



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

MAPEO AÉREO PARA LA IDENTIFICACION DE ÁREAS  
FORESTALES AFECTADAS POR PLAGAS  
Y/O ENFERMEDADES

REPORTE DE TRABAJO  
PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A :

ANTONIO DAVID QUIROZ REYGADAS

TUTORA

DRA. MARIA DE LOURDES VILLERS RUIZ

2008



## I. Perfil de la Institución

### I.1 Antecedentes

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) fue creada por Decreto Presidencial el 4 de abril del 2001, es un Organismo Público Descentralizado cuyo objeto es desarrollar, favorecer e impulsar las actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal, así como participar en la formulación de los planes y programas, y en la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable y sus instrumentos.

### I.2 Misión Institucional

Contribuir a elevar la calidad de vida de los mexicanos y al crecimiento de empleo y oportunidades de desarrollo por medio del Manejo Forestal Sustentable (MFS), asunto de seguridad nacional, a través de la aplicación de los criterios de inclusión, competitividad y desarrollo regional, con base en la planeación de largo plazo y en las normas de gobernabilidad, democracia, federalismo, transparencia y rendición de cuentas, para avanzar en la construcción de una mejor realidad forestal para México en el entorno global, en la cual cobren vigencia los principios de humanismo, equidad y cambio (CONAFOR: [www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx)).

### I.3 Misión Gerencial

La Gerencia de Sanidad tiene como objetivo principal “Mantener bajo control las plagas y enfermedades forestales en bosques naturales, viveros y plantaciones”. El cumplimiento de este objetivo se hace a través de instrumentos de gestión que delimitan el programa anual operativo, de capacitación e investigación.

#### Instrumentos de gestión

- Evaluación y alerta temprana

**Mapeo aéreo.**- Se tiene una programación anual de sobrevuelos para detectar patrones de daño sobre arbolado en zonas forestales de interés.

La detección inicial también es realizada por propietarios, técnicos e instituciones por medio del Aviso de plaga.

- Diagnóstico

Verificación en campo para obtener un diagnóstico sobre los agentes causales presentes y el nivel de daño.

Atención a solicitudes de propietarios o poseedores de zonas forestales, viveros y plantaciones.

- Tratamiento

Subsidios a propietarios vía reglas de operación

Administración directa cuando se trata de alguna contingencia fitosanitaria.

## Estructura General de la CONAFOR

- DIRECCIÓN GENERAL

- Unidad de Comunicación Social
- Unidad de Asuntos Jurídicos
- Órgano Interno de Control
- Unidad de Asuntos Internacionales y Fomento Financiero
- Coordinación General de Producción y Productividad
- Coordinación General de Administración
- Coordinación General de Planeación e Información
- Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico
- Coordinación Operación Regional
- **Coordinación General de Conservación y Restauración**

- Gerencia de Reforestación
- Gerencia de Suelos
- Gerencia de protección contra Incendios Forestales
- **Gerencia de Sanidad**

- **Subgerencia de Diagnostico**

- Participa en el establecimiento de las metas de diagnóstico a nivel regional y sus correspondientes metas estatales.
- Programa las acciones de diagnóstico requeridas en función de las necesidades fitosanitarias específicas de cada región.
- Coordina la recepción de muestras enviadas de las diversas regiones para determinar el agente causal e integrar una base de datos.
- Coordina las acciones de prospección de campo mediante uso de herramientas convencionales y con sensores remotos.
- Integra la programación presupuestal en términos y normatividad aplicable dentro de la CONAFOR en coordinación con la Gerencia de Recursos Financieros.
- Diagnostica las necesidades de capacitación continua del personal técnico para la correcta identificación de los agentes causales.

Coordina la capacitación del personal técnico en el uso del equipo especializado adquirido para las acciones de diagnóstico.

# Índice

	Página
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>5</b>
<b>3. Objetivos</b>	<b>9</b>
<b>4. Métodos</b>	<b>10</b>
4.1 Planeación	11
4.1.1 Área de prospección	12
4.1.1.1 Cartografía	12
4.1.1.2 Líneas de vuelo	15
4.1.1.3 Vegetación	18
4.1.1.4 Historial fitosanitario	18
4.1.1.5 Condiciones meteorológicas	19
4.1.2 Elementos visuales aéreos	20
4.1.2.1 Agentes causales	20
4.1.2.2 Patrones de daños	22
4.1.3 Elaboración del proyecto	24
4.1.4 Recursos	25
4.1.4.1 Humanos	25
4.1.4.2 Materiales	27
4.2 Operación	30
4.2.1 Sesión de trabajo previa al vuelo	31
4.2.2 Trabajo de prospección aérea	31
4.2.3 Condiciones meteorológicas <i>in situ</i>	31
4.2.4 Seguridad	32
4.2.4.1 Normas	32
4.2.4.2 Procedimientos de emergencia	33
4.3 Post - proceso	34
4.3.1 Obtención de las coberturas vectoriales	34
4.3.2 Depuración de las bases de datos	34
4.3.3 Elaboración e Impresión de mapas	35

4.4 Diagnóstico en campo	36
4.4.1 Corroboración de patrón de daño	37
4.4.2 Identificación de agente causal	38
4.4.3 Elaboración de informe técnico	38
<b>5. Discusión</b>	<b>39</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>40</b>
<b>7. Evaluación Profesional</b>	<b>41</b>
<b>8. Glosario de términos</b>	<b>42</b>
<b>9. Bibliografía</b>	<b>43</b>

## 1. Introducción

En México la superficie forestal es de 141 millones 745 mil 169 hectáreas de las cuales de acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología, 22.2 millones de ha presentan algún grado de degradación (SEMARNAP-INE 2000), en años posteriores al 2000 no existen datos oficiales que permitan conocer la degradación de los ecosistemas forestales, es hasta el año 2007 que la Comisión Nacional Forestal realizó el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFS), que permite conocer datos actualizados sobre superficie y factores de degradación, la información referida esta próxima a su publicación.

La degradación de los ecosistemas forestales es definida por la FAO, como la disminución gradual de la biomasa que determina cambios en la composición de las especies o en la degradación del suelo (FAO, 1998)

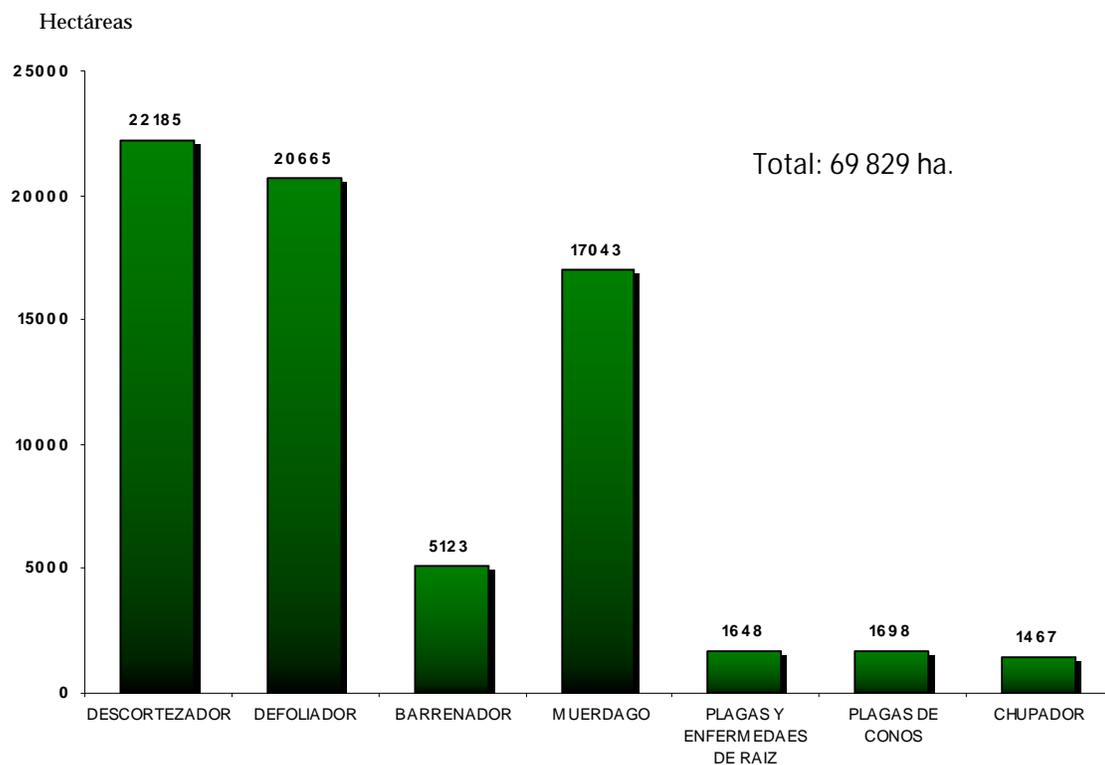
Es conocido que los factores de degradación de los ecosistemas forestales son diversos (ej. incendios, pastoreo excesivo, sobre-explotación de los recursos forestales), siendo uno de los principales factores la afectación por plagas y/o enfermedades forestales (descortezadores, muérdagos, defoliadores, enfermedades de raíz), se estima en un 12% de total de degradación, como ejemplo de lo anterior, actualmente solo el muérdago enano (*Arceuthobium* spp.) estaría afectado aproximadamente 1.8 millones de ha. (Cibrián et al, 2007).

Aunado a la presencia de plagas y/o enfermedades nativas, existe un alto riesgo de introducción al país, de patógenos exóticos de gran importancia fitosanitaria que son capaces de causar daños económicos, ambientales y sociales de gran magnitud (ej. *Coptotermes gestroi* Wasmann (Termita asiática); *Cactoblastis cactorum* Berg (Palomilla del nopal), en virtud del impacto que pueden tener sobre la flora o fauna nativa acorde con sus características biológicas intrínsecas (ej. estrategia de vida, hábitos alimenticios, etc.), y los efectos negativos que son capaces de generar a través de competencia, depredación, herbivoría e hibridación.

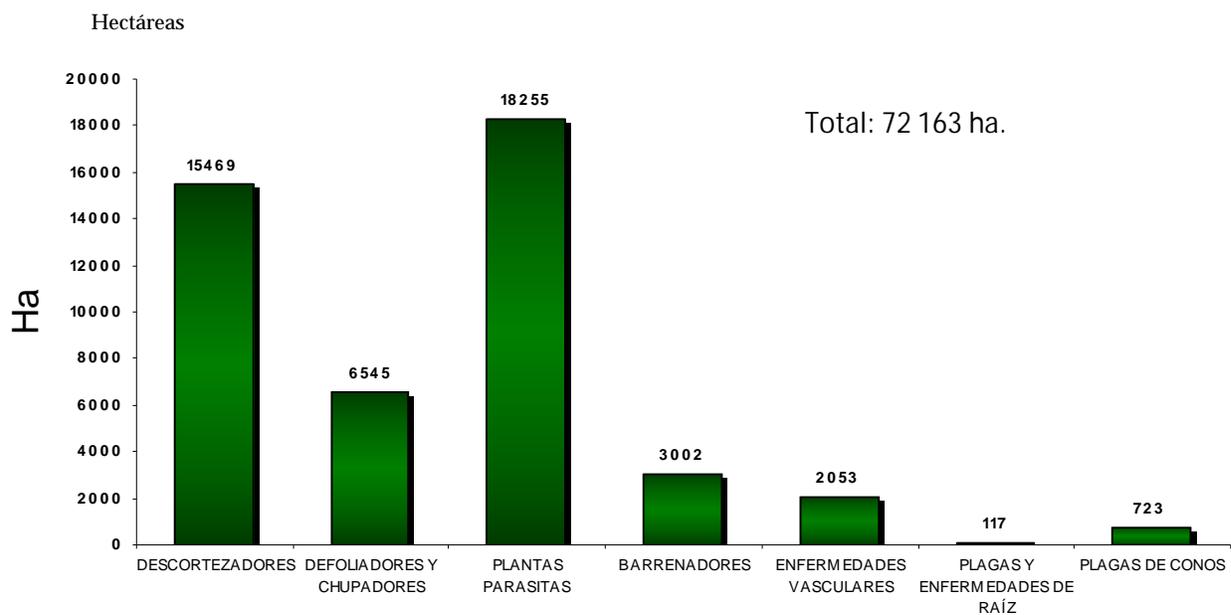
La Gerencia de Sanidad de la CONAFOR en cumplimiento de Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), que establece en su artículo 119 que La CONAFOR “establecerá un sistema permanente de evaluación y alerta temprana de la condición sanitaria de los terrenos forestales y difundirá con la mayor amplitud y oportunidad sus resultados”, incorporó para el año 2006 la metodología de mapeo aéreo para la evaluación temprana de zonas forestales de interés fitosanitario.

Lo anterior permitió incrementar la superficie anual diagnosticada de 213,425 ha. a 654,873 ha. (Grafica 1 y Grafica 2), y conocer la superficie afectada para los principales grupos de plagas y enfermedades

Es importante señalar que el diagnóstico se refiere a la verificación en campo del área afectada, con el fin de obtener información sobre los agentes causales presentes y nivel de daño.



Grafica 1. Superficie afectada por las principales plaga y enfermedades. 2005



Grafica 2. Superficie afectada por las principales plaga y enfermedades. 2006

Analizando los datos de superficie afectada respecto a la superficie total diagnosticada para el año 2005, se tiene que el 32.7% de la superficie presenta afectación por algún agente causal, para el año 2006 se obtiene un 11.0% de superficie afectada ([www.cnf.gob.mx/esanidad](http://www.cnf.gob.mx/esanidad)). Esta disminución en el porcentaje de superficie afectada respecto a la diagnosticada, se debe al incremento en la superficie diagnosticada derivada de las prospecciones aérea de regiones mediante el método de del mapeo aéreo, lo que permite conocer el estado fitosanitario de amplias superficies y dirigir los trabajos de tratamiento. De acuerdo al Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFS) del 2006 se reporta que el 12% de la superficie forestal esta afectada por plagas y enfermedades, lo cual coincide con lo obtenido mediante el método de mapeo aéreo.

Es importante señalar que el mapeo aéreo ha sido dirigido principalmente a bosques de coníferas y encinos, donde se tiene la mayor experiencia sobre plagas y enfermedades. No obstante actualmente se comienza a utilizar esta metodología en selvas del sureste Mexicano.

Considerando que la superficie diagnosticada de 654,873 ha para el año 2006, esta solo corresponde al 3% del total de la superficie para vegetación primaria en bosques de coníferas y encinos (Cuadro 1). Es por lo anterior que la CONAFOR a través de la Gerencia de Sanidad ha incrementado en los últimos años las inversiones para el diagnóstico y combate de plagas y/o enfermedades forestales. Sin embargo, se requiere de aumentar los recursos económicos y humanos que permitan incrementar el porcentaje de superficie diagnosticada, recursos que están plenamente justificados desde la perspectiva ambiental, económica y social.

Cuadro 1. Superficie por tipo de bosque y su condición de acuerdo los Usos del Suelo y Vegetación Serie III (INEGI)

TIPO DE VEGETACIÓN	Serie III		
	Total	Vegetación Primaria (Ha.)	Vegetación Secundaria (Ha.)
BOSQUE CONÍFERAS	16'468,770	11'368,823	5'099,947
BOSQUE ENCINO	15'327,531	10'035,285	5'292,245
TOTAL	31'796,301	21'404,108	10'392,192

Fuente: Comisión Nacional Forestal, INFS ([www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx))

Se considera que la detección temprana de brotes, es un factor fundamental para el control y combate de plagas o enfermedades que causan daños a los bosques. Sin embargo, esta actividad es muy limitada y costosa mediante métodos convencionales de prospección terrestre.

Existen factores económicos, sociales y técnicos que contribuyen a la propagación de las plagas y/o enfermedades forestales, si bien los dos primeros factores tienen puntos importantes de análisis, nos enfocaremos a los aspectos técnicos.

Aspectos como áreas de difícil acceso, relieve accidentado (Figura 1), densidad de la masa (Figura 2),

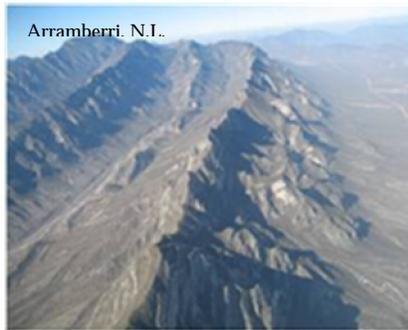


Figura 1. Áreas de difícil acceso

propician áreas ocultas de la superficie de prospección, que derivan en una inversión muy alta de tiempo y recursos económicos para la detección temprana del brote y establecer las medidas de control.

Estos elementos inciden fuertemente en el costo por unidad de superficie, por lo cual la inversión es muy alta



Figura 2. Brote incipiente de descortezador

para la detección de brotes incipientes, ejemplificando lo expuesto, un técnico puede hacer prospección terrestre de 300 ha en un día de trabajo (7am-16pm), con un costo económico de \$5,300.00, lo que arroja un costo por hectárea de \$13.25.

Algunas de la afectaciones se ubican en sitios de fácil acceso, sin embargo, la mayoría se encuentran en zonas donde la detección temprana del brote por métodos terrestres es muy difícil, y por ende la probabilidad de que se convierta en una afectación de superficie considerable es muy alta (Figura 3) y, lo que conlleva una inversión muy importante de recursos económicos y humanos para su control y tratamiento fitosanitario, sin considerar el valor del impacto que esta mortandad causa al ecosistema forestal.



Figura 3. Afectación de gran magnitud, descortezador

Esta perspectiva destaca la necesidad de establecer líneas de coordinación y cooperación en aspectos económicos, de capacitación, de planeación y de transferencia de metodologías sobre prevención y detección de las áreas afectadas. Esto con la finalidad de disminuir el grado de afectación o pérdida, de los bienes y servicios ambientales que las áreas forestales brindan a las comunidades humanas y especies que en ellas cohabitan.

Con base en lo dispuesto en el artículo 119 de la LGDFS, la Gerencia de Sanidad inicia en el 2003 la búsqueda de alternativas metodológicas, que permitieran establecer un sistema de evaluación y alerta temprana de la condición fitosanitaria de las zonas forestales del país, que cubrieran ciertas necesidades:

- A. Identificación de áreas con afectación en estado incipiente.
- B. Prospección de grandes extensiones de áreas forestales.
- C. Facilidad en la prospección de áreas de difícil acceso.

- D. Menor tiempo requerido para el proceso (referido al trabajo que se realiza en la planeación y prospección del área en cuestión) y post-proceso (referido al trabajo de gabinete que se realiza con los datos obtenidos de la prospección aérea).
- E. Mejor costo/beneficio para la CONAFOR.
- F. Facilidad en la transferencia tecnológica.

Evaluando los trabajos financiados por la CONAFOR en este rubro y, analizando algunas metodologías existentes en el mercado de servicios, se identificaron aquellas que permitían un mayor grado de cumplimiento de los requerimientos antes mencionados. Entre dichas metodologías se consideró viable a la Percepción Remota mediante el uso de Imágenes de satélite, videografía y fotografía aérea.

De las anteriores metodologías se consideró que el Sistema de Percepción remota mediante imágenes de satélite, podría brindar mayores beneficios cumpliendo con los requerimientos preestablecidos, por lo que se decidió hacer un estudio piloto o de prueba en la Sierra Juárez, B. C., la cual presentaba problemas severos de plagas. Esto permitió obtener elementos de comparación en el uso de esta metodología respecto a los métodos terrestres y de percepción remota, para la prospección de áreas de interés fitosanitario.

## 2. Antecedentes

Considerando las necesidades y condicionantes para la evaluación de metodologías alternativas para la prospección de áreas forestales de interés fitosanitario, en el año 2003 la Gerencia de Sanidad realizó un estudio sobre “El uso de Percepción Remota en la Sierra de Juárez, B.C. para estimar el nivel de afectación de descortezadores del genero *Ips pini* Say en áreas de *Pinus jeffreyi* Balf”, empleando imágenes LANDSAT 7 a color con resolución de 30x30 m<sup>2</sup> (Figura 4 y 5).

Con este estudio se obtuvieron los elementos que permitieron determinar el grado de cumplimiento de los requerimientos descritos con anterioridad, como fueron: superficie prospectada, costo de las imágenes de satélite, costo de software y hardware, necesidades de capacitación, tiempo y costo para obtener las firmas espectrales, tiempo y costo para verificar los resultados en campo, tiempo de post-proceso, facilidad para instrumentar la metodología en las diversas Regiones de la CONAFOR.

- D. Menor tiempo requerido para el proceso (referido al trabajo que se realiza en la planeación y prospección del área en cuestión) y post-proceso (referido al trabajo de gabinete que se realiza con los datos obtenidos de la prospección aérea).
- E. Mejor costo/beneficio para la CONAFOR.
- F. Facilidad en la transferencia tecnológica.

Evaluando los trabajos financiados por la CONAFOR en este rubro y, analizando algunas metodologías existentes en el mercado de servicios, se identificaron aquellas que permitían un mayor grado de cumplimiento de los requerimientos antes mencionados. Entre dichas metodologías se consideró viable a la Percepción Remota mediante el uso de Imágenes de satélite, videografía y fotografía aérea.

De las anteriores metodologías se consideró que el Sistema de Percepción remota mediante imágenes de satélite, podría brindar mayores beneficios cumpliendo con los requerimientos preestablecidos, por lo que se decidió hacer un estudio piloto o de prueba en la Sierra Juárez, B. C., la cual presentaba problemas severos de plagas. Esto permitió obtener elementos de comparación en el uso de esta metodología respecto a los métodos terrestres y de percepción remota, para la prospección de áreas de interés fitosanitario.

## 2. Antecedentes

Considerando las necesidades y condicionantes para la evaluación de metodologías alternativas para la prospección de áreas forestales de interés fitosanitario, en el año 2003 la Gerencia de Sanidad realizó un estudio sobre “El uso de Percepción Remota en la Sierra de Juárez, B.C. para estimar el nivel de afectación de descortezadores del genero *Ips pini* Say en áreas de *Pinus jeffreyi* Balf”, empleando imágenes LANDSAT 7 a color con resolución de 30x30 m<sup>2</sup> (Figura 4 y 5).

Con este estudio se obtuvieron los elementos que permitieron determinar el grado de cumplimiento de los requerimientos descritos con anterioridad, como fueron: superficie prospectada, costo de las imágenes de satélite, costo de software y hardware, necesidades de capacitación, tiempo y costo para obtener las firmas espectrales, tiempo y costo para verificar los resultados en campo, tiempo de post-proceso, facilidad para instrumentar la metodología en las diversas Regiones de la CONAFOR.

## SIERRA DE JUAREZ, B.C.

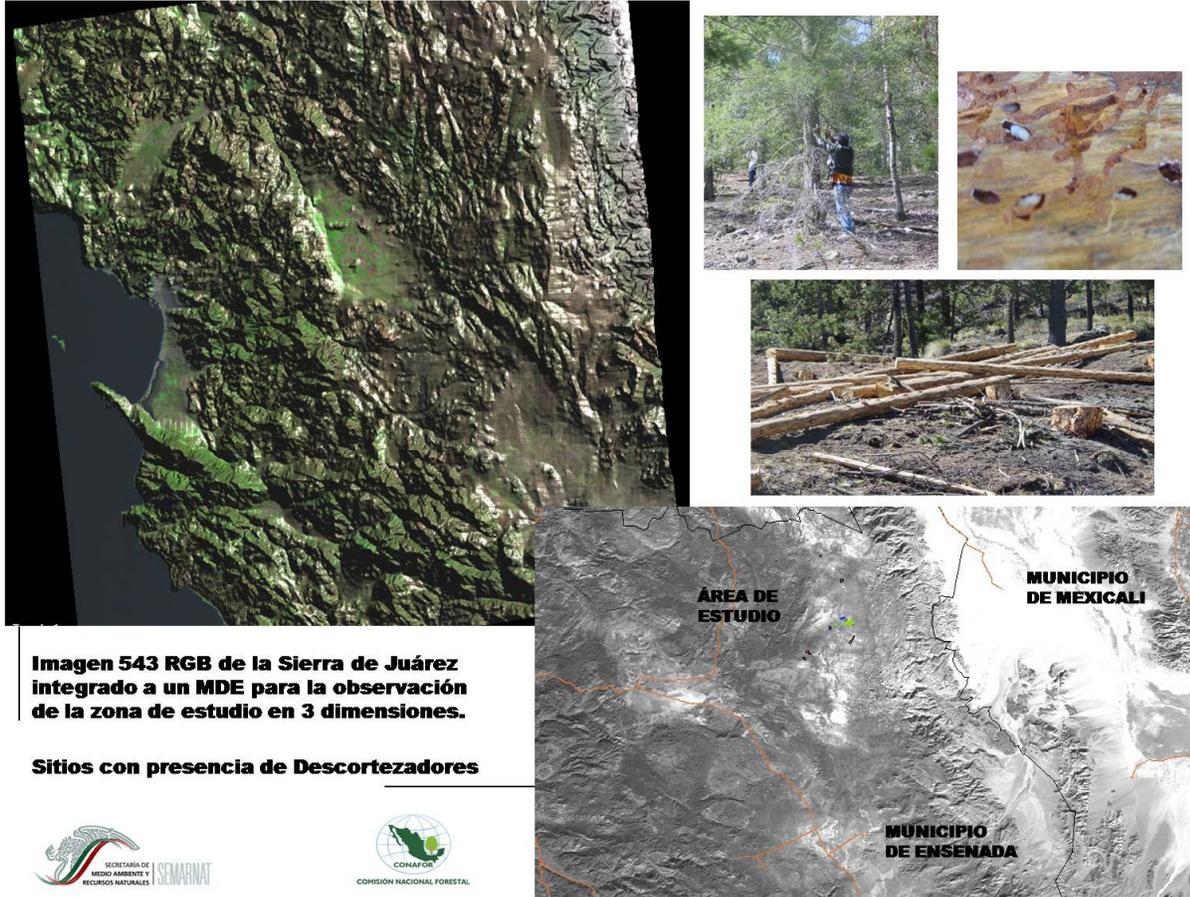
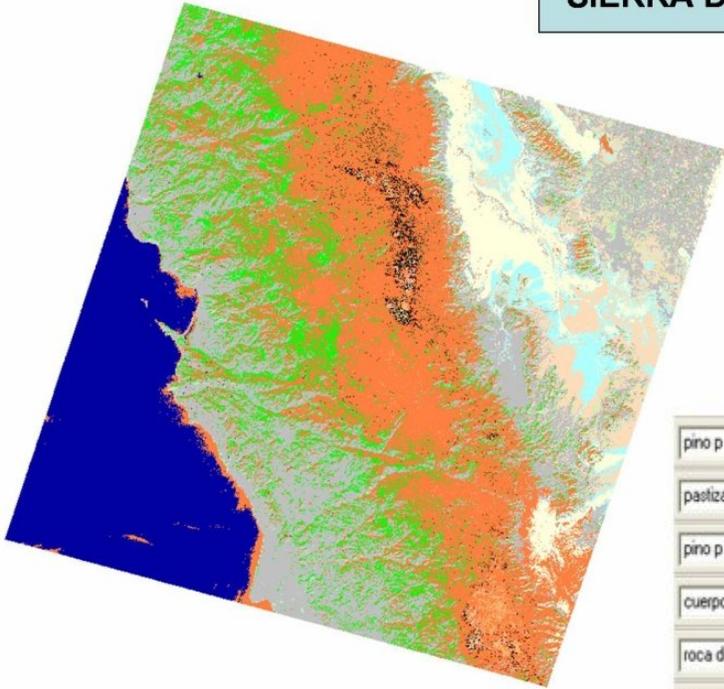


Figura 4. Aspectos del trabajo por Percepción Remota satelital en Baja California.

## SIERRA DE JUAREZ, B.C.



### CATEGORIA

### SUP. (Ha)

pino p	Set color...	<b>9,019.53</b>
pastizal	Set color...	<b>10,825.47</b>
pino p sano	Set color...	<b>15,881.75</b>
cuerpo de agua	Set color...	<b>212.94</b>
roca desnuda	Set color...	<b>1'096,537.14</b>
chaparral	Set color...	<b>5,274.90</b>
ino   ligeramente afectado densidad media	Set color...	<b>4,725.00</b>
pino sano densidad alta	Set color...	<b>255.51</b>
pino   altamente afectado densidad baja	Set color...	<b>2,355.30</b>
o   moderadamente afectado densidad alta	Set color...	<b>1,354.32</b>

Figura 5. Resultados obtenidos del análisis por percepción remota satelital en Baja California.

Las desventajas observadas con el uso de Percepción Remota satelital mediante la utilización de imágenes LANDSAT 7 es el tamaño de pixel, ya que se requiere que exista una área afectada superior al 30% del pixel (270 m<sup>2</sup>) para que esto se refleje en un valor diferente. Por lo general los brotes incipientes de plagas y/o enfermedades tienen superficies menores, por lo tanto no fueron detectados.

Existen imágenes de satélite con mayor resolución como Spot o Quickbird que permitirían detectar brotes incipientes de plagas y enfermedades, sin embargo la adquisición de estas imágenes tienen un costo muy alto en el contexto del presupuesto asignado a la Gerencia de Sanidad.

La metodología de Percepción Remota satelital conlleva la necesidad de clasificación de elementos, que son caracterizados por la respuesta espectral que tienen en las bandas del sensor y que pueden tener una gran variabilidad dependiendo de factores como: condiciones atmosféricas (eje. humedad relativa, presencia de nubes y humo), fenología de la planta, periodo de mayor actividad del agente causal, etc., es por esto que la temporada del año en que se toma la imagen es fundamental. Esto implica una limitación en la calidad de la imagen que impide clasificar y discriminar, mediante una clasificación supervisada, obtener daños o cambios en la estructura de las masas forestales derivado de algún grado de afectación por la presencia de un agente causal. Sin embargo conlleva en tener un conocimiento de la zona, que se ha adquirido por experiencia previa o por trabajo de campo (Chuvieco, 1999).

Otro inconveniente es el tiempo para completar un proyecto que podría ser de 4 a 6 meses o más, por lo cual el uso de la Percepción Remota satelital como una metodología de alerta temprana tiene muchas limitantes, específicamente para este objetivo.

En el año 2004 a solicitud de la Gerencia de Sanidad y en el marco de los programas de transferencia tecnológica entre México y Estados Unidos, se visitó la Estación Regional del Servicio Forestal en la Ciudad de Steamboat, Colorado, para conocer las ventajas y desventajas del Mapeo Aéreo como un sistema metodológico alternativo para la prospección de áreas de interés fitosanitario. Durante ese año se realizó una prueba piloto en la Sierra de Juárez, B. C. (Figura 6), que permitiera tener elementos técnicos y de costo/beneficio, para decidir entre el Uso del sistema de Percepción Remota satelital y el sistema de Mapeo aéreo.

## RESULTADOS

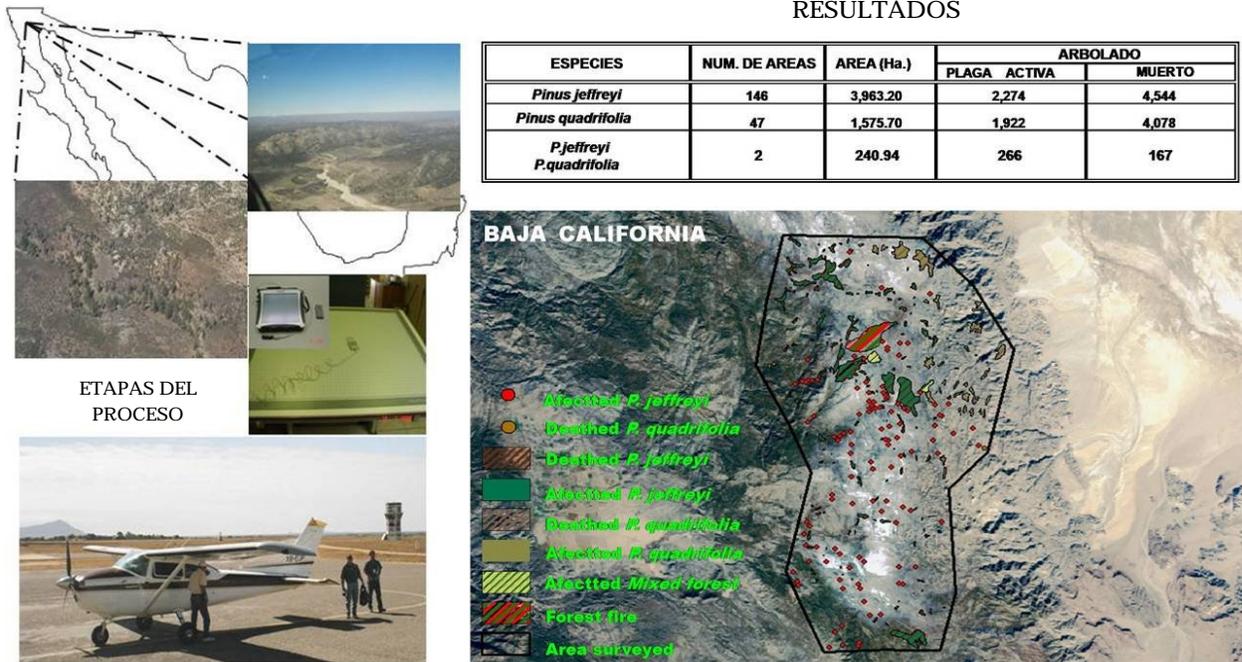


Figura 6. Mapeo aéreo en Sierra de Juárez y resultados obtenidos, 2004

Es importante señalar como antecedentes, que los primeros registros que se tienen del uso de un avión para la detección de un daño por plagas forestales son, en primer lugar el efectuado en Québec y Ontario, Canadá, en el año de 1920 sobre una infestación extensiva de Spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* Clemens). Después J.M. Millar en 1925 realiza el primer vuelo sobre el Parque Nacional La Sierra en California, E.U., para observar un daño ocasionado por una plaga forestal (McConnell, T.J. Johnson, E.W. and Burns B., 2000). Sin embargo fue hasta el año 1987, cuando en México se realiza un Taller sobre “Mapeo aéreo en la Detección y Evaluación de Plagas y Enfermedades Forestales”, en San Felipe del Progreso, en el Estado de México. No obstante, a pesar de los beneficios e interés por esta metodología, sólo se utilizó en situaciones esporádicas sobre bosques con eventos fitosanitarios de alto riesgo, pero sin un procedimiento metodológico de prospección y registro de datos.

### 3. Objetivos

El presente trabajo pretende aportar conocimiento y difundir el uso del Mapeo aéreo como una metodología de prospección de campo, que permite detectar y registrar los brotes incipientes de plagas y/o enfermedades forestales, para ello se establecieron los siguientes objetivos particulares.

- Hacer una descripción de la metodología para conocer sus ventajas y limitaciones respecto a la prospección de campo terrestre y de percepción remota satelital.

## RESULTADOS

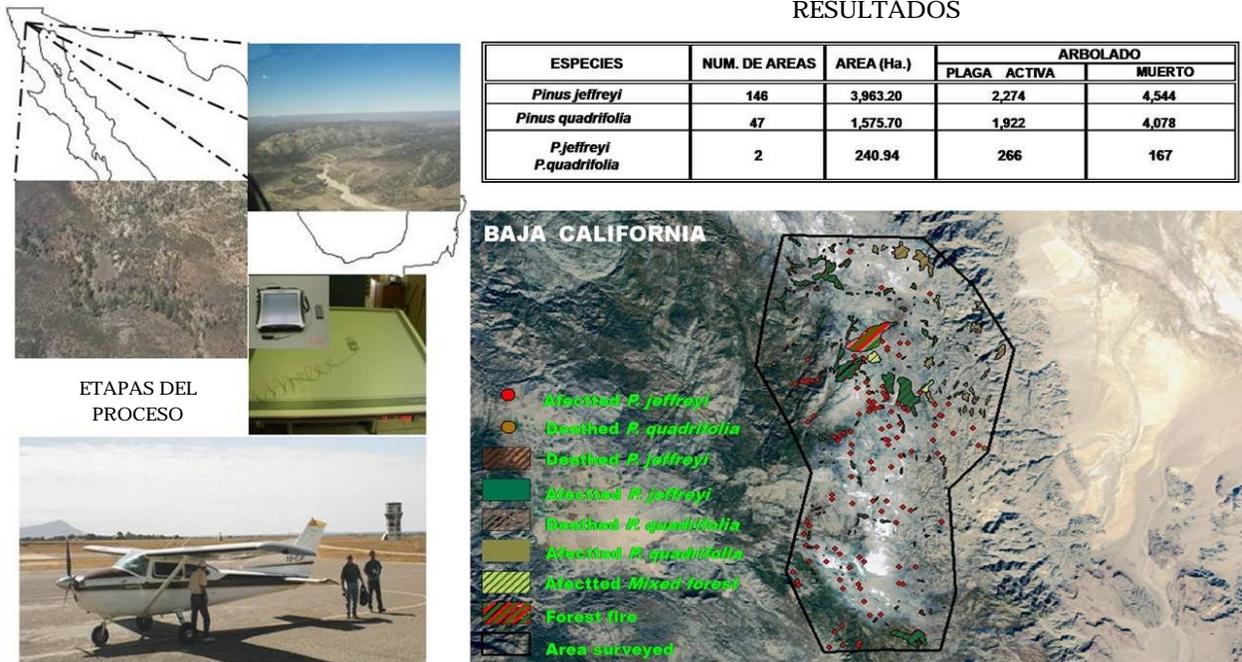


Figura 6. Mapeo aéreo en Sierra de Juárez y resultados obtenidos, 2004

Es importante señalar como antecedentes, que los primeros registros que se tienen del uso de un avión para la detección de un daño por plagas forestales son, en primer lugar el efectuado en Québec y Ontario, Canadá, en el año de 1920 sobre una infestación extensiva de Spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* Clemens). Después J.M. Millar en 1925 realiza el primer vuelo sobre el Parque Nacional La Sierra en California, E.U., para observar un daño ocasionado por una plaga forestal (McConnell, T.J. Johnson, E.W. and Burns B., 2000). Sin embargo fue hasta el año 1987, cuando en México se realiza un Taller sobre “Mapeo aéreo en la Detección y Evaluación de Plagas y Enfermedades Forestales”, en San Felipe del Progreso, en el Estado de México. No obstante, a pesar de los beneficios e interés por esta metodología, sólo se utilizó en situaciones esporádicas sobre bosques con eventos fitosanitarios de alto riesgo, pero sin un procedimiento metodológico de prospección y registro de datos.

### 3. Objetivos

El presente trabajo pretende aportar conocimiento y difundir el uso del Mapeo aéreo como una metodología de prospección de campo, que permite detectar y registrar los brotes incipientes de plagas y/o enfermedades forestales, para ello se establecieron los siguientes objetivos particulares.

- Hacer una descripción de la metodología para conocer sus ventajas y limitaciones respecto a la prospección de campo terrestre y de percepción remota satelital.

- b) Establecer criterios técnicos y operativos para su utilización en el monitoreo y diagnóstico de la salud forestal.
- c) Evaluar el mapeo aéreo como una herramienta para la toma de decisiones que permita el manejo integral de plagas y/o enfermedades forestales.

#### 4. Métodos

El mapeo aéreo es un sistema metodológico con elementos similares a los utilizados mediante percepción remota satelital (Figura 7), sin embargo, es un técnico capacitado en plagas y enfermedades, quien sustituye al sensor remoto y sistema de recepción, registrando desde un avión los efectos, daños o cambios en su estructura que sufren las masas forestales y documenta en un mapa, el tamaño, forma, atributos y localización, con la mayor precisión posible (McConnell, T.J. Johnson, E.W. and Burns, B. 2000). La información obtenida puede ser registrada sobre una carta topográfica en papel o, en forma digital por medio de un software específico (ej. Geolink, ArcPad) y hardware de características especiales para esta actividad.

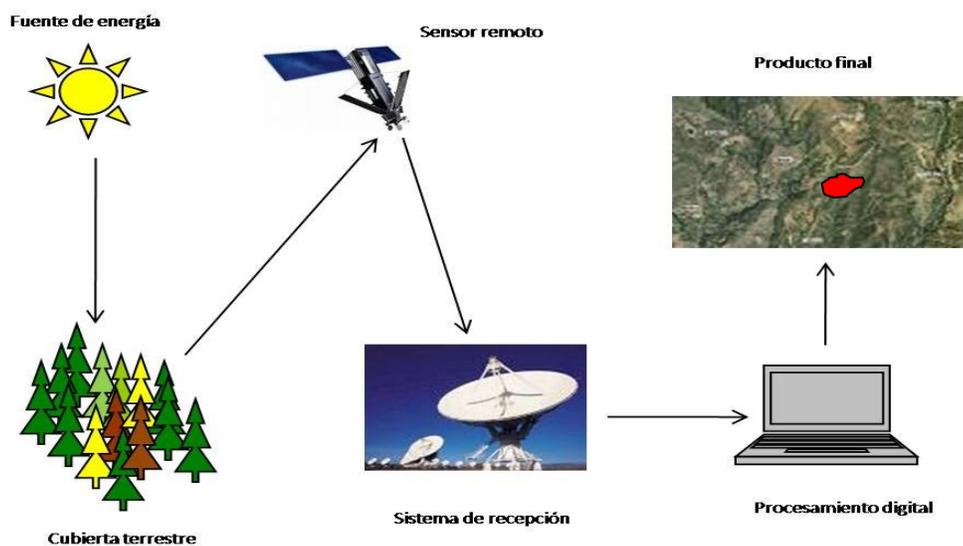


Figura 7. Elementos que conforman un sistema de Percepción Remota satelital

El uso más común que tiene el mapeo aéreo en aspectos de sanidad forestal, es el monitoreo anual de áreas de interés fitosanitario, que permite observar posibles síntomas o daños causados por insectos y enfermedades, así como la presencia de factores de disturbios abióticos y antropogénicos, que disminuyen el vigor del arbolado y que por consiguiente lo predisponen a un eventual ataque de patógenos.

- b) Establecer criterios técnicos y operativos para su utilización en el monitoreo y diagnóstico de la salud forestal.
- c) Evaluar el mapeo aéreo como una herramienta para la toma de decisiones que permita el manejo integral de plagas y/o enfermedades forestales.

#### 4. Métodos

El mapeo aéreo es un sistema metodológico con elementos similares a los utilizados mediante percepción remota satelital (Figura 7), sin embargo, es un técnico capacitado en plagas y enfermedades, quien sustituye al sensor remoto y sistema de recepción, registrando desde un avión los efectos, daños o cambios en su estructura que sufren las masas forestales y documenta en un mapa, el tamaño, forma, atributos y localización, con la mayor precisión posible (McConnell, T.J. Johnson, E.W. and Burns, B. 2000). La información obtenida puede ser registrada sobre una carta topográfica en papel o, en forma digital por medio de un software específico (ej. Geolink, ArcPad) y hardware de características especiales para esta actividad.

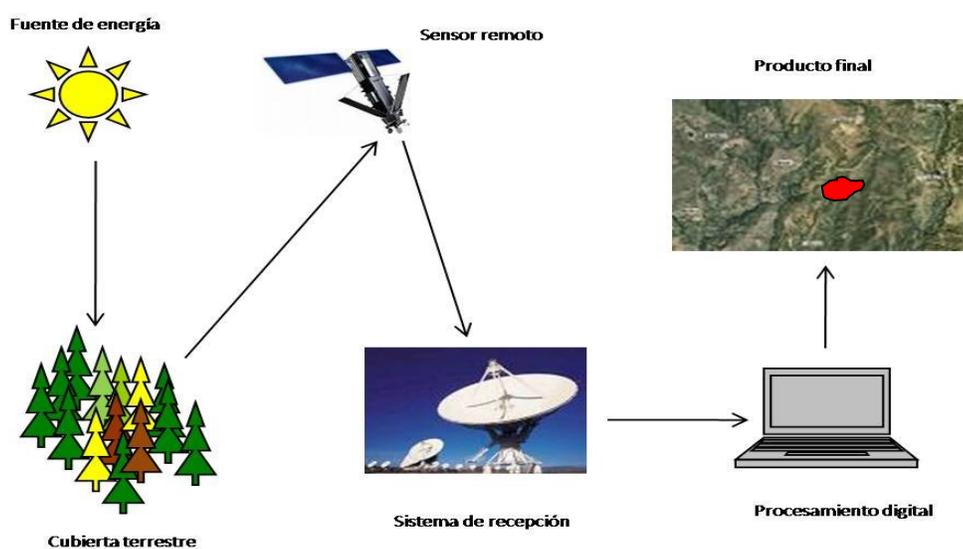


Figura 7. Elementos que conforman un sistema de Percepción Remota satelital

El uso más común que tiene el mapeo aéreo en aspectos de sanidad forestal, es el monitoreo anual de áreas de interés fitosanitario, que permite observar posibles síntomas o daños causados por insectos y enfermedades, así como la presencia de factores de disturbios abióticos y antropogénicos, que disminuyen el vigor del arbolado y que por consiguiente lo predisponen a un eventual ataque de patógenos.

En caso de observar afectaciones por plagas y/o enfermedades el mapeo aéreo nos brinda la oportunidad de obtener rápidamente información específica sobre su localización, magnitud, zonas con plaga activa y posible agente causal, si el observador, tiene la capacidad para discriminar entre los síntomas que presenta el arbolado ante el ataque de un patógeno específico o factor abiótico

Esta información permite a los técnicos de sanidad en primera instancia, conocer las coordenadas geográficas para acceder con prontitud a la zona afectada, en segunda elaborar un diagnóstico oportuno de las causas que originan la afectación del arbolado, lo que aunado a la información registrada por el observador, nos proporcionan los elementos que determinarán las actividades para el tratamiento fitosanitario a realizarse en el área, de tal forma que se disminuya al mínimo la pérdida de las masas forestales reduciendo el impacto sobre los bienes y servicios que de estas se obtienen.

Una de las ventajas que distingue el mapeo aéreo de otras técnicas de prospección, es la posibilidad de realizarse en cualquier momento o época del año, lo importante es relacionarlo con ciclo biológico del agente causal, aspecto que sería difícil realizar si se utilizan Imágenes de Satélite ya que estos tienen programadas sus trayectorias y mover el sensor hacia aéreas específicas resulta muy oneroso.

Cabe señalar que se consideran dos tipos de mapeo aéreo dependiendo del objetivo que persiguen: 1) El mapeo aéreo general, tiene la finalidad de monitorear de forma periódica, grandes superficies observando los cambios en la estructura del bosque en periodos determinados de tiempo. 2) Se define como mapeo aéreo específico, aquel que se realiza en superficies de menor tamaño para localizar y cuantificar los daños al arbolado por plagas, enfermedades o factores abióticos (huracanes, inundaciones, incendios, deslaves, etc.) y pueden ser registrados inmediatamente después de ocurrido el evento y durante cualquier época del año.

#### 4.1 Planeación

En todo trabajo operativo, de investigación o de cualquier otra índole, una buena planeación es indispensable para el cumplimiento de los objetivos propuestos. El Mapeo aéreo no es la excepción, su planeación involucra muchos elementos tanto humanos como materiales, aunados a los meteorológicos, es por ello que la selección e integración de dichos elementos es determinante en el cumplimiento de los objetivos planteados.

Los principales elementos a considerar en la planeación del mapeo aéreo son los siguientes: a) Establecer los objetivos específicos para la zona de prospección; b) selección de las cartas topográficas; c) determinar los patrones de vuelo; d) selección de la aeronave, equipo de comunicación, requerimientos de equipo para el mapeo aéreo (ej. cámara digital, prismáticos, GPS's, baterías, etc.); e) análisis de las condiciones climáticas en la zona; f) aviso a las autoridades competentes (ej. SEDENA, PGR, Gobiernos de los Estados, Municipio, etc.), principalmente en zonas con actividad de narcotráfico.

La época o mes del año en que se realiza el mapeo aéreo es un elemento fundamental en la planeación, ya deberá coincidir con la etapa del ciclo de vida de patógeno en la cual el daño al arbolado es más severo y por lo tanto, más fácil de ser observado desde el aire. Por lo anterior es de suma importancia que el técnico conozca los ciclos de vida de las principales plagas y enfermedades que afectan los bosques de la zona de prospección, así como la fenología de las diversas especies forestales.

A continuación se describen los procedimientos de planeación, herramientas requeridas y conceptos, que permitirán una mayor comprensión de la metodología y posibles aplicaciones en ámbitos diferentes al expuesto en el presente documento.

#### 4.1.1 Área de prospección

##### 4.1.1.1 Cartografía

La cartografía es la ciencia que estudia la representación de la tierra en cartas a través de proyecciones. La carta es una representación total o parcial de la superficie curva de la tierra sobre una superficie plana.

Una carta geográfica debe tener las siguientes características: plana, semejante, exacta, a escala, orientada.

- Plana: significa que sea posible colocarla sobre la cubierta de una mesa y trabajar en ella con instrumentos de dibujo.
- Semejante: el dibujo debe mantener la misma forma de lo que representa y las mismas posiciones relativas entre todos los detalles y elementos geográficos que contiene.
- A Escala: significa que se podrá medir, en ella, las distancias a que se encuentran los puntos notables, en particular entre puntos situados en el mismo plano o entre un rumbo y otro elemento terrestre representado en ella.
- Exactitud: es la absoluta igualdad entre las dimensiones lineales, angulares, etc., que se miden o calculan en la carta con las dimensiones reales correspondientes existentes en la superficie terrestre.
- Orientada: significa que la porción de tierra y agua dibujada deben tener la misma posición relativa respecto de los meridianos trazados que indican el norte verdadero y posición relativa que realmente tienen en la superficie terrestre.

La cartografía digital o automatizada es el resultado del procedimiento que permite el diseño, producción, análisis, y modelación de mapas con ayuda de computadoras y que transforma la información geográfica a coordenadas digitales.

Ventajas de la cartografía digital sobre la analógica (papel).

- Elimina procesos laboriosos.
- Fácil manipulación.
- Indeformabilidad del mapa.
- Fácil tratamiento geométrico de la información.
- Posibilidad de un uso selectivo de la información.
- Fácil paso de la información a cualquier sistema de representación cartográfica.
- Fácil realización de copias de seguridad en soporte digital (Cd-Rom).
- Transformar datos a un sistema de información geográfica (SIG) y;
- Fácil almacenamiento.

Inconvenientes

- Necesidad de una computadora de alta capacidad de procesamiento.
- Necesidad de un programa específico.
- Necesidad de bases de datos cartográficos en formato digital compatible.
- Necesidad de operadores con conocimientos cartográficos e informáticos.

Recientemente con el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG's) y el incremento en la capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos de las computadoras, la cartografía digital permite realizar mediciones, consultas, modelizaciones y diversos análisis para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.

Existen diversas cartas temáticas generadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), que pueden servir como base para el registro la información obtenida durante el proceso de prospección del área de interés fitosanitario. No obstante, es la carta topográfica escala 1:50 000 la que contiene los elementos cartográficos a mayor detalle y permite realizar el registro de la información con mejor precisión en vuelos a baja altura, a diferencia de otras cartas temáticas con escalas 1:250 000.

Una carta topográfica considera todos los detalles topográficos y aspectos geográficos del terreno y características que permitan fácilmente la lectura e

interpretación de los aspectos graficados. Los principales rasgos cartográficos de la carta topográfica son que: presentan elementos de referenciación en Coordenadas Geográficas (latitud-longitud) y cuadrícula en el sistema UTM (Universal Transversal de Mercator), así como los principales aspectos topográficos y geográficos del terreno (ej. montañas, ríos, curvas de nivel, carreteras, brechas, presas, poblados, etc.).

Es importante resaltar que estos elementos tienen un valor sustancial en la prospección aérea, ya que basados en la ubicación sobre la carta topográfica, el observador podrá posicionar rápidamente las áreas tomando como referencia dichos elementos, incrementando con ello, la precisión en el registro de las aéreas afectadas, aspectos que carecen o solo presentan parcialmente algunas cartas temáticas aun con la misma escala.

La escala recomendada para el mapeo aéreo es 1:50,000 porque es la que está disponible para todo el país, sin embargo algunas Entidades Federativas cuentan con cartas 1:20,000 que ofrecen un mayor detalle de los elementos geográficos del terreno de prospección, lo que permite una mejor ubicación de las áreas afectadas.

Es necesario saber interpretar los aspectos presentes en una carta topográfica, principalmente curvas de nivel, ya que con base en ellas podemos tener una idea de dos dimensiones, distancia y altura de las tres que existen en la realidad. Así podemos saber si el terreno es plano o montañoso (Figura 8), altitud sobre nivel medio del mar (s.n.m) de los diferentes rasgos topográficos como cañadas, llanos, valles, y dirección en la que se ubican las cadenas montañosas, entre otros.

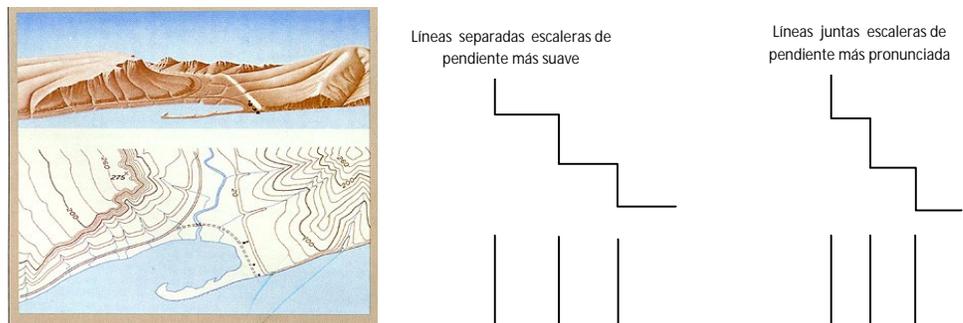


Figura 8. Ejemplo que nos permite entender la lectura de las curvas de nivel

#### 4.1.1.2 Líneas de vuelo

El patrón de vuelo se elige dependiendo de la topografía, objetivo del mapeo, precisión en la prospección y experiencia del observador, sin olvidar los costos que cada uno conllevan.

Con base en la carta topográfica y los elementos de relieve del área, se procede a la planeación de las líneas de vuelo, estableciendo su distancia, separación entre líneas y dirección de las mismas. Esto se realiza tomado en cuenta aspectos como son; superficie de prospección, visibilidad, sombra orográfica, topografía, tipo de aeronave, tiempo de vuelo, rutas de seguridad, tráfico aéreo, aeropuertos con combustible y localización de aeródromos en caso de requerir un aterrizaje de emergencia.

El patrón de vuelo se establece con el objeto de tener la cobertura total y sistematizada del área de prospección. Además deberá proporcionar al observador la mejor visibilidad sobre el terreno pudiendo realizar ajustes in situ, previo acuerdo con el capitán de la aeronave y sin que ello ponga en riesgo la seguridad.

Existen dos tipos de patrón de vuelo: Contorno y Paralelo

El patrón de vuelo en contorno se utiliza cuando la topografía del área prospectada presenta diversas formas de relieves lo que dificulta la visibilidad de la superficie desde el aire. En este patrón de vuelo la comunicación entre el piloto y observador, es de suma importancia ya que este último dirige al piloto para sobre volar siguiendo de forma específica los ríos, cañadas o parteaguas, de forma tal que el observador pueda ver la superficie para su prospección aérea.

El patrón de vuelo en paralelo se determina trazando líneas en una dirección predeterminada, con base en los elementos anteriormente descritos. En este procedimiento las líneas se transfieren a un GPS para aviación, donde el piloto observa las líneas y dirige el avión sobre las rutas que éstas determinan.

Independiente del patrón de vuelo seleccionado, existen dos variantes del mapeo aéreo que dependen del número de observadores que estén en el avión:

Las líneas de vuelo se deberán volar de “ida” y “vuelta”, con el fin de que el observador pueda mapear el área completa. Cuando se realiza el recorrido de “vuelta” el avión se desvía un poco de la línea original

hacia alguno de los lados para que el observador pueda ver la superficie oculta por debajo del avión durante el recorrido de ida (Figura 9)

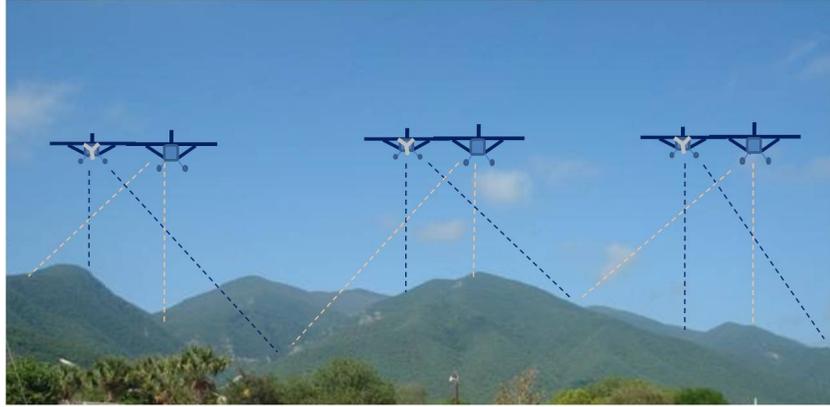


Figura 9. Mapeo con un observador

Dos observadores. Las líneas de vuelo se realizan sólo una vez, ya que los observadores se ubican opuestamente dentro del avión logrando así una visión total del área (Figura 10)

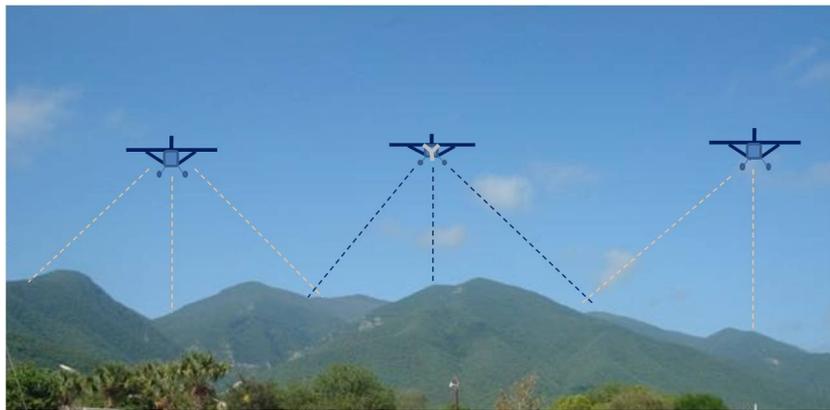


Figura 10. Mapeo con dos observadores

Con base en la práctica adquirida en zonas montañosas de topografía agreste se establecen líneas de vuelo con un intervalo de 2 minutos (3.7 km entre líneas) y en zonas con un relieve más suave de 3 minutos (5.556 km entre líneas). Esto permite una buena prospección del área y una buena relación costo beneficio (Figura 11).

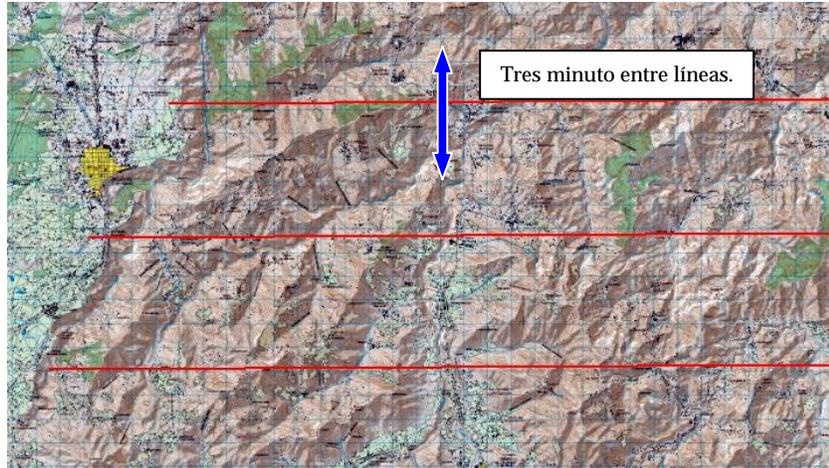


Figura 11. Líneas de vuelo en la Sierra Norte de Puebla (Zacatlán)

Aunque la altitud de vuelo depende de las condiciones climáticas y la topografía del área de prospección, el vuelo se realiza entre los 150 y 500 metros de altura sobre el terreno. No es recomendable volar a altitud menor a 150 metros, ya que en caso de emergencia la distancia entre el avión y el terreno no es suficiente para hacer los procedimientos necesarios para un aterrizaje de emergencia.

La velocidad del vuelo tiene importancia sobre dos factores, la seguridad y la superficie a mapear. Es por ello que con base en la habilidad del observador y la experiencia del piloto, se deberá acordar la velocidad adecuada para realizar el trabajo, sin poner en riesgo la sustentación del avión. La velocidad recomendada es entre 120 y 160 km/hr (Figura 12).

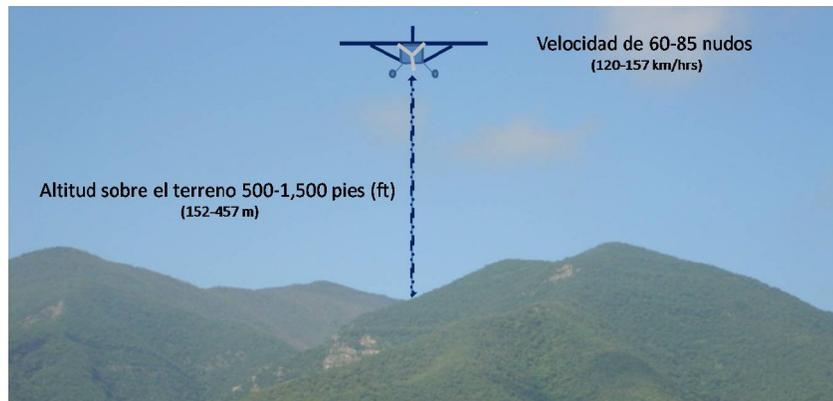


Figura 12. Velocidad y altitud de vuelo

Considerando lo expuesto en este apartado, surge la pregunta ¿Cuánta superficie puede mapear un observador en una hora de vuelo?. La respuesta dependerá de diversos factores como los ambientales, experiencia del observador, velocidad de la aeronave, etc. Sin embargo en promedio un observador hace la prospección de aproximadamente 2.5 km<sup>2</sup> cada 30 segundos (250 ha), lo que nos permite calcular 30,000 ha., por hora de vuelo.

Es importante mencionar que la superficie obtenida durante la prospección aérea de la zona afectada, es sobre un plano en dos dimensiones, por lo que la superficie obtenida está subvalorada. Es necesario realizar una compensación por pendiente para poder tener una superficie más apegada a la realidad.

#### 4.1.1.3 Vegetación

Uno de los aspectos del conocimiento necesario para realizar un buen mapeo aéreo, es lo relativo a la familiaridad que debe tener el observador con el tipo de vegetación del ecosistema donde se realiza la prospección aérea, así como la fenología de la o las especies presentes y cuyos cambios estacionales pueden causar incertidumbre en el momento del registro, es decir, la posibilidad de determinar aéreas como afectadas por un agente causal, únicamente basados en un cambio de coloración del follaje.

Otro aspecto importante es conocer las características fenotípicas de las especies arbóreas y con ello poder discernir entre los grandes grupos de géneros de coníferas (ej. Pinus, Abies, Pseudotsugae), para ello se considera la forma y densidad de copa, coloración y tipo de follaje. Esto aunado con las características topográficas y exposición del sitio donde se encuentran. Ejemplificando esto último, los géneros Abies y Pseudotsugae requieren ambientes más húmedos ubicados en la exposición N o en cañadas independiente de la exposición que tengan, por el contrario, las laderas con exposición S y principalmente la SW son laderas más secas, cuyas características ambientales favorecen la cobertura con especies del género Pinus (Stephen, 1973)

#### 4.1.1.4 Historial fitosanitario

Nos referimos como historial fitosanitario al conocimiento que se tiene del área de prospección, con respecto al tipo de plaga y/o enfermedad que se ha presentado, la época del año con mayor virulencia, los síntomas de daño, así como los factores abióticos y antropogénicos presentes y que tienen un impacto relevante en el área.

Las insectos y patógenos son elementos que están presentes en todo ecosistema forestal y, sus niveles poblacionales están regulados por agentes antagonistas, aunque se lleguen a presentar pequeños brotes se pueden considerar como “normales” pues son parte de la interacción que tienen con los hospederos y su propia dinámica poblacional. Si consideramos que los insectos y los patógenos actúan preferentemente sobre arbolado viejo, suprimido, o de menor vigor, entonces se está realizando un proceso de selección natural de la masa forestal, sin intervención del hombre. Sin embargo, se pueden presentar factores bióticos, abióticos y principalmente antropogénicos que disparan los niveles poblacionales de las agentes causales convirtiéndolos en plagas.

Considerando lo anterior es importante señalar que el técnico deberá tener conocimientos que le permitan entender la dinámica de poblaciones de los agentes causales (ej. diversidad, distribución, ciclos de vida, estructura y evolución) y su interacción con los hospederos, porque este conocimiento le permitirá definir las estrategias de tratamiento y control de los agentes causales de importancia fitosanitaria y con gran impacto ecológico, económico y social. Es importante señalar que el objetivo del control fitosanitario es el disminuir las poblaciones en etapa epidémica a niveles poblacionales normales, y no la erradicación definitiva de los mismos, ya que estos cumplen una función dentro del ecosistema forestal.

#### 4.1.1.5 Condiciones meteorológicas

Las condiciones ambientales es uno de los elementos fundamentales a considerar en el proceso de planeación del mapeo aéreo. En primer término, por su peso específico en la seguridad de la aeronave y por ende de la tripulación, y en segundo por el costo que tiene el desplazar la aeronave del aeropuerto base a la zona de prospección y que por condiciones meteorológicas deba permanecer en tierra. Es por lo anterior que se deberá de conocer las condiciones ambientales presentes en la zona de prospección durante la etapa de planeación por un periodo de 5 días, lo que permitirá determinar el momento más adecuado para llevar a cabo la prospección de la zona.

Lo anterior se analiza mediante las imágenes de satélite (GOES-Este) y pronóstico del tiempo del Servicio Meteorológico Nacional, además de la información del National Hurricane Center basada en imágenes de satélite GOES y la Aviation Weather Center. En caso de tener dudas o requerir más información se procede a la comunicación telefónica con personal de meteorología del aeropuerto más próximo a la zona de trabajo.

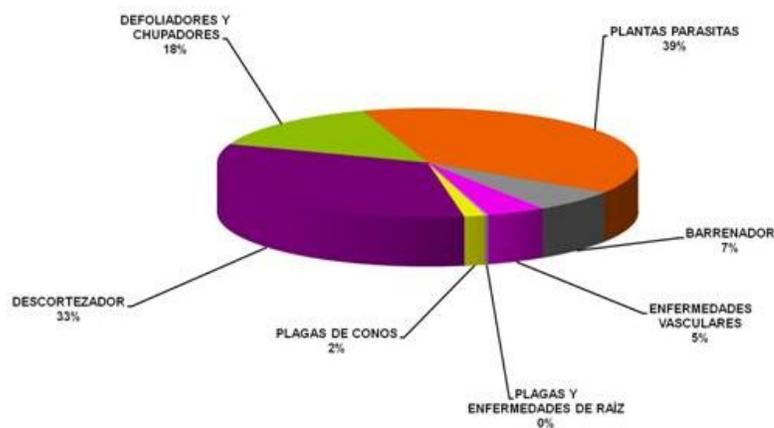
El análisis se basa en factores de nubosidad y altitud sobre el terreno, temperatura, velocidad y dirección del viento y probabilidad de lluvias entre los principales.

Es importante señalar que este análisis deberá realizarse tanto en la zona de interés como en la ruta que deberá seguir la aeronave del aeropuerto hacia la zona de trabajo. Esto debido a que en muchas ocasiones se presenta nubosidad o tormentas que imposibilitan el paso de la aeronave, ante ésta situación, el piloto es quien toma las decisiones y deberán ser aceptadas por el técnico responsable de mapeo aéreo, a pesar que ello implique la cancelación de la operación.

#### 4.1.2 Elementos visuales aéreos

##### 4.1.2.1 Patógenos

Existen diversos grupos de patógenos que afectan los ecosistemas forestales de México (Figura 13). El principal grupo es el de los insectos, entre ellos, los descortezadores (ej. *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, *D. adjunctus* Blandford, *D. frontalis* Zimmermann, *Ips pini* Say), que están entre los que mayor superficie afectan anualmente, seguido del grupo de los defoliadores (ej. *Zadiprion falsus* Smith, *Neodiprion omosus* Smith, *Evita hyalinaria* Dyar).



Fuente CONAFOR 2006

Figura 13. Porcentaje de afectación por agente causal, año 2006.

Es importante conocer el ciclo de vida de cada uno de los principales patógenos.

En general los insectos presentan cuatro estadios que son: huevo, larva, pupa e imago para los de metamorfosis completa (holometábolos); huevo ninfa, e imago para los de metamorfosis incompleta (hemimetábolos). El técnico debe reconocer las características de cada uno de los estadios, ya que con base en ello se puede conocer su dinámica poblacional, determinando la época del año donde es más adecuada la aplicación del tratamiento, disminuyendo con ello el impacto del agente causal.

Para el caso de plantas parásitas como los muérdagos, el género *Psittacanthus* spp., es fácilmente reconocido por el color anaranjado y rojo brillante de sus flores. La época de floración inicia en febrero alcanzando su plenitud en marzo y finalizando en octubre (Cibrián 2007).

Para los demás géneros de muérdagos la floración no es tan evidente, sin embargo conociendo la estructura fenotípica del hospedero, es posible distinguir desde el aire, una zona de la copa con una densidad mayor de estructuras vegetales o menor transparencia de copa. Esto permite presuponer la presencia de alguna planta parásita, auxiliándose en el historial fitosanitario de la zona de prospección.

Para los propósitos de la prospección aérea es importante conocer el momento en el cual los síntomas de afectación en la masa forestal son más evidentes y perceptibles desde el aire (Cuadro 2), lo que permite una mayor facilidad en el registro de las áreas afectadas, por parte del personal técnico, durante la prospección de la superficie arbolada.

Cuadro 2. Ejemplo de patógenos de importancia fitosanitaria, su principal hospedero y periodo de mayor afectación al arbolado.

Patógenos	Hospedero	Periodo de observación
<i>Dendroctonus mexicanus</i>	<i>Pinus</i> spp.	Marzo - Julio *
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	<i>Pseudotsugae</i> sp.	Mayo - Noviembre *
<i>Zadiprion falsus</i>	<i>Pinus</i> spp.	Octubre - Diciembre **
<i>Evita hyalinaria</i>	<i>Abies religiosa</i> , <i>Quercus</i> spp.	Marzo - Mayo **

\*Sánchez, M. G. et al. 2007    \*\*Cibrián T.D. et al. 1995

Algunas plagas o enfermedades, causan daños o síntomas característicos sobre las poblaciones forestales, lo que permite inferir el grupo al cual pertenece el agente causal. Sin embargo, es el diagnóstico en campo el que permite determinar el género y especie del patógeno, número de árboles afectados, densidad del arbolado, género y especie del o los hospederos

Esta etapa del proceso proporcionará información muy valiosa, que permite al técnico retroalimentar su percepción de los elementos registrados durante la prospección.

#### 4.1.2.2 Patrones de daños

El conocimiento de las características fenotípicas de las especies forestales o grupos, principalmente coníferas y latifoliadas, es esencial para poder identificar el tipo de daño y agente causal.

La parte de la estructura arbórea sobre la cual se basan nuestras observaciones es; la copa, la cual se define como la parte del árbol que conforman las ramas y el follaje. Estas estructuras determinan la forma y densidad de la copa, otorgándole características específicas para una especie arbórea.

Por lo anterior el observador deberá reconocer, desde el aire, los diferentes tipos y estructuras de copas, para determinar el grupo arbóreo que está observando, además debe tener la experiencia para diferenciar entre un árbol saludable y aquel que presenta síntomas derivadas por la afectación de un patógeno.

Las principales características que se deben conocer de los diferentes grupos de arbolado forestal son: color y forma de la copa.

El color de follaje es un elemento que nos permite determinar el grupo de especies que se observan. El género *Pinus* tienen un amplio rango de tonalidades verdes, los *Abies*, *Picea* y *Pseudotsugae*, presentan coloraciones verde-azuladas, en las especies de *Juniperus* y *Cupressus* las copas van del verde-azulado al verde alimonado.

La forma de la copa es otra característica importante para poder identificar la especie de arbolado que se observa desde el aire, van desde formas acuminadas, agudas, obtusas hasta redondeadas (Figura 14).

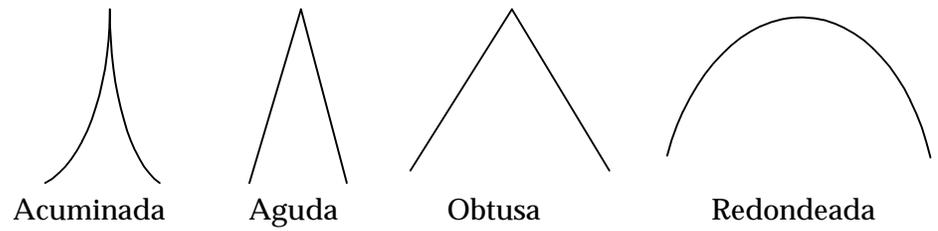


Figura 14. Algunas formas y tipos de copa de coníferas. Fuente: Ciesla, W. M., 2006.

Existen características del fuste que son apreciadas a simple vista y pueden ser de mucha ayuda para la identificación del hospedero, un ejemplo de ello sería el de *Pinus patula*, donde el color rojizo del fuste es un elemento de ayuda para su identificación.

Para poder observar, desde el aire, la presencia de una plaga o enfermedad, es necesario que el arbolado presente uno o varios síntomas o daños visible, y que contrastan con el arbolado sano. A estas características se les conoce como “firma o huella del daño”, y son utilizadas para identificar un determinado agente causal.

A continuación se mencionan las principales características del daño que deberá considerar en técnico, y basado en estas tener una idea del agente causal que origina la afectación.

- El color de la copa es el primer síntoma de los árboles atacados por plagas y/o enfermedades es el cambio de coloración del follaje.

- Observando la porción de la copa con afectación, se puede deducir el tipo de agente causal.
- En algunos casos el tamaño de los árboles afectados puede ser un elemento para determinar el posible agente causal.
- Dependiendo la ubicación geográfica de la zona a valorar y conociendo la distribución del o los hospederos, es posible inferir la presencia de un agente causal específico (Ciesla, 2006).

Los principales daños del arbolado que se observan desde el aire son:

- Mortandad: los árboles muertos en el presente año o el anterior, se muestran por lo general con una coloración de color rojo intenso. Cuando son árboles que tienen varios años y están muertos en pie se observan de color gris.
- Defoliación: los árboles presentan la pérdida parcial o total del follaje, se observan de un color grisáceo, aunado a una “trasparencia” de su copa, es decir podremos observar el suelo o vegetación por debajo de este.
- Cambio de coloración: se observan colores diferentes a los que debe tener el arbolado sano. Para el caso de coníferas atacadas por descortezadores, se observan coloraciones verde-alimonado.
- Muerte descendente: es un daño que avanza de la parte superior y partes distales del árbol hacia su parte inferior, se observan de color amarillo, rojo o gris, el resto del árbol se ve de color verde.
- Puntiseco: solamente se observa la punta del árbol y algunas ramas superiores secas, se observan de un color amarillo, rojo o gris, el resto se ve de color verde.

#### 4.1.3 Elaboración del proyecto

Existen dos formas de planear un proyecto de mapeo aéreo, esto depende de la disponibilidad de los elementos para realizar el mapeo, cartas topográficas en papel o digitales, computadora, GPS's y software.

Los fundamentos del mapeo aéreo en cartas de papel o digital son iguales, sin embargo, en el mapeo digital existen procesos automatizados de ubicación, registro y postproceso, que nos permiten tener menor error en el registro y, sobre todo, disminuir el tiempo requerido para postproceso de los datos obtenidos en la prospección del aérea de interés fitosanitario. Es importante señalar que el técnico debe tener la capacidad para registrar la información en ambos casos, con la misma destreza.

Por lo general las áreas de prospección no se encuentran dentro de una sola carta a escala 1:50,000, a veces se necesitan 2 o 3 diferentes, por lo tanto se tienen que cortar y pegar, esto es una parte muy importante del proceso pues el producto resultante será la carta de trabajo. Se debe cortar toda la información de las cartas, exceptuando la línea interior del marco o Canevá y pegarlas procurando que los rasgos orográficos coincidan en las uniones.

En lo que respecta a las cartas digitales son recortadas de igual forma al procedimiento realizado sobre una carta en papel, solo que dicho recorte del marco o Canevá se realiza digitalmente. Posteriormente se conforma el proyecto mediante herramientas específicas de Geolink, donde se integran las cartas digitales, líneas de vuelo, así como elementos que se consideren necesarios.

Es importante señalar la necesidad de verificar la correcta integración del proyecto, principalmente en la coincidencia de proyección de los elementos digitales, como parte de un buen trabajo de gabinete.

#### 4.1.4 Recursos

##### 4.1.4.1 Humanos

El elemento más crítico en el mapeo aéreo es el observador pero también es el elemento más variable.

Los requerimientos mínimos que debe tener el personal para la tarea de mapeo aéreo son:

- Conocimientos forestales y la habilidad de identificar diferentes géneros de árboles desde el aire (ej. Pinus, Abies, Quercus, etc.).
- Conocimientos de los síntomas que presenta el arbolado por la afectación de plagas y enfermedades e identificarlos desde el aire.
- Habilidad para leer cartas topográficas, ubicarse por medio de elementos topográficos (ej. montañas, valles, cañadas, etc.).
- Tener deseos de participar en actividades de mapeo aéreo.
- Interés en la aviación.
- Buena capacidad de visión que le percibir las diferentes coloraciones que presenta arbolado con daños, y profundidad para poder calcular distancias y determinar áreas dañadas desde el aire.
- Capacidad de volar por periodos de 3 a 6 horas por día sin experimentar malestar (mareos y vómitos).

El mejor entrenamiento para el mapeo aéreo es la práctica, se sugiere que el personal en entrenamiento este acompañado en sus primeros vuelos con un

observador calificado, para aprender a ubicarse, identificar daños y a cuantificarlos.

En un principio es bueno tomar algún punto de referencia para ubicarse rápidamente, como la montaña de mayor altura en el área, un camino principal o alguna laguna. Se debe de mantener la vista en el terreno un 75% y el otro 25 % en la carta de trabajo.

Durante la fase de entrenamiento el personal debe de aprender principios fundamentales de navegación y aspectos de comunicación con el piloto, esto permitirá transmitir, con claridad y dentro de lo posible, las necesidades técnicas que se requieren durante el vuelo, considerando diversos factores como: ambientales, características geográficas del área, visibilidad, magnitud del daño, velocidad y altitud del aeronave, etc. El tiempo aproximado de la capacitación y entrenamiento debe abarcar un mínimo de 40 horas de prospección aérea y 10 de verificación terrestre.

El entrenamiento e información en seguridad antes, durante y después del vuelo es tan importante como el entrenamiento de mapeo aéreo.

Los temas en que debe estar capacitado el personal que participa en las actividades de mapeo aéreo son: principios de vuelo, capacidad y limitaciones de los aviones a utilizar, seguridad alrededor de los aviones y protocolos de seguridad en caso de emergencias en los vuelos.

Otro elemento muy importante del personal que participa, es el piloto, una pieza importante en la seguridad de la misión.

La experiencia requerida para contratar un piloto es:

- 1,500 horas de vuelo totales.
- 50 horas mínimo en el tipo de avión que se va a volar.
- Experiencia sobre vuelos a baja altura en terreno montañoso.

Además, debe entender perfectamente los objetivos y alcances de la misión, sentirse como parte del equipo de trabajo, seguir dentro del marco de la seguridad las líneas de vuelo-altura-velocidad, estar comprometido con la seguridad de la misión y la tripulación.

#### 4.1.4.2 Materiales

Seleccionar la aeronave indicada es muy importante para la realización del mapeo. Los factores más importantes que se deben tomar en cuenta son: tipo de aeronave, costo, seguridad, disponibilidad, topografía del terreno, capacidad de carga y número de asientos, potencia del motor, autonomía de vuelo entre otros.

#### Aeronave

Para la selección de la aeronave se debe tomar en cuenta las siguientes características:

- Que sea de ala alta para que nos permita visualizar el terreno debajo del observador.
- Que pueda volar a baja altura en terrenos montañosos.
- Potencia de 230 hp o superior.
- Mantenimiento periódico y en talleres autorizados.
- Que las micas del avión no estén polarizadas.
- Que cuente con equipo de intercomunicación y navegación.
- Que tenga equipo de primeros auxilios y extintor.

Hay muchos tipos de aeronaves en las que se puede realizar el trabajo de mapeo aéreo. En el cuadro 2 se describen las aeronaves más utilizadas, así como las principales características a considerar en el momento de su contratación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características de las principales aeronaves para mapeo aéreo.

Avión	Potencia	Vel. de crucero (MPH)	Asientos	Altitud de trabajo	Pasajeros
Cessna 182	230	150	4	Menos de 7,000 pies (2,133.60 mts.)	2
Cessna 182 RG	235	180	4	Bueno para 12,000 pies (3,657.60 mts.)	3
Cessna 185	285-310	150	4	Bueno para 10,000 pies (3,048 mts.)	2 o 3
Cessna 206	285	130	6	Bueno para 10,000 pies (3,048 mts.)	2 o 3
Cessna 206 Turbo	285	160	6	Bueno para 10,000 pies (3,048 mts.) o más.	2 o 3



Las aeronaves que comúnmente se utilizan son el Cessna 182 y 206, por su disponibilidad en el mercado, potencia y capacidad de carga.

En ocasiones se dispone de helicópteros para realizar mapeo aéreo, sin embargo las horas de vuelo son más costosas y su autonomía de vuelo es menor, pero se tiene mayor maniobrabilidad, considerando lo anterior y con base en la experiencia no son una alternativa para las necesidades de mapeo aéreo.

#### Lentes para el sol

Los lentes protegen a los ojos del brillo de la luz solar y reducen la fatiga. Se recomienda usar lentes de tonalidades entre rojo y ámbar, estos proveen un buen contraste entre los árboles vivos (verdes) y los muertos (rojo). Los lentes no deben ser de color muy oscuro que puedan interferir con la lectura de la carta topográfica durante el vuelo.

#### Audífonos de intercomunicación

Los audífonos tienen dos funciones, la primera es para la intercomunicación entre la tripulación y la segunda proteger los oídos de largos periodos de exposición al ruido, ya que este incide directamente en el incremento de la fatiga del personal técnico que está realizando la prospección, otra opción es usar tapones reductores de ruido.

#### GPS

Los sistemas de posicionamiento global son una herramienta indispensable para la realización del mapeo aéreo. Durante el tiempo de vuelo “muerto” ayuda a ubicar rápidamente la dirección donde se encuentra el área a sobrevolar, durante la prospección facilita al piloto seguir con más precisión

las líneas de vuelo (Patrón de vuelo) y al observador lo ayuda a ubicarse en su carta de trabajo con mayor rapidez y precisión.

Es importante señalar que siempre se deberá de llevar dos o más tipos de GPS con diferentes formas de comunicación (ej. Serial, USB, PCMCIA o Bluetooth). Esto con base en la experiencia que se tiene respecto a la problemática que a veces se presenta entre la comunicación del GPS y la computadora.

Durante la corroboración terrestre también son muy útiles los GPS para ubicar los puntos y polígonos que se levantaron durante el mapeo.

### Computadora

La computadora es del tipo Notebook convertible a Tablet-PC de uso rudo y debe de tener varias características indispensables para el mapeo aéreo, que a continuación se describen.

- Pantalla touchscreen.
- Recubrimiento de pantalla para baja reflexión.
- De dimensiones adecuadas para su manejo en espacios reducidos, como una cabina de avioneta, se recomienda pantallas de 10.4”.
- Capacidad de la pantalla para poderse ver con luz directa.
- Batería de alto rendimiento, superior a la 6 horas de trabajo con bajo consumo de energía.
- Resistente a vibraciones y caídas.
- Sistema Bluetooth.
- Pantalla LCD, teclado y touchpad resistentes a polvo y humedad.

Un ejemplo de computadora con estas características y que se utiliza actualmente para el mapeo es la Toughbook CF 18 de Panasonic se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Fotografía que muestra el equipo utilizado, y los espacios de trabajo dentro de una cabina de avioneta. En la parte inferior izquierda de la figura observamos la pantalla principal del Geolink, de lado derecho en color verde, la información de registro que se integra al polígono o punto marcado durante la prospección, en el centro la carta topográfica y un avión en color rojo, que se mueve en tiempo real con base en la señal recibida del GPS, en la parte superior e inferior diversas herramientas de mapeo.

#### Programas para el mapeo aéreo.

Actualmente existen algunos programas que permiten realizar el mapeo aéreo, por medio de una computadora conectada a un GPS y registrar la información obtenida, entre los más utilizados están el Arc Pad, Map Tech's Terrain y Geolink. La gerencia de Sanidad tomó la decisión de utilizar el Geolink, basada en las herramientas que este programa tiene para el mapeo aéreo, y que han sido desarrolladas y evaluadas ampliamente por el Servicio Forestal de los Estados Unidos.

#### 4.2 Operación

En toda empresa metodológica o de procedimientos, el pasar de la teoría a la operatividad conlleva prueba y error. Sin embargo este aprendizaje permitirá realizar los ajustes necesarios e incrementar nuestra experiencia en el mapeo aéreo.

#### 4.2.1 Sesión de trabajo previa al vuelo

Considerando los aspectos técnicos, humanos y materiales descritos en apartados anteriores, en sesión de trabajo se establece el área de interés fitosanitario sobre las cartas topográficas y se determinan las líneas de vuelo. Posterior se integra el proyecto de trabajo en Geolink.

Es importante mencionar que estos aspectos deberán ser discutidos entre los técnicos cuando se realice un mapeo con dos observadores, y establecer los criterios de información que serán capturados para cada punto o polígono, en caso de ser solo un observador este tendrá la responsabilidad de establecer dichos criterios.

Se tiene que tomar en cuenta en la planeación los tiempos de vuelo “muerto” y tiempos de vuelo efectivo, para ubicar aeropuertos donde se pueda recargar combustible sin problema alguno y continuar volando.

La comunicación entre el piloto y el encargado del mapeo debe abarcar los siguientes temas: condiciones meteorológicas, área de vuelo, plan de vuelo, características del terreno, planes alternos, tiempo de vuelo “muerto”, así como para poder ajustar, curso del avión, velocidad, altitud y compartir información pertinente durante el vuelo.

#### 4.2.2 Trabajo de prospección aérea

El trabajo de prospección inicia con la ubicación del avión sobre la carta de trabajo con base en los rasgos geográficos que observamos mientras se está volando. Esta es una de las tareas más difíciles para un observador incipiente, ya que si no se ubica no podrá registrar ningún dato sobre plagas o enfermedades.

Teniendo la ubicación del avión sobre el terreno se procede a realizar el procedimiento de registro de las áreas afectadas por plagas y enfermedades, procurando obtener la mayor información posible.

La toma de fotografías digitales de alta resolución o video es de gran ayuda en caso de necesitar un análisis más exhaustivo durante en el postproceso, ya que una buena imagen o video puede proporcionar elementos de decisión sobre el agente causal basados en las características del daño que se observa.

#### 4.2.3 Condiciones meteorológicas in situ

Es importante hacer una evaluación junto con el piloto de las condiciones meteorológicas in situ y determinar si son las adecuadas para realizar el trabajo, o si

estas ponen en riesgo la seguridad de la aeronave y por ende de la tripulación. Cabe señalar que esta evaluación se debe hacer ante cualquier cambio significativo de las condiciones ambientales (ej. velocidad del viento, incremento de nubosidad baja, tormentas).

#### 4.2.4 Seguridad

Es muy importante que todos los involucrados en las actividades de mapeo aéreo estén conscientes de los peligros y las reglas de seguridad que se deben seguir para poder realizar un trabajo de CALIDAD y SEGURO.

El piloto debe de informar a todos los pasajeros donde se encuentra los extintores y su operación, operación de las puertas y cerraduras, uso de los cinturones de seguridad, comportamiento en situaciones de emergencia y cualquier otra información relativa a la seguridad dentro del avioneta y durante el vuelo.

##### 4.2.4.1 Normas

Existen normas que deberán seguirse en los diversos aspectos del mapeo aéreo y que permiten realizar una prospección sin contratiempo, a continuación se indican las principales.

- No hablar durante el despegue y aterrizaje, el piloto tiene que escuchar con claridad las instrucciones de la torre, así como las conversaciones con el tráfico aéreo.
- Es responsabilidad de todos la seguridad de la aeronave; es decir, durante el despegue, aterrizaje o durante el vuelo, toda situación que interfiera o se presente deberá ser inmediatamente comunicada al piloto, principalmente si se observa tráfico aéreo en la zona.
- Usar ropa de algodón, la ropa de fibras sintéticas se adhieren a la piel en caso de emergencia con presencia de fuego.
- No llevar puestas cosas metálicas, que puedan causar heridas o quemaduras durante una emergencia.
- No realizar movimientos bruscos dentro del avión sin previo conocimiento del piloto.
- No haber consumido bebidas alcohólicas el día anterior al vuelo.
- Nunca salir del avión y caminar hacia el frente de la aeronave, la hélice puede estar en movimiento y causarnos graves lesiones.

#### 4.2.4.2 Procedimientos de emergencia

La persona que realiza el mapeo aéreo debe estar consciente que las avionetas son máquinas que pueden fallar (Figura 16). Cuando esto sucede se deberán seguir los procedimientos de emergencia. A continuación señalaremos los más importantes:

- La más importante de todas ellas es no entrar en pánico, el piloto tiene muchas cosas en que pensar y procedimientos que seguir, como para que tenga que atender a una persona con miedo.
- Asegurar todas las cosas que estén sueltas y pueda causar una lesión a algún pasajero, preferentemente, se resguardan en la parte trasera de la avioneta.
- Ajustarse firmemente los cinturones de seguridad.
- Ayudar al piloto en todo lo que necesite, principalmente en la presencia de cables de luz cuando se aterrizara sobre alguna carretera, brecha o camino rural, u otro elemento que sea necesario considerar como peligroso (ej. postes, cercas, etc.).
- Abrir las puertas antes de aterrizar, el piloto dirá el momento de hacerlo.
- Al detenerse la aeronave bajar de ella y dirigirse hacia un lado, nunca al frente, puede estar en movimiento la hélice.



Figura 16. Aterrizaje de emergencia 30 de octubre del 2007

### 4.3 Post – proceso

#### 4.3.1 Obtención de las coberturas vectoriales

La obtención de las coberturas vectoriales en formato Shapefile (\*.shp, Arc View), para el post-proceso, es un procedimiento relativamente sencillo utilizando las herramientas de Geolink (Translate log file). Para ello se deben de revisar los parámetros de transformación determinados en el módulo Target GIS, posteriormente se selecciona el archivo y se realiza la transformación.

#### 4.3.2 Depuración de las bases de datos

Las coberturas transformadas son desplegadas en ArcView. Al abrir la base de datos inherentes a las coberturas vectoriales, se pueden observar diversos errores en la captura de la información como registros en blanco <sup>1</sup> o información parcial <sup>2</sup>, estos registros son editados introduciendo la información faltante o son eliminados (Figura 17)

Shape	Code	Lat	Lon	Date	Time	Zonada
Polygon	A MUERTO-40-60-HA	1881325 284805170	655808 962917341	2007/12/04	16:13:08	
Polygon	A MUERTO-40-60-HA	1880264 627192533	644851 823038807	2007/12/04	16:17:03	
Polygon	P MUERTO-10-20	1886403 647800577	642043 833809711	2007/12/04	16:17:46	
Polygon	P MUERTO-100-200-HA	1891904 287419733	629798 568357309	2007/12/04	16:20:49	
Polygon	P AFECTA-10-20-IND	1891995 228882362	650683 649101479	2007/12/04	16:33:16	
Polygon	P AFECTA-HA	1890544 684095320	630895 609022718	2007/12/04	16:37:12	
Polygon	P AFECTA-40-60-HA	1890076 078024277	633167 867588383	2007/12/04	16:37:48	
Polygon	P AFECTA-40-60-IND	1888862 275047400	632561 667791777	2007/12/04	16:41:13	
Polygon	P AFECTA-20-40-IND	1888796 849373864	634005 488102186	2007/12/04	16:41:35	
Polygon	P AFECTA-10-20-IND	1888191 496200015	634723 842728292	2007/12/04	16:41:56	
Polygon	P AFECTA-200-500	1887200 520695541	642217 958851882	2007/12/04	16:43:40	
Polygon	P AFECTA-60-100	1887864 957522222	644237 527002302	2007/12/04	16:44:16	
Polygon	P AFECTA-100-200	1887732 277882314	643703 899110987	2007/12/04	16:44:27	
Polygon	P AFECTA-20-40-IND	1888918 213952206	644716 699718928	2007/12/04	16:44:49	
Polygon	P AFECTA-10-20-IND	1888871 690829579	648654 207899157	2007/12/04	16:45:34	
Polygon	P AFECTA-10-20-IND	1892940 304013967	648887 913896011	2007/12/04	16:50:07	
Polygon	P AFECTA-1-5-IND	1894110 214345911	649593 774278548	2007/12/04	16:50:40	
Polygon	P MUERTO-60-100-HA	1894240 525591054	642809 147214273	2007/12/04	16:51:19	
Polygon	P AFECTA-60-100-IND	1891480 901893714	632871 984158272	2007/12/04	16:57:38	
Polygon	P AFECTA-60-100-HA	1891120 611781966	632954 607220831	2007/12/04	16:58:21	
Polygon	P MUERTO-100-200-HA	1891946 788363505	649585 834841546	2007/12/04	17:00:59	
Polygon	P AFECTA-20-40-IND	1891486 414981816	649583 824844252	2007/12/04	17:02:11	
Polygon	P MUERTO-100-200-HA	1890762 781164187	656270 487432826	2007/12/04	17:05:23	
Polygon	P MUERTO-100-200-HA	1894463 514639488	644490 075633327	2007/12/04	17:08:12	
Polygon	P MUERTO-200-500-HA	1895112 627084429	642258 701423888	2007/12/04	17:17:17	
Polygon	P MUERTO-200-500-IND	1899110 0929817179	644957 213501154	2007/12/04	17:34:14	
Polygon	P AFECTA-20-40-IND	1912896 687889379	644720 250916812	2007/12/04	17:52:06	
Polygon	P AFECTA-10-20-IND	1917687 853054684	639552 059811232	2007/12/04	17:54:16	
Polygon	P AFECTA	1917086 951739500	639126 399844631	2007/12/04	17:54:53	
Polygon	P AFECTA-10-20-IND	1917031 510432099	639544 900434542	2007/12/04	18:01:55	
Polygon	P AFECTA-1-5-IND	1915951 668757108	640833 426786916	2007/12/04	18:03:24	
Polygon	P AFECTA-20-40-IND	1920687 889218562	634689 617078600	2007/12/04	18:06:55	
Polygon	P AFECTA-5-10-IND	1927049 426128298	627286 664808688	2007/12/04	18:21:42	
Polygon	P AFECTA-5-10-IND	1925557 958292566	629185 444640709	2007/12/04	18:24:37	

Figura 17. Ejemplo de una base de datos mostrando, en color amarillo, los registros que deberán editarse o eliminarse.

### 4.3.3 Elaboración e Impresión de mapas

El siguiente procedimiento es la integración de todas las coberturas obtenidas durante la prospección en una sola cobertura conjuntando las bases de datos. Posteriormente se integran las cartas topográficas y se analiza la distribución y patrones de daño, superficie afectada y gravedad de la afectación (Figura 18).

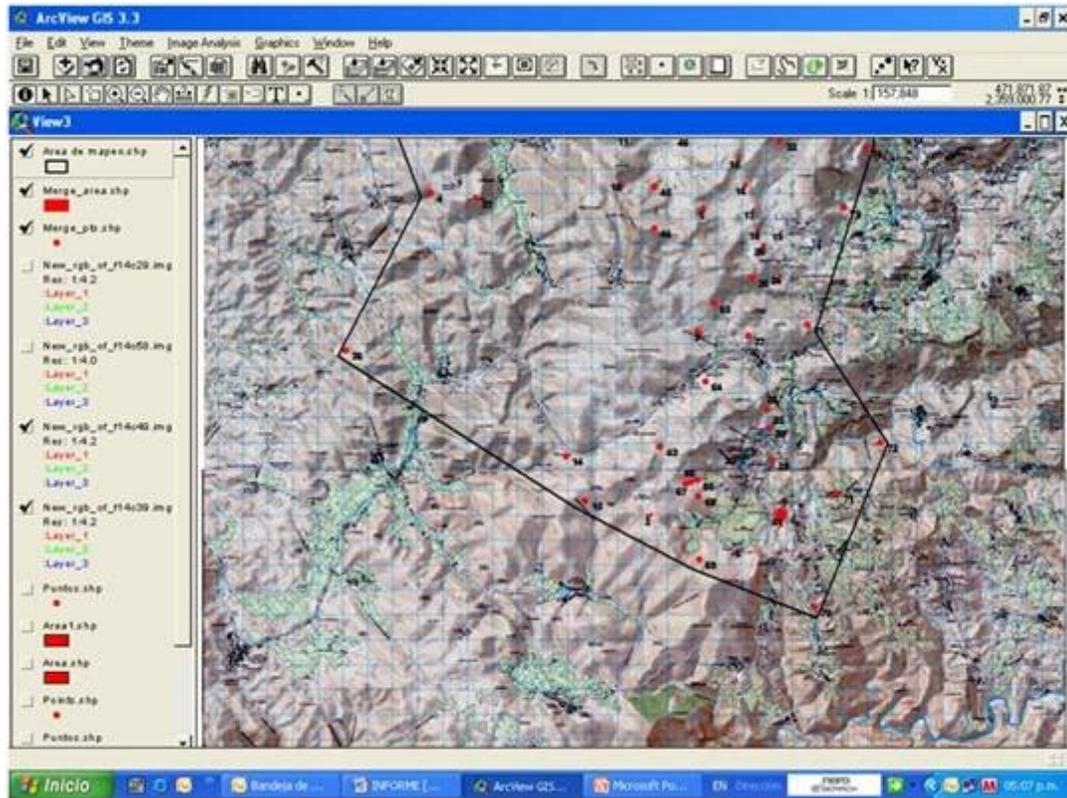


Figura 18. Integración de coberturas vectoriales y carta digital topográfica en ArcView

A continuación se procede a elaborar el mapa de afectación incorporando las coordenadas UTM de todos los elementos registrados, ubicación del área mapeada y simbología, a fin que el personal que realizará el diagnóstico in situ por vía terrestre tenga la información necesaria para llegar al sitio sin contratiempos (Figura 19).

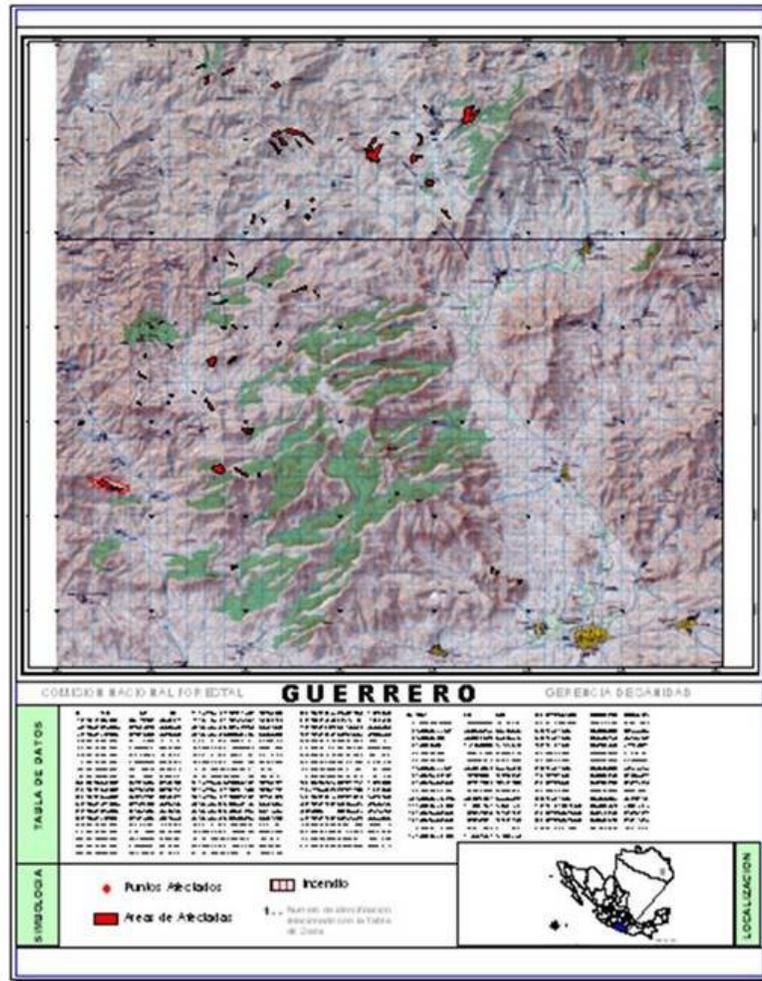


Figura 19. Mapa del área donde se llevo a cabo el mapeo aéreo, en el Estado de Guerrero.

#### 4.4 Diagnostico en campo

Toda metodología de percepción remota debe llevar verificaciones de campo, ya sea a priori o a posteriori, el mapeo aéreo no es la excepción. El tener sitios verificados a priori, le permite al técnico poder identificar patrones de daños similares durante la prospección del área y establece una referencia en prospecciones futuras. Respecto a la verificación a posteriori, es un elemento indispensable para la integración del diagnóstico de los sitios registrados en la prospección remota. El diagnóstico deberá cumplir con lo establecido en el Artículo 147 del Reglamento de la LGDFS, y corrobora la superficie y se determina el género y especie del patógeno, estos datos son parte integral del informe técnico que se presenta ante la SEMARNAT.

#### 4.4.1 Corroboración de patrón de daño

Es fundamental la importancia del trabajo de campo en el proceso de mapeo aéreo como un elemento determinante en el proceso de aprendizaje. Esto permite al técnico adquirir la habilidad para correlacionar patrones de daños observados desde el aire con agentes causales, especies hospederas, síntomas presentes, número de árboles afectados o densidades por hectárea (Figura 20).



Figura 20. Corroboración de los patrones de daños observados desde el aire, con lo correspondiente en tierra.

Debido a la gran heterogeneidad en la composición arbórea de los ecosistemas forestales de México, éstos determinan diferentes patrones de daños aún siendo el mismo agente causal. Si bien existen síntomas generales que caracterizan a un patógeno (ej. Descortezadores), es importante conocer la variabilidad en el patrón de daño en las diferentes composiciones arbóreas. Es por ello que la corroboración del patrón de daño es importante en la experiencia que un técnico pueda adquirir para el mapeo aéreo. Esta etapa del proceso no debe de ser soslayada en su importancia, tanto por aquellos técnicos experimentados como los de experiencia incipiente.

#### 4.4.2 Identificación de agente causal

La última etapa del proceso corresponde a la identificación del patógeno que origina los síntomas de afectación en la masa forestal. Como se señaló en la sección 4.1.2, el conocimiento de las características morfológicas, ciclos de vida y hábitos, así como los daños específicos que causan los patógenos (Figura 21), nos permiten determinar el género y especie del patógeno. En caso de no poder determinar el patógeno se toman muestras y se mandan a un laboratorio especializado para su identificación.



Figura 21. Síntomas en la masa forestal y daños característicos del grupo de descortezadores y organismos en diferente estadio de su ciclo de vida, revisión de ramas muertas para detectar presencia de plagas secundarias como *Ips* spp.

#### 4.4.3 Elaboración de informe técnico

Por último, se elabora el informe técnico que es enviado a la SEMARNAT para que bajo su análisis emita la notificación correspondiente. Con base en la notificación se inician los trabajos de saneamiento o se aplican los tratamientos específicos para cada agente causal, y así evitar la dispersión y disminuir el riesgo de una emergencia fitosanitaria, lo que conllevaría pérdida de grandes extensiones de masa forestal.

El informe técnico deberá contener como mínimo la siguiente información.

- Nombre, denominación o razón social y domicilios de los propietarios o poseedores de los predios afectados.
- Denominación y ubicación de los predios objeto del saneamiento.
- Superficie afectada y a tratar, así como el volumen afectado.
- Especies de las plagas o enfermedades.
- Especies hospedantes, con porcentaje de afectación por especie.
- Metodologías de control y combate susceptibles de ser empleadas.
- Actividades para restaurar las áreas sujetas a saneamiento.
- Nombre del responsable técnico que elaboró el informe.

## 5. Discusión

El mapeo aéreo como una variante de percepción remota tiene mejor costo/beneficio con respecto a otras modalidades como la satelital, fotografía aérea o videografía y, proporcionó grandes ventajas en la prospección de la condición fitosanitaria incipiente de las áreas forestales de México.

Entre las principales ventajas están:

1. El técnico clasifica elementos naturales lo que facilita la discriminación de elementos informativos entre arboles sanos y afectados por un patógeno.
2. Permite la identificación de áreas con afectaciones incipientes.
3. La rápida evaluación de la magnitud de la afectación por parte del técnico.
4. Menor costo de prospección por unidad área.
5. Diagnósticos dirigidos a áreas de interés fitosanitario.
6. Favorece disminuir costos económicos de los tratamientos, por estar la plaga y/o enfermedad en etapa incipiente.
7. Posibilidad de mapear en cualquier época del año.
8. Realización en condiciones meteorológicas que imposibilitan la obtención de imágenes de satélite o fotografía aérea.

A pesar de estas ventajas la metodología de mapeo aéreo tiene una utilización incipiente en México y, sólo algunas personas conocen su uso y potencialidad en el monitoreo de plagas y enfermedades forestales, por lo anterior existe el compromiso de difundir su uso y capacitar personal que tenga las aptitudes físicas y el perfil adecuado para la realización de esta actividad. Así como coadyuvar con diversos expertos para su aplicación en diferentes ámbitos del manejo de los recursos naturales.

Es importante señalar que después de dos años de utilizar la metodología en la detección de plagas y enfermedades forestales en bosques, hay mucho todavía que aprender en aspectos como patrones de daños y su temporalidad, síntomas de afectación de otros géneros de importancia fitosanitaria o,

- Nombre, denominación o razón social y domicilios de los propietarios o poseedores de los predios afectados.
- Denominación y ubicación de los predios objeto del saneamiento.
- Superficie afectada y a tratar, así como el volumen afectado.
- Especies de las plagas o enfermedades.
- Especies hospedantes, con porcentaje de afectación por especie.
- Metodologías de control y combate susceptibles de ser empleadas.
- Actividades para restaurar las áreas sujetas a saneamiento.
- Nombre del responsable técnico que elaboró el informe.

## 5. Discusión

El mapeo aéreo como una variante de percepción remota tiene mejor costo/beneficio con respecto a otras modalidades como la satelital, fotografía aérea o vidiografía y, proporcionó grandes ventajas en la prospección de la condición fitosanitaria incipiente de las áreas forestales de México.

Entre las principales ventajas están:

1. El técnico clasifica elementos naturales lo que facilita la discriminación de elementos informativos entre arboles sanos y afectados por un patógeno.
2. Permite la identificación de áreas con afectaciones incipientes.
3. La rápida evaluación de la magnitud de la afectación por parte del técnico.
4. Menor costo de prospección por unidad área.
5. Diagnósticos dirigidos a áreas de interés fitosanitario.
6. Favorece disminuir costos económicos de los tratamientos, por estar la plaga y/o enfermedad en etapa incipiente.
7. Posibilidad de mapear en cualquier época del año.
8. Realización en condiciones meteorológicas que imposibilitan la obtención de imágenes de satélite o fotografía aérea.

A pesar de estas ventajas la metodología de mapeo aéreo tiene una utilización incipiente en México y, sólo algunas personas conocen su uso y potencialidad en el monitoreo de plagas y enfermedades forestales, por lo anterior existe el compromiso de difundir su uso y capacitar personal que tenga las aptitudes físicas y el perfil adecuado para la realización de esta actividad. Así como coadyuvar con diversos expertos para su aplicación en diferentes ámbitos del manejo de los recursos naturales.

Es importante señalar que después de dos años de utilizar la metodología en la detección de plagas y enfermedades forestales en bosques, hay mucho todavía que aprender en aspectos como patrones de daños y su temporalidad, síntomas de afectación de otros géneros de importancia fitosanitaria o,

síntomas de estrés causados por factores abióticos, por señalar algunos. La integración del conocimiento en estos aspectos permitirá ampliar y potenciar la prospección a los diversos ecosistemas forestales con lo que cuenta nuestro país.

En los intercambios de experiencias con personal técnico de los Estados Unidos de Norteamérica, es reconocida la dificultad que existe en México para el mapeo aéreo, debido a la diversidad de especies de pinos y encinos, que conforman nuestras masas forestales.

Es por ello que el reconocimiento en tierra de lo observado desde el aire, fortalece el aprendizaje y capacidad para identificar los géneros forestales, superficie, densidad por hectárea o número de árboles afectados con mayor certeza.

Esta metodología permite llevar un registro sistematizado y multitemporal de las aéreas afectadas por plagas y enfermedades, y cuyo análisis mediante SIG's se puede obtener zonas de riesgo.

La prospección aérea permite tener una visión más holística de la afectación, es decir, el poder ver desde esta perspectiva los patrones de daño, frente de afectación, fisiografía del lugar, etc. Esto permite entender los eventos fitosanitarios en su conjunto y complejidad e interacciones, que no son apreciados en una prospección terrestre.

Por último, es importante remarcar la importancia que tiene esta metodología, como una herramienta en la detección temprana de afectaciones incipientes, y permite planear las acciones de control y tratamiento fitosanitario.

En lo que respecta al costo-beneficio se presenta a continuación la comparación entre un día de mapeo aéreo y prospección terrestre. Considerando la renta de aeronave (4 hrs), viáticos del personal técnico y pasajes a los aeropuertos base, para una superficie prospectada de 120,000 ha, el costo por unidad de área es de \$0.20 comparado con el costo de la prospección terrestre de \$13.25 que incluye los gastos inherentes de viáticos y transportación terrestre, esto nos permite optimizar los recursos económicos y humanos, aunado al cumplimiento del principal objetivo que es la detección oportuna de los brotes de plagas y/o enfermedades forestales.

Cabe señalar que en el análisis de costos anterior no se considera el costo de inversión del equipo y programas de cómputo, para ambos casos.

## 6. Conclusiones

Es importante señalar que el mapeo aéreo junto con otras metodologías de prospección, monitoreo, evaluación, diagnóstico e investigación, permiten adquirir el conocimiento para el manejo integral de plagas y enfermedades, y además, obtener o establecer indicadores que nos permitan evaluar la salud y vitalidad de nuestros ecosistemas forestales.

síntomas de estrés causados por factores abióticos, por señalar algunos. La integración del conocimiento en estos aspectos permitirá ampliar y potenciar la prospección a los diversos ecosistemas forestales con lo que cuenta nuestro país.

En los intercambios de experiencias con personal técnico de los Estados Unidos de Norteamérica, es reconocida la dificultad que existe en México para el mapeo aéreo, debido a la diversidad de especies de pinos y encinos, que conforman nuestras masas forestales.

Es por ello que el reconocimiento en tierra de lo observado desde el aire, fortalece el aprendizaje y capacidad para identificar los géneros forestales, superficie, densidad por hectárea o número de árboles afectados con mayor certeza.

Esta metodología permite llevar un registro sistematizado y multitemporal de las aéreas afectadas por plagas y enfermedades, y cuyo análisis mediante SIG's se puede obtener zonas de riesgo.

La prospección aérea permite tener una visión más holística de la afectación, es decir, el poder ver desde esta perspectiva los patrones de daño, frente de afectación, fisiografía del lugar, etc. Esto permite entender los eventos fitosanitarios en su conjunto y complejidad e interacciones, que no son apreciados en una prospección terrestre.

Por último, es importante remarcar la importancia que tiene esta metodología, como una herramienta en la detección temprana de afectaciones incipientes, y permite planear las acciones de control y tratamiento fitosanitario.

En lo que respecta al costo-beneficio se presenta a continuación la comparación entre un día de mapeo aéreo y prospección terrestre. Considerando la renta de aeronave (4 hrs), viáticos del personal técnico y pasajes a los aeropuertos base, para una superficie prospectada de 120,000 ha, el costo por unidad de área es de \$0.20 comparado con el costo de la prospección terrestre de \$13.25 que incluye los gastos inherentes de viáticos y transportación terrestre, esto nos permite optimizar los recursos económicos y humanos, aunado al cumplimiento del principal objetivo que es la detección oportuna de los brotes de plagas y/o enfermedades forestales.

Cabe señalar que en el análisis de costos anterior no se considera el costo de inversión del equipo y programas de cómputo, para ambos casos.

## 6. Conclusiones

Es importante señalar que el mapeo aéreo junto con otras metodologías de prospección, monitoreo, evaluación, diagnóstico e investigación, permiten adquirir el conocimiento para el manejo integral de plagas y enfermedades, y además, obtener o establecer indicadores que nos permitan evaluar la salud y vitalidad de nuestros ecosistemas forestales.

Una de las características más importantes de la metodología de mapeo aéreo, es su flexibilidad para sobrevolar áreas de interés fitosanitario en la época y con la frecuencia requerida. Esto permite establecer un monitoreo espacial y multitemporal de la dinámica poblacional del agente causal.

Basados en el análisis de la información obtenida sobre tasa de dispersión, vectores que determinan el frente de avance y factores de riesgo, permite establecer las acciones fitosanitarias adecuadas que conduzcan al control de la plaga o enfermedad, descartando medidas que agredan de forma importante los demás elementos del ecosistema forestal.

El mapeo aéreo puede ser utilizado, sin lugar a dudas, como una metodología de prospección remota de bajo costo con resultados de evaluación o diagnóstico inmediato, que puede ser aplicado en eventos de corta duración pero de gran impacto sobre los diversos ecosistemas con los que cuenta México, como pérdida de manglares, tala clandestina, cambios de uso del suelo, áreas afectadas por huracanes.

El mapeo aéreo permite tener información actualizada y expedita sobre el estado fitosanitario que guardan los ecosistemas forestales de México, y permite tener elementos para la toma de decisiones en aspectos de prevención, diagnóstico, operativos de control y, asignación de recursos económicos, materiales y humanos. Esto bajo una directriz bien definida, constituye una de las bases estructurales para el establecimiento de una política forestal integral, que permita instrumentar estrategias de combate y control de las plagas y/o enfermedades, que tiendan a minimizar el impacto que tienen sobre los recursos forestales, y a la vez, evitar la pérdida de los bienes y servicios que brindan a las comunidades, cuya dependencia de estos recursos es inherente a su quehacer diario.

## 7. Evaluación Profesional

Los conocimientos adquiridos en temas de ecología, dinámica de poblaciones, botánica, biología de invertebrados, por mencionar algunos, son de gran utilidad para el entendimiento de los procesos que determinan los incrementos poblacionales de diversas especies patógenas hasta niveles epidémicos.

Lo anterior lleva la necesidad de un entendimiento más allá de simplemente aplicar un tratamiento fitosanitario, es decir, debemos conocer los factores involucrados tanto abióticos como bióticos bajo un análisis integral que se sustente en sólidas bases científicas. Esto permitirá entender los factores que en su conjunto conllevan a traspasar el umbral epidemiológico que determina el surgimiento de plagas y enfermedades. Es mediante este análisis que se pueden dar las respuestas correctas si formulamos las preguntas adecuada en nuestro objetivo primordial, que es mantener y conservar la salud y vitalidad de nuestros ecosistemas forestales.

Una de las características más importantes de la metodología de mapeo aéreo, es su flexibilidad para sobrevolar áreas de interés fitosanitario en la época y con la frecuencia requerida. Esto permite establecer un monitoreo espacial y multitemporal de la dinámica poblacional del agente causal.

Basados en el análisis de la información obtenida sobre tasa de dispersión, vectores que determinan el frente de avance y factores de riesgo, permite establecer las acciones fitosanitarias adecuadas que conduzcan al control de la plaga o enfermedad, descartando medidas que agredan de forma importante los demás elementos del ecosistema forestal.

El mapeo aéreo puede ser utilizado, sin lugar a dudas, como una metodología de prospección remota de bajo costo con resultados de evaluación o diagnóstico inmediato, que puede ser aplicado en eventos de corta duración pero de gran impacto sobre los diversos ecosistemas con los que cuenta México, como pérdida de manglares, tala clandestina, cambios de uso del suelo, áreas afectadas por huracanes.

El mapeo aéreo permite tener información actualizada y expedita sobre el estado fitosanitario que guardan los ecosistemas forestales de México, y permite tener elementos para la toma de decisiones en aspectos de prevención, diagnóstico, operativos de control y, asignación de recursos económicos, materiales y humanos. Esto bajo una directriz bien definida, constituye una de las bases estructurales para el establecimiento de una política forestal integral, que permita instrumentar estrategias de combate y control de las plagas y/o enfermedades, que tiendan a minimizar el impacto que tienen sobre los recursos forestales, y a la vez, evitar la pérdida de los bienes y servicios que brindan a las comunidades, cuya dependencia de estos recursos es inherente a su quehacer diario.

## 7. Evaluación Profesional

Los conocimientos adquiridos en temas de ecología, dinámica de poblaciones, botánica, biología de invertebrados, por mencionar algunos, son de gran utilidad para el entendimiento de los procesos que determinan los incrementos poblacionales de diversas especies patógenas hasta niveles epidémicos.

Lo anterior lleva la necesidad de un entendimiento más allá de simplemente aplicar un tratamiento fitosanitario, es decir, debemos conocer los factores involucrados tanto abióticos como bióticos bajo un análisis integral que se sustente en sólidas bases científicas. Esto permitirá entender los factores que en su conjunto conllevan a traspasar el umbral epidemiológico que determina el surgimiento de plagas y enfermedades. Es mediante este análisis que se pueden dar las respuestas correctas si formulamos las preguntas adecuada en nuestro objetivo primordial, que es mantener y conservar la salud y vitalidad de nuestros ecosistemas forestales.

Es precisamente en este nuevo enfoque de Salud Forestal, donde la formación y visión de un Biólogo puede traer grandes dividendos, en virtud que un Biólogo no considera a las plagas o enfermedades como un factor que conlleva simplemente una disminución en la producción maderera del bosque, por el contrario considera a las especies como un factor esencial del ecosistema forestal cumpliendo con un papel específico, y bajo ciertas condiciones aumenta su nivel poblacional convirtiéndose en plagas.

En lo personal, el presente trabajo ha permitido poner en práctica diversos conocimientos adquiridos durante mi formación como biólogo, además de profundizar en temas biológicos y forestales específicos (ej. Control Biológico, Ecología de fuego), que otorgan elementos de decisión en las acciones de restauración y conservación de los ecosistemas forestales.

Sin embargo es necesario aprender aspectos inherentes a la Geomática, Meteorología, Cartografía y, aunque pueda considerarse fuera de contexto, la Aeronáutica, en aspectos prácticos como, la sustentación de un avión, instrumentos, seguridad, comunicaciones, y por último, el saber volar un avión y tener los conocimientos para realizar un aterrizaje en caso de que el piloto este incapacitado para ello.

Otra enseñanza adquirida en este trabajo es la necesidad de crear bases de datos y mapas que puedan ser utilizados para diversos fines, si bien existe información de años, lustros o décadas atrás, esta se encuentra dispersa en registros de campo, colecciones, trabajos de tesis e investigación, cuya utilización requeriría una gran inversión en recursos humanos y de tiempo. Es por eso que el compromiso adquirido para integrar la información en formatos compatibles para su análisis y su difusión es fundamental en las políticas de la Gerencia de Sanidad, porque se considera que “el valor de la información está basado en el uso que se le pueda dar y la difusión de la misma, y que no hay conocimiento o información más costosa que la que no se tiene”.

Por lo anterior considero fundamental la necesidad que tiene el biólogo de interactuar con diversas disciplinas, que le permitan ampliar su conocimiento en la investigación aplicada, y no estar circunscritos a la profesión que ejercemos. Esto permite tener una mayor visión y claridad de análisis que conlleva un manejo sustentable de los recursos naturales de México, en el marco del quehacer profesional interdisciplinario que debemos realizar.

## 7. Glosario de Términos

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal.

FAO. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

Es precisamente en este nuevo enfoque de Salud Forestal, donde la formación y visión de un Biólogo puede traer grandes dividendos, en virtud que un Biólogo no considera a las plagas o enfermedades como un factor que conlleva simplemente una disminución en la producción maderera del bosque, por el contrario considera a las especies como un factor esencial del ecosistema forestal cumpliendo con un papel específico, y bajo ciertas condiciones aumenta su nivel poblacional convirtiéndose en plagas.

En lo personal, el presente trabajo ha permitido poner en práctica diversos conocimientos adquiridos durante mi formación como biólogo, además de profundizar en temas biológicos y forestales específicos (ej. Control Biológico, Ecología de fuego), que otorgan elementos de decisión en las acciones de restauración y conservación de los ecosistemas forestales.

Sin embargo es necesario aprender aspectos inherentes a la Geomática, Meteorología, Cartografía y, aunque pueda considerarse fuera de contexto, la Aeronáutica, en aspectos prácticos como, la sustentación de un avión, instrumentos, seguridad, comunicaciones, y por último, el saber volar un avión y tener los conocimientos para realizar un aterrizaje en caso de que el piloto este incapacitado para ello.

Otra enseñanza adquirida en este trabajo es la necesidad de crear bases de datos y mapas que puedan ser utilizados para diversos fines, si bien existe información de años, lustros o décadas atrás, esta se encuentra dispersa en registros de campo, colecciones, trabajos de tesis e investigación, cuya utilización requeriría una gran inversión en recursos humanos y de tiempo. Es por eso que el compromiso adquirido para integrar la información en formatos compatibles para su análisis y su difusión es fundamental en las políticas de la Gerencia de Sanidad, porque se considera que “el valor de la información está basado en el uso que se le pueda dar y la difusión de la misma, y que no hay conocimiento o información más costosa que la que no se tiene”.

Por lo anterior considero fundamental la necesidad que tiene el biólogo de interactuar con diversas disciplinas, que le permitan ampliar su conocimiento en la investigación aplicada, y no estar circunscritos a la profesión que ejercemos. Esto permite tener una mayor visión y claridad de análisis que conlleva un manejo sustentable de los recursos naturales de México, en el marco del quehacer profesional interdisciplinario que debemos realizar.

## 7. Glosario de Términos

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal.

FAO. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

Fenología. Estudio de los cambios visibles en los procesos vitales básicos que se producen en un vegetal, en el transcurso de un ciclo o período, que abarcan la foliación, floración, fructificación, colorido otoñal del follaje y su caída.

GPS. Siglas de su nombre en Inglés Global Position System. Este sistema está conformado por 24 satélites en órbita geoestacionaria y estaciones terrenas, que nos permite georreferenciar la posición de cualquier objeto en el mundo, mediante puntos, líneas o polígonos y, su posterior uso en sistemas de información Geográficas o Percepción Remota satelital.

INFS. Inventario Nacional Forestal y de Suelos

LGDFS. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

Pixel. Un píxel o pixel (acrónimo del inglés picture element, "elemento de imagen") es la menor unidad homogénea en color que puede ser procesado.

SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales

## 8. Bibliografía

Cibrián, T. D. M. J. Tulio, B. R. Campos, O. H. Yates y L. J. Flores, 1995. Insectos Forestales de México, segunda edición, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. 459 p.

Cibrián, T. D. R.D. Alvarado, D.S. García, 2007. Enfermedades Forestales en México, primera edición, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. 587 p.

Ciesla, W. M. 2006. Aerial signatures of forest insect and disease damage in the western United States. USDA Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, Fort Collins. 94 p.

Chuvieco, E., 1999. Fundamentos de teledetección espacial, tercera edición. Ediciones RIALP. S.A. Madrid. 556 p.

FAO. 1998. FRA 2000 TÉRMINOS Y DEFINICIONES. Departamento de Montes. Roma. 17 p.

- McConnell, T.J. Johnson E.W. and Burns B. 2000. A guide to conducting aerial sketchmapping surveys. USDA Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, Fort Collins, CO. Report FHTET00-01. 88 p.
- Sánchez, M.G. Torres E.L. Vázquez, C.I. González, G.E. Narváez, F.R. 2007. Monitoreo y Manejo de Insectos Descortezadores de Coníferas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP. Campo Experimental Pabellón. Libro Técnico No. 4. 107 p.
- SEMARNAP, INE. 2000. Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. México. 190 p.
- Stephen, H.S. and Burton V.B. 1973. Forest Ecology. Second Edition. The Ronald Press Company. New York. 571 p.