

(a) Sitios que han sufrido incendios de copa o fuegos recurrentes, además de la influencia de la explotación maderera, la erosión provocada por las brechas de saca y el pastoreo de ganado, donde la regeneración natural de especies arbóreas es escasa, las fuentes de propágulos se han reducido con la eliminación del arbolado reproductivo y se presentan problemas críticos de erosión de suelos.

(b) Sitios donde los incendios superficiales frecuentes han detenido la regeneración de especies arbóreas latifoliadas, deteniendo la sucesión de comunidades raras o amenazadas como el bosque mesófilo de montaña o el bosque de oyamel.

(c) Sitios donde la regeneración abundante de pino, después de incendios forestales, ha dado lugar a rodales sobresaturados, en los cuáles la densidad del arbolado ha provocado, como consecuencia de la competencia entre los árboles, lentos crecimientos, supresión de árboles y brotes de ataques de insectos que pueden convertirse en plagas. Estos rodales presentan una marcada continuidad vertical y horizontal del combustible y son muy susceptibles a incendios severos.

Dadas las tres condiciones descritas, se requiere de diferentes tipos de manejo para fines de protección y restauración. En el primer caso, además del control de los factores de deterioro y la protección para favorecer la regeneración natural, es necesario implementar medidas de control de erosión, recuperación del suelo y reforestación. En el segundo caso, los incendios y el pastoreo pueden controlarse para favorecer el proceso de reemplazo sucesional y permitir la recuperación del bosque mesófilo de montaña y el bosque de oyamel. En el tercer caso, es conveniente realizar intervenciones silvícolas como aclareos, cortas de saneamiento y quemas prescritas para regular la densidad y el estado sanitario del arbolado.

4.7. El componente social de los incendios forestales

El fuego en los ecosistemas forestales no es solo un factor ecológico, sino también un fenómeno social. La mayor parte de las áreas boscosas del mundo tienen una larga historia de incendios antropogénicos asociados a las prácticas de uso y manejo de la tierra, a condiciones económicas y a factores culturales (Pyne 1996; Andersen 1999; Suyanto et al. 2004). Sin embargo los planes de manejo del fuego y de restauración ecológica generalmente tienden a centrarse solo en los aspectos biofísicos y ecológicos.

La consideración del componente social es esencial para el éxito de cualquier tarea relacionada con el manejo de recursos naturales. Los procesos de deforestación y degradación son consecuencia de factores sociales relacionados con políticas de

desarrollo económico, patrones de consumo y fuerzas del mercado, la estructura de la tenencia de la tierra o el crecimiento demográfico (Wunder 2000). Dependiendo del contexto ecológico y social, el fuego puede ser un factor destructivo asociado al cambio de uso del suelo y la deforestación, o una herramienta de manejo en la silvicultura y la conservación. Por lo tanto es necesario considerar el entendimiento de los procesos sociales relacionados con la incidencia de los incendios forestales y con el uso y manejo del fuego.

Prácticamente todos los incendios forestales registrados en la RBSM en los últimos años son antropogénicos, y la mayoría se originan por quemas agrícolas en la interfase entre los bosques y los terrenos de cultivo. La mayor parte de los terrenos de cultivo se encuentran en las laderas bajas de la Sierra, excepto en la parte este correspondiente a Cerro Grande (Fig. 1). Reducir el número de incendios provocados por las quemas agrícolas implica incidir en aspectos económicos, culturales y de organización social que están atrás de las prácticas agrícolas. La quema, por ejemplo, es una costumbre fuertemente arraigada entre los campesinos, y tiene una utilidad práctica en la agricultura con ciclo de barbecho; es una herramienta que facilita, a un bajo costo económico, el desmonte, el control de malezas y plagas de insectos y la movilización de nutrientes. Sin embargo, la quema deja de ser una práctica adecuada en sitios donde las prácticas de cultivo tradicionales se han modificado con la reducción del tiempo de barbecho, el abandono de prácticas de conservación de suelos y la aplicación de agroquímicos. Cuando se reduce el tiempo de barbecho o descanso de la tierra, no hay una recuperación adecuada de la cubierta vegetal y de la fertilidad del y el uso del fuego se convierte en un factor de degradación de las áreas de cultivo, eliminando la materia orgánica y volatilizando los nutrientes que deberían incorporarse al suelo. La substitución del uso del fuego en la agricultura implica la necesidad de introducir nuevas prácticas de cultivo –medidas de conservación de suelo, abonos verdes, cultivos de cobertera –que sean aceptadas por la gente y que tengan viabilidad dadas las condiciones de rentabilidad de la producción agrícola y de disponibilidad de fuerza de trabajo y capital.

La tenencia de la tierra es otro factor importante en relación con los incendios forestales (Fig. 8). En la RBSM se encuentran tres formas diferentes de propiedad: privada, comunal y ejidal. Estas dos últimas corresponden a formas colectivas de tenencia de la tierra. Se estimó la incidencia de incendios por tipo de tenencia de la tierra entre 1995 y 2003 utilizando el SIG, y se encontró que en terrenos de propiedad privada se registra el 53% de la superficie afectada por fuego y el 47% en terrenos ejidales y comunales (Jardel et al. 2004 c). La propiedad privada representa solo el 32% de la superficie total de la Reserva y la comunal y ejidal el 68% (INE 2000). Esto significa que anualmente se quema el 5.6% de la superficie bajo propiedad privada, contra el 2.5% de los dos tipos de propiedad colectiva, aunque en estos se esperaría una mayor incidencia de incendios por el hecho de que en los ejidos y las comunidades indígenas se concentra la mayor superficie de áreas de cultivo.

Contra la idea generalizada de que la propiedad colectiva es más ineficiente que la propiedad privada o la del estado para la conservación de los recursos naturales (por ejemplo véase CESPEDES 2002), estos resultados indican lo contrario para el caso de

la RBSM donde en términos absolutos y relativos los bosques de propiedad privada se queman más que los ejidales o comunales. La explicación de esto es que en las tierras de propiedad social o colectiva existe un mayor control de las comunidades y una mayor capacidad para movilizarse y actuar en el control de incendios forestales. En contraste, la mayor parte de los propietarios privados no viven en el área y no tienen control sobre sus predios en los que se presenta una situación de acceso abierto, esto es, de inoperatividad del régimen de propiedad (Baland y Platteau 1996). Además en muchas de las tierras privadas existen conflictos por la propiedad y el aprovechamiento de recursos como la madera. En estas condiciones, los incendios provocados intencionalmente, las quemaduras de sitios dedicados a cultivos ilegales y la falta de intervención para controlar el fuego, son comunes en los predios privados.

La indefinición de la propiedad, los conflictos de tenencia y la distribución desigual de la tierra, son factores que limitan el establecimiento de acuerdos entre la autoridad encargada del manejo de la RBSM y los dueños de la tierra, para implementar medidas de manejo del fuego y restauración. Es por esto que la atención a los problemas agrarios es una prioridad en la estrategia de manejo de la RBSM (INE 2000).

Otra cuestión importante es que en el manejo de un área como la RBSM intervienen diferentes actores sociales con diferentes objetivos, intereses y capacidad de acción. El conjunto de actores en la RBSM incluye, entre otros, a agricultores campesinos, ganaderos, empresas forestales comunales o privadas, y recolectores de productos forestales no maderables, y por otra parte a las dependencias gubernamentales, centros de investigación, grupos ambientalistas y pobladores de los centros urbanos de la región. Cada uno de estos diferentes actores percibe la cuestión de los incendios desde diferentes puntos de vista y con diferentes intereses. Por ejemplo, para un campesino el fuego es una herramienta que forma parte de sus prácticas tradicionales de cultivo, mientras que para el ambientalista de la ciudad es una causa de destrucción de los bosques; para el silvicultor o el administrador de la reserva, la aplicación de quemaduras prescritas es un medio para favorecer la regeneración del bosque y para reducir la carga de combustibles y el peligro de incendios severos, mientras que los incendios incontrolados pueden ser un factor destructivo; para el habitante urbano, la quema de los bosques puede ser una causa de disminución de la calidad de agua y de deterioro de sitios de esparcimiento al aire libre. Esto implica que un programa de manejo del fuego debe de considerar los puntos de vista de diferentes actores, e incluir el diseño de mecanismos para conciliar sus intereses y resolver los conflictos entre estos.

4.8. Condiciones actuales del manejo del fuego en la JIRA

En esta sección se describen de manera general las actividades que se realizan actualmente en relación al manejo del fuego en la región, quienes son los actores involucrados en estas, su forma de organización y los medios (personal y recursos materiales y financieros con que cuentan). Hacer un diagnóstico preciso de la situación actual, para identificar las áreas de mejora que deben de ser cubiertas con el

plan de manejo del fuego, es una tarea limitada por la falta de registros confiables y la poca información disponible.

4.8.1. Análisis de actores involucrados en el manejo del fuego

Los actores sociales que participan en el manejo del fuego (usuarios finales de este plan de manejo del fuego), incluyen a los dueños y poseedores de terrenos forestales, instancias o dependencias de los tres órdenes de gobierno (federal, estatal, municipal), organizaciones de productores forestales y agropecuarios, organizaciones no gubernamentales, instituciones de educación superior e investigación científica, etc. Incluyen también a organizaciones regionales o locales que representan instancias de participación y colaboración interinstitucional.

Los actores directamente involucrados en la protección contra los incendios forestales y el manejo del fuego en la región son los siguientes:

- Consejo de Administración de la JIRA.
- Dirección de la JIRA.
- Coordinador de Manejo del Fuego de la JIRA.
- Subcomité de Protección Contra Incendios Forestales.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Gobierno de Jalisco.
- Consejos Asesores (CA) de la RBSM. Los CA son la instancia de consulta, planificación y evaluación del manejo de la RBSM. En ellos participan los gobiernos municipales, representantes de las comunidades agrarias, organizaciones civiles locales, y las universidades estatales de Jalisco y Colima. La DRBSM funge como secretariado técnico, y otras dependencias gubernamentales asisten con voz pero sin voto. Los CA son también un espacio para la negociación de apoyos a proyectos y para la solución de conflictos. Existía un CA para Jalisco y otro para Colima, y se contaba con un Sub-Consejo de Desarrollo Forestal, que se encargaba del seguimiento de la agenda forestal de la RBSM, incluyendo los aspectos del manejo del fuego y restauración. Actualmente existe un solo CA y desapareció el Sub-Consejo Forestal, lo cual es una limitante.
- Comunidades agrarias. Las asambleas ejidales y comunales son la instancia para establecer planes y acuerdos relacionados con el uso y manejo de los recursos naturales de las comunidades. En el caso de los incendios forestales es en ellas donde se acuerdan y se programan acciones tales como la integración de brigadas para la prevención y control de incendios, o la programación de las quemas agrícolas.
- Dirección de la RBSM. La DRBSM es la dependencia de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) responsable del manejo de la reserva y de la coordinación de la puesta en marcha de la agenda forestal y del PMFYRB.

- Comisión Nacional Forestal. La CONAFOR es actualmente la agencia federal que coordina a nivel nacional las actividades de prevención y combate de incendios forestales, además de contar con programas de apoyo dirigidos al manejo forestal, la reforestación y el pago de servicios ambientales. En el caso de la RBSM, los fondos de PRODEFOR, PRONARE y los programas de Pago por Servicios Ambientales están siendo canalizados de manera concurrente para fortalecer las acciones de conservación y desarrollo, incluyendo el aspecto de manejo del fuego.
- Secretaría de Desarrollo Rural. Involucradas en proyectos de fomento de actividades agropecuarias.
- Ayuntamientos. Los ayuntamientos están involucrados en algunos aspectos relacionados con el desarrollo rural, la gestión ambiental y la protección civil, y por lo tanto participan apoyando la prevención y combate de incendios. En el caso de la RBSM muchas de estas actividades se acuerdan y programan a través de los CA. Catorce municipios de la RBSM y de su zona de influencia crearon un fideicomiso para la gestión de la cuenca del Río Ayuquila, que cuenta entre sus planes de financiamiento el apoyo al programa de manejo del fuego por su estrecha relación con la conservación y restauración de los bosques de la cabecera de la cuenca.
- Departamento de Ecología y Recursos Naturales-Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad (DERN-IMECBIO). Esta dependencia de la Universidad de Guadalajara (antes denominada Laboratorio Natural Las Joyas) fue creada con el fin de desarrollar actividades de investigación, formación y capacitación y extensión orientadas a la conservación y el desarrollo en la Sierra de Manantlán. Esta institución académica promovió la creación de la RBSM desde 1985 y ha trabajado en estrecha colaboración con las comunidades locales y con las dependencias gubernamentales vinculadas al manejo del área protegida, y en particular con la DRBSM.
- Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente A.C. (MABIO). Esta asociación civil fue creada con el propósito de facilitar la obtención de financiamiento y la gestión de proyectos para apoyar, principalmente, los programas y actividades conjuntas de la DRBSM y el DERN-IMECBIO, para lo cual ha formalizado convenios de cooperación tanto con la CONANP como con la Universidad de Guadalajara.
- Existen además otras instancias gubernamentales federales relacionadas con las actividades de este programa como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA). En el caso de la línea estratégica de uso y manejo agropecuario del fuego, la participación de la SAGARPA es fundamental. La SEDENA por su parte participa activamente en el apoyo al combate de incendios y actividades de reforestación. La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) aplica así mismo programas de apoyo al desarrollo rural.

4.8.2. Prevención

Las actividades de prevención de incendios en los municipios de la JIRA se han dirigido sobre todo a la “prevención cultural”, a través de la difusión de medidas preventivas en los medios de comunicación (principalmente la radio) por medio de anuncios radiofónicos y algunas entrevistas, producción de carteles y folletos, establecimiento de señalamiento informativo, etc. Se han hecho también actividades de educación ambiental para el manejo del fuego que se abordan en la sección 4.8.8.

Otra actividad importante ha sido la difusión de la NOM-015 de uso del fuego, relacionada con la “prevención legal”. Esta ha sido la base para la programación y calendarización de las quemas agrícolas. En la RBSM, las brigadas comunitarias han participado vigilando las quemas agropecuarias e interviniendo en caso necesario para evitar la propagación de incendios.

La prevención legal ha estado limitada por la falta de capacidad operativa para sancionar a infractores causantes de incendios o incluso para actuar en el caso de cambios de uso del suelo no autorizados. Esto genera una situación de impunidad que limita una protección efectiva contra incendios. Las causas reales de cambios de uso del suelo, asociadas con factores socioeconómicos e incluso con incentivos derivados de programas gubernamentales (PROCAMPO e incentivos a la ganadería por ejemplo), no han sido atendidas y requieren de una estrategia relacionada más con programas de desarrollo rural y mejora a la producción agrícola que con la protección contra incendios.

En la RBSM y en otras áreas fuera de esta, en predios que han contado con apoyos del Programa de Pago por Servicios Ambientales de CONAFOR, brigadas comunitarias han realizado actividades de prevención física de incendios, como la construcción y mantenimiento de brechas cortafuego y la corta y apilamiento de combustibles leñosos para reducir la continuidad horizontal de material inflamable. La efectividad de esta práctica es cuestionable.

Los sistemas de brechas cortafuego en las zonas núcleo Manantlán-Las Joyas y Cerro Grande de la RBSM, han sido efectivos para reducir la superficie incendiada y facilitar las labores de combate de incendios (Balcázar 2011).

4.8.3. Combate de incendios

El combate y control de incendios incluye, además de las acciones de supresión del fuego que se realizan durante un evento determinado, todo el proceso de preparación previa a la temporada de riesgo (pre-supresión), la detección de los incendios, el despacho de personal de brigadas de incendios y la asignación de medios para el combate, el comando de las operaciones de combate y, finalmente, la evaluación y reporte de resultados.

En el área de la JIRA se trabaja en promedio con 16 brigadas de combate de incendios, de las cuales sólo una es oficial (Brigada Mazos de la CONAFOR) y trabaja durante todo el año y su área de acción es regional, y dentro del territorio de la JIRA interviene principalmente en los municipios de Autlán y Tuxcacuesco. Las demás brigadas operan principalmente en la primera mitad del año. Tres de ellas (SEMADET-

Ahuacapán, Las Joyas-U de G., y Comité Jazmín) son puestas en operación año con año y las demás como son ejidales dependen de la existencia de financiamiento interno (pago de servicios ambientales) y sólo hacen ataque inicial en caso de presentarse algún evento de fuego dentro de sus predios.

La brigada SEMADET-Ahuacapán es concertada a través del municipio de Autlán con el Gobierno del Estado y su radio de acción es municipal. Las Joyas que es financiada por la Universidad de Guadalajara opera en la Estación Científica Las Joyas y en predios vecinos. Para el caso de la brigada de Comité Jazmín, su área de acción es regional, pues es financiada por las cuotas de los integrantes de la Asociación de Silvicultores de Zapotlán el Grande y combate en los predios pertenecientes a dicha Asociación. La Brigada del ejido Tecopatlán en el año 2015 fue financiada por la CONANP.

En el área de la JIRA se cuenta con tres torres para la detección de incendios forestales, la torre de Mazos ubicada en el municipio de Autlán de Navarro y es operada por la CONAFOR durante todo el año, las otras dos se encuentran en el municipio de San Gabriel. Ambas torres son operadas por Gobierno del Estado, sólo que Base Nevado operara todo el año y Pico del Águila en temporada crítica de incendios.

4.8.4. Manejo del fuego en ecosistemas forestales

El manejo del fuego dirigido a la protección contra incendios de ecosistemas reluctantes o sensibles al fuego y a mantener o restaurar los regímenes de incendios en ecosistemas propensos al fuego, se ha aplicado de manera experimental principalmente en la Estación Científica Las Joyas en la RBSM (Jardel 2008).

La supresión del fuego en algunas áreas a servido para proteger áreas en proceso de regeneración natural y favorecer la restauración de bosque mesófilo de montaña, bosque mixto de pino-latifoliadas y bosque mixto de coníferas. Se han hecho también algunas quemas prescritas experimentales en Las Joyas (Jardel *et al.* 2006). Sin embargo, el manejo del fuego en ecosistemas forestales se ha limitado a áreas de reducida extensión y aún no ha sido adoptado a una escala significativa.

4.8.5. Uso y manejo del fuego en sistemas de producción agropecuaria

El cultivo agrícola es una actividad muy antigua en el área, desde la Época Prehispánica, y por lo tanto ha sido un factor de transformación del paisaje y de fragmentación de los bosques. Al igual que sucede con los incendios, el cultivo no es necesariamente un factor de degradación, y además de esto constituye una actividad indispensable como base del sustento de las poblaciones humanas. Un componente muy importante de la biodiversidad de la Sierra de Manantlán está asociado a las áreas de cultivo (agrobiodiversidad) y su conservación depende del mantenimiento de los sistemas de cultivo tradicionales, incluyendo el uso del fuego como parte de estos (Jardel *et al.* 2013).

La conservación de agrobiodiversidad ha sido un componente importante del manejo de la RBSM, o al menos de sus objetivos. De hecho, la reserva de la biosfera tiene su origen en el descubrimiento de un pariente silvestre del maíz cultivado, la milpilla o teocintle *Zea diploperennis*, que crece asociado a claros en el bosque o áreas de cultivo, y junto con el se encuentra una gran diversidad de plantas arvenses (Benz *et al.* 1990, Jiménez y Lorente 2004). La conservación de la milpilla –y de la flora y fauna asociadas a esta –depende de factores de perturbación que abren claros y crean condiciones de hábitat favorables (Benz *et al.* 1990, Sánchez *et al.* 1991, 2000). Además, la conservación de recursos genéticos de plantas cultivadas, principalmente maíz, es una prioridad dentro de la RBSM (Jardel 1990, 1994, Louette 1994). Como en otras partes de México, en la Sierra de Manantlán se han desarrollado sistemas de cultivo agrícola sustentables (Wilken 1987, Benz y Jardel 1996); sin embargo los sistemas tradicionales de producción campesina han sufrido cambios drásticos debidos a la transformación de las condiciones socioeconómicas y el entorno cultural, y en muchos casos se han abandonado las prácticas que podían considerarse sustentables o, al menos, de bajo impacto, y actualmente en muchas de las tierras de cultivo de la Sierra de Manantlán se observan problemas de erosión y otros impactos derivados del uso excesivo de agroquímicos (Jardel 1990, INE 2000). El incremento en el uso de herbicidas, plaguicidas y fertilizantes ha estado asociado a programas de extensión agrícola que han tratado de eliminar el uso del fuego en las prácticas de cultivo.

La aplicación de quemas ha sido parte del sistema tradicional de cultivo de coamil. Aunque el escape del fuego de las quemas agrícolas es considerado como una de las principales causas de incendios forestales en México y en la Sierra de Manantlán, en un estudio (González-Jacobo 2011) se observó que los campesinos utilizan prácticas apropiadas para quemar de manera controlada. En los dos casos estudiados, las quemas se aplicaron durante el día y se mantuvieron bajo control.

Partiendo de la experiencia directa del trabajo en la zona, puede conjeturarse que el escape del fuego de las parcelas es más bien algo accidental, que ocurre de manera ocasional, y que la mayor parte de los incendios forestales que se reportan como causados por quemas agropecuarias son en realidad provocados intencionalmente para favorecer el rebrote de plantas forrajeras en agostaderos cerriles, facilitar la apertura de nuevos desmontes o incluso para establecer cultivos ilegales o borrar sus rastros. Esto es, podemos plantear la hipótesis de que el uso del fuego en el cultivo de *coamil* es una causa menor de incendios forestales; lo que se reporta como “incendios causados por quemas agrícolas” son causados por factores, que salvo el de la quema de agostaderos, no tienen una “solución técnica”, sino que se requiere actuar sobre sus causas sociales: las causas raíz de la deforestación y el cultivo de estupefacientes.

El estudio de González-Jacobo (2011) en la parte sur de la Sierra de Manantlán (fuera del área de la JIRA pero en condiciones similares a esta), mostró que las quemas tuvieron como efecto un aumento moderado en la fertilidad del suelo. Como era de esperarse, de acuerdo con lo que se reporta en otros estudios (Rodríguez 1996, Certini 2005), la capacidad de intercambio catiónico y las concentraciones de calcio y potasio aumentaron. También aumentó la proporción de materia orgánica y la

concentración de nitrógeno amoniacal y nítrico, lo que puede explicarse como resultado de una quema de baja intensidad que produce combustión parcial. La concentración de fósforo disminuyó. También se observó una ligera disminución del pH después de la quema, cuando se esperaría el resultado contrario. Khouri (2006), reporta que en quemas de baja intensidad no se detectan variaciones de pH o, si se detectan, estas son muy pequeñas. El pH encontrado en los suelos del Ejido de Ayotitlán tienden a ser ácidos y la aplicación de fertilizantes nitrogenados empeora esta situación. Otros trabajos han demostrado que incluso hay incorporación de carbón al suelo y que, cuando existe un ciclo de barbecho largo, el balance entre emisiones y captura de carbono es positivo, esto es, que el sistema de *coamil* con ciclo de barbecho contribuye a la fijación de carbono, a diferencia del cultivo anual.

En conclusión, la aplicación de quemas puede considerarse una práctica adecuada cuando se mantiene un ciclo de barbecho largo, pero el sistema tradicional de cultivo de *coamil* se ha modificado significativamente. El período de barbecho se ha ido reduciendo hasta abandonarse en algunos sitios, con consecuencias como la degradación de los suelos y la merma de los rendimientos. El *coamil* ha tendido a convertirse en un monocultivo extensivo de maíz, ya que por la aplicación de herbicidas se ha abandonado el cultivo mixto con plantas como calabaza, chilacayote o frijol. Incluso se ha reducido el uso de las plantas arvenses comestibles y medicinales, convertidas ahora en “malezas”, que solo tienen un uso forrajero al final del ciclo de cultivo. También ha aumentado el uso de agroquímicos (principalmente herbicidas y fertilizante), que dada la baja rentabilidad de los cultivos es subsidiado por el pago del PROCAMPO.

Conservar la biodiversidad asociada al cultivo de *coamil*, mantener su papel cultural en las comunidades locales, y al mismo tiempo mejorar su productividad y su contribución a la economía campesina, y mitigar sus impactos ambientales, implica rediseñar este sistema de cultivo, rescatando los elementos del sistema tradicional (en vías de desaparición) e incorporando otros elementos de la agricultura orgánica.

El mejoramiento y estabilización de la agricultura de ladera en la región de la JIRA es necesario para reducir la presión sobre las áreas boscosas, incluyendo la reducción de la incidencia de incendios causados por el escape accidental del fuego durante las quemas agrícolas, o provocados deliberadamente para el desmonte de nuevas áreas.

4.8.6. Capacidades del personal involucrado en el manejo del fuego

Parte del personal de CONAFOR, CONANP, JIRA y Universidad de Guadalajara a participado en cursos de capacitación en prevención y control de incendios, comportamiento del fuego y otros, dentro del programa de capacitación realizado por CONAFOR con apoyo del Servicio Forestal de los Estados Unidos.

Durante el periodo 2000 a 2007 en la RBSM, a través de la Universidad de Guadalajara y con la colaboración de CONANP y CONAFOR se llevó a cabo un curso-taller anual de capacitación y entrenamiento de brigadas comunitarias en manejo del fuego. Los cursos-talleres incluyeron la revisión de los principios básicos del manejo del fuego y

sus fundamentos ecológicos; en ellos se discutieron las prácticas de manejo de combustibles y los aspectos fundamentales de la organización del combate de incendios; en dos ocasiones se hicieron prácticas de quemas prescritas.

A pesar de que ha habido avances en el proceso de capacitación, es necesario fortalecer la formación y entrenamiento de un mayor número de personas a distintos niveles para contar con el personal necesario para implementar un plan de manejo del fuego en la región.

A nivel profesional, en el Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara se imparte un curso de manejo del fuego como parte del currículo de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales y Agropecuarios.

4.8.7. Información y conocimiento para el manejo del fuego

La investigación científica y el monitoreo u observación continua, son elementos centrales para el manejo del fuego y la restauración de bosques, considerando que es necesario un enfoque experimental del manejo de ecosistemas dinámicos y complejos, acerca de los cuales existe un conocimiento limitado. Se ha planteado la adopción de un enfoque de *manejo adaptativo*, de “aprender haciendo”, en el cual las acciones de manejo son llevadas a cabo como experimentos que permiten mejorar nuestro conocimiento y desarrollar prácticas adecuadas de gestión (Walters y Holling, 1990). Esto requiere como base el desarrollo de actividades permanentes de investigación y monitoreo.

En la Estación Científica Las Joyas de la Universidad de Guadalajara, dentro de la RBSM, se ha desarrollado un programa de investigación sobre ecología del fuego desde 1987. Las Joyas ha sido el sitio más estudiado de la región y es uno de los más estudiados del país en cuanto a la ecología del fuego. La ECLJ ha servido como base de operaciones para otros estudios en áreas aledañas de la Sierra de Manantlán.

Anaya (1989) evaluó el proceso de regeneración natural en un sitio afectado por un incendio de remplazo de rodal en bosque de pino-encino; se ha dado seguimiento en este sitio al estudio de la sucesión por más de 20 años, añadiendo estudios sobre la regeneración natural post-incendio en sitios adicionales (Llamas-Casillas 2009). Jardel (1991) realizó el primer trabajo en la región sobre reconstrucción de la frecuencia histórica de incendios con métodos dendrocronológicos, complementado con información de historia oral sobre incidencia de incendios y analizando la relación entre el régimen de fuego, la explotación maderera y la estructura, composición y dinámica de la vegetación. En los trabajos de Jardel y Saldaña (1992), Sánchez-Velásquez y García-Moya (1992), Jardel *et al.* (2004c), Castillo-Navarro (2007) y Vargas-Jaramillo (2010) se ha analizado el proceso de regeneración natural y sucesión ecológica post-incendio y el efecto de los regímenes de fuego sobre la vegetación y la diversidad florística en bosques de pino-encino, pino-latifoliadas y bosque mesófilo de montaña. Castillo (2015) ha estudiado el efecto del régimen de incendios en las comunidades de plantas desde la perspectiva de grupos funcionales de respuesta al fuego.

Contreras *et al.* (1993, 2015) y Santana (2000) han estudiado las comunidades de aves en áreas afectadas por incendios.

Otros estudios han abordado la reconstrucción del régimen histórico de incendios forestales en bosques de pino (Rubio 2007, Cassell 2012, Llamas-Casillas 2013, Cerano-Paredes *et al.* 2015). En esta área de Las Joyas se han realizado también experimentos de quemas prescritas y control mecánico de combustibles (Jardel 2008, Jardel *et al.* 2010).

A nivel de la Reserva en conjunto se han realizado los estudios de caracterización y análisis de la problemática de incendios forestales y de las alternativas de manejo del fuego (Jardel *et al.* 2004, 2006), incidencia de incendios y patrones geocológicos del fuego (Balcázar 2011), caracterización y cuantificación de camas de combustibles (Alvarado *et al.* 2008, Michel 2010).

El programa de investigación en ecología y manejo del fuego en la región, desarrollado por el Departamento de Ecología y Recursos Naturales del CU Costa Sur de la Universidad de Guadalajara, ha abordado cuatro temas fundamentales: (1) la caracterización y clasificación de los ecosistemas terrestres del área de estudio en función de su régimen potencial de incendios; (2) el desarrollo de un Sistema de Información y Monitoreo de Incendios Forestales (SIMIF) de la región; (3) la evaluación de efectos ecológicos del fuego sobre ecosistemas forestales de la región, particularmente en relación con la dinámica de comunidades de plantas y aves, y (4) la integración de las recomendaciones derivadas del proyecto en una *Estrategia de Manejo del Fuego* de la JIRA y en el programa de manejo del fuego de la RBSM.

En la Estación Científica Las Joyas y sus alrededores, en la parte central de la Sierra de Manantlán, se han establecido parcelas permanentes para monitorear cambios a través del tiempo en la composición y estructura de la vegetación bajo la influencia del fuego. El sistema de 54 parcelas permanentes (de 0.05 ha cada una) incluye sitios no quemados por más de 30 años (sitios de referencia) y sitios quemados (por incendios o por quemas prescritas) con distinta severidad y tiempo desde el último incendio (<30 años). Como parte del proyecto se hicieron remediciones de las parcelas permanentes y se renovaron las marcas de las mismas que permiten localizarlas en el terreno. Dos tesis, una de maestría en ciencias y otra de doctorado, han utilizado la información generada en este sistema de parcelas permanentes y además se realizaron otros muestreos complementarios.

4.8.8. Planificación y programación del manejo del fuego

A partir de la publicación del *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán* y como parte del inicio de tres proyectos relacionados con la prevención de incendios, la restauración de áreas quemadas y la educación ambiental en relación con el tema del fuego, la Dirección de la RBSM (dependencia de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, CONANP) y el Instituto Manantlán de Ecología y Recursos Naturales de la Universidad de Guadalajara (ahora Departamento de Ecología y Recursos Naturales-IMECBIO) iniciaron los trabajos para desarrollar y poner en práctica un programa de manejo del fuego y restauración de bosques. Para esto se contó con el apoyo técnico y financiero del Fondo Mexicano para la Conservación de

la Naturaleza A.C. (FMCN). La propuesta de elaborar dicho programa se convirtió en un mandato de los Consejos Asesores de la RBSM, las instancias de gestión participativa del área protegida establecidas en los estados de Jalisco y Colima, en las cuales están representadas las autoridades de las comunidades agrarias y los gobiernos municipales, instituciones académicas, organismos no gubernamentales y la CONANP.

Después de un proceso de varios años en el cual se integró el trabajo de diagnóstico, investigación científica, monitoreo, planificación estratégica y operativa, implementación de acciones y evaluación de resultados, se fue construyendo la propuesta que finalmente fue aprobada a principios de 2006 como *Programa de Manejo del Fuego y Restauración de Bosques de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán* (PMFRB). A partir de entonces este programa ha sido el marco de referencia para las acciones de manejo del fuego en la RBSM y ha servido como base para el desarrollo de una estrategia más amplia en diez municipios de la región asociados en la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila (JIRA).

El PMFRB de la RBSM fue elaborado a través de una estrecha colaboración entre la Dirección de la Reserva (CONANP) y la Universidad de Guadalajara, la consulta, análisis y discusión en el seno de los Consejos Asesores, y las aportaciones de otras instituciones como el FMCN la Agencia para el Desarrollo Internacional de Estados Unidos, US-AID (que financiaron el desarrollo del programa y su puesta en marcha por medio del *Programa de Prevención de Incendios y Restauración*), Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable A.C. (ENDESU), la Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente A.C. (MABIO), el Consejo Civil Mexicano de Silvicultura Sostenible A.C., la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno de Jalisco.

Han hecho también importantes contribuciones varios investigadores de diversas instituciones con las cuales el Departamento de Ecología y Recursos Naturales-IMECBIO mantiene acciones de cooperación científica. Ha sido especialmente importante el trabajo colaborativo en la investigación sobre ecología del fuego con el Colegio de Recursos Forestales de la Universidad de Washington y el Grupo de Investigación Aplicada sobre Fuego y Medio Ambiente (FERA por sus siglas en inglés) del Servicio Forestal de los Estados Unidos, así como con el Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México. En el trabajo diario ha sido también importante la contribución de funcionarios de dependencias del sector forestal y de conservación, prestadores de servicios técnicos forestales, estudiantes y, sobre todo, los integrantes de las brigadas oficiales y comunitarias de combate de incendios que operan en la RBSM y su región de influencia.

4.9. Conclusiones del diagnóstico y pronóstico

Presentar de manera integrada las conclusiones del diagnóstico y discutir los escenarios posibles de condiciones futuras, identificando los aspectos clave que deben ser abordados en los componentes estratégicos y operativos del PMF.

La supresión total de los incendios forestales, que ha sido durante mucho tiempo un objetivo de las acciones de protección forestal alrededor del mundo, no solo es imposible de alcanzar, sino que la eliminación del fuego en muchos ecosistemas forestales ha tenido efectos contraproducentes de alteración del hábitat y de acumulación de combustibles con consecuencias como una mayor incidencia de incendios catastróficos (Pyne *et al.*, 1996).

Además de los incendios forestales, otros factores como el cultivo agrícola, el pastoreo de ganado y la explotación maderera han afectado de manera importante a los bosques y selvas de la Sierra de Manantlán (Jardel 1990, 1991, 1998).

El entendimiento del papel ecológico del fuego y del contexto socioecológico de los incendios forestales, es fundamental para diseñar prácticas adecuadas de manejo con fines de conservación biológica, restauración ecológica, rehabilitación productiva o silvicultura sustentable. Considerando tanto el estado actual del conocimiento sobre la ecología del fuego, como la diversidad de especies y ecosistemas de las zonas montañosas de México en general y de áreas como la Sierra de Manantlán en particular, la investigación ecológica y sociológica, así como la experimentación y el monitoreo, son indispensables para generar conocimientos y experiencias de manejo del fuego.

Los aspectos sociales son un componente fundamental; es necesario tomar en cuenta los intereses de diferentes actores, las condiciones de tenencia de la tierra, los arreglos institucionales de largo plazo y los mecanismos de toma de decisiones y resolución de conflictos. Para que sea funcional un programa de manejo del fuego y restauración de bosques en una área como la región de la JIRA, este debe de formar parte de una estrategia integral de manejo de territorio y de gestión ambiental. El caso de la JIRA nos muestra la complejidad del contexto social y ecológico del manejo del fuego.

En el caso de la RBSM, donde se iniciaron primero acciones de manejo del fuego en la región, es importante señalar que las reservas de la biosfera son no solo un tipo más de áreas protegidas, sino también sitios donde se pueden experimentar enfoques alternativos de manejo de los ecosistemas y los recursos naturales incorporando el componente humano (Jardel *et al.* 1996, 2004 d; Graf *et al.* 2003). Las experiencias desarrolladas en estas reservas eventualmente pueden extenderse más allá de sus límites con el fin de promover impactos positivos en la conservación de los ecosistemas forestales, la biodiversidad que contienen y los recursos naturales y servicios ambientales que proveen a la sociedad. Por último, en el cuadro 4.8 se presenta a manera de síntesis el análisis básico de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (análisis FODA), derivado del diagnóstico de la problemática regional en relación con los incendios forestales

Cuadro 4.8 Análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) de las condiciones actuales del manejo del fuego en la región de la JIRA.

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Prevención y Combate de Incendios			
<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia en la aplicación de medidas de prevención física de incendios (sistemas de brechas cortafuego, quemas prescritas, control mecánico de combustibles). • Brigadas de incendios experimentadas (Conafor 3, Conanp 1, Las Joyas 1). • Participación de las comunidades agrarias en la prevención y combate de incendios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales de la CONAFOR. • Programa de Manejo del Fuego en Áreas Naturales Protegidas de la CONANP. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de continuidad en las actividades de prevención física de incendios. • No se cuenta con un Sistema de Manejo de Incidentes y protocolos para el combate y control de incendios forestales. • Infraestructura insuficiente para vigilancia y apoyo al combate de incendios. • Equipamiento limitado y obsoleto de las brigadas de incendios. • Personal insuficiente para el combate y control de incendios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de aplicación de la ley e impunidad de causantes de incendios. • Actividades de producción de cultivos ilegales.
Manejo del Fuego en Ecosistemas Forestales			
<ul style="list-style-type: none"> • Se cuenta con información y conocimiento básicos sobre regímenes naturales/históricos de incendios que fundamentan las prácticas de manejo del fuego en ecosistemas forestales. • Experiencias en manejo del fuego en ecosistemas forestales en la RBSM y la EC Las Joyas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendencia a reconocer el papel ecológico del fuego y la necesidad de adoptar estrategias de manejo del fuego basadas en principios ecológicos. • CONAFOR y SEMADET comienzan a promover acciones dirigidas al manejo del fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a adoptar un enfoque de manejo del fuego; persiste el enfoque de supresión. • No se ha dado seguimiento a la aplicación de quemas prescritas. • Problemas de acumulación de combustibles y aumento del peligro de incendios en áreas donde ha habido supresión efectiva de incendios. • Intervenciones de restauración (en realidad reforestación) sin una base ecológica y silvícola adecuadas. • Aumento de la incidencia de incendios en ecosistemas reluctantes o sensibles al fuego. • Transformaciones del paisaje como fragmentación que aumentan la vulnerabilidad a incendios. 	<ul style="list-style-type: none"> • El apoyo a brigadas se centra en el combate de incendios y la prevención física, no en el manejo del fuego. • Efectos del cambio climático y fenómenos meteorológicos extremos que influyen en el aumento de incendios. • Alteración de regímenes de incendios por cambios de uso del suelo. • Se imitan prácticas de manejo que se aplican en otros lugares, en lugar de diseñar estrategias de manejo del fuego adaptadas al contexto ecológico y social local.

Manejo del Fuego en la Producción Agropecuaria			
<ul style="list-style-type: none"> • En comunidades agrarias se hacen calendarios de quema. • Existe conocimiento y experiencia en el manejo de quemas agrícolas entre campesinos de la región. 	<ul style="list-style-type: none"> • Creciente interés en el apoyo a prácticas agroforestales y silvopastoriles y agricultura orgánica. • Existen métodos alternativos de agricultura sostenible y manejo de agostaderos que pueden reducir el uso del fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> • Abandono o transformación de las prácticas tradicionales de cultivo agrícola. • Desmontes para favorecer la expansión de cultivos y pastizales, provocando incendios como parte del cambio de uso del suelo. • No hay una adecuada supervisión de las quemas agropecuarias. • Tendencias de crecimiento de centros de población en áreas con alto riesgo/peligro de incendios. • Quemadas de cosecha de caña de azúcar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva negativa respecto al uso del fuego en las actividades agropecuarias. • Políticas dirigidas a eliminar el uso del fuego en actividades agropecuarias favorecen el uso de agroquímicos contaminantes. • Los programas de desarrollo agrícola no incorporan el manejo del fuego.
Capacitación y entrenamiento			
<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia y resultados de cursos de capacitación de brigadas comunitarias en la RBSM con colaboración CUCSUR-UdeG, CONANP y JIRA. • Profesores, investigadores y técnicos calificados en ecología y manejo del fuego en una institución de investigación y enseñanza asentada en la región (CUCSUR-UdeG). • Programas educativos de licenciatura y postgrado que incorporan el componente de ecología y manejo del fuego en el CUCSUR-UdeG. 	<ul style="list-style-type: none"> • Programa de capacitación en combate de incendios de la CONAFOR. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se carece de un programa de capacitación y entrenamiento para el manejo del fuego. • El personal capacitado para el manejo del fuego es insuficiente. • Recambio continuo de personal de brigadas de incendios y pérdida del personal que ha sido ya capacitado. • Los resultados de la investigación sobre ecología y manejo del fuego no se han incorporado de manera sistemática en la capacitación. • Directivos y funcionarios generalmente no están capacitados en manejo del fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> • No existen programas de formación, capacitación y entrenamiento sobre manejo del fuego y sus bases ecológicas.
Información y conocimiento para el manejo del fuego			
<ul style="list-style-type: none"> • Se cuenta con un Sistema de Información y Monitoreo de Incendios Forestales (SIMIF) en operación desde 1995 en la RBSM y 	<ul style="list-style-type: none"> • Comienzan a desarrollarse programas de financiamiento a la investigación sobre temas de ecología y manejo del fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a compartir información sobre incidencia de incendios entre instituciones. • Se carece de un protocolo 	<ul style="list-style-type: none"> • A nivel nacional se carece de un sistema adecuado de información y monitoreo de incendios.

<p>desde 2010 en la región.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grupo de investigación ecológica a largo plazo (Mexlter-Manantlán, DERN-IMECBIO UdeG CUCSUR) con una línea de investigación sobre manejo del fuego, trabajando desde 1986. • Estación Científica Las Joyas como sitio de apoyo logístico para la investigación. • Resultados de investigación sobre ecología del fuego. 		<p>adecuado para el registro de información sobre incendios forestales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • No hay una evaluación sistemática de los efectos de incendios. • El desarrollo de la investigación está limitado por la falta de presupuesto suficiente y constante. • La información científica no esta disponible en un formato adecuado para su divulgación y su aplicación práctica. • La red de monitoreo meteorológico es insuficiente e inadecuada. Está centrada en áreas agrícolas y centros de población. • Los costos económicos de la protección contra incendios no han sido evaluados sistemáticamente. 	
Comunicación social y educación para el manejo del fuego			
<ul style="list-style-type: none"> • Experiencias exitosas de educación ambiental para el manejo del fuego en la RBSM. • Campañas regulares de difusión en los medios sobre prevención de incendios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interés creciente en la comunicación para el manejo del fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> • El trabajo de comunicación y educación para el manejo del fuego ha estado limitada por la falta de personal y medios materiales y financieros para mantener su continuidad. • Los resultados de la investigación sobre ecología y manejo del fuego no han tenido suficiente difusión. Esta ha sido eventual. 	<ul style="list-style-type: none"> • Persiste una percepción negativa de los incendios forestales y un desconocimiento generalizado del papel ecológico del fuego. • Los medios de comunicación de masas promueven una percepción negativa y catastrofista de los incendios forestales. • Los conceptos básicos de la ecología y manejo del fuego están ausentes en los medios de comunicación.
Organización y colaboración interinstitucional			
<ul style="list-style-type: none"> • Agencia de gestión ambiental intermunicipal (JIRA) con trabajo continuo en la región en la que participan los tres órdenes de gobierno. • Resultados de colaboración 	<ul style="list-style-type: none"> • Programas públicos de apoyo en el sector forestal, mitigación de cambio climático (REDD+). 	<ul style="list-style-type: none"> • El actual Subcomité de Protección contra Incendios Forestales no ha tenido una actividad continua y consistente y su campo de acción está limitado. • Territorialidad institucional y falta de 	<ul style="list-style-type: none"> • No existe una organización estatal claramente definida para el manejo del fuego. • Existe indefinición en la función de las Juntas Intermunicipales de Medio Ambiente en cuanto a su participación en el Manejo del Fuego.

<p>interinstitucional JIRA-Dirección de la RBSM-U de G CU Costa Sur por más de 15 años.</p>		<p>disposición a la colaboración y a compartir responsabilidades en el manejo del fuego.</p> <ul style="list-style-type: none"> Resistencia al cambio y, en particular, a adoptar un enfoque de manejo del fuego. Financiamiento insuficiente y errático. 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de armonización e integración de políticas públicas para el manejo del fuego. Programas del sector agropecuario que incentivan cambios de uso del suelo.
<p>Planificación estratégica y programación operativa</p>			
<ul style="list-style-type: none"> Se cuenta con el planteamiento general de una Estrategia de Manejo del Fuego de la JIRA. La RBSM cuenta con una propuesta de Programa de Manejo del Fuego. Los POA de la JIRA y la RBSM incluyen acciones relacionadas con el manejo del fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> Se está desarrollando un Programa de Ordenamiento Ecológico Regional con un enfoque de manejo de cuencas y ecosistemas. Se está actualizando el Programa de Manejo de la RBSM. Programa de Cuencas Costeras y acciones tempranas de REDD+. 	<ul style="list-style-type: none"> No se cuenta con un Plan de Manejo del Fuego de la JIRA aprobado por los actores involucrados en su aplicación. El Programa de Manejo del Fuego no ha sido aprobado oficialmente por la CONANP. El Parque Nacional Nevado de Colima y el Parque Estatal Bosques Mesófilos del Nevado de Colima carecen de programas de manejo del fuego. Se carece de una evaluación sistemática de la aplicación de medidas de manejo del fuego. Los programas de manejo del fuego carecen de un componente de manejo del fuego (están centrados solo en medidas básicas de protección contra incendios). 	<ul style="list-style-type: none"> Sigue existiendo un enfoque centrado en la protección contra incendios y la supresión del fuego. El marco legal del manejo del fuego es insuficiente y el que existe está centrado en la protección contra incendios. No están definidas claramente las atribuciones de los municipios ni de la JIRA en materia de manejo del fuego. Falta de entendimiento del papel ecológico del fuego y de las implicaciones del manejo del fuego en el contexto de las acciones de mitigación de emisiones y adaptación al cambio climático

5. Objetivos y líneas de acción estratégicas

Como se ha planteado anteriormente en la sección correspondiente al marco conceptual, el manejo del fuego debe ser entendido como un componente que forma parte de un proceso más amplio de gestión del territorio, los recursos naturales y los ecosistemas. En este sentido, el manejo del fuego tiene como fin contribuir a la conservación de los ecosistemas, tanto naturales como transformados, para mantener a largo plazo sus elementos componentes (biodiversidad, suelos, agua, etc.) y sus patrones, procesos dinámicos y funcionamiento, de lo cual depende su capacidad para proporcionar a las sociedades humanas servicios ambientales de soporte de vida, regulación ambiental, aprovisionamiento de recursos naturales y preservación de valores culturales. El manejo del fuego también tiene el propósito de contribuir a la restauración de ecosistemas que han sufrido procesos de degradación o deterioro ecológico y, además, es una herramienta para la producción sostenible de recursos naturales.

En el caso del presente plan, el manejo del fuego se inserta en el marco de una estrategia de gestión ambiental intermunicipal a escala regional. Forma parte de un conjunto integral de acciones dirigidas a conservar el patrimonio natural y la biodiversidad de la región, proteger los bosques de las cabeceras de las cuencas, restaurar áreas degradadas y aprovechar apropiadamente los recursos naturales para mejorar la economía y el bienestar de las comunidades de la región.

En esta sección se establecen los objetivos del manejo del fuego en el marco de la gestión ambiental intermunicipal en los 10 municipios que integran la JIRA. Además de plantear el objetivo general del manejo del fuego, se establecen objetivos particulares definidos como los resultados esperados de la aplicación del plan y los programas operativos que de este se derivan. Estos objetivos particulares o resultados esperados, se integran en nueve líneas de acción estratégica que constituyen los componentes del plan de manejo del fuego.

5.1. Objetivos

5.1.1. Objetivos generales

Los objetivos generales del Plan Manejo del Fuego de la JIRA son los siguientes:

- I. Contribuir, a través de buenas prácticas de manejo del fuego, a la conservación y restauración de ecosistemas y a la producción sostenible de recursos naturales, en la región formada por los municipios de Autlán, El Grullo, Ejutla, El Limón, San Gabriel, Tonaya, Tolimán, Tuxcacuesco, Unión de Tula y Zapotitlán de Badillo, en el marco de la gestión ambiental intermunicipal de la JIRA.

- II. Contar con un marco de referencia y líneas de acción estratégicas para orientar el manejo del fuego fundamentado en principios y criterios ecológicos y sociales.
- III. Contar con un instrumento de planeación que permita establecer acuerdos y mecanismos de colaboración interinstitucional y participación local, para la ejecución de las acciones de manejo del fuego integradas a la agenda ambiental de la JIRA y los programas de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de la cuenca.

5.1.2. Objetivos particulares

A través de la puesta en marcha del plan de manejo del fuego se espera lograr los objetivos generales arriba planteados y alcanzar los siguientes objetivos particulares:

- XI. Disponer de instrumentos de planificación estratégica y operativa, y establecer acuerdos de colaboración interinstitucional entre los tres órdenes de gobierno para ejecutar las acciones del manejo del fuego planificadas en la región integrada por los 10 municipios de la JIRA
- XII. Contar con una organización adecuada y un mecanismo de trabajo que facilita la colaboración en la implementación de las líneas de acción estratégicas del Plan de Manejo del Fuego de la JIRA, en el marco de la gestión ambiental intermunicipal.
- XIII. Llevar a cabo el manejo del fuego sobre la base de principios y criterios ecológicos, contribuyendo a la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos forestales de la región:
 - a. En los ecosistemas forestales propensos a incendios (*i.e.* mantenidos o dependientes del fuego), aplicar prácticas de manejo que permiten mantener o restaurar su régimen de incendios dentro de la amplitud de su variación natural o histórica, contribuyendo a conservar su biodiversidad y funcionamiento.
 - b. En los ecosistemas forestales reluctantes a incendios (*i.e.* sensibles al fuego), reducir significativamente la incidencia de incendios forestales y sus efectos negativos.
 - c. En los bosques dedicados a la producción forestal maderable, aplicar buenas prácticas de manejo del fuego como parte de una silvicultura sostenible.
 - d. Controlar eficientemente los incendios forestales que representan peligro o amenaza a centros de población, infraestructura o recursos naturales.
 - e. A través del manejo del fuego, contribuir a la aplicación de medidas de adaptación al cambio climático global y de reducción de emisiones de gases con efecto de invernadero.

- XIV. Promover buenas prácticas de manejo del fuego, o en su caso prácticas alternativas que permitan reducir o eliminar el uso del fuego, en la producción agrícola y ganadera, reducir la incidencia de incendios causados por el escape del fuego de quemas agropecuarias, y contribuir a la reducción de emisiones de gases con efecto de invernadero generadas por la deforestación y por quemas de desmonte o cambio de uso del suelo.
- XV. Restaurar o rehabilitar áreas degradadas por la alteración de los regímenes de incendios y otros factores de deterioro asociados como desmontes, sobreexplotación forestal, sobrepastoreo, fragmentación e impacto de caminos.
- XVI. Fortalecer las capacidades técnicas y operativas para el manejo del fuego en la región, a través de la formación técnica y profesional, la capacitación y el entrenamiento.
- XVII. Contar con un sistema de información y monitoreo de incendios forestales y contribuir a la generación de conocimiento sobre la ecología y el manejo del fuego a través de la investigación científica y la experimentación, aportando elementos sólidos que fundamenten y retroalimentan la mejora continua de las prácticas de manejo del fuego basadas en principios y criterios ecológicos y sociales, como parte de una estrategia de manejo adaptativo.
- XVIII. Desarrollar un proceso de comunicación continua que facilite el conocimiento y entendimiento del manejo del fuego y sus principios ecológicos entre los pobladores de la región y los actores involucrados en la implementación de los planes, promoviendo su participación.
- XIX. Asegurar la sostenibilidad a largo plazo de las acciones de manejo del fuego mediante mecanismos adecuados de financiamiento.
- XX. Administrar de manera eficiente los medios (personal y recursos materiales y financieros) para la ejecución del Plan de Manejo del Fuego de la JIRA y los programas operativos anuales.

5.2. Líneas de acción estratégicas

A partir de los objetivos expuestos en la sección anterior, se identificaron diez líneas de acción estratégicas para el manejo del fuego. Estas tienen como antecedentes la *Estrategia Intermunicipal de Manejo del Fuego de la Cuenca del Río Ayuquila* elaborada en 2010, la cual fue planteada como un marco de referencia para establecer los principios generales que han guiado las acciones a escala regional. En este plan se retomaron con modificaciones las diez líneas de acción planteadas en dicha estrategia. Estas líneas de acción incluyen tanto intervenciones técnicas como institucionales y comunicativas que son necesarias para lograr los objetivos antes descritos.

Las intervenciones de carácter técnico se refieren a la prevención y combate de incendios, al manejo del fuego y la restauración de los regímenes de incendios en áreas forestales, y la regulación del uso del fuego y en caso necesario su sustitución por otras prácticas en las actividades agropecuarias. Se da particular importancia al

tema de la mitigación y adaptación frente al cambio climático; la combustión de la biomasa en los incendios forestales es un componente importante del ciclo del carbono, por lo cual el manejo del fuego debe incorporar medidas para reducir emisiones y mantener el balance de carbono (la relación entre captura y emisiones) en los ecosistemas dentro de su variación histórica y de acuerdo con los objetivos planteados en el proyecto piloto de REDD en la cuenca del Río Ayuquila. La adaptación al cambio climático es otra cuestión fundamental, ya que la incidencia de incendios y sus efectos son sensibles a la variación en el clima.

La investigación científica es considerada como un componente de la estrategia, por su función en la generación de información, conocimiento y entendimiento que retroalimenta las intervenciones técnicas de manejo. Esta estrategia plantea un enfoque de manejo adaptativo; tanto la dinámica compleja de los ecosistemas como las limitaciones del conocimiento disponible implican que existen incertidumbres y lagunas de conocimiento sobre las respuestas de estos ecosistemas a los regímenes de incendios, a otros factores ambientales y a las intervenciones de manejo. Por estas razones, las prescripciones e intervenciones de manejo deben ser planeadas como experimentos basados en hipótesis establecidas sobre la base del conocimiento disponible; la observación continua y el análisis de los resultados del manejo experimental, permitirán generar nuevo conocimiento y corregir y mejorar las prácticas que se están aplicando. Además el entorno ecológico y social son cambiantes, y el manejo debe irse adaptando conforme se producen cambios y genera nuevo conocimiento en un proceso continuo de aprendizaje y mejora. Esto requiere no solo de la integración de la investigación con el manejo, sino también de un marco institucional adecuado para la toma de decisiones, la planificación y la evaluación. Todo esto requiere de sistemas de información y monitoreo operativos.

Las intervenciones institucionales están dirigidas a establecer acuerdos duraderos entre los actores involucrados y mecanismos de planificación, seguimiento y evaluación, así como una organización adecuada para llevar a cabo la estrategia y para ir adaptando y mejorando con el tiempo. Se incluyen también los aspectos de financiamiento, de los cuales depende la sostenibilidad a largo plazo de la implementación de la estrategia y los programas y acciones derivados de esta.

El fortalecimiento de capacidades es otro componente fundamental de la estrategia, cuya puesta en práctica requiere de personal bien capacitado, entrenado y experimentado, que pueda actuar a distintos niveles y tareas, desde la planificación y evaluación del manejo del fuego hasta la ejecución de acciones específicas en el combate de incendios, la prevención física, las actividades de restauración, la investigación, la comunicación y entrega de resultados, etc.

El aspecto comunicativo es particularmente importante si se quiere lograr una participación efectiva de los actores involucrados en el manejo del fuego en la región. La comunicación es fundamental también para la informar al público de lo que se está haciendo y para la rendición de cuentas ante los ciudadanos de los municipios. La comunicación y entrega de resultados de la investigación y el monitoreo es necesaria para orientar una toma de decisiones bien informada. La educación de la población local en relación con el manejo del fuego en el marco de la gestión ambiental es

también indispensable para generar cambios en valores, actitudes y conductas de la gente basadas en el conocimiento y entendimiento de los problemas y las estrategias de acción, fortaleciendo las formas de participación de los pobladores de la región.

De cada línea estratégica se derivan una serie de acciones. Algunas son de carácter general para toda la región integrada por los diez municipios. Otras acciones deberán ponerse en práctica en el nivel de las unidades de manejo consistentes en los predios de comunidades agrarias y particulares. Es a nivel de estas unidades, basadas en la propiedad de la tierra, en las que podrán definirse prescripciones de manejo específicas en el marco de los principios y criterios establecidos en la estrategia general.

Las líneas de acción estratégica planteadas son las siguientes:

1. Planificación estratégica y operativa y evaluación del manejo del fuego con un enfoque adaptativo.
2. Organización y cooperación interinstitucional para el manejo del fuego.
3. Manejo del fuego basado en principios y criterios ecológicos para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos forestales de la región.
4. Manejo del fuego en los sistemas de producción agropecuaria.
5. Fortalecimiento de capacidades locales para el manejo del fuego a través de la capacitación y entrenamiento.
6. Generación de información y conocimiento para el manejo adaptativo del fuego.
7. Comunicación para el conocimiento y entendimiento del manejo del fuego y sus principios ecológicos.
8. Financiamiento estable y de largo plazo para la implementación de los planes y programas de manejo del fuego.
9. Administración eficiente para la puesta en marcha y operación de planes y programas del manejo del fuego en el marco de la agenda de gestión ambiental intermunicipal.

El cuadro 5.1 presenta las líneas de acción estratégicas y los resultados esperados de su puesta en práctica.

Cuadro 5.1. Resultados esperados de las líneas de acción estratégicas

Líneas de acción	Resultados esperados
<p>1. Planificación estratégica y operativa y evaluación del manejo del fuego con un enfoque adaptativo.</p>	<p>R1A. <u>Planificación estratégica</u>. El manejo del fuego en los Municipios de la JIRA se lleva a cabo de acuerdo con un <i>plan estratégico</i> de largo plazo, fundamentado en <i>principios y criterios ecológicos</i> y dirigido al logro de los objetivos de la <i>gestión ambiental intermunicipal</i>.</p>
	<p>R1B. <u>Programación operativa</u>. El plan estratégico de manejo del fuego es ejecutado a través de <i>programas operativos anuales</i> (POA), los cuales son acordados y aprobados por el Consejo de Administración de la JIRA y las dependencias federales y estatales involucradas en el manejo del fuego.</p>
	<p>R1C. <u>Evaluación y adaptación</u>. Los resultados de la ejecución del Plan de Manejo del Fuego y de los POA son evaluados periódicamente, en el marco de la agenda de gestión ambiental intermunicipal, a través de un mecanismo participativo, y se realizan los ajustes, adecuaciones y mejoras necesarias bajo un enfoque de <i>manejo adaptativo</i>.</p>
<p>2. Organización y cooperación interinstitucional para el manejo del fuego.</p>	<p>R2A. <u>Cooperación interinstitucional</u>. Se cuenta con una organización adecuada y efectiva para la puesta en marcha y seguimiento del Plan de Manejo del Fuego de la JIRA y los POA derivados de este; esta organización está basada en la cooperación intermunicipal y en la participación de las comunidades agrarias, propietarios particulares y organizaciones de productores forestales y agropecuarios, y cuenta con el respaldo y colaboración de las dependencias de los gobiernos federal y estatal.</p>
	<p>R2B. <u>Organización para el combate de incendios</u>. En los municipios de la JIRA se cuenta con un Sistema de Mando de Incidentes (SMI) que facilita el control eficiente de los incendios forestales de acuerdo con protocolos establecidos en el marco de los objetivos del plan de manejo del fuego.</p>
<p>3. Manejo del fuego basado en principios y criterios ecológicos para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos forestales de la región.</p>	<p>R3A. <u>Manejo planificado del régimen de incendios en ecosistemas forestales</u>. En los municipios de la JIRA se aplican buenas prácticas de manejo del fuego que contribuyen a la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas forestales y al mantenimiento a largo plazo de su capacidad para generar servicios ambientales; estas buenas prácticas mantienen o restauran los regímenes de incendios dentro de la amplitud de su variación natural o histórica en las zonas de conservación, sirven para el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales en las zonas de producción y, en general contribuyen a las medidas de mitigación y de adaptación del cambio climático global.</p>
	<p>R3B. <u>Prevención física y manejo de combustibles</u>. A través de medidas de prevención física (manejo de los combustibles forestales), se reduce el peligro de incendios catastróficos, contribuyendo tanto a la mitigación del cambio climático global (conservación de almacenes de carbono y reducción de emisiones de gases con efecto de invernadero) como a la adaptación a este fenómeno.</p>
	<p>R3C. <u>Control de incendios forestales</u>. Los incendios en áreas sensibles al fuego o que amenazan a centros de población, propiedades y recursos naturales, se controlan de manera efectiva y se cuenta con un sistema bien organizado para la vigilancia y detección temprana, con protocolos para la organización del combate de incendios y con brigadas adecuadamente equipadas y entrenadas e infraestructura para el combate de incendios.</p>
<p>4. Manejo del fuego en los sistemas de producción agropecuaria.</p>	<p>R4. En los municipios de la JIRA se han puesto en marcha buenas prácticas de manejo del fuego en los sistemas de producción agropecuaria, que reducen la incidencia de incendios forestales y la generación de emisiones de gases con efecto de invernadero derivados de la deforestación, la degradación forestal y los incendios.</p>
	<p>R4B. <u>Manejo del fuego en agostaderos cerriles y sistemas silvopastoriles</u>. cerriles y se reduce significativamente la incidencia de incendios forestales causados por el escape del fuego de quemas de agostaderos.</p>

	R4C. <u>Implementación de alternativas al uso del fuego en cultivos agrícolas anuales.</u> En los sistemas de producción de agricultura permanente de temporal o de riego, se adoptan prácticas de cultivo, que eliminan o reducen el uso del fuego y contribuyen a disminuir las emisiones de gases con efecto de invernadero.
5. Fortalecimiento de capacidades locales para el manejo del fuego a través de la capacitación y entrenamiento.	R5. <u>Fortalecimiento de capacidades.</u> Las instituciones gubernamentales, las comunidades y las organizaciones civiles involucradas en el manejo del fuego en los municipios de la JIRA, cuenta con personal capacitado y entrenado para poner en práctica el Plan de Manejo del Fuego.
6. Generación de información y conocimiento para el manejo adaptativo del fuego.	R6A. <u>Información para el manejo del fuego.</u> La JIRA, las áreas naturales protegidas de la región y el CIMAF cuentan con información histórica y actual, derivada del monitoreo de los incendios y las actividades de manejo del fuego, como base para la planificación, toma de decisiones y evaluación de resultados del Plan de Manejo del fuego en la región.
	R6B. <u>Generación y aplicación del conocimiento científico.</u> La JIRA cuenta con un programa de investigación científica y experimentación, que retroalimentan la planificación, seguimiento y evaluación del Plan de Manejo del Fuego, con un enfoque adaptativo.
7. Comunicación para el conocimiento y entendimiento del manejo del fuego y sus principios ecológicos.	R7A. Los dueños de terrenos forestales (comunidades agrarias y particulares), productores forestales, agricultores, ganaderos, funcionarios públicos y técnicos de las dependencias de los sectores medio ambiente y recursos naturales y agricultura y desarrollo rural, conocen los objetivos y líneas de acción estratégica del plan de manejo del fuego de la JIRA y participan y colaboran para su puesta en práctica.
	R7B. Los habitantes de los municipios de la JIRA y quienes visitan las áreas protegidas y sitios de recreación al aire libre conocen y aplican medidas de prevención de incendios.
	R7C. A través de la comunicación y la educación, se contribuye a generar conocimiento y entendimiento acerca del papel ecológico del fuego, de su utilidad como herramienta para el manejo de ecosistemas y recursos naturales y se logra el respaldo de la población local para poner en práctica el Plan de Manejo del Fuego de la JIRA.
8. Financiamiento de los planes y programas de manejo del fuego.	R8. Se cuenta con financiamiento oportuno, suficiente y estable para la ejecución del plan y los POA de manejo del fuego, y los recursos humanos, materiales y financieros se administran de manera eficiente.
9. Administración eficiente para la implementación del manejo del fuego.	R9. La JIRA y las instituciones participantes en el CIMAF, cuentan con un sistema de procedimientos administrativos y con una organización adecuada para una gestión eficiente del personal y los medios materiales y financieros para poner en marcha el Plan de Manejo del Fuego.

6. Componentes del Plan de Manejo del Fuego

En esta sección se presentan los componentes del Plan de Manejo del Fuego de la JIRA, en función de las líneas de acción estratégicas. En el texto se hace una descripción general de cada componente; en el cuadro XXX se presentan para cada componente o línea de acción los resultados esperados, las metas a alcanzar, las actividades a realizar para la ejecución del plan, los indicadores básicos de la ejecución de cada actividad y los responsables institucionales de llevarlas a cabo.

6.1. Planificación, programación y evaluación del manejo del fuego

La planificación es el punto de partida del manejo del fuego, que puede conceptualizarse como un ciclo (Fig. 1); este se inicia con la caracterización y diagnóstico de la situación existente en la unidad de manejo (en este caso la región formada por los 10 municipios), el pronóstico de los probables escenarios futuros en función de las tendencias actuales, y la identificación de los problemas que se busca resolver a través de un conjunto de estrategias y acciones. A partir de esto, se definen los objetivos a alcanzar y los resultados que se quieren obtener, se establecen metas específicas y las acciones que deben realizarse para conseguirlas, definiendo los medios necesarios y los responsables de llevarlas a cabo. El ciclo se cierra con la evaluación de las acciones realizadas y sus resultados en función de lo planificado inicialmente. A partir de la evaluación el ciclo se reinicia con la actualización, ajuste, modificación y adaptación de los planes para iniciar un nuevo ciclo en su ejecución. La planificación puede dividirse en dos fases, una de planificación estratégica de largo plazo y otra de programación operativa de corto plazo, ambas con sus respectivas etapas de evaluación. Se propone que la vigencia de los planes estratégicos sea de manejo del fuego sea de seis años, mientras que los programas operativos sean anuales.

6.1.1. Planificación estratégica

La estrategia de manejo del fuego debe integrarse a la agenda de gestión ambiental de la JIRA y de los 10 municipios que la integran y traducirse en un plan de acción acordado entre los distintos actores involucrados en el manejo del fuego (dependencias de los tres órdenes de gobierno relacionadas con los sectores de medio ambiente, recursos naturales, agricultura y desarrollo social, comunidades agrarias, asociaciones de productores rurales, organizaciones civiles, instituciones de investigación y enseñanza, asociaciones de silvicultores y prestadores de servicios técnicos forestales, entre otros). Deben definirse también los mecanismos de seguimiento y evaluación del plan de acción de largo plazo y de los programas operativos anuales.

Los planes estratégicos (como el que aquí se presenta) contienen el diagnóstico y pronóstico del problema de interés (en este caso, la incidencia de incendios, sus efectos ecológicos y la condición actual de los regímenes de incendios y sus tendencias de cambio) y las líneas estratégicas de acción para lograr objetivos de mediano y largo plazo. Aunque el horizonte de planificación pueda cubrir periodos largos de tiempo, es conveniente la revisión y actualización periódica del plan estratégico (por ejemplo, cada 6 años).

El presente plan estratégico deberá ser sometido a un proceso de revisión y consulta entre las instituciones encargadas de ejecutarlo y, posteriormente, pasar por un proceso de consulta en los municipios de la JIRA, para finalmente ser aprobado en el Consejo de Administración de la JIRA, en el cual están representados los tres órdenes de gobierno, municipal, estatal y federal.

6.1.2. Programación operativa

Programación de las acciones para poner en práctica el plan estratégico y alcanzar metas específicas en un plazo de tiempo determinado (1 a 2 años), de manera organizada y asignando el personal y medios materiales y financieros necesarios. La evaluación periódica de los planes o programas operativos permite ir ajustando el plan estratégico conforme se va avanzando en su implementación.

Los programas operativos anuales (POA) deberán ser elaborados a mediados de cada año, después de la terminación de la temporada de incendios, y deberán ser revisados y en su caso aprobados a tiempo para incorporarse a la presupuestación y programación general de las actividades de la JIRA en el año siguiente.

6.1.3. Evaluación y adaptación

La evaluación parte de la revisión y valoración periódica de los avances y resultados de la implementación de los planes, de los cambios ocurridos y de las necesidades de mejora, actualización, ajuste y adaptación de los planes. La evaluación, como parte esencial de un proceso de manejo adaptativo, requiere de la generación y sistematización de información, del monitoreo continuo de las actividades en marcha y de sus resultados, y de la incorporación de los resultados de la investigación.

En el manejo del fuego participan múltiples actores en el marco de la gestión del territorio y los recursos naturales. Estos actores incluyen a las comunidades que habitan el territorio de la unidad de manejo (en este caso la región de la JIRA), a los dueños de la tierra, a los usuarios de los recursos naturales, a las agencias o dependencias gubernamentales con un mandato directo o relacionado con la gestión del territorio, la conservación, la producción forestal y agropecuaria y el desarrollo rural, las organizaciones civiles interesadas en la conservación y el desarrollo rural, los centros de investigación y enseñanza, etc.

La participación efectiva de este conjunto de actores en la puesta en práctica del manejo del fuego, requiere de una organización adecuada, por lo cual debe abordarse el diseño institucional para el establecimiento de mecanismos de colaboración

interinstitucional, participación social, resolución de conflictos, y toma de acuerdos duraderos para la puesta en marcha de los planes.

El diseño de mecanismos institucionales adecuados, estableciendo la forma de organización y los procedimientos a seguir para implementar planes, programas y acciones de manejo del fuego, es fundamental. Como parte de la organización para el manejo del fuego, resaltan tres aspectos básicos: el diseño institucional, la integración de un consejo o comité para el manejo del fuego en la JIRA y la puesta en práctica de un sistema de mando de incidentes (SMI).

6.2. Organización y cooperación interinstitucional

6.2.1. Cooperación intermunicipal para el manejo del fuego

Partiendo de la revisión del marco legal vigente –que establece el régimen de derechos y obligaciones de propietarios de la tierra, el mandato de las agencias gubernamentales y las condiciones de participación de otros actores interesados –, de las políticas en materia de medio ambiente y recursos naturales y de la estructura político administrativa, deben diseñarse los mecanismos para la colaboración interinstitucional y la participación social a diferentes escalas: nacional, regional, unidad de manejo (la reserva de la biosfera), subunidades de manejo (las zonas núcleo y sus zonas de amortiguamiento) y local (sectores de manejo y comunidades).

Se recomienda la creación de un Consejo o Comité Intermunicipal para el Manejo del Fuego, con representación de los actores directamente involucrados en este tema, que funcione como un grupo operativo encargado de dar seguimiento a la puesta en marcha del plan de manejo del fuego. Este consejo o comité debe promover y facilitar la concertación de las acciones que deben realizar agencias o dependencias gubernamentales y organizaciones civiles, junto con la participación efectiva de las comunidades locales.

En el Comité Intermunicipal de Manejo del Fuego deberán estar representadas las instituciones gubernamentales que forman parte del CNIF, las alcaldías municipales, organizaciones no gubernamentales dedicadas a la conservación o al manejo de recursos naturales con presencia en la reserva, organizaciones comunitarias y organizaciones de propietarios o de productores.

Para reducir la incidencia de incendios (especialmente en el caso de ecosistemas sensibles al fuego y áreas en proceso de regeneración), prevenir daños a las existencias de recursos forestales en bosques de producción y evitar los riesgos de afectación a propiedades, infraestructura y vidas humanas, se deben fortalecer las capacidades para la prevención y combate de incendios. Esto requiere de la formación y mantenimiento de brigadas para el manejo del fuego equipadas y entrenadas, de infraestructura y sistemas para la detección temprana de incendios y la vigilancia, de actividades de prevención física y cultural y de la intervención rápida y efectiva para combatir incendios forestales.

A través de las acciones coordinadas y concertadas entre la JIRA, las dependencias gubernamentales (CONAFOR y SEDER principalmente y la CONANP dentro de la RBSM) y las comunidades agrarias y propietarios de terrenos forestales, se establecerán mecanismos de coordinación efectiva para las campañas de prevención y control de incendios, en el marco de un protocolo de atención a incidencias, con lo cual se pretende reducir la superficie anualmente afectada por los incendios forestales.

La organización centralizada del combate de incendios, con un Comité Intermunicipal de Manejo del Fuego, en el que se integran las dependencias gubernamentales que participan en el programa, y un coordinador adscrito a la JIRA, facilitará el desarrollo de las campañas de prevención y combate de incendios.

Un instrumento clave para la operación adecuada de las actividades de combate de incendios es contar con un Protocolo de atención a incidencias debidamente acordado entre las dependencias involucradas en el manejo del fuego, al cual deberán sujetarse las brigadas de incendios.

Se integrarán y equiparán brigadas de combate de incendios, se desarrollará la infraestructura física necesaria para su operación, se realizarán actividades de prevención física y de patrullaje, vigilancia continua y detección oportuna durante la temporada de riesgo de incendios, y se llevaran a cabo las operaciones de combate y control de los incendios.

6.2.2. Organización para el combate de incendios forestales

El manejo del fuego es más que el combate de incendios forestales, como ya se ha señalado en el marco conceptual. Sin embargo, el desarrollo de capacidades para controlar los incendios sigue siendo un componente esencial de una estrategia de manejo del fuego. En la JIRA es importante contar con una organización adecuada para el combate de incendios, particularmente cuando estos amenazan centros de población, construcciones e infraestructura, recursos naturales (por ejemplo bosques de producción, pastizales para la ganadería, cultivos agrícolas), áreas en proceso de restauración y ecosistemas sensibles al fuego que se desea proteger.

El combate y control de incendios incluye, además de las acciones de supresión del fuego que se realizan durante un evento determinado, todo el proceso de preparación previa a la temporada de riesgo (pre-supresión), la detección de los incendios, el despacho de personal de brigadas de incendios y la asignación de medios para el combate, el comando de las operaciones de combate y, finalmente, la evaluación y reporte de resultados.

Preparación (pre-supresión). Antes del inicio de la temporada de incendios, debe contarse con una organización adecuada (ver componente 6.4.2), con personal entrenado (incluyendo no solo a los combatientes de incendios, sino también al personal de apoyo; ver componente 6.7) y con el equipo, infraestructura y suministros necesarios para combatir los incendios que se presenten. Facilitar los medios para el combate de incendios y lograr su asignación y administración de manera eficaz y

eficiente, es el propósito del componente 10 (ver sección 6.10). Debe contarse con una distribución adecuada del personal y los medios de combate en el territorio que constituye la unidad de manejo; si esta es un área extensa, deben definirse los sectores que corresponden a las brigadas de incendios para atender el combate inicial. La investigación y monitoreo aportan información para la ubicación adecuada de los medios de combate.

Para la preparación del combate de incendios en la JIRA debe contarse con:

- a) Un **coordinador de manejo del fuego de la JIRA**, funcionario dependiente de la Dirección de la JIRA, responsable de la conducción de las actividades de combate de incendios. Este coordinador deberá contar con personal de apoyo en oficina y para transporte de personal y suministros de combate, además de contar con el apoyo de un **despachador** encargado de las comunicaciones y enlace con las brigadas de combate.
- b) Una **base o centro de coordinación del combate de incendios** establecido en un lugar que disponga de comunicación por radio y teléfono, desde donde se pueda coordinar el despacho de brigadas, la asignación de medios de combate, el envío de suministros y todas las labores que implica la logística de las operaciones de supresión de incendios.
- c) Un mínimo de **tres brigadas de combate de incendios** (brigadas integradas por 12 elementos: 1 jefe de brigada, 1 subjefe de brigada o encargado de apoyo logístico, 2 líderes de cuadrilla, 2 cuadrillas de 4 elementos cada una) equipados con vehículo, radios, herramientas manuales, uniformes y equipos de protección. Estas brigadas deberán ser coordinadas por la Dirección de la JIRA* y tendrán como bases: (1) Sierra de Manantlán, (2) Parque Nacional Nevado de Colima y (3) Cerro Grande.
- d) Se deberán establecer acuerdos con las comunidades u organizaciones comunitarias locales y con los propietarios de tierras para la integración y equipamiento de **brigadas voluntarias** en las zonas de amortiguamiento y la región de influencia.

La figura 14 muestra de manera esquemática la organización del personal básico para el combate de incendios forestales.

Deben estar definidos los procedimientos para poner en práctica el sistema de mando de incidentes (SMI; ver sección 6.2.3). La preparación previa es fundamental para el éxito de una campaña de combate y control de incendios.

En el caso de las áreas protegidas de la región, el combate de incendios deberá ser coordinado por el responsable definido por la Dirección del área protegida dependiente de la CONANP o la SEMADET. En los predios de comunidades agrarias o particulares, los dueños tienen la responsabilidad específica de colaborar con el combate de incendios. Dado que los incendios pueden pasar a través de límites de jurisdicción o de propiedad, es necesaria una estrategia de colaboración basada en un SMI.

Combate de incendios. El combate de incendios consiste en el conjunto de operaciones realizadas para controlar y liquidar un incendio, incluyendo las distintas fases de movilización y despacho del personal, reconocimiento del área del incendio, el ataque inicial, el ataque ampliado (en caso necesario), el control o confinamiento del fuego y, finalmente, la liquidación del incendio. La adecuada ejecución de las labores de combate, especialmente cuando se tienen que atender varios incendios a la vez en puntos diferentes de la unidad de manejo, o cuando ocurren incendios grandes que requieren la movilización de personal y medios de diferentes agencias, requiere de una organización adecuada basada en un sistema de mando unificado y protocolos o procedimientos bien definidos y acordados.

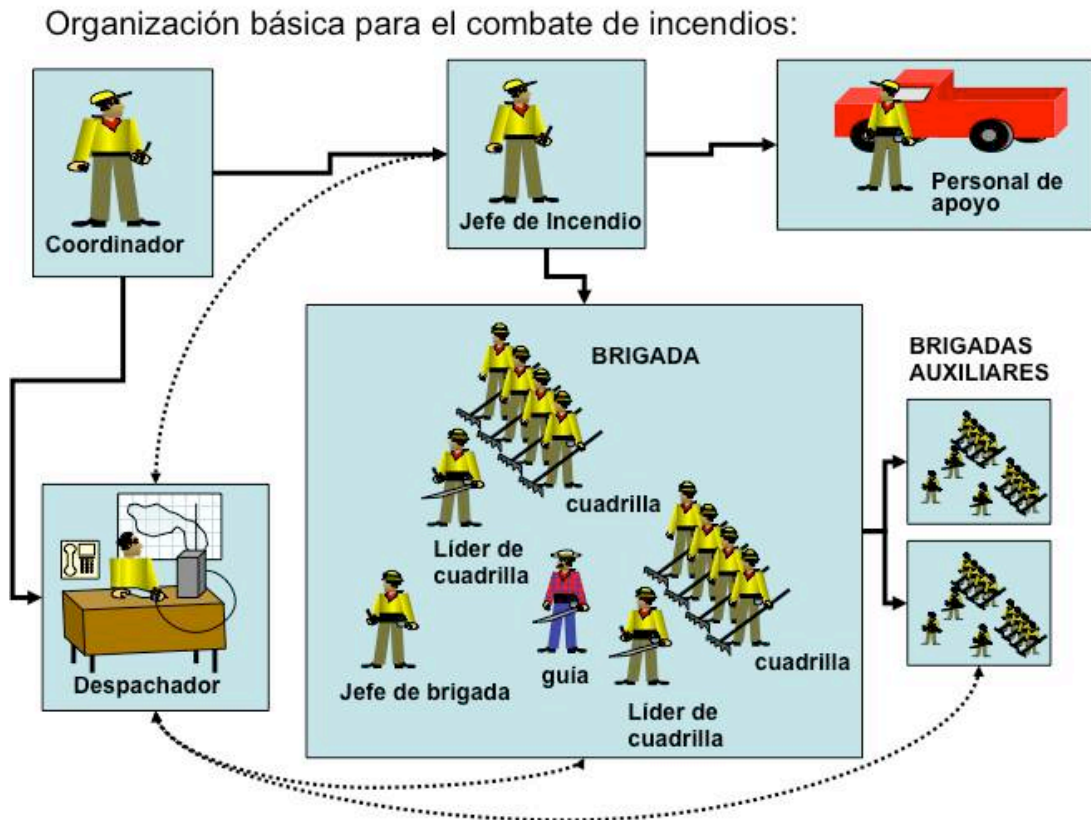


Figura 6.1. Organización básica para el combate de incendios forestales.

Detección de incendios. Contar con un *sistema de detección temprana de incendios* es indispensable para un combate de incendios eficaz. Para esto es necesario establecer un sistema de patrullajes o rondas y puestos de observación fijos que permitan una adecuada cobertura para la vigilancia de la unidad territorial bajo manejo. Una vez detectado un incendio y reportado a la base de operaciones, las actividades de control del incendio se inician con el despacho de las brigadas de combatientes. Es necesario definir los procedimientos de despacho, que incluyen la definición clara de responsabilidades para la toma de decisiones en cuanto a la asignación de personal, equipo y suministros para el combate de incendios, sobre todo cuando es necesario pasar de la fase de ataque inicial (que involucra a una única

brigada en un punto de un sector determinado) a la fase de combate ampliado (en la que entran en combate dos o más brigadas y personal de apoyo en un área extensa).

Reporte y evaluación (post-supresión). Un a vez que el fuego se ha extinguido, las labores relacionadas con el combate no han concluido. Es necesaria la elaboración de reportes escritos de las actividades desarrolladas, desde la detección del incendio, el despacho y movilización de las brigadas y las actividades de combate. Mantener registros de estas operaciones sirve para evaluar el desempeño de la organización encargada de la protección contra incendios, identificar las capacidades, limitaciones y necesidades de mejora, así como la relación entre los costos y los resultados. Se requiere también la evaluación del estado del área incendiada localizando en mapas su perímetro, determinando la superficie del incendio, registrando el grado de afectación o los efectos sobre la vegetación y los recursos naturales. Esta información sirve de base para planear las actividades a desarrollar en el área incendiada en caso de que sea necesario hacer intervenciones de restauración, cortas de salvamento, conservación de suelos, etc.

Los reportes escritos de combate y evaluación de incendios son un insumo básico para mantener un sistema de información y monitoreo de incendios forestales (ver componente 6.8.1).

6.2.3. Sistema de mando de incidentes (SMI)

Para las acciones específicas relacionadas con el combate de incendios, es necesario contar con una organización basada en un mando unificado y capaz de llevar a cabo de manera efectiva el control de los incendios, integrando la administración de los medios necesarios (personal, infraestructura y equipo, suministros, recursos financieros). Generalmente, en el conjunto de actividades de control de un incendio participan varios actores, desde aquellos que realizan el combate hasta quienes cumplen funciones de apoyo (la dirección del área protegida, el cuerpo de bomberos, propietarios de la tierra, voluntarios de comunidades, funcionarios municipales, etc.) La puesta en práctica de acciones efectivas para el combate y control de incendios forestales requiere de un sistema de mando único y de colaboración organizada entre estos diferentes actores, integrando lo que se conoce como “sistema de comando de incidentes” (SCI) o “sistema de manejo de emergencias”. Los procedimientos o protocolos para implementar un SCI deben de estar claramente establecidos y acordados entre los actores participantes en su implementación.

Las actividades de manejo de fuego son de alto riesgo (accidentes o fatalidades), dichas actividades agrupadas en dos grandes componentes como: la supresión del fuego, conocido como el combate de incendios forestales (detección, control y liquidación) y el manejo de combustibles con uso de fuego (quemadas prescritas o controladas) o sin fuego (acciones físicas como brechas, acomodo de material combustible), deben de considerar procesos y acciones de mitigación de dicho riesgo.

Adicionalmente es necesario tomar en cuenta que en cualquier actividad que se realice manejo de fuego la seguridad del personal involucrado es la primer

consideración, y en orden progresivo la seguridad de la población afectada; propiedades e infraestructura crítica y los recursos naturales.

El Sistema de Mando de Incidentes (SMI) se desarrolla en la década de 1970 en California, Estados Unidos de América como la respuesta a las principales problemáticas en la operación del manejo de fuego que causa accidentes y fatalidades, pérdidas económicas de propiedades e infraestructura y recursos naturales, erogación de recursos extraordinarios: falta de mando, organización, comunicaciones, estructura y un plan común, más que, las tácticas implementadas y los recursos disponibles.

Actualmente, a nivel internacional se reconoce ampliamente los beneficios en la implementación del SMI y en algunos países se ha institucionalizado para la respuesta incidentes como: incendios forestales, desastres naturales (inundaciones, terremotos, huracanes) y origen humano (derrames de sustancias químicas, servicios de emergencia y problemáticas sociales como ataques de terrorismo, etc.)

A nivel internacional en materia de manejo de fuego las directrices de la ONU establecen al SMI como uno de los principios y acciones estratégicas orientadoras para el desarrollo del manejo de fuego, la institucionalización con acuerdos internacionales e interinstitucionales y la operación en terreno.

En México los instrumentos de planificación nacional, en conjunto con su legislación y normatividad ordenan a los propietarios, organizaciones, comunidades, municipios, estados y federación que conforme a sus posibilidades y atribuciones atiendan la problemática de los incendios forestales con una respuesta coordinada, planificada y con corresponsabilidad en acciones y respuesta (distribución de competencias).

El SMI es una herramienta que se basa en un concepto estandarizado para el manejo de incidentes, de cualquier tipo ya sea natural o antropogénico, provee e impulsa una respuesta organizada y coordinada entre distintas jurisdicciones e instancias, además establece procesos comunes para la planificación y el manejo de los recursos, incorporando la integración de instalaciones, equipos, personal, protocolos o procedimientos y comunicaciones que operan dentro de una estructura organizacional común, bajo una autoridad única y objetivos comunes.

Utilizando el SMI presenta las siguientes ventajas para el manejo, control, mitigación y atención de incidentes:

- Uso en eventos planeados e incidentes de cualquier tipo (antropogénico - natural).
- Planificación por objetivos claros, sencillos, medibles y alcanzables.
- La organización y estructura de atención es modular crece o decrece dependiendo del incidente manteniendo un alcance e control manejable por el supervisor.
- Se realiza planificación de la acción del incidente.
- Decisiones a nivel de manejo sobre personal y la seguridad considerando la complejidad del incidente.
- Estandarización de conceptos, procesos y terminología común.

- Establecimiento y transferencia de mando con procesos ordenados.
- El mando se maneja utilizando el concepto de cadena de mando y unidad de área.
- Posibilidad de trabajar coordinadamente con otras instancias.
- Considera instalaciones y recursos para dar servicio y apoyo a las tácticas del incidente y se fomenta el manejo comprensivo de los recursos.
- Las comunicaciones y el manejo de información a otras instancias y al público en general se realiza de manera integrada y con procesos de recolección, análisis y reporte de manera ordenada.
- Se promueve el profesionalismo en el trabajo, realizando una contabilidad de los recursos que atienden el incidente, con el registro de todos los recursos, su rastreo y se promueven la responsabilidad personal en el incidente mediante el alcance de control, la cadena de mando, la unidad de mando y la respuesta al incidente mediante un plan establecido (procesos de solicitud, registro, despacho, despliegue y desmovilización).

6.3. Manejo del fuego en ecosistemas forestales

El manejo del fuego basado en principios y criterios ecológicos y orientado por objetivos de conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos forestales implica un enfoque distinto al de la simple supresión del fuego: se trata fundamentalmente de mantener o restaurar los regímenes naturales o históricos de incendios o de regular el régimen futuro de incendios en función de los objetivos establecidos cuando existen condiciones significativamente diferentes a las históricas.

El manejo del régimen de incendios en los ecosistemas forestales de la región requiere de un marco de referencia general, como el que se establece en este plan de manejo, complementado con planes específicos a nivel de unidades territoriales de manejo tales como áreas protegidas y predios bajo diferentes regímenes de propiedad. Las áreas protegidas de la región deberán contar con sus planes específicos de manejo del fuego. En cuanto a los predios dedicados a la producción forestal, sus respectivos programas de manejo deberán incorporar el componente de manejo del fuego.

Como resultado se espera que en los municipios de la JIRA se apliquen buenas prácticas de manejo del fuego que contribuyen a la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas forestales y al mantenimiento a largo plazo de su capacidad para generar servicios ambientales; estas buenas prácticas mantienen o restauran los regímenes de incendios dentro de la amplitud de su variación natural o histórica en las zonas de conservación, sirven para el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales en las zonas de producción y, en general contribuyen a las medidas de mitigación y de adaptación del cambio climático global.

El manejo del fuego en las áreas forestales de la región de la JIRA deberá considerar dos condiciones diferentes:

- a) El manejo del fuego en áreas dedicadas a la conservación como objetivo principal (zonas núcleo o áreas intangibles en áreas protegidas y áreas dedicadas a preservación o protección en ordenamientos territoriales).
- b) El manejo del fuego en áreas dedicadas a la producción forestal.

En el primer caso, hay que diferenciar el manejo de ecosistemas propensos a incendios, en los que el fuego es un componente de su dinámica, y los ecosistemas relictos al fuego, que requieren de protección contra incendios.

En el caso de ecosistemas con regímenes de incendios frecuentes de severidad baja – bosques de pino-encino y encinares secos – la supresión del fuego constituye una alteración que no solo genera el problema de acumulación de combustibles con el consecuente incremento del peligro de incendios severos, sino que también afecta su composición, estructura y dinámica e incluso su estado sanitario. La aplicación de quemas prescritas y otros tratamientos de combustibles como aclareos y cortas para reducir combustibles de escalera o la pica y esparcimiento, apilamiento o extracción de material leñoso caído, constituyen intervenciones que modifican las condiciones del hábitat, por lo cual deben planificarse tomando en cuenta sus implicaciones para la conservación de biodiversidad y no únicamente objetivos de control de combustibles. Estos son además reservorios de carbono, lo cual introduce un tercer componente en el manejo de combustibles, además de sus implicaciones para la prevención física de incendios y la conservación de hábitat; dado que en la agenda de gestión ambiental de la JIRA el tema del balance de carbono es un aspecto de creciente importancia, debe ser considerado en la planificación del manejo de combustibles.

La aplicación de prácticas de manejo del fuego debe abordarse, como se señaló en el marco conceptual, con un enfoque de manejo adaptativo, esto es, de experimentación y aprendizaje. Este programa está enfocado a la transición del enfoque predominante de supresión de incendios hacia estrategias de manejo del fuego, combinando las medidas de exclusión del fuego en ciertas áreas con la aplicación de quemas prescritas en otros sitios. El uso de quemas prescritas –esto es, la aplicación del fuego como herramienta para inducir condiciones deseadas de estructura, composición y regeneración del bosque, crear condiciones de sitio apropiadas para la regeneración natural, o para controlar la acumulación de combustibles forestales –es una herramienta del manejo silvícola que puede utilizarse tanto para la conservación y restauración de hábitat como para la producción forestal. En la RBSM ya se han hecho ensayos de quemas controladas en áreas críticas de alta acumulación de combustibles forestales y el uso de contrafuegos es una técnica utilizada en el control de incendios (de hecho anualmente se queman de manera controlada superficies extensas en las operaciones de combate de incendios). Existe por lo tanto experiencia en el manejo del fuego y se cuenta con los elementos teóricos y cierta evidencia científica para recomendar el uso del fuego en el manejo de los bosques de la cuenca que tienen un régimen de incendios frecuentes de baja severidad, pero aún es necesario contar con un mejor conocimiento y entendimiento de los efectos del fuego para poder diseñar verdaderas prescripciones de manejo. También se requiere mejorar los elementos

técnicos y operativos para lograr un uso del fuego adecuado en función de los diferentes objetivos del manejo de los bosques y selvas de la cuenca. El avance en el conocimiento y la experiencia permitirá pasar de las quemas controladas a la aplicación efectiva de quemas prescritas con objetivos específicos de manejo de la vegetación, el hábitat y los combustibles. Por lo tanto se plantea un enfoque de manejo experimental, de “aprender haciendo”, con una filosofía de manejo adaptativo, y no se recomienda una aplicación generalizada de quemas siguiendo modelos desarrollados para otros tipos de ecosistemas y condiciones socioambientales diferentes a las de la cuenca.

La combinación de la aplicación de quemas prescritas y la exclusión de fuego, es una herramienta para la conservación de condiciones de hábitat adecuadas para la flora y fauna nativas, el mantenimiento de patrones y procesos ecológicos, la regeneración de especies arbóreas de interés económico en bosques de producción y el control de combustibles forestales para reducir el riesgo de incendios catastróficos o destructivos. Dada la complejidad ecológica de la región y las limitaciones del conocimiento actual sobre los efectos del fuego en los ecosistemas del área, se llevará a cabo la aplicación experimental de las prácticas de manejo del fuego de manera tal que se desarrolle un proceso de aprendizaje a partir del cual puedan diseñarse e irse mejorando las prescripciones de manejo para alcanzar los resultados esperados en términos de conservación de biodiversidad y ecosistemas, restauración ecológica, protección de cuencas, balance de carbono y producción forestal sustentable.

Considerando que en la cuenca existen diferentes tipos de vegetación que se ha mantenido bajo distintos regímenes de fuego (ver marco conceptual) y que existen diferentes objetivos de manejo en los bosques dedicados a la conservación o a la producción, se plantean diferentes prácticas de manejo del fuego. En las áreas protegidas y zonas de conservación el propósito es proteger cabeceras de cuencas y mantener diversidad biológica y especies raras o amenazadas. El manejo del fuego debe contribuir a dichos fines, lo que implica una estrategia mixta que combine supresión del fuego en algunos sitios (por ejemplo, para favorecer la conservación y regeneración de bosques sensibles al fuego como el bosque mesófilo de montaña o el bosque de oyamel, o permitir el establecimiento de la regeneración natural) y quemas prescritas en otros sitios, para reducir el peligro de incendios severos o mejorar las condiciones de sitios para la regeneración natural o la reforestación, y controlar la estructura o el estado sanitario de las masas forestales, principalmente en los bosques de pino-encino y encino.

La restauración ecológica tiene como objetivos recuperar cobertura forestal y hábitats críticos para la conservación (como los bosques mesófilo de montaña, bosque de oyamel o pinabete, bosques y vegetación de ribera y selva mediana subcaducifolia), proteger las cabeceras de las cuencas hidrográficas y recuperar poblaciones de especies amenazadas o en peligro. La rehabilitación productiva tiene el propósito de recuperar tanto los bosques con potencial productivo como los agroecosistemas con el fin de mejorar su capacidad de producir bienes y servicios, al mismo tiempo que se contribuyan a la conservación. Esto implica mejorar la calidad y la cantidad de las

existencias de madera en los bosques y recuperar los suelos degradados de las áreas agrícolas.

Los incendios por sí solos no se consideran una causa de degradación si su incidencia se mantiene bajo la amplitud de variación histórica característica de los ecosistemas del área; sin embargo, la alteración de los regímenes de fuego sí se considera como un factor de degradación, de manera que un componente importante de la restauración se enfoca hacia las áreas en las que el régimen ha sido alterado. En la región, los procesos de degradación relacionados con el fuego implican otros factores como quemas de desmontes, quema de terrenos sobrepastoreados o de áreas de cultivo donde se ha eliminado o reducido el ciclo de barbecho, reemplazo de ecosistemas sensibles al fuego por la fragmentación y el aumento de la incidencia de incendios, sitios con condiciones que favorecen la propagación de incendios severos por la acumulación de residuos de corta o material combustible debido a eventos hidrometeorológicos extremos o incluso a la supresión de incendios. Antes de iniciar cualquier tarea de restauración, se requiere una evaluación rigurosa que permita establecer el estado de degradación en función de criterios e indicadores claramente definidos. Las acciones de restauración (o rehabilitación) deben plantearse en función de objetivos específicos, condiciones de referencia bien definidas y métodos adecuados basados en el conocimiento disponible.

El enfoque de manejo para restauración o rehabilitación implica controlar el o los factores causantes del deterioro (incendios forestales, sobrepastoreo, extracción de madera, desmontes o erosión de caminos abandonados), proteger sitios para permitir su recuperación espontánea a través de procesos de regeneración natural y sucesión, o bien intervenir con prácticas de estabilización de suelos, control de la erosión, mejoramiento del sitio y restauración, en aquellos casos en los que ha ocurrido una fuerte alteración del suelo y no hay una adecuada regeneración natural.

6.3.1. Prevención de incendios forestales

Prevenir, controlar y mitigar el impacto de los incendios forestales constituye un elemento central de cualquier plan de manejo del fuego. Aunque la supresión total del fuego no sea un propósito del plan de manejo (especialmente cuando se trabaja en territorios en los que predominan ecosistemas propensos a incendios, en los que el fuego es parte de su dinámica), el control de incendios es parte de la puesta en práctica de las prescripciones para el manejo de los regímenes de incendios y, además, es necesario proteger vidas humanas, propiedades, infraestructura, recursos naturales y hábitats sensibles al fuego. Por lo tanto es indispensable desarrollar y fortalecer las capacidades para la prevención y combate de incendios.

La prevención de incendios forestales se subdivide conceptualmente en dos componentes: (a) la previsión y la reducción del **riesgo de incendios** (esto es, la probabilidad de que ocurran incendios) y (b) la reducción del **peligro de incendios** (efectos potenciales de los incendios y resistencia de estos a las acciones de control).

Las acciones preventivas pueden dividirse en prevención cultural, prevención legal y prevención física.

Prevención cultural

La mayor parte de las causas de incendios son antropogénicas y es posible prevenirlas mediante actividades de información, comunicación y educación sobre medidas preventivas y buenas prácticas de uso del fuego. La prevención cultural utiliza mucho de los medios de la educación ambiental y está estrechamente relacionada con el componente 10 “comunicación con el público y educación para el manejo del fuego”.

Prevención legal

Consiste en la aplicación de las leyes, reglamentos y normas relativas a incendios forestales y quemas y, en general, a todas las disposiciones legales en materia de medio ambiente, recursos naturales, conservación y desarrollo rural. El cumplimiento de la ley depende de su conocimiento, de la toma de conciencia y de la conducta de la gente y no solo de la aplicación de sanciones, por lo cual la prevención legal y cultural están estrechamente ligadas. En este sentido, es importante vincular ambos componentes –cultural y legal –y mantener informados a pobladores y visitantes de la JIRA* de las disposiciones legales.

Prevención física

La prevención física consiste en intervenciones sobre las variables físicas relacionadas con el peligro de incendios (manejo de combustibles) y con el riesgo de incendios (control de igniciones, mejores prácticas de uso del fuego y eliminación del uso del fuego en áreas críticas).

El ***manejo de combustibles*** permite modular el comportamiento del fuego y sus efectos, reducir el peligro para los combatientes de incendios, facilitar las acciones de combate de incendios y reducir los costos de control o supresión (Pyne *et al.* 1996). Aunque la prevención de incendios severos, peligrosos y difíciles de combatir es un objetivo central en el manejo de combustibles, no es el único; el manejo de combustibles tiene múltiples propósitos, incluyendo, entre otros, facilitar la regeneración de especies forestales en el manejo silvícola o en la restauración ecológica, aprovechar residuos de corta en la producción forestal comercial o de autoconsumo, manipular componentes del hábitat con fines de conservación, etc. El manejo de combustibles incluye: (a) la reducción de la carga (cantidad) de combustibles a niveles aceptables utilizando quemas prescritas o medios mecánicos (por ejemplo raleos de las masas forestales y extracción de productos aprovechables); la conversión de las camas de combustibles modificando el tipo de cobertura vegetal, reduciendo la continuidad vertical eliminando combustibles de escalera, fragmentando y esparciendo el combustible superficial para facilitar su descomposición e incorporación al suelo, redistribución de combustibles leñosos gruesos para reducir su continuidad horizontal, etc., y la construcción de sistemas de brechas cortafuego para facilitar las acciones de combate de incendios, dividir bloques de terreno para la aplicación de quemas u otros tratamientos o aislar áreas críticas

con alta acumulación de combustibles, dividir límites de áreas forestales con pastizales o cultivos donde se usa fuego, etc. Debe de tomarse en cuenta que las brechas cortafuego no sirven para detener por sí solas un incendio, sino para facilitar las labores de control; debe considerarse que estas brechas no deben causar impactos ambientales como fragmentación de hábitats o erosión de suelos, que pueden ser más dañinos que un incendio.

6.4. Uso y manejo del fuego en sistemas de producción agropecuaria

El uso agropecuario del fuego es una costumbre muy arraigada en el campo mexicano; en ciertos casos, como en la agricultura con ciclo de barbecho y el manejo de agostaderos, el uso controlado del fuego es una práctica apropiada que puede mantenerse de acuerdo con las normas vigentes y criterios ecológicos, agronómicos y económicos, por lo cual no se plantea en principio la eliminación de estas prácticas cuando se hagan dentro de los lineamientos que marca la NOM-015 de uso del fuego, en sitios donde se mantiene un ciclo de barbecho mayor a cuatro años y cuando las quemas de agostaderos cerriles se integren con planes de quemas prescritas.

Las quemas agropecuarias que se escapan de control, con la consecuencia de que el fuego se propaga a los bosques aledaños, son una de las principales causas de incendios forestales, lo cual implica poner en práctica medidas preventivas y de regulación, como las establecidas en la NOM- 015 que señala la programación de las quemas en las comunidades agrarias (a través de sus comisariados y consejos de vigilancia) y en predios particulares, la construcción de guardarrayas, el aviso de que se van a realizar las quemas y la organización de las brigadas comunitarias para vigilar y apoyar la aplicación de las quemas y actuar oportunamente en casos de escape accidental del fuego. Las quemas de desmonte, asociadas a cambios de uso del suelo, deben ser evitadas.

En las condiciones actuales que predominan en la región el uso del fuego puede ser reemplazado por mejores prácticas de cultivo que contribuyan a mejorar la productividad de los suelos y a reducir las emisiones de gases con efecto de invernadero. En este sentido se plantea promover el uso de prácticas de agricultura orgánica, labranza mínima, uso de abonos verdes y compostas, conservación de suelos y control integrado de plagas, especialmente en las áreas de cultivos de ladera en las que se ha reducido o eliminado el período de barbecho, y la utilización de los residuos de cosecha para el mejoramiento del suelo y la cosecha en verde de la caña de azúcar, a través de la capacitación y la aplicación de incentivos económicos y programas de apoyo. Estas prácticas deben establecerse conjuntamente con los programas de mejoramiento agrícola, conservación de suelos, promoción de la agricultura orgánica y apoyo al desarrollo comunitario. En el caso del manejo de agostaderos, se propone aplicar medidas similares a las de los cultivos agrícolas, con la programación de las quemas, la construcción de guardarrayas y el aviso a las brigadas comunitarias de prevención y combate de incendios cuando se vayan a quemar pastizales inducidos.

Para el caso de agostaderos cerriles, esto es, en el caso de las quemas para inducir el rebrote de pastos dentro de áreas con cobertura forestal, las quemas deben de ser planificadas como quemas prescritas. Se plantea también que el pastoreo controlado de ganado puede utilizarse como un medio para el control de la acumulación de combustibles forestales. En este caso, las prácticas de manejo del ganado y los agostaderos deben planificarse de manera integral como un componente clave de las acciones de prevención de incendios y manejo del fuego.

En el complejo de agricultura de ladera, pastizales, vegetación sabanoide, matorrales secundarios y relictos de bosques, el manejo de fuego está estrechamente relacionado con el manejo de los sistemas de protección agropecuaria. Aspectos centrales para el manejo del fuego y la conservación de los ecosistemas forestales, su diversidad y su capacidad para generar servicios ambientales, son:

- a) La **estabilización del avance de la frontera agropecuaria**, a través de la utilización de prácticas sustentables de cultivo y manejo de agostaderos, basadas en criterios agroecológicos. Esto implica adoptar prácticas de conservación de suelo y agua (por ejemplo, construcción de terrazas y barreras contra erosión, uso de técnicas labranza mínimas, incorporación de residuos de cosecha, estiércol y compostas, utilización de cultivos de cobertura, uso de abonos verdes, reducción de la aplicación de fertilizantes y aplicación de aquellos que son necesarios (el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados aumenta la acidez de suelos, reduciendo su fertilidad; las deficiencias de nutrientes pueden ser de otros elementos como fosforo, potasio y micronutrientes o deberse a la acidez, condición común en los suelos de zonas tropicales húmedas de montaña). El mejoramiento de la producción agropecuaria reduciría la presión de conversión de tierras forestales y el uso del fuego para desmontar y cambiar el uso del suelo.
- b) El desarrollo de prácticas de conservación de suelos y la **expansión de sistemas agroforestales y silvopastoriles** (como lo establece la Estrategia Nacional del Medio Ambiente), serviría para aumentar la producción agropecuaria y forestal generando mejores ingresos y satisfaciendo las necesidades básicas de la población; además, aumentaría la disponibilidad de hábitat para muchos componentes de la biodiversidad y generaría servicios ambientales como la protección de cuencas, la producción de agua, la captura de carbono y la mitigación de los efectos del cambio climático. Adicionalmente, desde la perspectiva del manejo del fuego, reduciría o, incluso, eliminaría la necesidad de utilizar el fuego en las quemas agrícolas.
- c) **Las quemas para cultivo y para manejo de pastizales deben ser reguladas o sustituidas por otras prácticas alternativas basadas en principios agroecológicos.** El uso del fuego en la limpia y preparación de terrenos agrícolas o en el manejo de pastizales, no es necesariamente una práctica negativa; de hecho tiene un fundamento agroecológico y agronómico. El fuego es una herramienta de bajo costo y más amigable con el medio ambiente que el uso de agroquímicos como herbicidas para el control de malezas, plaguicidas para el control de plagas o la aplicación de fertilizantes químicos. Sin embargo,

el uso del fuego en quemas de cultivo agrícola solo es una práctica adecuada en sistemas de agricultura con ciclo de barbecho; cuando se deja descansar la tierra por varios años, las quemas tienen efectos de liberación de nutrientes, fertilización y aporte de materia orgánica al suelo (derivada de la combustión parcial de la biomasa) y ayudan a controlar plantas competidoras -“malezas” – y plagas; en sitios sujetos a cultivos anuales, las quemas tienen efectos adversos en la fertilidad de los suelos.

La eliminación del uso de fuego para controlar malezas y plagas ha llevado al incremento del uso de herbicidas y plaguicidas en muchos casos. La contaminación y los daños a la salud humana y a la biodiversidad causados por el uso de herbicidas y plaguicidas, suelen ser más graves que el uso de quemas agrícolas. No tiene sentido remplazar un problema por otro, de modo que las políticas de supresión del uso del fuego en actividades agropecuarias, deben ir acompañadas de la implementación de prácticas agroecológicas, agroforestales o silvopastoriles apropiadas, como se señaló en los dos incisos anteriores.

La efectividad de las medidas de manejo de fuego en áreas agropecuarias de las zonas de amortiguamiento y de transición dependerá del diseño conjunto de los programas y acciones entre las comunidades locales, la SAGARPA, SEMADET y la JIRA.

6.5. Formación, capacitación y entrenamiento de personal para el manejo del fuego

El desarrollo de los distintos componentes de la estrategia de manejo del fuego de la JIRA requiere del mejoramiento y fortalecimiento de capacidades locales mediante la formación, capacitación y entrenamiento a distintos niveles, considerando desde el personal dedicado al combate de incendios y las labores de reforestación, hasta los responsables de coordinar las actividades de manejo y los investigadores encargados de estudiar el fenómeno del fuego y sus efectos ecológicos o los procesos de regeneración y sucesión en los ecosistemas. En la región hay una estrecha vinculación tanto con las autoridades y comunidades locales como con universidades y centros de investigación, lo cual ofrece una oportunidad única para el desarrollo de programas de formación, capacitación y entrenamiento.

La ejecución de las diferentes actividades para la consecución de los objetivos y resultados esperados de un plan de manejo del fuego, requiere del mejoramiento y fortalecimiento de las capacidades del personal de las instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y comunidades locales. La formación, capacitación y entrenamiento a distintos niveles, desde el personal técnico responsable de coordinar la ejecución del plan y los combatientes de incendios hasta los educadores ambientales e, incluso, los científicos que realizan estudios aplicados, es fundamental para el éxito del plan de manejo del fuego.

Debe diseñarse un programa de formación, capacitación y entrenamiento para el manejo del fuego, integrado por cursos básicos, intermedios y avanzados y complementado por talleres y actividades de entrenamiento en servicio.

A continuación se enlistan los temas de formación y capacitación sugeridos (la lista no es exhaustiva):

a) Cursos básicos:

- *Principios ecológicos del manejo del fuego.* Introducción a los conceptos básicos de la ecología del fuego que fundamentan el manejo del fuego (efectos de incendios en los ecosistemas forestales, el fuego como fenómeno físico, combustibles forestales, aspectos básicos de comportamiento del fuego, regímenes de incendios; definición del manejo del fuego y sus componentes). Dirigido a técnicos y funcionarios encargados de implementar planes de manejo del fuego.
- *Prevención física y combate de incendios forestales.* Aspectos básicos del triángulo del fuego y del triángulo del ambiente del fuego (combustibles y factores meteorológicos y topográficos), características de las camas de combustibles y su potencial de incendios, comportamiento del fuego; técnicas básicas y métodos de prevención física de incendios forestales y de combate de incendios; organización para el combate de incendios; medidas de seguridad. Dirigido a personal de brigadas de combate de incendios.
- *Sistema de comando de incidentes aplicado al combate de incendios forestales.* Planificación y organización de la protección contra incendios forestales. Factores ecológicos, sociales y económicos relacionados con los incendios forestales. Actores involucrados en el manejo del fuego. El sistema de comando de incidentes. Dirigido a técnicos y funcionarios encargados de implementar acciones de protección y de combate de incendios forestales; jefes de brigadas de combate de incendios forestales.
- *Prevención cultural y legal de incendios forestales.* Análisis de las causas de los incendios forestales y sus determinantes culturales y socio-económicas. Educación ambiental para la prevención de incendios y el manejo del fuego, fomentando la participación social. Conocimiento del marco legal y normativo en materia de incendios forestales y manejo del fuego. Dirigido a educadores ambientales y personal técnico.

b) Cursos intermedios:

- *Manejo de combustibles y prevención física de incendios forestales.* El papel de los combustibles forestales en el comportamiento del fuego. Los combustibles forestales desde la perspectiva ecológica (hábitat, reservorios de carbono, agua y nutrientes). Técnicas para la evaluación y cuantificación de combustibles forestales. Aspectos básicos de modelos de com. Técnicas para el manejo de los combustibles (redes de

brechas cortafuego, silvicultura preventiva, modificación mecánica de los combustibles, quemas prescritas). Planificación de acciones para el manejo de combustibles. Dirigido a técnicos y jefes de brigadas de incendios.

- *Combate de incendios forestales.* Revisión de los conceptos básicos de comportamiento del fuego en los incendios forestales. Organización de operaciones de combate de incendios. Repaso sobre sistema de comando de incidentes. Vigilancia y detección de incendios. Despacho de brigadas y asignación de medios para el combate de incendios. Radiocomunicaciones. Uso de herramientas manuales y maquinaria. Organización y manejo del personal en el combate de incendios. Medidas de seguridad en el combate de incendios. Métodos de extinción. Dirigido a técnicos y jefes de brigadas de incendios.
- *Sistemas de información y monitoreo de incendios forestales (SIMIF).* Importancia de la información y el monitoreo para la planificación, la toma de decisiones, el seguimiento de las acciones y la evaluación de resultados. Componentes de un SIMIF: información geográfica, bases de datos de incidencia de incendios. Reportes de incendios y operaciones de combate; ubicación y delimitación de incendio. Métodos de evaluación y monitoreo de efectos de incendios forestales. Comunicación y entrega de resultados. Dirigido a funcionarios encargados de coordinar programas de manejo del fuego y a técnicos encargados de información y monitoreo.

c) Cursos avanzados:

- *Comportamiento del fuego.* Combustibles forestales y potencial de incendios. Modelos de combustibles y sistemas de clasificación de características de los combustibles. Factores meteorológicos; monitoreo del estado del tiempo, índices meteorológicos de riesgo de incendios. Evaluación de las condiciones topográficas. Modelos para la predicción y simulación del comportamiento del fuego. Dirigido a técnicos y jefes de brigadas de incendios.
- *Quemas prescritas.* Fundamentos ecológicos y técnicos de la aplicación de fuego prescrito en el manejo de combustibles y la restauración de regímenes de incendios. Técnicas para la aplicación de quemas prescritas. Planificación de quemas prescritas. Evaluación de efectos y resultados de quemas prescritas. (El curso de comportamiento del fuego es un pre-requisito para este curso). Dirigido a técnicos y jefes de brigadas de incendios.
- *Ecología y manejo del fuego.* El papel del fuego en los ecosistemas forestales. Variación espacio-temporal de las camas de combustibles a escala del paisaje. Regímenes de incendios. Comportamiento del fuego y efectos sobre los ecosistemas y la biodiversidad. Respuestas de los

ecosistemas al fuego; tipos funcionales de respuesta al fuego en las comunidades bióticas; regeneración y sucesión. Aplicación de la ecología al manejo del fuego. Dirigido a funcionarios encargados de coordinar programas de manejo del fuego, técnicos, investigadores y estudiantes avanzados de disciplinas relacionadas con el manejo de recursos naturales, conservación, manejo forestal, etc.

- *Planificación y evaluación económica del manejo del fuego.* Planificación y administración del manejo del fuego; asignación de personal y recursos materiales y financieros. Métodos de evaluación económica del impacto de los incendios forestales. Dirigido a funcionarios y técnicos encargados de coordinar e implementar programas de manejo del fuego.

6.6. Generación de información y conocimiento para el manejo del fuego

Para contribuir al logro de objetivos de conservación, el manejo del fuego debe fundamentarse en principios y criterios ecológicos (Jardel *et al.* 2010); la investigación y el monitoreo son componentes esenciales de una estrategia de manejo adaptativo (Walters y Holling 1980), como la que se propone para este plan de manejo. Además de esto, una de las funciones de las reservas de la biosfera es la generación de conocimiento, a través de la investigación, acerca de los patrones y procesos ecológicos y las interacciones entre la sociedad y la naturaleza (Halffter 1984, Batisse 1986). Por otra parte, la información y el monitoreo son necesarios para la planificación, la toma de decisiones y el seguimiento y evaluación de las acciones de manejo.

6.6.1. Investigación científica

El desarrollo de actividades de investigación sobre ecología y manejo del fuego depende de la participación de instituciones científicas y universidades. Se propone que la JIRA* promueva la participación de investigadores y estudiantes para la generación de conocimiento aplicado al manejo del fuego en la JIRA*.

Algunos de los temas de investigación que se consideran necesarios, son los siguientes:

- Caracterización cuantitativa de camas de combustibles y evaluación de su potencial de incendios.
- Reconstrucción del régimen histórico de incendios forestales, a través de estudios dendrocronológicos, en los bosques de coníferas.
- Investigación de las causas materiales y raíz de los incendios forestales y su determinantes socioeconómicas y culturales.

- Evaluación de los efectos ecológicos de los incendios, la respuesta de la vegetación y las comunidades bióticas y los patrones de regeneración y sucesión post-incendio.
- Evaluación de los efectos ecológicos de la supresión de incendios en la composición y estructura de la vegetación.
- Experimentación con prácticas de manejo de combustibles y evaluación de sus resultados y sus efectos ecológicos sobre la vegetación, la biodiversidad, los suelos y el flujo hidrológico.
- Experimentación con prácticas alternativas para la reducción o eliminación del uso del fuego en sistemas de producción agrícola, y para el fomento de sistemas de producción agro-silvo-pastoril y forestal sustentables.

Este listado de temas no es, de ninguna manera, exhaustivo pero indica algunos de los temas prioritarios de investigación.

6.6.2. Sistema de información y monitoreo de incendios forestales (SIMIF)

El desarrollo de una estrategia de manejo del fuego basada en un enfoque de manejo adaptativo y en principios de sustentabilidad, requiere de sólidos fundamentado en el conocimiento y entendimiento de los patrones y procesos ecológicos y del papel que juega el fuego en la dinámica de los ecosistemas forestales. En este sentido la investigación y la observación continua a largo plazo (monitoreo) son un componente esencial del enfoque de manejo. En cuanto a la planificación y evaluación de las acciones es fundamental contar con servicios de información que aporten datos actuales y tendencias históricas.

Partiendo de los antecedentes y experiencias desarrollados en la RBSM y los estudios generados por la Universidad de Guadalajara, esta estrategia plantea la integración de un Sistema de Información y Monitoreo de Incendios Forestales y el desarrollo de líneas de investigación aplicada sobre ecología y manejo del fuego y ecología de la restauración, que aporten información y conocimientos para retroalimentar el manejo. Los temas clave de investigación que se proponen son los siguientes:

Es indispensable implementar un Sistema de Información y Monitoreo de Incendios Forestales (SIMIF) en la JIRA*, para contar con registros de la variación interanual en el número de incendios y la superficie incendiada, de las operaciones de prevención y combate de incendios y las intervenciones de manejo, e ir generando un historial de datos que se actualice continuamente y sirva para la evaluación periódica y la retroalimentación de la planificación y la toma de decisiones.

El SIMIF debe incluir: (a) un Sistema de Información Geográfica con los mapas temáticos actualizados de zonas bioclimáticas, geomorfología, vegetación, caminos y vías de comunicación, centros de población, infraestructura para prevención y combate de incendios, etc.; (b) las bases de datos de registro anual de la incidencia de

incendios, las causas de estos y las operaciones de combate; (c) los mapas anuales de distribución de los polígonos de los incendios registrados y de las áreas donde se hacen intervenciones de manejo de combustibles; (d) las evaluaciones de efectos de los incendios, y (e) los reportes anuales de resultados de monitoreo de incendios.

Es necesaria la elaboración de cartografía a una escala apropiada (1:50,000) de la cobertura vegetal y los usos del suelo, así como de centros de población y vías de comunicación. La falta de este tipo de información fue una limitante para la elaboración de este plan de manejo.

Se requiere también de información meteorológica que esté disponible para el personal responsable de manejo del fuego, especialmente durante la temporada de riesgo, y es importante desarrollar índices meteorológicos de riesgo de incendios.

6.6.3. Comunicación social y educación ambiental para el manejo del fuego

La comunicación con el público y entre los actores involucrados en el manejo del fuego –esto es, el intercambio de ideas, puntos de vista, conocimientos, experiencias, etc. –y la educación ambiental (un proceso dirigido al cambio de valores, conductas y actitudes en relación con el medioambiente) juegan un papel fundamental en la transformación de las interacciones entre la sociedad y su entorno ecológico. El caso de los incendios forestales y el manejo del fuego es un reto para la educación ambiental, ya que se trata no solo de sensibilizar a la población de la región de sobre un problema que afecta a su entorno, sino también de comunicar conocimientos sobre el papel ecológico del fuego y su uso como herramienta de manejo, y promover cambios en actitudes y comportamientos de la gente. Enfrentamos el reto de transitar de la imagen negativa de los incendios, promovida por la mayor parte de los programas de educación ambiental, a un enfoque de manejo del fuego, cuya comprensión es más compleja, y de vincular las actividades educativas con acciones de organización y aplicación de los componentes del programa de manejo del fuego y restauración. Existen antecedentes de campañas de educación ambiental realizadas en la cuenca sobre el tema de los incendios que deben mantener su continuidad.

La educación ambiental juega un papel fundamental en la transformación de las interacciones entre la sociedad y su entorno ecológico. En el marco de un plan de manejo del fuego, la educación ambiental enfrenta el reto no solo de promover la participación social para la prevención de incendios y la protección de los bosques, sino también para lograr el entendimiento del enfoque de manejo del fuego y facilitar cambios en las prácticas de manejo de los recursos naturales. Es importante también mantener una comunicación continua con el público, informando acerca del desarrollo de la implementación del plan de manejo del fuego y sus resultados.

Deberá diseñarse un programa de educación ambiental para el manejo del fuego, integrando en este las actividades ya señaladas de prevención cultural y legal, la divulgación de los conceptos de la ecología y el manejo del fuego, la difusión del plan de manejo del fuego y la información sobre sus avances y resultados. Esto puede lograrse a través de la utilización de las técnicas comunes en la educación ambiental,

como charlas y conferencias, exposiciones, presentación de materiales audiovisuales, distribución de folletos y documentos de divulgación escritos en un formato apropiado para el público meta, uso de los medios de comunicación de masas, y talleres participativos, giras de estudio, etc..

6.7. Financiamiento para el manejo del fuego

Finalmente, la buena administración de los medios disponibles para la implementación del plan de manejo del fuego, es un componente esencial para tener éxito en su ejecución. Es importante revisar los esquemas administrativos y rediseñarlos en función de las necesidades de implementación del plan de manejo del fuego. Así mismo, se requiere de una estrategia de financiamiento; además del presupuesto operativo proveniente de recursos fiscales y aplicado por las agencias gubernamentales, es necesario utilizar fuentes de financiamiento alternativas que complementen los recursos disponibles. La implementación de las acciones básicas de un plan de manejo del fuego requiere de financiamiento estable y de largo plazo, y especialmente en el caso de las labores de prevención física y de combate de incendios, se requiere de financiamiento oportuno en la época del año en la que estas actividades deben realizarse.

Para el financiamiento a largo plazo de las acciones planificadas, es necesario canalizar de manera organizada las distintas fuentes de financiamiento (presupuesto regular de las dependencias gubernamentales, programas de apoyo del gobierno, donaciones de fundaciones, organizaciones privadas, agencias de cooperación para el desarrollo, proyectos de investigación, etc.) y diseñar mecanismos de financiamiento de largo plazo que aseguren que la estrategia de manejo del fuego se aplique de manera sostenida.

Cuadro 6.1. Relaciones entre los componentes básicos de un plan de manejo del fuego.

MANEJO DEL FUEGO	Planificación y evaluación	Organización y cooperación	Formación, capacitación y entrenamiento	Información y conocimiento	Comunicación y educación	Administración y Financiamiento
Prevención de incendios forestales	Planificación de las acciones de prevención física.	Establecimiento de acuerdos con organizaciones comunitarias, productores agropecuarios y propietarios de tierras para implementar medidas de prevención de incendios.	Cursos, talleres y actividades de entrenamiento en manejo de combustibles forestales.	Identificación y mapeo de áreas críticas. Monitoreo de riesgo meteorológico. Investigación de causas de incendios. Caracterización y cuantificación de combustibles.	Campañas de difusión de medidas de prevención de incendios. Información sobre el marco legal en materia de incendios.	Obtención de financiamiento y asignación de medios para la prevención física de incendios (manejo de combustibles, construcción de brechas corta fuego)
Control de incendios forestales	Planificación de la asignación de personal y medios para el combate y su distribución territorial.	Sistema de comando de incidentes	Capacitación y entrenamiento de brigadas de combate de incendios	Reporte y evaluación de incendios. Sistema de información y monitoreo. Estudios sobre comportamiento del fuego.	Comunicación de medidas de seguridad en caso de incendio a los habitantes y visitantes de la reserva. Participación de la gente en la detección y reporte de incendios.	Obtención de financiamiento para operación y equipamiento de brigadas. Administración del personal y los medios para combate.
Manejo del régimen de fuego en áreas forestales			Capacitación en ecología y manejo del fuego.	Estudios sobre: Régimen histórico de incendios. Respuesta de comunidades bióticas al régimen de incendios. Monitoreo de efectos de incendios e intervenciones de manejo del fuego.		
Manejo del fuego en sistemas de producción agropecuaria	Diseño de planes o programas de fomento a prácticas de cultivo agrícola y manejo de agostaderos que reduzcan o replacen el uso del fuego.	Apoyo a organizaciones de productores agrícolas y ganaderos para aplicar mejores prácticas de uso o sustitución del fuego en cultivo agrícola y manejo de agostaderos.	Capacitación en prácticas alternativas (agroforestales, silvopastoriles, orgánicas) para sustituir el uso del fuego.	Investigación sobre alternativas al uso del fuego en sistemas agroforestales, silvopastoriles y cultivos orgánicos	Divulgación de prácticas alternativas (agroforestales, silvopastoriles, orgánicas) para sustituir el uso del fuego.	Financiamiento de proyectos piloto agroforestales, silvopastoriles o de agricultura orgánica.

Cuadro 6.2. Componentes del Plan de Manejo del Fuego

Línea de acción estratégica:	1. Planificación estratégica y operativa y evaluación del manejo del fuego con un enfoque adaptativo.			
Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
<p>R1A. <u>Planificación estratégica.</u> El manejo del fuego en los Municipios de la JIRA se lleva a cabo de acuerdo con un <i>plan estratégico</i> de largo plazo, fundamentado en <i>principios y criterios ecológicos</i> y dirigido al logro de los objetivos de la <i>gestión ambiental intermunicipal.</i></p>	<p>1.1. El Plan de Manejo del Fuego de la JIRA, que establece los objetivos, marco conceptual, principios, criterios y líneas de acción estratégicas para el manejo del fuego como parte de la agenda ambiental intermunicipal, ha sido aprobado por las autoridades competentes y consensuado y concertado con los actores involucrados en su ejecución.</p>	<p>1.1.1. Taller interinstitucional de revisión y consulta del Plan de Manejo del Fuego.</p>	<p>Memoria del taller. Acuerdos establecidos entre las instituciones involucradas en el manejo del fuego.</p>	<p><i>Comité Intermunicipal de Manejo del Fuego</i> (CIMAF) (JIRA, CONAFOR, CONANP, SAGARPA, SEMADET, SEDER, U DE G, Asociaciones de Silvicultores) (Ver R2A, Meta 2.1)</p>
		<p>1.1.2. Talleres municipales de revisión y consulta del Plan de Manejo del Fuego.</p>	<p>Memorias de 10 talleres municipales.</p>	<p>CIMAF</p>
		<p>1.2.1. Aprobación del Plan de Manejo del Fuego.</p>	<p>Documento "Plan de Manejo del Fuego de la JIRA" aprobado por el CA-JIRA y ratificado por los cabildos de los municipios y las instituciones integrantes del CA-JIRA.</p>	<p>Consejo de Administración de la JIRA (CA-JIRA)</p>
<p>R1B. <u>Programación operativa.</u> El plan estratégico de manejo del fuego es ejecutado a través de <i>programas operativos anuales</i> (POA), los cuales son acordados y aprobados por el Consejo de Administración de la JIRA y las dependencias federales y estatales involucradas en el manejo del fuego.</p>	<p>1.2. La JIRA cuenta con Programas Operativos Anuales (POA), en función de los cuales se ejecutan las estrategias y acciones establecidas en el Plan de Manejo del Fuego; los POA están aprobados por el CIMAF y las autoridades competentes, y han sido consensuados y concertados con los actores involucrados en su ejecución.</p>	<p>1.2.1. Elaboración de los POA (cada año, durante el mes de septiembre).</p>	<p>Documento: propuesta de "Programa Operativo Anual para el Manejo del Fuego de la JIRA"</p>	<p>CIMAF</p>
		<p>1.2.2. Revisión y aprobación del POA (cada año durante el mes de octubre).</p>	<p>Documento "Programa Operativo Anual para el Manejo del Fuego de la JIRA" aprobado</p>	<p>CA-JIRA (aprobación) CONAFOR (visto bueno)</p>
		<p>1.2.3. Seguimiento y supervisión de la ejecución del POA.</p>	<p>Informe anual de ejecución del POA para el Manejo del Fuego de la JIRA</p>	<p>Director de la JIRA</p>

Plan de Manejo del Fuego de la Junta Intermunicipal del Río Ayuquila. (V1.2-2015)

Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
R1C. <u>Evaluación y adaptación.</u> Los resultados de la ejecución del Plan de Manejo del Fuego y de los POA son evaluados periódicamente, en el marco del la agenda de gestión ambiental intermunicipal, a través de un mecanismo participativo, y se realizan los ajustes, adecuaciones y mejoras necesarias bajo un enfoque de <i>manejo adaptativo</i> .	1.3. La JIRA realiza evaluaciones periódicas (cada tres años) del desarrollo, avances y desempeño de las actividades de manejo del fuego y sus resultados, ajustando, actualizando, y adaptando el Plan de Manejo del Fuego.	1.3.1. Evaluación y actualización del Plan de Manejo del Fuego de la JIRA (cada 3 años, al cambio de las administraciones municipales).	Informe trianual de evaluación del Plan de Manejo del Fuego.	Director de la JIRA CIMAF U de G (asesoría científico-técnica)
		1.3.2. Presentación del informe de evaluación y propuesta de ajustes o modificaciones al Plan de Manejo del Fuego.	Minutas de la presentación del informe y propuestas de ajusto o modificación en sesión del CA-JIRA	Director de la JIRA
		1.3.3. Aprobación del informe de evaluación y propuesta de ajustes o modificaciones al Plan de Manejo del Fuego.	Acta de aprobación del informe y propuestas de ajusto o modificación del Plan de Manejo del Fuego de la JIRA	CA-JIRA (aprobación) CONAFOR (visto bueno)
	1.4. La JIRA realiza evaluaciones periódicas (anuales) del desarrollo, avances y desempeño de los POA de manejo del fuego.	1.4.1. Evaluación anual de ejecución del POA de manejo del fuego.	Componente de evaluación incorporado al informe anual de ejecución del POA para el Manejo del Fuego de la JIRA (ver actividad 1.2.3)	CIMAF Director de la JIRA

Línea de acción estratégica:	2. Organización y cooperación interinstitucional para el manejo del fuego.			
Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
<p>R2A. <u>Cooperación interinstitucional</u>. Se cuenta con una organización adecuada y efectiva para la puesta en marcha y seguimiento del Plan de Manejo del Fuego de la JIRA y los POA derivados de este; esta organización está basada en la cooperación intermunicipal y en la participación de las comunidades agrarias, propietarios particulares y organizaciones de productores forestales y agropecuarios, y cuenta con el respaldo y colaboración de las dependencias de los gobiernos federal y estatal.</p>	<p>2.1. Se ha establecido un <i>Comité Intermunicipal de Manejo del Fuego (CIMAF)</i>, integrado por la Dirección de JIRA, CONAFOR, CONANP, SAGARPA, SEMADET, SEDER, U DE G y Asociaciones Regionales de Silvicultores; este comité funciona como la instancia de concertación interinstitucional, de promoción de la participación de las comunidades y actores de la región, y de planificación, seguimiento y evaluación de la ejecución del Plan de Manejo del Fuego y los POA.</p>	<p>2.1.1. Integración del CIMAF.</p>	<p>Acta constitutiva del CIMAF.</p>	<p>CIMAF Director de la JIRA (Secretario técnico)</p>
		<p>2.1.2. Sesiones del CIMAF; cuatro sesiones ordinarias al año: (1) previa al inicio de la temporada anual de incendios, (2) seguimiento de actividades durante la temporada de incendios, (3) evaluación de resultados de la temporada de incendios y (4) planificación operativa anual.</p>	<p>Minutas de las sesiones del CIMAF.</p>	<p>CIMAF Director de la JIRA (Secretario técnico)</p>
		<p>2.1.3. Presentación de informes de los trabajos del CIMAF al CA-JIRA y a la CONAFOR.</p>	<p>Informes escritos de avance.</p>	<p>Director de la JIRA (Secretario técnico del CIMAF)</p>
<p>R2B. <u>Organización para el combate de incendios</u>. En los municipios de la JIRA se cuenta con un Sistema de Mando de Incidentes (SMI) que facilita el control eficiente de los incendios forestales de acuerdo con protocolos establecidos en el marco de los objetivos del plan de manejo del fuego.</p>	<p>2.2. Un protocolo para el mando de incidentes y la organización del combate de incendios forestales en la JIRA ha sido aprobado por las autoridades competentes y es conocido por los agentes encargados de ponerlo en práctica.</p>	<p>2.2.1. Someter a revisión y consulta la propuesta de Sistema de Mando de Incidentes (SMI, anexa a este plan).</p>	<p>Propuesta de Sistema de Mando de Incidentes</p>	<p>CA-JIRA (aprobación) CONAFOR (visto bueno)</p>
		<p>2.2.2. Aprobación del SMI y protocolo para el combate de incendios.</p>	<p>Acuerdos de aprobación del Sistema de Mando de Incidentes para el combate de incendios en la JIRA.</p>	<p>CA-JIRA (aprobación) CONAFOR (aprobación)</p>
		<p>2.2.3. Puesta en práctica del SMI y protocolo para el combate de incendios aprobados.</p>	<p>Informes de resultados de la puesta en práctica del SMI.</p>	<p>CIMAF, dependencias involucradas en el combate de incendio, en el ámbito de su competencia y dueños de terrenos forestales.</p>

Línea de acción estratégica:	3. Manejo del fuego basado en principios y criterios ecológicos para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos forestales de la región.			
Resultados esperados	Metas	Actividades (*)	Indicadores	Responsable(s)
<p>R3A. <u>Manejo planificado del régimen de incendios en ecosistemas forestales.</u> En los municipios de la JIRA se aplican buenas prácticas de manejo del fuego que contribuyen a la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas forestales y al mantenimiento a largo plazo de su capacidad para generar servicios ambientales; estas buenas prácticas mantienen o restauran los regímenes de incendios dentro de la amplitud de su variación natural o histórica en las zonas de conservación, sirven para el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales en las zonas de producción y, en general contribuyen a las medidas de mitigación y de adaptación del cambio climático global.</p>	<p>3.1. Las áreas naturales protegidas de la región cuentan con programas de manejo del fuego.</p>	<p>3.1.1. Actualización del programa de manejo del fuego de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM).</p>	<p>Programa de Manejo del Fuego de la RBSM en operación.</p>	<p>CONANP U de G (asesoría científico-técnica)</p>
		<p>3.1.2. Elaboración de un programa de manejo del fuego para el Parque Nacional Nevado de Colima (PNNC) y el Parque Estatal Bosques Mesófilos del Nevado de Colima (PEBM).</p>	<p>Programa de Manejo del Fuego del PNNC-PEBM en operación.</p>	<p>SEMADET, CONANP U de G (asesoría científico-técnica)</p>
	<p>3.2. El manejo del fuego se ha incorporado en los programas de manejo para la producción forestal.</p>	<p>3.2.1. Apoyar a los dueños de tierras forestales y a los prestadores de servicios técnicos forestales para la incorporación del componente de manejo del fuego en sus programas de manejo a nivel de predio.</p>	<p>Componente de manejo del fuego incorporado en los programas de manejo forestal autorizados.</p>	<p>CONAFOR, SEMARNAT Dirección de la JIRA U de G (asesoría científico-técnica)</p>
	<p>3.3. En la región de la Jira se cuenta con brigadas para el manejo del fuego.</p>	<p>3.3.1. Integración, organización y equipamiento de brigadas para el manejo del fuego.</p>	<p>Brigadas integradas, organizadas y equipadas: 2 Brigadas oficiales (CONAFOR) 3 Brigadas concertadas (2 SEMADET-JIRA, 1 CONANP-RBSM, 1 SEMADET-CONANP PN-PE Nevado de Colima) 12 Brigadas comunitarias</p>	<p>CONAFOR SEMADET, CONANP CA y Dirección de la JIRA Comunidades agrarias</p>
	<p>3.3. Los incendios forestales que representan una amenaza para asentamientos humanos, infraestructura y recursos naturales, son combatidos y controlados.</p>	<p>3.3.1. Vigilancia y detección temprana de incendios.</p>	<p>3 torres de detección de incendios instaladas y en operación. Patrullajes de vigilancia y detección temprana de incendios.</p>	<p>CONAFOR Coordinador de manejo del fuego de la JIRA Dueños de terrenos forestales</p>
		<p>3.3.2. Combate y control de incendios en</p>	<p>Reportes de combate de</p>	<p>CONAFOR</p>

		áreas de peligro para asentamientos humanos, infraestructura y recursos naturales (áreas de producción forestal, forrajera o agrícola).	incendios.	Coordinador de manejo del fuego de la JIRA Brigadas de manejo del fuego
R3A. <u>Manejo planificado del régimen de incendios</u> (Continuación)	3.3. (Continuación)	3.3.3. Regulación del establecimiento de asentamientos humanos e infraestructura en áreas con alto peligro de incendios, a través de la aplicación de los ordenamientos territoriales municipales y comunitarios.	Áreas con alto peligro de incendios se mantienen libres de asentamientos humanos e infraestructura.	CA-JIRA, Ayuntamientos Comunidades agrarias
		3.3.4. Elaboración de una guía escrita con lineamientos para la protección contra incendios forestales en asentamientos humanos y obras de infraestructura.	Documento: Lineamientos para la protección contra incendios forestales en asentamientos humanos y obras de infraestructura publicado.	Coordinador de manejo del fuego de la JIRA. U de G (asesoría científico-técnica)
	3.4. Se mantiene, o en su caso se restaura el régimen natural o histórico de incendios forestales en ecosistemas propensos a incendios, contribuyendo a reducir el riesgo de incendios catastróficos y a las medidas de adaptación al cambio climático y mitigación de emisiones de gases con efecto de invernadero.	3.4.1. Aplicación de quemas prescritas experimentales con objetivos de conservación o restauración de hábitats y biodiversidad.	Planes de quemas prescritas. Reportes de resultados y evaluación de quemas prescritas. Superficie (ha) tratadas anualmente con quemas prescritas.	Coordinador de manejo del fuego de la JIRA. Dirección de ANP-CONANP (en áreas protegidas) CONAFOR (supervisión y asistencia técnica) U de G (asesoría científico-técnica) Dueños de terrenos forestales. Prestadores de servicios técnicos forestales.
		3.4.2. Control de incendios (confinamiento del fuego, no supresión), cuando se originan por causas naturales, se presentan en ecosistemas propensos a incendios y no representan peligro para asentamientos humanos, infraestructura, recursos naturales o áreas con prescripciones de supresión del	Reportes de incendios. Registro de localización y superficie de incendios en el SIMIF (Sistema de Información y Monitoreo de Incendios)	Coordinador de manejo del fuego de la JIRA. Dirección de ANP-CONANP (en áreas protegidas) CONAFOR (supervisión y

		fuego.	Forestales).	asistencia técnica) U de G (asesoría científico-técnica) Dueños de terrenos forestales. Prestadores de servicios técnicos forestales.
R3A. Manejo planificado del régimen de incendios (Continuación)	3.5. Prevención física y manejo de combustibles. A través de medidas de prevención física (manejo de los combustibles forestales), se reduce el peligro de incendios catastróficos, contribuyendo tanto a la mitigación del cambio climático global (conservación de almacenes de carbono y reducción de emisiones de gases con efecto de invernadero) como a la adaptación a este fenómeno.	3.5.1. Construcción y mantenimiento de sistemas de brechas cortafuego en áreas de alto riesgo de incendios o que requieren protección especial.	Proyectos de construcción de sistemas de brechas cortafuego. Longitud (km) de brechas cortafuego construidas. Longitud (km) de brechas cortafuego mantenidas.	Coordinador de manejo del fuego de la JIRA. Dirección de ANP-CONANP (en áreas protegidas) CONAFOR (supervisión y asistencia técnica) U de G (asesoría científico-técnica) Dueños de terrenos forestales. Prestadores de servicios técnicos forestales.
		3.5.1. Prevención física de incendios mediante tratamientos de combustibles: (a) quemaduras prescritas o (b) control mecánico, en áreas con acumulaciones peligrosas de combustibles.	Estudio técnico justificativo de las prescripciones de manejo de combustibles. Superficie (hectáreas) con tratamiento de quemaduras prescritas. Superficie (hectáreas) con tratamiento mecánico de combustibles. Reporte técnico de los tratamientos aplicados.	Coordinador de manejo del fuego de la JIRA. Dirección de ANP-CONANP (en áreas protegidas) CONAFOR (supervisión y asistencia técnica) U de G (asesoría científico-técnica) Dueños de terrenos forestales. Prestadores de servicios técnicos forestales.
	3.6. Se suprimen los incendios en ecosistemas reluctantes o sensibles al fuego (bosque mesófilo de montaña, selva mediana	3.6.1. Protección de áreas con ecosistemas reluctantes a incendios (sensibles al fuego)	Superficie protegida (hectáreas) Reportes de combate de incendios.	Coordinador de manejo del fuego de la JIRA. Dirección de ANP-CONANP (en áreas protegidas) CONAFOR (supervisión y

	subcaducifolia, selva baja caducifolia) mediante prácticas efectivas de combate y control.			asistencia técnica) U de G (asesoría científico-técnica) Dueños de terrenos forestales. Prestadores de servicios técnicos forestales.
(*) Las acciones específicas de manejo del fuego y las áreas, localidades o sitios donde deberán realizarse, serán establecidas en los programas de manejo del fuego de áreas protegidas y predios.				

Línea de acción estratégica:	4. Manejo del fuego en los sistemas de producción agropecuaria.			
Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
R4. En los municipios de la JIRA se han puesto en marcha buenas prácticas de manejo del fuego en los sistemas de producción agropecuaria, que reducen la incidencia de incendios forestales y la generación de emisiones de gases con efecto de invernadero derivados de la deforestación, la degradación forestal y los incendios.	4.1. La incidencia de incendios causados por el escape accidental de quemas en cultivos agrícolas se ha reducido significativamente: estos incendios representan menos del 10% de la superficie quemada anualmente en terrenos con cobertura forestal.	4.1.1. Establecimiento de calendarios anuales para la aplicación de quemas agrícolas en <i>sistemas de agricultura con ciclo de barbecho</i> , siguiendo lo establecido en la NOM-015.	Calendario anual de quemas agrícolas. Reporte anual de superficie de incendios por tipo de causa.	SAGARPA, SEDER Municipios Autoridades agrarias (ejidales y comunales) Agricultores

Línea de acción estratégica:	4. Manejo del fuego en los sistemas de producción agropecuaria.			
Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
R4. En los municipios de la JIRA se han puesto en marcha buenas prácticas de manejo del fuego en los sistemas de producción agropecuaria (continuación).	4.1. La incidencia de incendios causados por el escape accidental de quemas en cultivos agrícolas se ha reducido significativamente (continuación).	4.1.2. Supervisión y vigilancia de la aplicación de quemas agrícolas.	Reportes de supervisión y vigilancia de quemas agrícolas.	Coordinador de Manejo del Fuego de la JIRA. Directores de ANP-CONANP Representante regional de CONAFOR Autoridades agrarias (ejidales y comunales) Brigadas comunitarias de manejo del fuego.
	4.2. La incidencia de incendios provocados deliberadamente para el desmonte de áreas forestales (esto es, para cambio de uso del suelo), se ha reducido significativamente: estos incendios representan menos del 5% de la superficie quemada anualmente en terrenos con cobertura forestal.	4.2.1. Aplicación de los ordenamientos territoriales municipales y comunitarios para regular y contener cambios de uso del suelo.	Reportes de monitoreo	Gobiernos municipales Autoridades agrarias SEMADET SEMARNAT
		4.2.2. Desarrollar un programa de mejoramiento de los sistemas de producción agropecuaria e incentivos para contener el cambio de uso del suelo.	Programa de mejoramiento de los sistemas de producción agropecuaria e incentivos para contener el cambio de uso del suelo.	Dirección de la JIRA SAGARPA SEDER Gobiernos municipales
		4.2.2. Aplicación de la ley y sanciones por cambios de uso del suelo no autorizados y a causantes de incendios forestales para fines de desmontes.	Sanciones aplicadas.	PROFEPA
R4B. Manejo del fuego en agostaderos cerriles y sistemas silvopastoriles. cerriles y se reduce significativamente la incidencia de incendios forestales causados por el escape del fuego de quemas de agostaderos.	4.3. En los municipios de la JIRA se aplican buenas prácticas de manejo del fuego en la producción ganadera, que contribuyen a eliminar las quemas clandestinas en agostaderos	4.3.1. Planificación y programación de quemas prescritas para el manejo de agostaderos.	Estudio técnico justificativo de las prescripciones de quema para el manejo de agostaderos. Superficie (hectáreas) con tratamiento de quemas para manejo de agostaderos.	Coordinador de manejo del fuego de la JIRA. SAGARPA Autoridades agrarias Ganaderos Dirección de ANP-CONANP (en áreas protegidas) CONAFOR (supervisión) U de G (asesoría científico-técnica).

Línea de acción estratégica:	4. Manejo del fuego en los sistemas de producción agropecuaria.			
Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
<p>R4B. <u>Manejo del fuego en agostaderos cerriles y sistemas silvopastoriles.</u> (Continuación)</p>	<p>4.3. Buenas prácticas de manejo del fuego en la producción ganadera (continuación).</p>	<p>4.3.2. Mantenimiento de brechas cortafuego y control de combustibles a través del apacentamiento de ganado.</p>	<p>Brechas cortafuego mantenidas con apacentamiento de ganado.</p>	<p>Coordinador de manejo del fuego de la JIRA. SAGARPA Ganaderos Dirección de ANP-CONANP (en áreas protegidas) CONAFOR (supervisión) U de G (asesoría científico-técnica).</p>
		<p>4.3.3. Restauración de cobertura forestal a través del desarrollo de sistemas silvopastoriles.</p>		<p>Coordinador de manejo del fuego de la JIRA. SAGARPA CONAFOR Autoridades agrarias y particulares Ganaderos Dirección de ANP-CONANP (en áreas protegidas) U de G (asesoría científico-técnica).</p>
<p>R4C. <u>Implementación de alternativas al uso del fuego en cultivos agrícolas anuales.</u> En los sistemas de producción de agricultura permanente de temporal o de riego, se adoptan prácticas de cultivo, que eliminan o reducen el uso del fuego y contribuyen a disminuir las emisiones de gases con efecto de invernadero.</p>	<p>4.4. La quema de terrenos bajo cultivo anual (agricultura permanente de riego y temporal, sin ciclo de barbecho) se ha reducido y ha sido remplazada por métodos de cultivo (limpia y preparación del terreno, fertilización y conservación de suelos, control de plagas, enfermedades y plantas competidoras) y cosecha que no requieren el uso del fuego.</p>	<p>4.4.1. Estudio técnico sobre mejores prácticas de cultivo y alternativas al uso del fuego en sistemas de agricultura permanente.</p>	<p>Reporte técnico</p>	<p>Consultor SAGARPA SEDER Dirección de la JIRA Directores municipales de desarrollo agropecuario</p>
		<p>4.4.2. Estudio técnico de factibilidad de cosecha en verde de la caña de azúcar.</p>	<p>Reporte técnico</p>	<p>Consultor</p>
		<p>4.4.3. Programa de extensión-asesoría técnica para el mejoramiento de las prácticas de producción agrícola reduciendo o eliminando el uso de fuego.</p>	<p>Programa de extensión-asesoría técnica para el mejoramiento de las prácticas de producción agrícola de la JIRA.</p>	<p>SAGARPA SEDER Dirección de la JIRA Directores municipales de desarrollo agropecuario</p>

Línea de acción estratégica:	5. Fortalecimiento de capacidades locales para el manejo del fuego a través de la capacitación y entrenamiento.			
Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
<p>R5. Fortalecimiento de capacidades. Las instituciones gubernamentales, las comunidades y las organizaciones civiles involucradas en el manejo del fuego en los municipios de la JIRA, cuenta con personal capacitado y entrenado para poner en práctica el Plan de Manejo del Fuego.</p>	<p>5.1. Se cuenta con el diseño de un programa de formación, capacitación y entrenamiento para el manejo del fuego adaptado a las necesidades de la región de la JIRA.</p>	<p>5.1.1. Diseñar un programa de formación, capacitación y entrenamiento en manejo del fuego, dirigido al personal técnico y operativo involucrado en el manejo del fuego en la región de la JIRA.</p>	<p>Programa de formación, capacitación y entrenamiento para el manejo del fuego.</p>	<p>U de G CONAFOR SEMADET CIMAF</p>
	<p>5.2. Los directivos, funcionarios y técnicos de nivel superior de las dependencias gubernamentales y organizaciones civiles involucradas en el manejo de la región de la JIRA, están capacitado en los principios fundamentales del manejo del fuego y en la organización del combate de incendios.</p>	<p>5.2.1. Desarrollar un curso corto (40 hrs.) sobre manejo del fuego y sus principios ecológicos.</p>	<p>30 directivos, funcionarios y técnicos de nivel superior de las dependencias gubernamentales y organizaciones civiles involucradas en el manejo de la región de la JIRA han cursado y aprobado el curso.</p>	<p>U de G CONAFOR SEMADET CIMAF</p>
	<p>5.3. El personal de las brigadas concertadas y comunitarias de manejo del fuego en la región de la JIRA ha sido capacitado en métodos de prevención física (manejo de combustibles) y combate de incendios forestales</p>	<p>5.2.2. Curso-taller (40 hrs.) sobre sistemas de mando de incidentes aplicado al combate de incendios.</p>	<p>30 directivos, funcionarios y técnicos de nivel superior de las dependencias gubernamentales y organizaciones civiles involucradas en el manejo de la región de la JIRA han cursado y aprobado el curso.</p>	<p>CONAFOR SEMADET CIMAF Protección Civil U de G</p>
	<p>5.4. A través de seminarios se mantiene una actualización continua de profesionistas, técnicos, investigadores y estudiantes de la región en ecología y manejo del fuego</p>	<p>5.3.1. Realización de un curso-taller anual para la capacitación de brigadistas para el manejo del fuego.</p>	<p>30 brigadistas capacitados por año.</p>	<p>U de G CONAFOR SEMADET CIMAF</p>
	<p>5.4.1. Seminario anual de ecología y manejo del fuego.</p>	<p>Un mínimo de 60 profesionistas, investigadores, técnicos y estudiantes asisten al seminario.</p>	<p>U de G</p>	<p>U de G</p>

Línea de acción estratégica:	6. Generación de información y conocimiento para el manejo adaptativo del fuego.			
Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
<p>R6A. <u>Información para el manejo del fuego.</u> La JIRA, las áreas naturales protegidas de la región y el CIMAF cuentan con información histórica y actual, derivada del monitoreo de los incendios y las actividades de manejo del fuego, como base para la planificación, toma de decisiones y evaluación de resultados del Plan de Manejo del fuego en la región.</p>	<p>6.1. Desarrollar y mantener en operación un Sistema de Información y Monitoreo de Incendios Forestales (SIMAF) que incluye un sistema de información geográfica y bases de datos sobre: incidencia de incendios (número, superficie, localización geográfica), actividades de manejo del fuego realizadas, personal y recursos materiales y financieros utilizados, y evaluación de los efectos ecológicos y ambientales de los incendios y las intervenciones de manejo.</p>	<p>Sistema de Información y Monitoreo de Incendios Forestales</p>	<p>SIMAF en operación SIG y bases de datos actualizados Reportes anuales Comunicación y entrega de resultados</p>	<p>Dirección de la JIRA Direcciones de ANP (Conanp, Semadet) Conafor U de G (mantenimiento del SIMIF, análisis y reporte de información)</p>
<p>R6B. <u>Generación y aplicación del conocimiento científico.</u> La JIRA cuenta con un programa de investigación científica y experimentación, que retroalimentan la planificación, seguimiento y evaluación del Plan de Manejo del Fuego, con un enfoque adaptativo.</p>	<p>6.2. La investigación científica, el monitoreo de largo plazo y la experimentación contribuyen a la generación y aplicación de conocimiento sobre ecología y manejo del fuego.</p>	<p>Proyectos de investigación de largo plazo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterización cuantitativa de camas de combustibles y evaluación de su potencial de incendios. • Reconstrucción del régimen histórico de incendios forestales, a través de estudios dendrocronológicos, en los bosques de coníferas. • Investigación de las causas materiales y raíz de los incendios forestales y su determinantes socioeconómicas y culturales. • Evaluación de los efectos ecológicos de los incendios, la respuesta de la vegetación y las comunidades bióticas y los patrones de regeneración y sucesión post-incendio. 	<p>Publicaciones científicas Publicaciones de divulgación científica Manuales técnicos Conferencias y seminarios impartidos</p>	<p>U de G-CU Costa Sur Otras instituciones de investigación y enseñanza con proyectos en la región</p>

		<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de los efectos ecológicos de la supresión de incendios en la composición y estructura de la vegetación. Experimentación con prácticas de manejo de combustibles y evaluación de sus resultados y sus efectos ecológicos sobre la vegetación, la biodiversidad, los suelos y el flujo hidrológico. Experimentación con prácticas alternativas para la reducción o eliminación del uso del fuego en sistemas de producción agrícola, y para el fomento de sistemas de producción agro-silvo-pastoril y forestal sustentables 		
	6.3. Se realizan estudios específicos y monitoreo para cubrir lagunas de información identificadas en el proceso de planificación.	6.3.1. Establecer una red de monitoreo meteorológico y un sistema de información meteorológica en tiempo real para apoyar las actividades de manejo del fuego.	Integración del sistema y bases de datos Ampliación de la red de estaciones meteorológicas Reportes meteorológicos publicados y disponibles	Servicio Meteorológico Nacional Conanp U de G
		6.3.2. Ampliar los estudios de evaluación cuantitativa, caracterización y clasificación de camas de combustibles forestales	Publicación de series fotográficas y mapas con información actualizada de camas de combustibles de la región.	U de G Conafor
R6B. <u>Generación y aplicación del conocimiento científico</u> (continuación).	6.3. Se realizan estudios específicos y monitoreo para cubrir lagunas de información identificadas en el proceso de planificación (continuación).	6.3.3. Generar información sobre índices de riesgo y peligro de incendios.	Reportes periódicos de índices de riesgo y peligro de incendios a escala regional.	U de G Conafor
		6.3.4. Realización de estudios experimentales sobre quemas prescritas.	Reportes de resultados de quemas prescritas experimentales.	U de G Conafor Conanp
		6.3.5. Análisis económico e investigación de operaciones para el manejo del fuego.	Estudio técnico de costos de operación de actividades de manejo del fuego.	U de G Conafor Conanp

Línea de acción estratégica:	7. Comunicación para el conocimiento y entendimiento del manejo del fuego y sus principios ecológicos.			
Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
R7A. Los dueños de terrenos forestales (comunidades agrarias y particulares), productores forestales, agricultores, ganaderos, funcionarios públicos y técnicos de las dependencias de los sectores medio ambiente y recursos naturales y agricultura y desarrollo rural, conocen los objetivos y líneas de acción estratégica del plan de manejo del fuego de la JIRA y participan y colaboran para su puesta en práctica.	7.1. El Plan de Manejo del Fuego de la JIRA, sus objetivos, líneas de acción estratégica y programas operativos son conocidos por los actores involucrados en su aplicación.	7.1.1. Elaborar una síntesis del Plan de Manejo del Fuego para fines de divulgación.	Versión de divulgación del Plan de Manejo del Fuego publicada y distribuida.	Dirección de la JIRA U de G
		7.1.2. Realizar talleres en los 10 municipios de la JIRA, para dar a conocer el Plan de Manejo del Fuego.	Memorias de los talleres.	Dirección de la JIRA U de G
		7.1.3. Cada año, al inicio de la temporada de incendios, realizar en cada uno de los 10 municipios de la JIRA presentaciones públicas sobre los avances en la ejecución del Plan de Manejo del Fuego y comunicar las actividades programadas para el siguiente periodo anual.	Número de presentaciones públicas realizadas. Materiales de divulgación utilizados. Memoria de las presentaciones públicas.	Dirección de la JIRA CIMAF
R7B. Los habitantes de los municipios de la JIRA y quienes visitan las áreas protegidas y sitios de recreación al aire libre conocen y aplican medidas de prevención de incendios.	7.2. En la región de la JIRA se llevan a cabo anualmente una campaña de comunicación pública para la prevención de los incendios forestales utilizando los medios masivos de comunicación, charlas y exposiciones en localidades clave, y señalamiento informativo ubicado en sitios estratégicos.	7.2.1. Folleto de divulgación	Folleto de divulgación sobre prevención de incendios forestales publicado y distribuido.	Dirección de la JIRA U de G
		7.2.2. Señalamiento informativo en áreas de visita pública en terrenos forestales y áreas protegidas.	Señalamiento informativo instalado.	Dirección de la JIRA Conafor Conanp Semadet
		7.2.3. Transmisión de anuncios por la radio sobre las medidas de prevención durante la temporada de riesgo de incendios forestales.	Anuncios de radio transmitidos.	Dirección de la JIRA U de G

Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
R7C. A través de la comunicación y la educación, se contribuye a generar conocimiento y entendimiento acerca del papel ecológico del fuego, de su utilidad como herramienta para el manejo de ecosistemas y recursos naturales y se logra el respaldo de la población local para poner en práctica el Plan de Manejo del Fuego de la JIRA.	7.3. La población de la región de la JIRA conoce el marco conceptual, las líneas de acción estratégica y las actividades del Plan de Manejo del Fuego.	7.3.1. Realizar programas de radio sobre el marco conceptual, líneas de acción estratégicas y desarrollo de las actividades del Plan de Manejo del Fuego, dirigidos a la población de la región.	Dos programas de radio sobre manejo del fuego transmitidos durante la temporada de incendios.	Dirección de la JIRA U de G
		7.3.1. Realización de charlas informativas sobre prevención de incendios forestales en localidades clave, dirigidas a los pobladores de las comunidades agrarias.	10 charlas informativas en comunidades clave	Dirección de la JIRA Conanp
		7.3.2. Exposición itinerante sobre prevención de incendios forestales exhibida en localidades clave.	Exposición itinerante exhibida en 5 localidades de la RBTF.	Dirección de la JIRA U de G
		7.3.3. Realizar ciclos de conferencias en los 10 municipios de la región, dirigidas al público en general, sobre temas relacionados con el manejo del fuego.		Dirección de la JIRA U de G Conafor
		7.3.4. Desarrollar una página de Internet para mantener información disponible sobre el Plan de Manejo del Fuego de la JIRA.		Dirección de la JIRA CIMAF
		7.3.5. Publicar en la página de Internet tres notas informativas al año, sobre el Plan de Manejo del Fuego de la JIRA.		Dirección de la JIRA U de G
		7.3.6. Realizar un video educativo sobre ecología y manejo del fuego dirigido a la población de la región.		Dirección de la JIRA U de G

Línea de acción estratégica:	8. Financiamiento estable y de largo plazo para la implementación de los planes y programas de manejo del fuego.			
Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
R8. Se cuenta con financiamiento oportuno, suficiente y estable para la ejecución del plan y los POA de manejo del fuego, y los recursos humanos, materiales y financieros se administran de manera eficiente.	8.1. Se ha realizado un análisis financiero de los costos de aplicación del PMF como base para la elaboración de una estrategia para su financiamiento y para la elaboración de propuestas para la procuración de fondos.	8.1.1. Realizar un análisis de los costos de implementación del PMF.	Documento: análisis de costos y presupuesto para la implementación del PMF.	Consejo de Administración-JIRA Dirección de la JIRA Semadet Conafor Conanp U de G CIMAFA
		8.1.2. Identificación de fuentes potenciales de financiamiento (fondos gubernamentales, multilaterales, privados).	Listado de fuentes potenciales de financiamiento.	Consejo de Administración-JIRA Dirección de la JIRA Semadet Conafor Conanp U de G
		8.1.3. Elaborar propuestas de financiamiento para cubrir las necesidades de operación del PMF.	Propuestas de financiamiento elaboradas y sometidas a las fuentes potenciales.	Consejo de Administración-JIRA Dirección de la JIRA Semadet Conafor Conanp
	8.2. La JIRA cuenta con presupuesto para financiar las actividades del PMF y los POA.	8.2.1. Asignación y distribución del presupuesto aprobado.	Presupuesto ejercido en el cumplimiento de las metas del PMF.	Consejo de Administración-JIRA Dirección de la JIRA Semadet Conafor Conanp CIMAFA

Línea de acción estratégica:	9. Administración eficiente para la puesta en marcha y operación de planes y programas del manejo del fuego en el marco de la agenda de gestión ambiental intermunicipal.			
Resultados esperados	Metas	Actividades	Indicadores	Responsable(s)
R9. La JIRA y las instituciones participantes en el CIMAF, cuentan con un sistema de procedimientos administrativos y con una organización adecuada para una gestión eficiente del personal y los medios materiales y financieros para poner en marcha el Plan de Manejo del Fuego.	9.1. La JIRA cuenta con manuales de organización y procedimientos administrativos para una gestión eficiente de los medios y recursos para la ejecución del PMF.	9.1.1. Elaboración de un Manual de Organización y Funciones.	Manual de organización y funciones	Consejo de Administración-JIRA
		9.1.2. Elaboración de un Manual de procedimientos Administrativa	Manual de procedimientos administrativos	Dirección de la JIRA CIMAF
		9.2.1. Seguimiento administrativo de la operación del PMF.	Informes periódicos de resultados	Dirección de la JIRA CIMAF

7. Literatura citada

- Abrams, M.D. 1992. Fire and the development of oak forests. *BioScience* 42: 346-353.
- Agee, J. K. 2001. Spatial controls of historical fire regimes; controls of historical fire regimes: a multiscale example from the interior West, USA. *Ecology* 82(3), 660-678.
- Agee, J.K. 1993. Fire ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press. Washington D.C. 493 pp.
- Agee, J.K. 1998a. The landscape ecology of Western forest fire regimes. *Northwest Science* 72: 24-34.
- Agee, J.K. 1998b. Fire and pine ecosystems. In: Richardson M.S. (Ed.) *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. pp. 193-218.
- Agee, J.K. 2002. The fallacy of passive management. *Conservation in Practice* 3(1): 18-25
- Agee, J. K, B. Bahro, M. A Finney, P. N Omi, D. B Sapsis, C. N Skinner, J. W. van Wagtendonk y C. Phillip Weatherspoon. 2000. The use of shaded fuelbreaks in landscape fire management. *Forest ecology and management* 127 (1-3): 55-66.
- Agee, J. K. y Skinner, C. N. 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management*, 211: 83-96.
- Ahmend, S., A. Giraldo, J. Oltremari, R. Sánchez, V. Valarezo y E. Yerena. 2002. *Planes de manejo: conceptos y propuestas*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y GTZ. Parques Nacionales y Conservación Ambiental N° 10.
- Alanis M., H.; Návar, J.; Domínguez, P.A. 2000. The effect of prescribed burning on surface runoff in a pine forest stand of Chihuahua, México. *Forest Ecology and Management*, 137: 199-207.
- Albini, F.A. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. USDA Forest Service General Technical Report INT-GTR-146. Ogden, Utah, USA.
- Alencar, A.C.; Solórzano, L.A.; Nepstad, D.C. 2004. Modeling forest understory fires in an eastern Amazonian landscape. *Ecological Applications*, 14(4): 139-149.
- Alvarado, E.C., J.E. Morfín-Ríos, E.J. Jardel P., R.E. Vihnanek, D.K. Wright, D.V. Sandberg, J.M. Michel-Fuentes, C.S. Wright, R.D. Ottmar, D.V. Sandberg y A. Nájera-Díaz. 2008. Fotoseries para la cuantificación de combustibles forestales de México: bosques montanos subtropicales de la Sierra Madre del Sur y bosques templados y matorral submontano del norte de la Sierra Madre Oriental. University of Washington, College of Forest Resources-Pacific Wildland Fire Sciences Laboratory USDA Forest Service. Special Publication No. 1. Seattle, Washington. 98 pp.
- Anderson, Hal E. 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. Gen. Tech. Rep. INT-122. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT. 22 p
- Ángeles C.E., Cortes A., Y.; Terreros O. L.; Rico B. M. 2001. Tipos de incendio y regeneración de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schtl. et Cham. en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. Memorias del V Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Guadalajara, Jalisco.
- Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Barbier, N., Lima, A., Shimabukuro, Y., Anderson, L., & Saatchi, S. (2008). Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 363(1498), 1779-85. doi:10.1098/rstb.2007.0026
- Arnaldos V., J., X. Navalón N., E. Pastor F., E. Planas C. y L. Zárata L. 2004. Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 414 Pp.
- Arno, S. F. y Fiedler, C. E. 2005. Mimicking nature's fire. Island Press. Washington D.C. 242 pp.
- Asbjornsen, H., Velázquez-Rosas, N., García-Soriano, R., & Gallardo-Hernández, C. (2005). Deep ground fires cause massive above- and below-ground biomass losses in tropical montane cloud forests in Oaxaca, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 21(4), 427-434. doi:10.1017/S0266467405002373

- Batisse, M. (1986). La evolución y el enfoque del concepto de reserva de biosfera. MAB. UNESCO.
- Beerling, D. 2007. The emerald planet: how plants changed Earth's history. Oxford University Press. 304 p.
- Behling, H., & Pillar, V. D. (2007). Late Quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazilian highland and their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 362(1478), 243–51. doi:10.1098/rstb.2006.
- Belcher, C.M. (Ed.) 2013.
- Bergeron, Y.; Leduc, A.; Harvey, B.D.; Gauthier, S. 2002. Natural fire regime: a guide for sustainable management. *Silva Fennica* 36(1): 81-95.
- Bond, W. J. & van Wilgen, B. W. 1996. Fire and Plants. Chapman & Hall, London.
- Bond, W. J., & Keeley, J. E. (2005). Fire as a global "herbivore": the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(7), 387–94. doi:10.1016/j.tree.2005.04.025
- Bond, W. J., Woodward, F. I., & Midgley, G. F. (2005). The global distribution of ecosystems in a world without fire. *The New Phytologist*, 165(2), 525–37. doi:10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x
- Bond, W.J. y Keeley, J.E. 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20(7): 387-394.
- Botkin, D.B. 1990. *Discordant harmonies: a new ecology for the twentieth first century*. Oxford University Press. 241 p.
- Brown, J.K. y Arno, S.F. 1991. The paradox of wildland fire. *Western Wildlands* (Spring): 40-46.
- Brown, R. T., Agee, J. K., & Franklin, J. F. (2004). Forest restoration and fire: principles in the context of place. *Conservation Biology*, 18(4), 903–912.
- Budowsky, G. 1959. The ecological status of fire in tropical American lowlands. *Boletín del Museo de Ciencias Naturales (Venezuela)*, 4-5(1): 113-127.
- Burgan, R. E., & Rothermel, R. C. (1984). *Behave: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System - FUEL Subsystem* (No. General Technical Report INT-167). Ogden, UT.: USDA Forest Service.
- Carcaillet, C.; Bergeron Y.; Richard P., J. H.; Fréchette, B.; Gauthier, S.; Prairie, Y. T.. 2001. Change of fire frequency in the eastern Canadian boreal forests during the Holocene: does vegetation composition or climate trigger the fire regime? *Journal of Ecology*, 89:930–946.
- Cave, G.H. y Patten, D.T. 1984. Short-term vegetation responses to fire in the upper Sonoran Desert. *Journal of Range Management*, 37(6): 491-496.
- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecología*, 143: 1-10.
- Cochrane, M.A. 2003. Fire science for rainforests. *Nature*, 421: 913-919. doi:10.1038/nature01437
- Cooper, R.W. 1975. Prescribed burning. *Journal of Forestry* 73(12):776-780
- Crutzen, P. J.&Andreae, M.O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science* 250, 1669–1677 (1990).
- Chandler, C., P. Cheney, P. Tomas, L. Trabaud y D. Williams. 1983. *Fire in Forestry*. Vol. I. John Willey. Nueva York, Estados Unidos de América.
- Chapin, F.S., P.A. Matson y H.A. Mooney. 2004. *Principles of terrestrial ecosystems ecology*. Springer Verlag. Nueva York, N.Y., EUA.
- Christensen, N.L., A.M. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J.F. Franklin, J.A. MacMahon, R.F. Noss, D.J. Parsons, C.H. Peterson, M.G. Turner y R.G. Woodmansee. 1996. The report of the Ecological Society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications* 6 (3): 665 – 691.
- Christensen, N.L. 1997. Managing for heterogeneity and complexity on dynamic landscapes. En: S.T.A. Pickett, R.S. Ostfeld, M. Shachack y G.E. Likens (eds.). *The ecological basis of conservation*. Chapman & Hall. Nueva York, EUA. pp. 167-186.
- Christensen, N.L. 1997. Managing for heterogeneity and complexity on dynamic landscapes. En: S.T.A. Pickett, R.S. Ostfeld, M. Shachack y G.E. Likens (eds.). *The ecological basis of conservation*. Chapman & Hall. Nueva York, EUA. pp. 167-186.

- Christensen, N.L., A.M. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J.F. Franklin, J.A. MacMahon, R.F. Noss, D.J. Parsons, C.H. Peterson, M.G. Turner y R.G. Woodmansee. 1996. The report of the Ecological Society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications* 6 (3): 665 – 691.
- De Leo, G. A. y Levin, S. 1997. The multifaceted aspects of ecosystem integrity. *Conservation Ecology* 1(1): 3. [en línea URL: <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art3>].
- Díaz D., R. y Pons, X. 2001. Spatial patterns of forest fires in Catalonia (NE Spain) along the period 1975-1995. Analysis of vegetation recovery after fire. *Forest Ecology and Management* 147(1): 67-74.
- Dickinson M.B. 2006. Fire in eastern oak forests: delivering science to land managers, proceedings of a conference. 2005 November 15-17; Columbus, OH. Gen. Tech. Rep. NRS-P-1. Newton Square, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 303 p.
- Egan, D. y E.A. Howell (Eds.). 2005. The historical ecology handbook. Island Press. Washington D.C.
- Enríquez, P.E.G. 1998. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de pino y pino-encino en ejido El Terrero, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Colima. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue. 81 p.
- Estrada, M.O. 2006. Sistema nacional de protección contra los incendios forestales. En: Incendios Forestales. Mundi-Prensa, Comisión Nacional Forestal. pp. 185-213.
- Estrada, M.O. 2006. Sistema nacional de protección contra los incendios forestales. En: Incendios Forestales. Mundi-Prensa, Comisión Nacional Forestal. pp. 185-213.
- Falk, D. a., Miller, C., McKenzie, D., & Black, A. E. (2007). Cross-Scale Analysis of Fire Regimes. *Ecosystems*, 10(5), 809–823. doi:10.1007/s10021-007-9070-7
- Figueroa R., B.L., Olvera V., M.; Willis, K.J. 2008. 4200-years of pine-dominated forest dynamics in the uplands of west-central Mexico: a human or natural legacy? *Ecology* 89 (7): 1893-1907.
- Flannigan, M.D.; Stocks, B.J.; Wotton, B.M.. 2000. Climate change and forest fires. *The Science of the Total Environment* 262: 221-229.
- Flannigan, M. D.; Krawchuk M. A.; De Groot, W.J.; Wotton, M.; y L. M. Gowman. 2009. Implications of changing climate for global wildland fire. *International Journal of Wildland Fire*, 18, 483–507
- Flores-Garnica, G. 2014. Términos de referencia. Plan de manejo del fuego para el Estado de Jalisco. Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, Gobierno de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.
- Folke C.; Carpenter, S.; Walker, B.; Scheffer, M.; Elmqvist, T.; Gunderson, L.; Holling, C.S. 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35: 557-581.
- Foster, D.R. 2000. Conservation lessons and challenges from ecological history. *Forest History Today* Fall 2000: 2-11.
- Foster, D.R. 2000. Conservation lessons and challenges from ecological history. *Forest History Today*. Pp. 2-11.
- Frames. 2005. Interagency Fire Regime Condition Class Guidebook, v1.2. http://frames.nbii.gov/frcc/documents/1.2.2.2/Complete_Guidebook_V1.2.pdf.
- Frandsen W.H. 1991. Burning rate of smoldering peat. *Northwest Science*, 65(4): 166-172.
- Franklin, J.F. 1993. The fundamentals of ecosystem management with applications in the Pacific Northwest. En: Aplet, G.H., N. Johnson, J.T. Olson and V.A. Sample. (Eds.) *Defining sustainable forestry*. Island Press. Washington D.C. Pp. 127-144.
- Franklin, J.F. y J.K. Agee. 2003. Forging a science-based national fire policy. *Issues in Science and Technology*. Fall 2008: 1-8.
- Franklin, J.F.; Berg, D.R.; Thornburgh, D.A.; Tappeiner, J.C. 1997. Alternative silvicultural approaches to timber harvesting: variable retention harvest systems. En: Kohm, K.A. y Franklin, J.F. (Eds.) *Creating a forestry for the 21st century. The science of ecosystem management*. Island Press. Washington DC., EUA. pp. 111-139.

- Frelich, L.E. 2002. *Forest dynamics and disturbance regimes*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido.
- Fulé, P.Z. y Covington, W.W. 1996. Changing fire regimes in Mexican Pine Forests: Ecological and management implications. *Journal of Forestry* 94(10): 33-38.
- Fulé, P.Z. y Covington, W.W. 1997. Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, 41: 43-79.
- Fulé, P.Z. y Covington, W.W. 1999. Fire regime changes in La Michilia Biosphere Reserve, Durango México. *Conservation Biology*, 13(3): 640-652.
- Fulé, P.Z.; Villanueva D., J.; Ramos G., M. 2005. Fire regime in a conservation reserve in Chihuahua, Mexico. NRC Canada. *Canadian Journal of Forest Research*. 35: 320-330.
- García S., F.; Serrano H. A.D.; Angeles C, E.; Rico B., M. 2001. Regeneración postincendio de *Pseudotsuga menziesii* y *Abies religiosa* en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. Memorias del V Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Guadalajara, Jalisco.
- Gebow, B.S. y Halvorson, W.L. 2005. Managing fire in the Northern Chihuahuan Desert: A review and analysis of the literature. USGS Southwest Biological Science Center. Flagstaff, Arizona, E.U.A. 35 p.
- Gedalof, Z. 2011. Climate and Spatial Patterns of Wildfire in North America. En: McKenzie, D., C. Miller y D. Falk (Eds.). *The Landscape Ecology of Fire*. Springer. Dordrecht, Holanda.
- Ginsberg, J.R. 1998. Perspectives on wildfire in the humid tropics. *Conservation Biology* 12(5): 942-943.
- Glitzenstein, J.F., Streng, D.R.; Wade, D. D. 2003. Fire frequency effects on longleaf pine (*Pinus palustris* P. Miller) vegetation in South Carolina and Northeast Florida, USA. *Natural Areas Journal*, 23: 22-37.
- González-Cabán, A. y Sandberg, D.V.. 1989. Fire management and research needs in México. *Journal of Forestry* 87:20-26
- Goren I., N.; Alpers, N.; Kislev, M.E.; Simchoni, O.; Melamed Y.; Ben N., A; Werker, E. 2004. Evidence of hominid control of fire at Geshar Benot Ya'aqov, Israel. *Science* 304 (5671): 725-727.
- Grissino-Meyer., H.D. 1995. Tree ring reconstructions of climate and fire history at El Malpais National Monument, Nuevo México. Tesis Doctoral. Universidad de Arizona. Tucson, Arizona. 477 p.
- Grissino-Meyer, H.D. 1999. Modeling fire interval data from the American Southwest with the Weibull distribution. *International Journal of Wildland Fire*, 9: 37-50.
- Gunderson L.H. y Holling, C. S. 2002. *Panarchy: understanding transformations in human and natural ecosystems*. Island Press, Washington D.C. 56 p.
- Halffter, G. 1984. Las reservas de la biosfera: Conservación de la naturaleza para el hombre.
- Halffter, G. 1987. Biogeography of the montane entomofauna of Mexico and Central America. *Annual Review of Entomology* 32 : 95-114.
- Hamilton 1985
- Hammond, D.S. y ter Steege, H.. 1998. Propensity for fire in Guianan Rainforests. *Conservation Biology* 12(5): 948-950.
- Hardesty, J., R. L. Myers y W. Fulks. 2005. Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. *The George Wright Forum* 22: 78-87
- Hardy, C. C. (2005). Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest Ecology and Management*, 211(1-2), 73-82. doi:10.1016/j.foreco.2005.01.029
- Hardy, C.C., K.M. Schmidt, J.P. Menakis y R.N. Sampson. 2001. Spatial data for national fire planning and fuel management. *International Journal of Wildland Fire* 10: 353-372.
- Hartshorn, G.S. 1982. Wildlands Conservation in Central America. Número 23 de UFSI reports. Universidad de Texas.
- Heinselman, M.L. 1973. Fire intensity in the virgin forests of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. *Quaternary Research*, 3: 329-382.
- Heinselman, M.L. 1981. Fire intensity and frequency as factors in the distribution and structure of northern ecosystems. En: *Proceedings of the Conference Fire Regimes and Ecosystems Dynamics*. USDA-Forest Service Gen. Tech. Rep. WO-26, Pp. 7-57

- Heyerdahl, E.K. y Alvarado, E. 2003. Influence of Climate and Land Use on Historical Surface Fires in Pine-Oak Forests, Sierra Madre Occidental, Mexico. En: Veblen *et al.* (Eds.). Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas. Springer-Verlag, Nueva York. pp. 196-217.
- Heyerdahl, E.K.; Brubaker, L.B.; Agee, J.K. 2001. Spatial controls of historic fire regimes: a multiscale example from the interior west, USA. *Ecology* 82(3): 660-678.
- Holdridge, L.R. 1978. Life zone ecology. Tropical Science Center. San Jose, Costa Rica.
- Holling, C.S. y G.K. Meffe. 1996. Command and control and the pathology of natural resource management. *Conservation Biology* 10(2): 328-337.
- Horn, S.P.; Orvis, K.H.; Kennedy, L.M.; Clark, G.M. 2000. Prehistoric fires in the highlands of the Dominican Republic: evidence from charcoal in soils and sediments. *Caribbean Journal of Science* 36(1-2): 10-18.
- Hostettler, S. 2002. Tropical montane cloud forest: a challenge for conservation. *Bois et forets des tropiques*. No. 274 (4): 19-31.
- Hurteau M and North M. 2009. Fuel treatment effects on tree-based carbon storage and emissions under modeled wildfire scenarios. *Front Ecol Environ* 7. doi:10.1890/080049.
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre. 2010. Estadísticas oficiales. Campaña de prevención y combate de incendios forestales 2009-2010.
- Janzen DH. 1988. Tropical dry forests. The most endangered major tropical ecosystem. In Biodiversity, ed. E.O. Wilson, pp. 130-37. Washington, DC: Natl. Acad.
- Jardel P., E.J. 1985. Una revisión crítica del Método Mexicano de Ordenación de Bosques, desde el punto de vista de la ecología de poblaciones. *Ciencia Forestal* 10(58):3-16
- Jardel P., E.J. 1986. Efecto de la explotación forestal en la estructura y regeneración del bosque de coníferas de la vertiente oriental del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Biótica*, 11(4): 247-270.
- 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 P., E.J. 2006. Desarrollo del Programa de Manejo del Fuego en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco y Colima. Informe Técnico. Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente A.C. y Universidad de Guadalajara. Autlán, Jalisco, México. 21 p.
- Jardel P., E.J. 2008. Sucesión ecológica y restauración de bosques subtropicales de montaña en la Estación Científica Las Joyas, México. En: González E., M.; Rey B., J.M.; Ramírez M., N. (Edit.) Restauración de Bosques en América Latina. Mundi-Prensa/ Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas. México D.F. Pp. 77-97.
- Jardel P., E.J. 2009. Lineamientos generales para la planificación del manejo del fuego. Notas Técnicas sobre Ecología y manejo del Fuego 2009-1. Departamento de Ecología y Recursos Naturales-IMECIBIO, Universidad de Guadalajara. Autlán, Jal.
- Jardel-Peláez, E.J. 2010. Planificación del Manejo del Fuego. Universidad de Guadalajara-Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente-Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. Autlán, Jalisco, México. [En línea: <http://www.cmss.org.mx/biblioteca/761-planificacion-del-manejo-del-fuego.html>].
- Jardel P., E.J. y Sánchez-Velásquez, L.R. 1989. La Sucesión Forestal: fundamento ecológico de la Silvicultura. *Ciencia y Desarrollo* 14(84):33-43.
- Jardel P., E.J.; Ezcurra, E.; Cuevas G., R.; Santiago P., A.L.; Cruz C., P. 2004a. Vegetación y patrones del paisaje. En: Cuevas G., R. y Jardel P., E.J. (Edit.). Flora y Vegetación de la Estación Científica Las Joyas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. pp. 81-135.
- Jardel P., E.J.; Santiago P., A.L.; Cortéz M., C.; Castillo N., F. 2004b. Sucesión y dinámica de rodales. En: Cuevas G., R. y Jardel P., E.J. (Edit.). Flora y Vegetación de la Estación Científica Las Joyas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. pp. 1-4.
- Jardel P., E.J.; Ramírez V., R.; Castillo N., F.; García R., S.; Balcázar M., O.E.; Chacón M., J.C.; Morfín R., J. E. 2006a. Manejo del Fuego y Restauración de Bosques en la Reserva de la Biosfera Sierra de

- Manantlán, México. En: Flores-Garnica, J.G. y Rodríguez-Trejo, D.A. (Eds.). Incendios Forestales. Mundi-Prensa-CONAFOR. México y Madrid. pp 216-242.
- Jardel P., E.J.; Morfín R., J.E.; Vargas J., S.; Michel F., J.M.; Cuevas G., R.; Castillo N., F.; Balcázar M., O.E.; Quiñónez, E. 2006b. Fire Regime and Fire Effects on Western Mexico Subtropical Montane Forest Ecosystems. Proceedings of the 3rd International Congress on Fire Ecology & Management. Special Session: Fire Regimes and Fire Effects in Mexican Ecosystems. San Diego, California, November 13-17, 2006. [<http://www.emmps.wsu.edu/2006firecongressproceedings/>].
- Jardel, E.J., M. Maass, A. Castillo, R. García-Barrios, L. Porter, J. Sosa y A. Burgos. 2008. Manejo de ecosistemas e investigación a largo plazo. *Ciencia y Desarrollo* 34(215): 31-37.
- Jardel, E.J., E. Alvarado, J.E. Morfín-Ríos, F. Castillo-Navarro y J.G. Flores-Garnica. 2009. Regímenes de incendios en ecosistemas forestales de México. En: J.G. Flores-Garnica (Ed.). *Impacto ambiental de incendios forestales*. Mundi-Prensa/Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias/ Colegio de Postgraduados. México D.F. Pp. 73-100.
- Jardel-Peláez, E.J., J.M. Frausto-Leyva, D. Pérez-Salicrup, E. Alvarado, J.E. Morfín-Ríos, R. Landa & P. Llamas-Casillas. 2010. Prioridades de Investigación en Manejo del Fuego en México. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. México D.F., México. (ISBN 978-607-02-2780-6). [En línea: <http://www.camafu.org.mx/index.php/home/articulos/publicacion-sobre-prioridades-de-investigacion-en-manejo-del-fuego-1501.html>].
- Jardel, E.J., D. Pérez-Salicrup, E. Alvarado y J.E. Morfín-Ríos. 2014. Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales: guía de campo. Comisión Nacional Forestal. Guadalajara, Jal., México.
- Jardel, E.J. *et al.* 2015. Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la JIRA.
- Johnson, E.A. 1992. Fire and vegetation dynamics: studies from the North American boreal forest. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. 129 p.
- Kauffman, J.B. 1991. Survival by sprouting following fire in tropical forests of eastern Amazon. *Biotropica* 22 (3): 219-224.
- Kauffman, J.B.; Steele, M.D.; Cummings, D.L.; Jaramillo, V.J. 2003. Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 176: 1-12.
- Keeley, J.E. 2002. Native American impacts on fire regimes of the California Coastal Ranges. *Journal of Biogeography* 29: 303-320.
- Keeley, E.J. y Zedler, H.P. 1998. Evolution of life histories in Pines. En: Richardson M.D. (Ed) *Ecology and biogeography of Pinus*. Cambridge University Press. pp. 218-249.
- Keeley, J.E. y Fotheringham, C.J.. 2003. Impact of past, present, and future fire regimes on North American mediterranean shrublands. En: Veblen, T.T.; Baker, W.L.; Montenegro, G.; Swetnam, T.W. (Edit.) *Fire and climatic change in temperate ecosystems of the Western Americas*. Springer Verlag. Nueva York. pp. 218-262.
- Komarek, E.V. 1968. Lightning and lightning fires as ecological forces. *Tall Timbers Fire Ecology Conf.* 8: 169-197.
- Krawchuk, M. a, Moritz, M. a, Parisien, M.-A., Van Dorn, J., & Hayhoe, K. (2009). Global pyrogeography: the current and future distribution of wildfire. *PloS One*, 4(4), e5102. doi:10.1371/journal.pone.0005102
- Kruckeberg, A. R. (2004). *Geology and plant life: the effects of landforms and rock types on plants*. University of Washington Press.
- López P., J.; Keyes, M.R.; González, A.; Cabrera C., E.; Sánchez, O. 1990. Los incendios de Quintana Roo: ¿catástrofe ecológica o evento periódico? *Ciencia y Desarrollo*, 16 (91): 43-57.
- Lugo, a. E., Brown, S. L., Dodson, R., Smith, T. S., & Shugart, H. H. (1999). The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping. *Journal of Biogeography*, 26(5), 1025-1038. doi:10.1046/j.1365-2699.1999.00329.x

- Maass, J.M. 1995. Conversión of tropical dry forest to pasture and agriculture. En: Bullock, S.H.; Mooney, H.A.; Medina, E. (Edit.) *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. pp. 399-438.
- Malamud, B.D.; Millington, J.D.A.; Perry, G.L.W. 2005. Characterizing wildfire regimes in the United States. *PNAS* 102(13): 4694-4699.
- Manson, R.H., E.J. Jardel P., M. Jiménez-Espinoza y C.A. Escalante-Sandoval. 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impacto sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En: R. Dirzo, R. González e I.J. March (Compiladores) *Capital Natural de México*. Vol. II. *Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. Pp.131-184.
- Martínez D., R. 2011. Guía para la elaboración de programas de manejo del fuego en áreas naturales protegidas y sitios de interés. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Comisión Nacional Forestal-Fondo Mexicano para La Conservación de la Naturaleza-Servicio Forestal de los Estados Unidos. México D.F. 60 pp.
- Mathews, A.S. 2003. Suppressing fire and memory: environmental degradation and political restoration in the Sierra de Juárez, Oaxaca 1887-2001. *Environmental History*, 8(1):77-108.
- McCullough, D.G.; Werner, R.A.; Neumann, D. 1998. Fire and insects in northern and boreal forest ecosystems of North America. *Annual Review of Entomology* 43: 107-127.
- McDonnell, M.J. y Pickett, S.T.A. 1993. Humans as components of ecosystems: subtle human effects and the ecology of populated areas. Springer-Verlag, New York. 363 pp.
- McKenzie, D. 2004. Historia del fuego y su relación con el clima. En: Villers R., L. y López B., J. (Edit.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México D.F. pp. 13-28.
- McKenzie, D., C. Miller y D. A Falk. 2011. Toward a Theory of Landscape Fire. En *The Landscape Ecology of Fire*. Ecological Studies, Springer. Londres, Inglaterra. Pp. 3-25.
- Minnich, R.A. 1983. Fire mosaics in southern California and northern Baja California. *Science*, 219: 1287-1294.
- Miranda, F. 1952. La vegetación de Chiapas. Consejo Estatal para la Cultura y las Artes de Chiapas, México. 596 p.
- Miranda, F. y Hernández X., E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179.
- Morfín-Ríos, J.E., E.J. Jardel, J.M. Michel-Fuentes y E. Alvarado. 2012. Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal-Editorial Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 95 Pp.
- Moritz, M.A.; Morais, M.E.; Summerell, L.A.; Carlson, J.M.; Doyle, J. 2005. Wildfires, complexity, and high optimized tolerance. *PNAS* 102(50): 17912-17917.
- MURPHY, P.G., AND A. E. LUGO. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 17: 67-88.
- Mutch, R. 1970. Wildland fires and ecosystems: a hypothesis. *Ecology* 51: 1046-1051.
- Myers, R.L. 2006. Living with fire: sustaining ecosystems & livelihoods through integrated fire management. The Nature Conservancy Global Fire Initiative. Tallahassee, FL. 28 pp.
- Nepstad, D.C.; Verissimo, A.; Alencar, A.C.; Nobre, C.; Lima, E.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; Potter, C.; Moutinho, P.; Mendoza, E.; Cochrane, M.A.; Brooks, V. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, 398: 505-508.
- Ostfeld, R.S.; Pickett, S.T.A.; Shachack, M.; Likens, G.E. 1997. Defining the scientific issues. En: S.T.A. Pickett, R.S. Ostfeld, M. Shachack y G.E. Likens (Eds.). *The ecological basis of conservation*. Chapman & Hall. Nueva York, EUA. pp. 3-10.
- Ottmar, R.D., D.C. Sandberg, C.L. Riccardi, and S.J. Prichard (2007) An overview of the Fuel Characteristic Classification System: Quantifying, classifying, and creating fuelbeds for resource planning. *Canadian Journal of Forest Research*, 37, 2383-2393.

- Park, M. N. (2006). Spatial and temporal variation in historic fire regimes in subalpine forests across the Colorado Front Range in Rocky, 631–647. doi:10.1111/j.1365-2699.2005.01404.x
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*, 59(7), 593–601. doi:10.1525/bio.2009.59.7.10
- Pausas, J. G., Bradstock, R. A., Keith, D. A., Keeley, J. E., Global, T. G., Ecology, S., & Apr, N. (2009). Plant Functional Traits in Relation to Fire in Crown-Fire Ecosystems Published by : Ecological Society of America PLANT FUNCTIONAL TRAITS IN RELATION TO FIRE IN CROWN-FIRE ECOSYSTEMS, 85(4), 1085–1100.
- Pausas, J.G. & J.E. Keeley. 2009. A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience* 59 (7): 593-601.
- Peck, S. 1998. *Planning for Biodiversity*. Island Press. Washington D.C., EUA.
- Peterson, G.; Allen, C.R.; Holling, C.S. 1998. Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems*, 1(1): 6-18.
- Pickett, S.T.A. y Cadenasso, M.L. 2005. Vegetation dynamics. En: E. van der Maarel (Ed.) *Vegetation ecology*. Blackwell Publishing. Oxford, Reino Unido. pp 172-198.
- Pickett, S.T.A. y Ostfeld, R.S. 1995. The shifting paradigm in ecology. En: R.L. Knight y S.F. Bates (Ed.) *A new century for natural resources management*. Island Press, Washington, D.C. pp 261-278.
- Pickett, S.T.A. y White, P.S.. 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, New York, NY. 472 p.
- Pickett, S.T.A.; Burch Jr, W.R.; Dalton, S.D.; Foresman, T.W.. 1997. Integrated urban ecosystem research. *Urban Ecosystems*. 1:183–84.
- Plana, E. 2001. Anàlisi d'escenaris de prevenció i extinció d'incendis des de la perspectiva socioambiental. En: E. Plana (Coord.) *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Xarxa Temàtica de Recerca Alinfo. Solsona, Catalunya. Pp. 5-11.
- Plana, E. 2004. Anàlisi d'escenaris de prevenció i extinció d'incendis des de la perspectiva socioambiental. En: E. Plana (Coord.) *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Xarxa Temàtica de Recerca Alinfo. Solsona, Catalunya. Pp. 5-11.
- Ponce, D.H.E. 1985. Basal sprouting in *Pinus oocarpa*. *Turrialba* 35(1): 96-101.
- Pyne, S.J. 1996. *World fire. The culture of fire on Earth*. University of Washington Press. Seattle, 384 pp.
- Pyne, S. J., Andrews, P.L., y Laven, R.D. 1996. *Introduction to wildland fire*. John Wiley Nueva York, 769 pp.
- Rabelo, E.R.C., C.A.G. Veras, J.A. Carvalho Jr., E.C. Alvarado, D.V. Sandberg y J.C. Santos. 2004. Log smoldering after an Amazonian deforestation fire. *Atmospheric Environment* 38: 203-211.
- Regelbrugge, J.C. y Conrad, S.G. 1993. Modeling tree mortality following wildfire in *Pinus ponderosa* forests in the central Sierra Nevada of California. *International Journal of Wildland Fire*, 3(3): 139-148.
- Reinhardt, E.D., R.E. Keane y J.K. Brown. 2001. Modeling fire effects. *International Journal of Wildland Fire* 10: 373-380.
- Riccardi, C.L., R.D. Ottmar, D.V. Sandberg, A. Andreu, E. Elman, K. Kopper y J. Long. 2007a. The fuelbed: a key element of the Fuel Characteristic Classification System. *Canadian Journal of Forestry Research*. 37: 2394-2412.
- Riccardi, C.L., S.J. Prichard, D.V. Sandberg y R.D. Ottmar. 2007 b. Quantifying physical characteristics of wildland fuels using the Fuel Characteristic Classification System. *Canadian Journal of Forestry Research* 37: 2383-2393.
- Rodríguez-Trejo, D.A. and A. Sierra- Pineda. 1995. Evaluación de los combustibles forestales en los bosques del sur del Distrito Federal. *Ciencia Forestal en México* 20:193–218.
- Rodríguez T., D. A.; Martínez H., H.C.; Ortega B., V. 2004. Ecología del fuego en bosques de *Pinus hartwegii*. En: Villers R., L. y López B., J. (Edit.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México D.F. pp. 107-124.
- Rodríguez T., D.A. y Fulé, P.Z. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire*, 12 (1): 23-37.

- Rodríguez, T.D. A. 1996. Incendios forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Editorial Mundi-Prensa. México D.F. 1-617 p
- Rojas R., T. La agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días. Ed. Grijalbo. México, D.F.
- Román C., R. M.; Gracia, M.; y Retana, J. 2003. Environmental and human factors influencing fire trends in ENSO and non-ENSO years in tropical Mexico. *Ecological Applications*, 13(4): 1177–1192.
- Rothermel RC (1972) A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper INT-115. (Ogden, UT)
- Rowe, J.S. 1983. Concepts of fire effects on plant individuals and species. En: R.W. Wein y D.A. Maclean (Eds.) *The role of fire in northern circumpolar ecosystems*. John Wiley & Sons, New York, NY. Pp 135-154.
- Rowell, A. y Moore, P.F. 1999. Global review of forest fires. WWF/ UICN. Gland, Suiza. 64 p.
- Rubio C., 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. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Recursos Naturales y Agropecuarios. Universidad de Guadalajara. Autlán de Navarro, Jalisco. México. 60 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F. 432 pp.
- Saab, V., & Powell, H. (2005). Variation in fire regimes of the Rocky Mountains: implications for avian communities and fire management. *Studies in Avian ...*, (30), 76–96.
- Saldaña-Acosta, A. y E.J. Jardel. 1991. Regeneración natural del estrato arbóreo en bosques subtropicales de montaña en la Sierra de Manantlán, México: estudios preliminares. *Biota* 3(3):36-50.
- Sánchez G., I.; Álvarez S., J.; Guadarrama Ch., P 2003. Distribución y productividad de raíces. En: Álvarez S., J. y Naranjo G., E. (Edit.) *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*. Instituto de Ecología, A.C. Instituto de Biología y Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Xalapa, Veracruz, México. pp. 69-78.
- Sánchez V., L.R. 1986. Estudio de la sucesión forestal en la Sierra de Juárez, Oaxaca, México, después de un incendio forestal superficial. *Biótica*, 11(4): 219-231.
- Sánchez V., L.R. y García M., E. 1994. Sucesión forestal en la Sierra de Manantlán, Jal., México: bosque mesófilo de montaña y bosque de *Pinus*. *Agrociencia*, 3:7–26
- Sandberg, D.V., R.D. Ottmar y G.H. Cushon. 2001. Characterizing fuels in the 21st century. *International Journal of Wildland Fire* 10: 381-87. doi: 10.1071/WF01036.
- Sandford Jr., R.L.; Saldarriaga, J.; Clark, K.E.; Uhl, C.; Herrera, R. 1985. Amazon rain-forest fires. *Science*, 227: 53-55.
- Santiago F., H., Servin M., M., Rodarte, H.C., Garfias, F.J. 1999. *Incendios forestales y agropecuarios: prevención e impacto y restauración de los ecosistemas*. Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca e Instituto Politécnico Nacional. México D.F.
- Scott, A.C., D.M. Bowman, W.J. Bond, S.J. Pyne y M.E. Alexander. 2014. *Fire on Earth. An introduction*. Wiley Blackwell, Chichester, Reino Unido. 430 p.
- Scott, J.H. y R.E. Burgan. 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 p.
- Schmidt, K. M. Menakis, P. J. Hardy, C. Colin, J. H. Wendall y D. L. Bunnell. 2002. Development of coarse-scale spatial data for wildland fire and fuel management. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-87. Fort Collins, Colorado, EUA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 41 p.
- Schoenberg, F.P.; Peng, R.; Woods, J. 2003. On the distribution of wildfire sizes. *EnvironMetrics* 14(6): 583-592.

- Schoennagel, T., E. A. H. Smithwick and M. G. Turner. 2008. Landscape heterogeneity following large fires: insights from Yellowstone National Park, USA. *International Journal of Wildland Fire* 17:742-753.
- Schulze, M.D. 1998. Forest fires in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology*, 12(5): 948-950.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2001. Impacts of human-caused fires on biodiversity and ecosystem functioning, and their causes in tropical, temperate and boreal forest biomes. Montreal, SCBD. CBD Technical Series No. 5. 42 p.
- Sibold, J. S., Veblen, T. T., & Gonzalez, M. E. (2006). Spatial and temporal variation in historic fire regimes in subalpine forests across the Colorado Front Range in Rocky Mountain National Park, Colorado, USA. *Journal of Biogeography*, 33(4), 631-647. doi:10.1111/j.1365-2699.2005.01404.x
- Smith, D.M., B.C. Larson, M.J. Kelty y P.M.S. Ashton. 1996. *The practice of silviculture*. John Wiley, Nueva York, EUA.
- Snook, L. y Márquez, M.A. 1984. El Ciclo de incendios en un bosque de *Pinus-Quercus* en la Sierra de Juárez, Oaxaca. Resúmenes del IX Congreso Mexicano de Botánica. Sociedad Botánica de México, México D.F. 129 p.
- Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 353-391.
- Stephens, S. L., Piirto, D.D.; Camargo, D.F. 2004. Fire regimes and resultant forest structure in the native Año Nuevo Monterey Pine (*Pinus radiata*) Forest California. *American Midland Naturalist*, 152: 25-36.
- Stephens, S. L., Skinner, C.N.; Gill, S. J. 2003. Dendrochronology-based fire history of Jeffrey pine - mixed conifer forests in the Sierra San Pedro Martir, México. *Can. J. For. Res.*, 33(6): 1090-1101.
- Sugihara, N. G, J. Van Wagendonk y J. Fites-Kaufman. 2006. Fire as an ecological process. In *Fire in California's ecosystems*. University of California Press. Londres, Inglaterra. Pp. 58-74.
- Swanson, F. J., J. A. Jones, D. O. Wallin and J. H. Cissel. 1994. Natural variability: implications for ecosystem management. Pages 80-94 in M. E. Jensen and P. S. Bourgeron, editors. *Eastside forest ecosystem health assessment. II. Ecosystem management: principles and applications*. General technical report PNW-GTR-318. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon.
- Swetnam, T. W.; Baisan, C. H.; Kaib, J. M. 2001. Forest fire histories in the sky islands of La Frontera. En Webster, G. L. y Bahre, C. J. (Edit.). *Changing Plant Life of La Frontera: Observations on Vegetation in the United States/Mexico Borderlands*. University of New Mexico Press, Albuquerque. pp 95-123.
- Taylor, A.H. y Skinner, C.N.. 2003. Spatial patterns and controls on historical fire regimes and forest structure in the Klamath Mountains. *Ecol. Appl.* 13, 704-719.
- Terradas, J. 2001. *Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Ed. Omega. Barcelona, España. 703 p.
- Trabaud, L. 1981. Man and fire: impacts on Mediterranean vegetation. In di Castri, F., Goodall, D.W. & Specht, R.L. (eds.). *Mediterranean-type shrublands. Ecosystems of the World*, 11. Elsevier, Amsterdam. Pp 523-537.
- Turner, M. G. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20:171-197.
- Turner, M. G. 2005. Landscape ecology: what is the state of the science? *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 36:319-344.
- Turner, M. G., Romme, W. H., Gardner, R. H., Neill, R. V. O., & Kratz, T. K. (2008). A revised concept of landscape equilibrium : Disturbance and stability on scaled landscapes, 8(3), 213-227.
- Turner, M. G., W. H. Romme, R. H. Gardner and W. W. Hargrove. 1997. Effects of fire size and pattern on early succession in Yellowstone National Park. *Ecological Monographs* 67:411-433.
- Vale, T.R. 2002. *Fire, native peoples, and the natural landscape*. Island Press, Washington DC. 238 pp.

- Vargas-Jaramillo, S. 2010. Efectos del fuego sobre la diversidad en bosques montanos subtropicales de la Sierra de Manantlán. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales: Universidad de Guadalajara- Centro Universitario de la Costa Sur. Autlán de Navarro, Jalisco
- Vélez, R. (Coord.) 2000. *La defensa contra incendios forestales*. McGraw Hill, Madrid, España.
- Vieira, D.L.M. y Scariot, A. 2006. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration Ecology*, 14 (1): 11-20.
- Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco y M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.
- Walker, B. y Salt, D. 2006. *Resilience thinking: sustaining ecosystems and people in a changing world*. Island Press, Washington D.C. 174 p.
- Walters, C.J. y C.S. Holling. 1990. Large-scale management experiments and learning by doing. *Ecology* 71: 2060 - 2068
- Westerling, A., Hidalgo, H., Cayan, D., & Swetnam, T. (2006). Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *Science*, (July).
- Westerling, A.L.; Hidalgo, H.G.; Cayan, D.R.; Swetnam, T.W. 2006. Warming and earlier spring increase western U.S. forest wildfire activity. *Science* 313: 940-943.
- Whelan, R. 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press. Cambridge. Reino Unido. 346 p.
- Whelan, R. J., L. Rodgerson, C.R. Dickman y E. F. Sutherland. 2002. Critical life cycles of plants and animals: developing a process-based understanding of population changes in fire-prone landscapes. En: R.A. Bradstock, R.A., J.E. Williams y A. M. Gill (Eds.) *Flammable Australia: the fire regimes and biodiversity of a continent*. Cambridge University Press. Pp. 94-124
- White, P.S. 1979. Pattern, process, and natural disturbance in vegetation. *The Botanical Review* 45(3): 229-299
- White, P. S. y Bratton, S. P. 1980. After preservation: the philosophical and practical problems of change. *Biological Conservation* 18:241-255.
- Wong, C., & Iverson, K. (2004). Range of natural variability: Applying the concept to forest management in central British Columbia. *Journal of Ecosystems and Management*.
- Yokelson, R.J.; Susott, R.; Ward, D.E.; Reardon, J.; Griffith, D.W.T. 1997. Emissions from smoldering combustion of biomass measured by open-path Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Geophysical Research*, 102(D15): 18865-18877.
- Zedler, P.H.; Gautier, C.R.; McMaster, G.S. 1983. Vegetation change in response to extreme events: the effect of a short interval between fires in California chaparral and coastal scrub. *Ecology* 64(4): 809-818.