

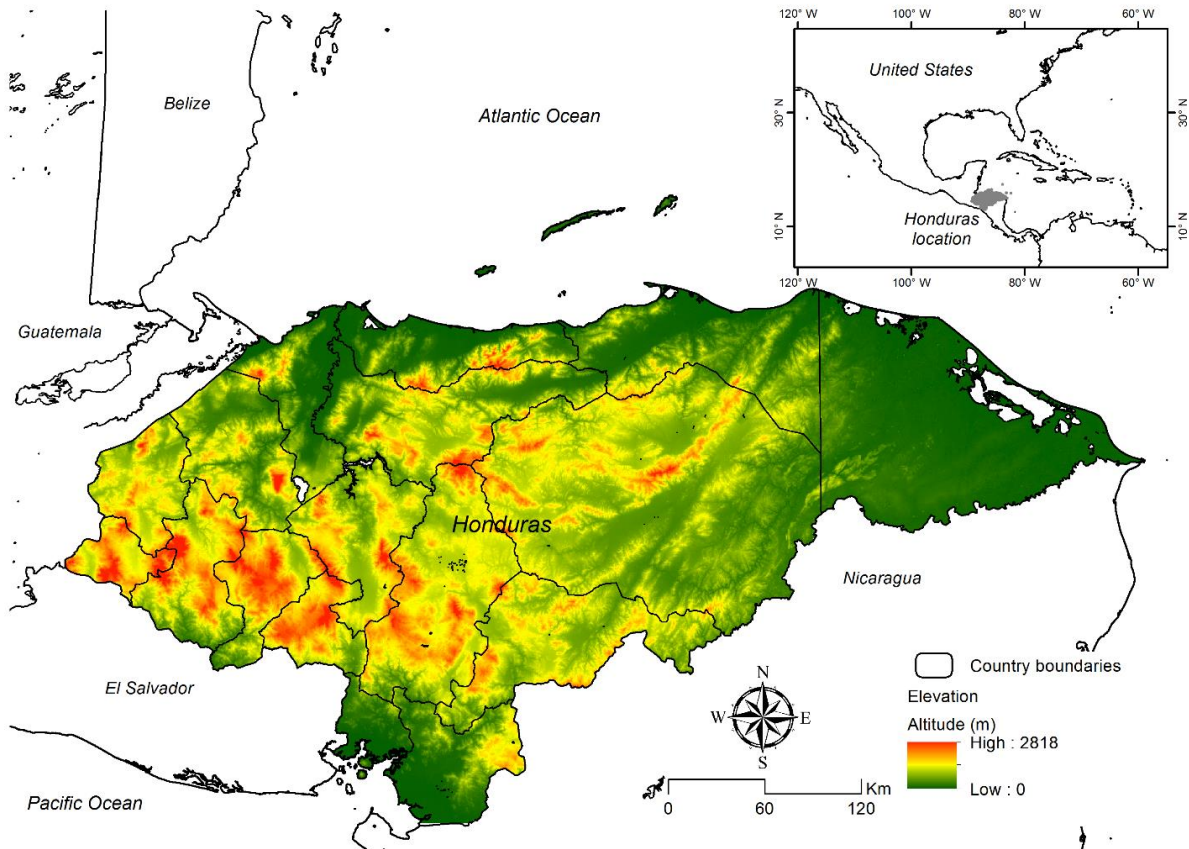
1 **Propuesta de proyecto para ICDF de Taiwán**

2 **Proyecto de gestión de plagas forestales en Honduras**

3 **Centro de Investigación espacial y teledetección-Universidad Nacional Central de Taiwán.**

4
5 **I. Antecedentes.**

6 Honduras se encuentra en la parte central de las Américas, rodeada por los océanos Atlántico y
7 Pacífico (Figura 1). El país tiene una extensión territorial de 112,000 km². Con aproximadamente
8 un 59% de su territorio cubierto de bosques, Honduras se considera un país con vocación forestal;
9 sin embargo, la ICF ha estimado la tasa anual de deforestación en 1380 km².



10
11 **Figura 1. Mapa general de Honduras ubicado entre el Pacífico y el Océano Atlántico en**
12 **América Central**

13
14 El clima en Honduras está controlado por la topografía y la latitud. Un sistema montañoso central
15 en la región central separa la región norte del Atlántico húmedo de la región sur, donde una larga
16 estación seca puede provocar sequías intensas y grandes incendios forestales que debilitan el

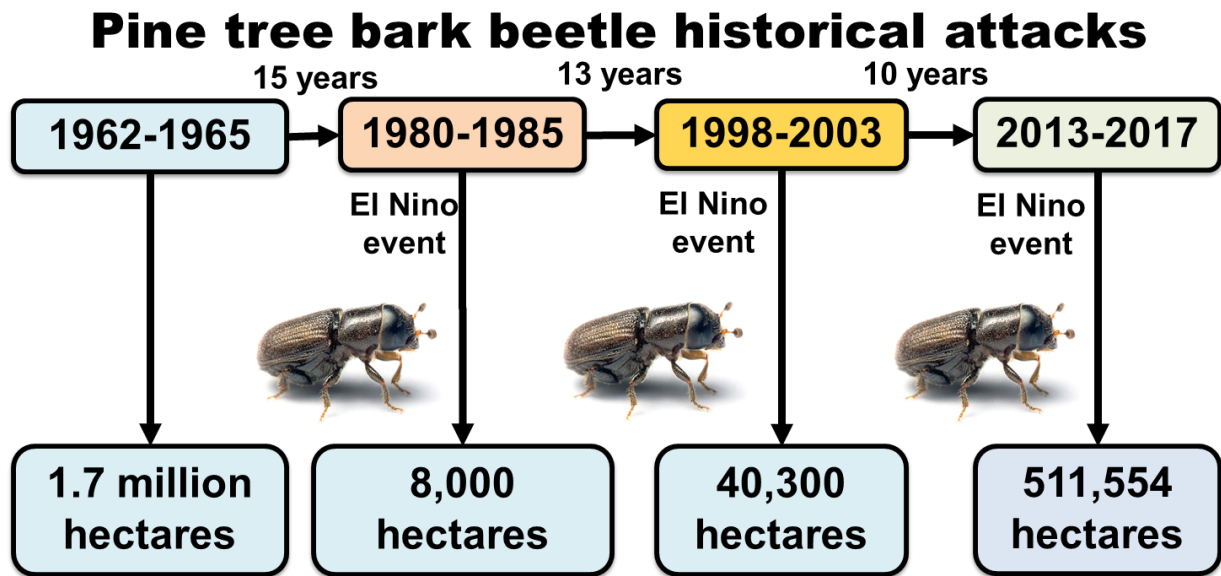
17 bosque y las condiciones del suelo. La mayor parte de la región norte tiene un clima tropical
18 húmedo con una precipitación promedio de 2600 mm / año y una temperatura promedio de 27
19 grados Celsius. La región central tiene un clima de sabana tropical con una precipitación
20 promedio de 1600 mm / año y una temperatura promedio de 24 grados centígrados. En el sur que
21 limita con la costa del Pacífico, la precipitación anual es inferior a 1000 mm / año, y la
22 temperatura promedio es de 29 grados centígrados.

23 La mayor parte del norte y el este de Honduras están dominados por bosques de hoja ancha. Los
24 bosques secos de la región sur han sido sustituidos en gran parte por tierras arbustivas y sabanas,
25 con algunos bosques de coníferas restantes también.

26 La mayoría de los bosques de coníferas se encuentran en las regiones central y occidental de
27 Honduras, con algunos parches en la parte oriental. Los bosques de coníferas (Pino) son el foco
28 principal de este Proyecto ya que es donde ocurren los ataques del escarabajo descortezador. En
29 total, Honduras tiene aproximadamente 2,000,000 de hectáreas de pinos distribuidos en las
30 regiones centrales y occidentales del país con algunos parches en el norte de Honduras y una
31 gran área de sabanas de pinos en el área oriental dentro del departamento de Gracias a Dios.

32 Las principales especies de coníferas encontradas en Honduras son *Pinus caribaea* y *Pinus*
33 *oocarpa*. Las especies *Pinus pseudostrobus*, *Pinus maximinoi* y *Pinus tecunumani* también están
34 presentes en zonas de gran elevación. El *Pinus caribaea* (pino caribeño) crece desde el nivel del
35 mar en tierras bajas de sabana hasta elevaciones de 600-800 metros sobre el nivel del mar (msnm).
36 *Pinus oocarpa* está entre 500 y 1,200 metros sobre el nivel del mar, mientras que el pino blanco,
37 *Pinus pseudostrobus*, se encuentra a más de 1,200 metros sobre el nivel del mar. *Pinus maximinoi*
38 y *Pinus tecunumani* se encuentran comúnmente en rodales junto con *P. oocarpa* por encima de
39 500 msnm. *Pinus oocarpa* es la principal fuente de madera para exportación y uso doméstico,
40 aunque todas las especies se utilizan en cierta medida. Los bosques de coníferas, sin embargo,
41 tienen serias amenazas, entre ellas los ataques de los escarabajos descortezadores del pino, que
42 se cree que atacan en ciertos ciclos de tiempo. Desafortunadamente, los datos empíricos

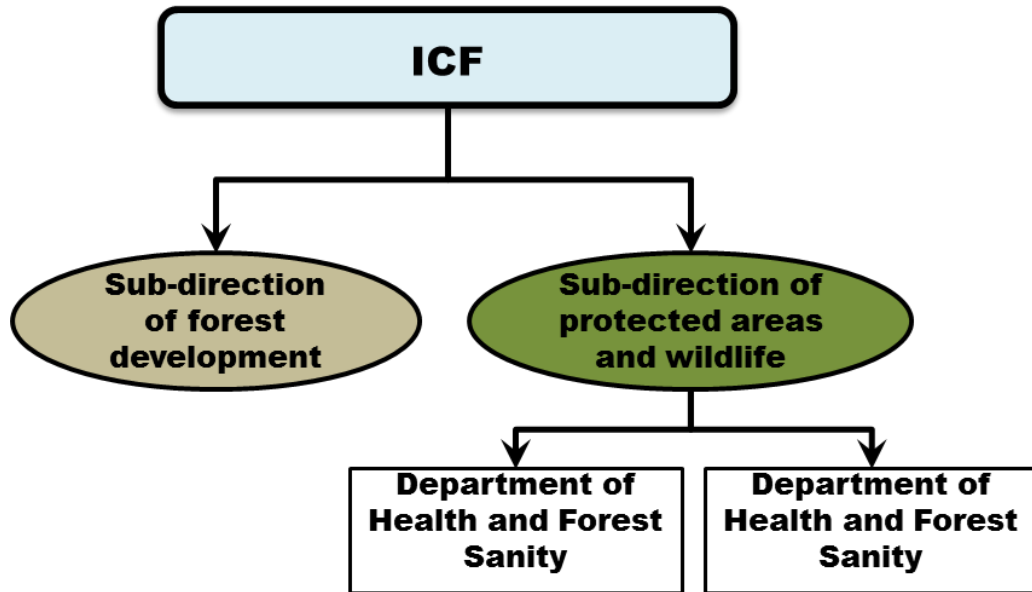
43 existentes con respecto a la abundancia y distribución del escarabajo descortezadores del pino en
44 Honduras datan de la década de 1960. El tiempo transcurrido (menos de 60 años) no ofrece
45 suficiente información sobre el ciclo del brote como para proporcionar una buena indicación de
46 la variabilidad en la magnitud y frecuencia de los ataques a corto y largo plazo. Este fenómeno
47 natural agravado por las acciones del hombre, como la explotación, ya sea tala rasa o corte
48 selectivo; el debilitamiento de las plantas debido a densidades muy altas y la mala calidad del
49 material genético y los suelos, así como los incendios forestales que debilitan aún más los
50 bosques de pinos, favorece la presencia de plagas como el escarabajo descortezador del pino
51 (*Dendroctonus sp*) en Honduras. Aunque los incendios forestales recurrentes causan graves
52 daños a los bosques hondureños, el escarabajo descortezador del pino, *Dendroctonus frontalis* ha
53 causado las mayores pérdidas económicas. Entre 1962 y 1965, alrededor de 1,7 millones de
54 hectáreas se vieron afectadas por esta plaga, estimando que, en 1964, la plaga se estaba
55 extendiendo a una tasa de 150,000 hectáreas por mes. Desde el episodio de la peste histórica a
56 principios de los 60, la población del escarabajo descortezador del pino permaneció en el nivel
57 endémico hasta 1982. Entre 1980 y 1985, se produjo un ataque de *Dendroctonus frontalis* en los
58 rodales de pino que fueron restaurados como resultado de la regeneración natural que ocurrió
59 después de la plaga de los años 60. Los esfuerzos para controlar las infestaciones activas en esa
60 ocasión se centraron en el corte, apilamiento y quema de árboles infestados y la aplicación de
61 insecticidas. En las últimas décadas, el cambio climático ha tenido manifestaciones extremas con
62 el evento de El Niño, por lo que las variaciones climáticas han alcanzado los niveles más altos
63 en términos de sequías prolongadas y altas temperaturas en los años 1998-2002 y 2014 a 2016.
64 Esto ha inducido estrés hídrico en los árboles, lo que favoreció los niveles de propagación del
65 escarabajo descortezador del pino (*Dendroctonus sp.*) que causó infestaciones que alcanzaron
66 40.300 hectáreas en 2003, y 511.554 hectáreas infectadas de pinares en 2017 (Figura 2).



67
68 **Figura 2. Eventos históricos registrados de las plagas del escarabajo descortezador del pino**
69 **en Honduras.**

70

71 Ante esta amenaza, el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas
72 y Vida Silvestre (ICF), preparó un plan de acción, con el objetivo de llevar a cabo acciones
73 inmediatas de control, monitoreo, prevención e investigación, para controlar el escarabajo
74 descortezador del pino. Por este motivo, el ICF preparó el documento que analiza, justifica y
75 propone la constitución de un Departamento especializado y permanente que se encarga de
76 regular, operar y coordinar las actividades de detección, monitoreo, evaluación, control y manejo
77 de plagas y enfermedades forestales que afectan los objetivos de los diferentes escenarios
78 forestales que componen los recursos forestales del país. Este Departamento enfatizará la
79 necesidad de prevenir problemas en lugar de controlarlos, y que los sectores de educación e
80 investigación están vinculados a la capacitación de recursos humanos profesionales y la
81 generación de conocimiento regional para apoyar los procesos de monitoreo de salud y sanidad
82 forestal. En términos de salud forestal, el país se ha centrado exclusivamente en el escarabajo
83 descortezador del pino, por lo que se conoce la documentación de sus impactos. Como se piensa
84 que se trata de un problema cíclico, y si existe una estructura responsable con recursos para
85 abordarlo, hasta cierto punto existe una gran posibilidad de prevenirlo.



86

87

88

89

Figura 3. Organización institucional en la que se integra el Departamento de Salud y Sanidad Forestal.

90

91

92

93

94

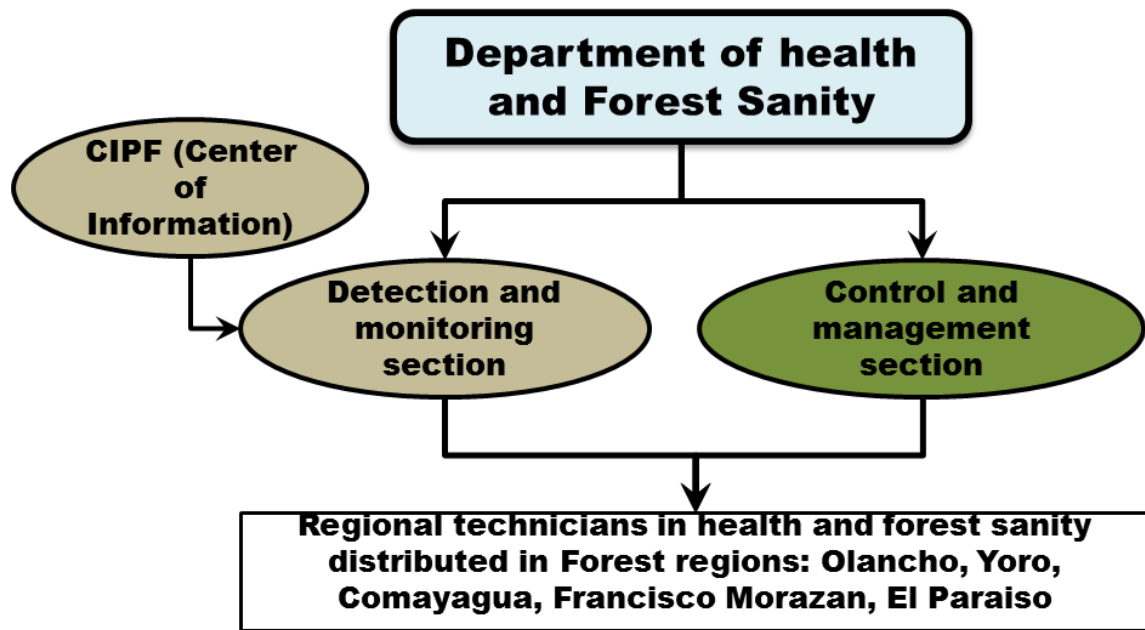
95

96

97

En base a lo anterior, el Departamento de Sanidad Forestal de Salud fue creado bajo la Subdirección de Áreas Protegidas y Vida Silvestre como un departamento independiente en el ICF a nivel técnico, legal y administrativo, para que pueda llevar a cabo sus actividades normativas y operativas. en coordinación con las oficinas regionales y locales, pero sobre todo con una estadía del gobierno para la ejecución de todas sus funciones (Figura 3).

Este Departamento tiene dos Secciones Técnicas, una que se ocupa de todo lo relacionado con la detección y el monitoreo de plagas y enfermedades forestales y una segunda involucrada en la gestión para controlarlas (Figura 4).



98

99

Figura 4. Organización estructural del Departamento de salud y sanidad forestal de ICF.

100

Para implementar los dos componentes dentro del Departamento de Salud y Sanidad Forestal, el monitoreo efectivo es relevante, pero también es importante poder tener esta información fácilmente disponible para que la usen los gobiernos locales en caso de emergencias. Por esta razón, el departamento pretende tener capacidades para vincular las plataformas ya existentes con información específicamente relacionada con la cordura de los bosques, los ataques de los escarabajos descortezador del pino, etc. Para esto, algunos de los portales ya existen, sin embargo, no son específicos de esto. Algunos de esos portales existentes son: Geo portal, que es una modernización tecnológica del órgano rector de la actividad forestal en Honduras, posible gracias al Proyecto de Modernización para el Sector Forestal de Honduras (EUROFOR / MOSEF) y al gobierno de Honduras. El geo portal se creó en el marco de la Infraestructura Nacional de Datos Espaciales y proporciona un acceso fácil a la información forestal. Este es un sistema de información geográfica de fácil acceso e intuitivo para el usuario en general; y al tener acceso a estos datos a través de la web, la cobertura es de alcance nacional e internacional. Otro sistema disponible es el sistema de información territorial municipal (SIT Municipality) centrado en los recursos forestales, incluidas las funcionalidades de acceso, generación y mantenimiento de

114

115 información oficial, confiable y estandarizada. Su objetivo era lograr la sostenibilidad del sistema
116 a través de la capacitación del personal técnico a nivel municipal en el uso del sistema y el
117 programa de capacitación permanente. Sin embargo, este sistema solo está desarrollado para 28
118 municipios prioritarios. Otro sistema recientemente creado es el Sistema de Información para el
119 Manejo y Monitoreo Forestal (SIGMOF) en este el sistema se pueden encontrar todas las diferentes
120 publicaciones técnicas, boletines de información, guías y protocolos necesarios para la recolección
121 de información. Esta plataforma también integra un sistema de alerta temprana para incendios
122 forestales, que se implementó por primera vez en 2018.

123 Para la ejecución exitosa de este Proyecto, tenemos que implementar 5 elementos de trabajo
124 diferentes que establecerán las bases de este proyecto que es de gran soporte técnico para el
125 Departamento de Salud y Sanidad Forestal. Los elementos de trabajo del proyecto son los
126 siguientes:

- 127 • **Desarrollo de la estrategia de monitoreo de la salud forestal**
- 128 • **La elaboración de mapas de riesgo de plagas de insectos forestales en Honduras**
- 129 • **Desarrollo técnico en el manejo de plagas forestales**
- 130 • **El establecimiento del sistema de plataforma de políticas de manejo de plagas y sanidad**
131 **forestal**
- 132 • **Desarrollo de capacidades para la transferencia de tecnología y promoción de la salud**
133 **forestal**

134 **II. Metodología detallada para la implementación de elementos de trabajo.**

135 En esta sección, presentamos la descripción de cada elemento de trabajo. Cada elemento funcional
136 al mismo tiempo incluye varias acciones que se complementan entre sí para finalizar la sección
137 principal. Describiremos en detalle cómo vamos a implementar cada uno de ellos para proporcionar

138 una vista detallada de las acciones que se desarrollarán y los productos que se entregarán a las
139 autoridades locales. Todos los elementos de trabajo se implementarán en relación directa con el
140 Departamento de Salud y Sanidad Forestal, y el Centro de Información y Patrimonio Forestal
141 (CIPF).

142 **1. Desarrollo de la estrategia de monitoreo de la salud de los bosques**

143 Para la implementación exitosa de este elemento de trabajo, es necesario ejecutar de manera
144 secuencial diferentes elementos de sub-trabajo para lograr los objetivos definidos. Necesitamos
145 actualizar nuestra base de datos digital espacial necesaria para derivar los diferentes productos.
146 Además, como parte de los acuerdos de cambio climático establecidos por el ICF, se requiere un
147 inventario de gases de efecto invernadero para determinar las emisiones de CO₂. Finalmente, para
148 establecer un ejemplo de manejo forestal apropiado con técnicas de manejo mejoradas para evitar
149 ataques de plagas, se seleccionarán algunos sitios demostrativos. Cada uno de estos elementos de
150 subtrabajo se explicará en detalle.

151 Los objetivos específicos de este elemento de trabajo son tres: 1) recopilación de datos
152 geospaciales disponibles en las diferentes plataformas y departamentos del ICF para lograr los
153 fines requeridos en este proyecto, y actualizar o recopilar nuevos conjuntos de datos en el campo
154 siempre que sea necesario. 2) El segundo objetivo es apoyar en la elaboración del inventario
155 nacional de gases de efecto invernadero con todos los conjuntos de datos geospaciales adquiridos
156 utilizando un sistema integrado de campo de detección remota y capacitación. 3) Definir 3 sitios
157 de demostración donde se implementan técnicas adecuadas de manejo forestal para evitar los
158 ataques de los escarabajos descortezador del pino o para reducir sus impactos, e instalar equipo
159 para monitoreo, y creación de bases de datos.

160

161

162 **1.1 Actualización del inventario de datos geospaciales de variables forestales en Honduras:**

163 La adquisición de datos espaciales en Honduras es una tarea difícil, especialmente la
164 estandarización de todas las diferentes fuentes de datos existentes en los diferentes departamentos.
165 El Instituto Forestal de Honduras (ICF) tiene una plataforma con datos espaciales que está
166 trabajando en este elemento, y un Centro que administra y actualiza su base de datos geospaciales
167 constantemente, sin embargo, todavía hay una gran cantidad de datos existentes que no son
168 espaciales, especialmente los inventarios forestales, los datos de biomasa y las variables climáticas
169 son escasos y obsoletos. Además de las bases de datos no espaciales, gran parte de esta información
170 no está disponible para el acceso público, por lo que es importante adquirir todas las bases de datos
171 necesarias, en primer lugar, para alcanzar los objetivos establecidos. Para este fin, necesitamos
172 identificar claramente los tipos de datos geospaciales requeridos, por lo que dividiremos por
173 categoría. Para los propósitos establecidos en este proyecto, requerimos datos generales del país,
174 datos climáticos, recursos naturales y fisiografía (cobertura terrestre, ríos, cuerpos de agua)
175 características antropogénicas, y datos históricos de desastres ocurridos, es decir, registros de
176 brotes de escarabajos descortezadores de pino e incendios. Esto debe desarrollarse en el primer año
177 de este proyecto y requiere actualizarse en Honduras para obtener un estado y condición forestal
178 más integral. Los datos geospaciales adquiridos deben estandarizarse en el mismo sistema de
179 coordenadas proyectadas. Los datos geospaciales adquiridos y actualizados serán útiles para el
180 futuro procesamiento de los datos forestales y para la generación de resultados actualizados de
181 modelos reales que pueden ayudar a las autoridades locales en la toma de decisiones para el manejo
182 de plagas forestales con información más detallada.

183

184

185

Tabla 1. Inventario de datos geospaciales y no geospaciales para recopilar

Categoría	Datos	Propósito
Datos Generales	Límites actualizados en: nivel departamental, nivel municipal, nivel local	Definición de áreas de estudio o áreas de prioridad de trabajo, y para la plataforma del sistema
	Delimitación a nivel de cuenca	
	Límites forestales regionales y municipales de ICF	
Datos Climáticos	Precipitación, temperatura, velocidad del viento y dirección del viento desde estaciones terrestres (datos históricos hasta la fecha de todas las estaciones)	Modelación Espacial, Modelación de expansión de brotes.
	Temperatura de la superficie terrestre (datos satelitales)	
	Datos en cuadrícula: precipitación, temperatura, radiación solar para el presente y el futuro.	
	Datos de la misión de lluvia tropical (TRMM), o Riesgos climáticos Precipitación infrarroja con datos de estaciones (CHIRPS)	
Recursos naturales y fisiografía	Mapas de cobertura terrestre derivados para diferentes años	Inventarios de gases de efecto invernadero, pérdidas y ganancias forestales, modelos espaciales y modelos de expansión de plagas.
	Inventario nacional de gases de efecto invernadero (versión antigua) (Documento)	
	Nivel de referencia para las emisiones forestales (RLFE) (Documento)	
	Microcuencas por ley	

	Áreas protegidas declaradas por la ley	
	Ríos por categoría	
	Tipo de suelo basado en diferentes propiedades	
	Prospeccion forestal	
	Campos continuos de vegetación (datos satelitales MODIS)	
Características antropogénicas	Información de asentamientos por censo	Modelos espaciales y de expansión
	Áreas de cultivo	
	Red de carreteras por categoría	
Datos históricos de desastres forestales	Incidentes históricos del punto de ataque del escarabajo descortezador de árbol de pino.	Modelado espacial
	Incidentes históricos de incendios forestales de pinos	
Manejo de bosques	Áreas con un plan de manejo forestal activo	Sitios de demostración para mejores prácticas de gestión
	Planes de manejo forestal y planes operativos respectivos (documento)	

187

1881.1.1 Datos geospaciales generales del país

189 Los datos geospaciales generales del país son útiles para definir los límites del área de estudio.

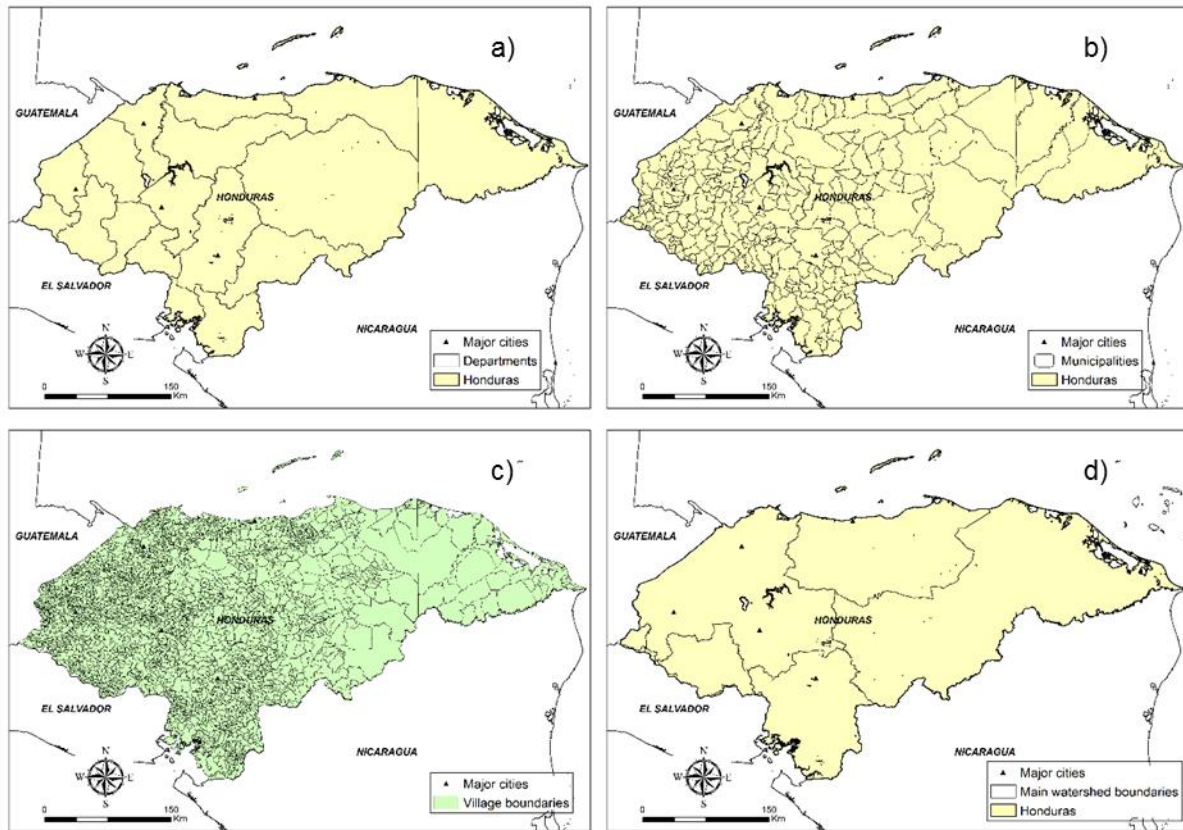
190 Calcule las estadísticas para fines de gestión y otros. Los tipos de datos disponibles se subdividen

191 de la siguiente manera: nivel nacional, nivel de departamento o estado, nivel municipal y nivel de

192 aldea. Tenemos algunos ejemplos de los conjuntos de datos disponibles adquiridos (Figura 5).

193
194

Para fines administrativos, el ministerio de Recursos Naturales también utiliza los límites de la cuenca hidrográfica.



195

196 **Figura 5. Cartografía general de Honduras con límites generales en diferentes niveles: a)**
197 **nivel de departamento, b) nivel municipal, c) nivel de aldea, d) nivel de cuenca**

198 En total, Honduras tiene 18 departamentos de los cuales Olancho es el más grande, 298 municipios
199 y 3732 aldeas en todo el país. El ICF tiene 12 oficinas regionales que usan áreas intra-departamento
200 para administrar los bosques. Además, tiene oficinas intermunicipales para administrar los bosques
201 a nivel local.

202 1.1.2 Datos climáticos

203 La disponibilidad de datos climatológicos es escasa en Honduras, sin embargo, ahora con el uso
204 de sensores remotos, modelos climáticos y nuevos algoritmos, se ha vuelto más factible producir
205 productos en cuadrícula con variación espacial y no de punto, por lo que hay más disponibilidad
206 de precipitación, temperatura, temperatura de la superficie terrestre, radiación solar y datos de

207

velocidad del viento para modelado espacial y temporal a mayor resolución (Figura 6).

208

Sin embargo, para fines específicos, la resolución espacial no es lo suficientemente grande como

209

para satisfacer las necesidades, por lo que se requiere el uso de estaciones climatológicas locales

210

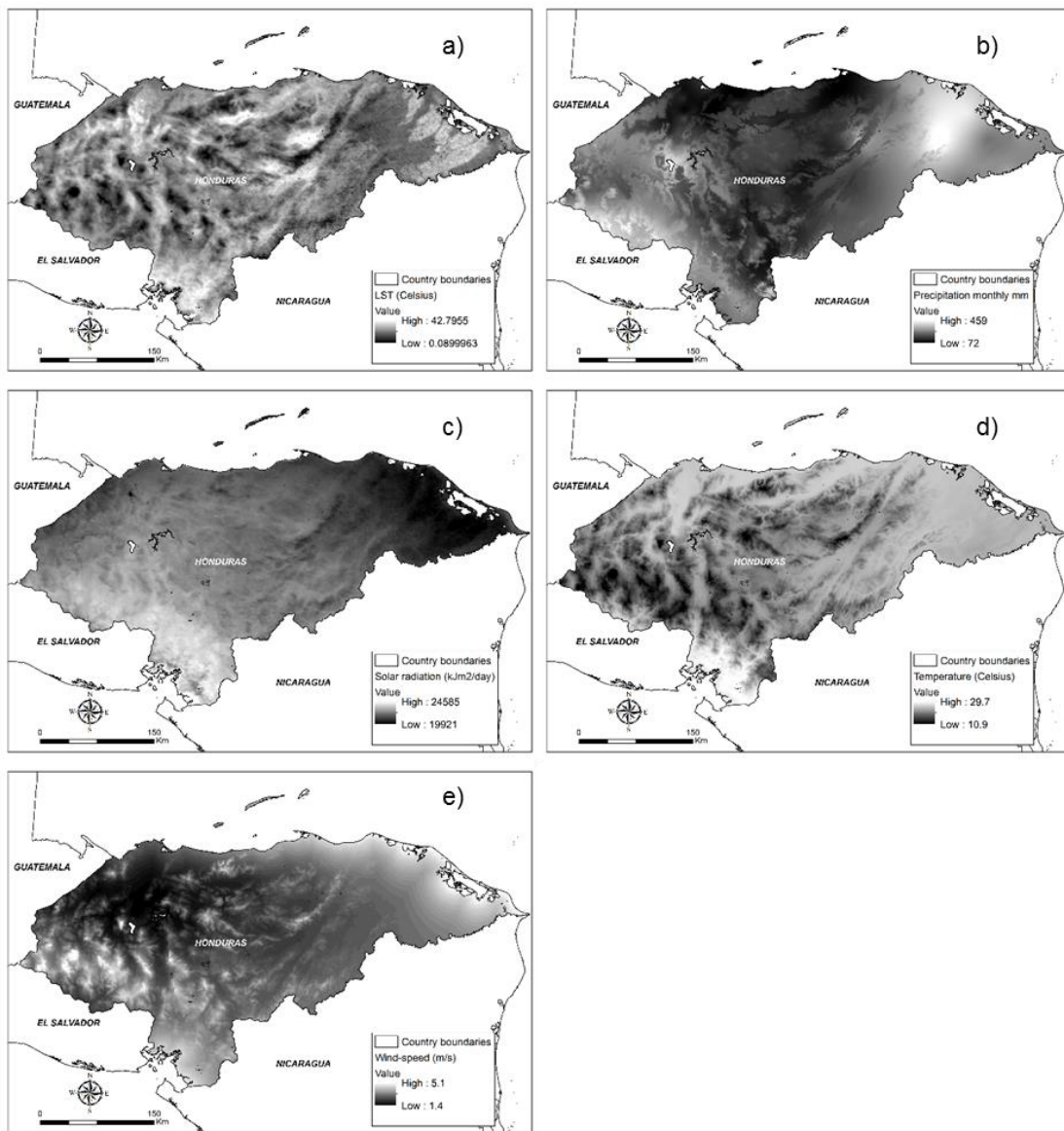
junto con datos climáticos de teledetección. Honduras tiene un total de 4711 estaciones

211

climatológicas que registraron precipitaciones en todo el país (Figura 7). Las estaciones están

212

ampliamente distribuidas en todo el país, con la excepción de la región más oriental.



213

214

Figura 6. Productos de malla climática: a) MODIS temperatura de la superficie terrestre, b)

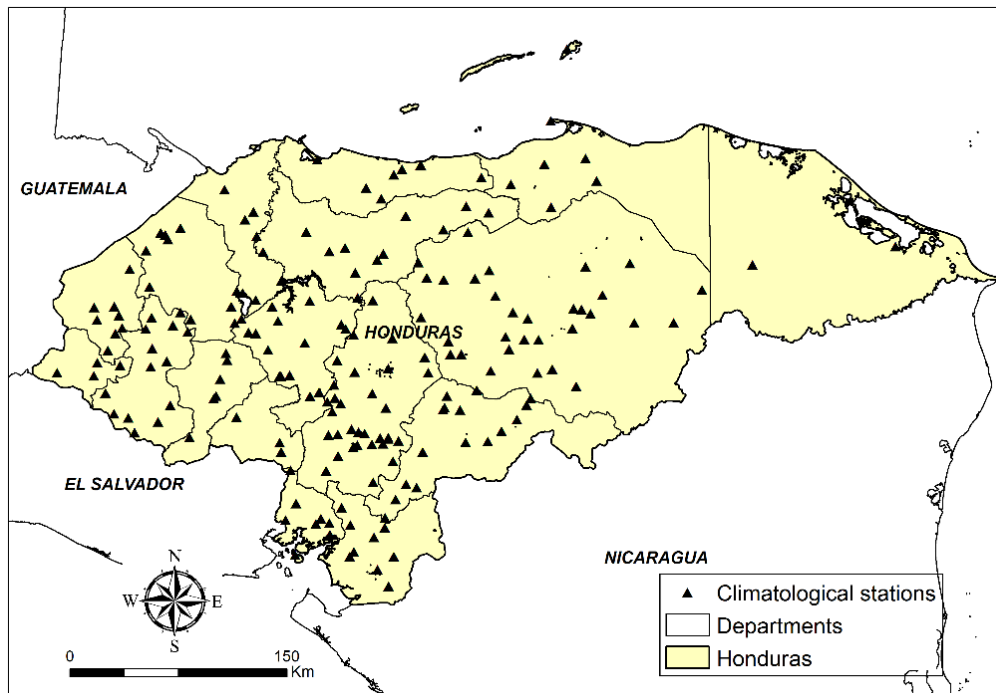
215

datos climáticos mundiales de la cuadrícula: precipitación desde, c) radiación solar, d)

216

temperatura, e) velocidad del viento

217 Esta es una región muy remota, por lo que la falta de estación climática en esta área produce
218 resultados poco confiables. Para superar esto, es necesario el uso de datos adquiridos a distancia
219 (por ejemplo, datos de precipitación de la misión de precipitación tropical, producto de agua
220 precipitable de MODIS).



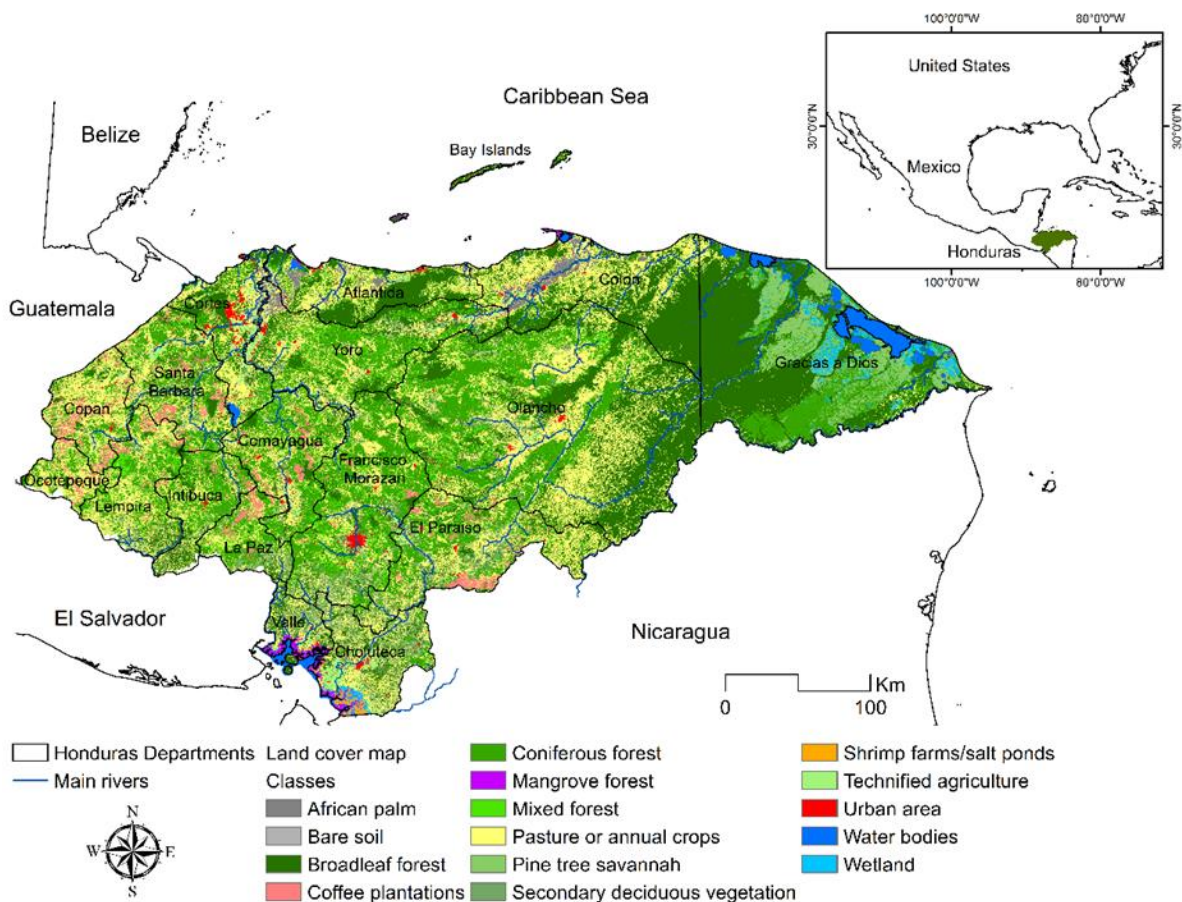
221

222 **Figura 7. Distribución espacial de las estaciones de precipitación (1983-2000)**

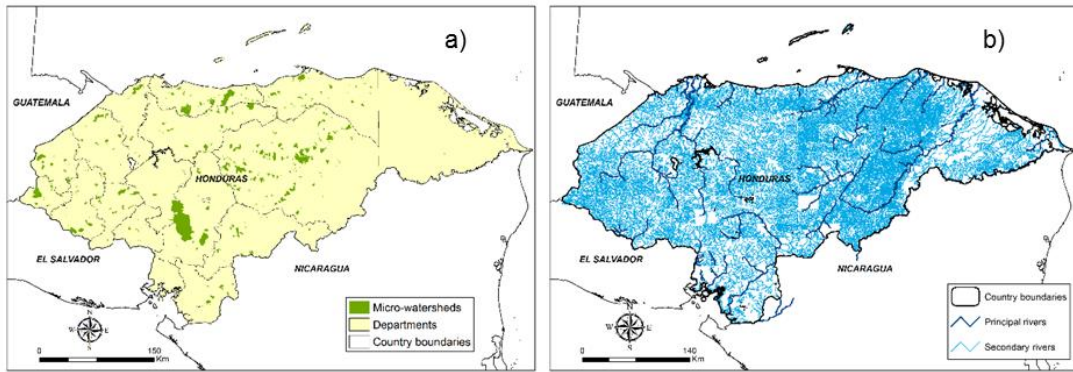
2231.1.3 1.1.3 Características naturales

224 Para lograr los diferentes objetivos establecidos por el ICF, con el apoyo técnico de REDD /
225 CCAD-GIZ, el CIPF ha desarrollado a partir de imágenes satelitales oculares rápidas, y utilizando
226 como muestras de capacitación para la clasificación, datos adquiridos en el campo, el mapa
227 nacional de cobertura terrestre con alta resolución espacial. Lo mismo se ha desarrollado para
228 establecer como referencia para el inventario de gases de efecto invernadero y para otros fines.
229 Este mapa tiene un total de 26 categorías de cobertura terrestre y también es útil para separar
230 bosques de coníferas de otros tipos de bosques (Figura 8).

231 Otros recursos naturales requeridos para el modelado de expansión y los mapas de riesgo de plagas
 232 son los ríos y las microcuencas declaradas. Los primeros datos geospaciales se obtuvieron a través
 233 de mapas cartográficos, y se subdividen en diferentes categorías según la cantidad de flujo de agua
 234 en la estación seca y húmeda. La información geospacial de ríos aún requiere una edición básica
 235 de GIS, como eliminación de astillas, cuelgues excesivos, etc. Las microcuencas se declaran como
 236 áreas protegidas por el ICF y los datos dentro de sus atributos contienen información valiosa
 237 capturada en el campo, como tenencia, calidad del agua parámetros, área, tipo de suelo de la
 238 investigación de campo, tipo de bosque y si hay áreas bajo un plan de manejo forestal (Figura 9).



239
 240 **Figura 8. Mapa de cobertura terrestre de Honduras derivado de imágenes oculares rápidas.**
 241 **Las clases de bosque de coníferas y sabana de pino (áreas verde claro y verde oliva) son el**
 242 **enfoque principal para este proyecto.**



243

244

245

Figura 9. a) Microcuencas delimitadas y b) ríos subdivididos en ríos principales y secundarios.

246

247

248

249

250

251

252

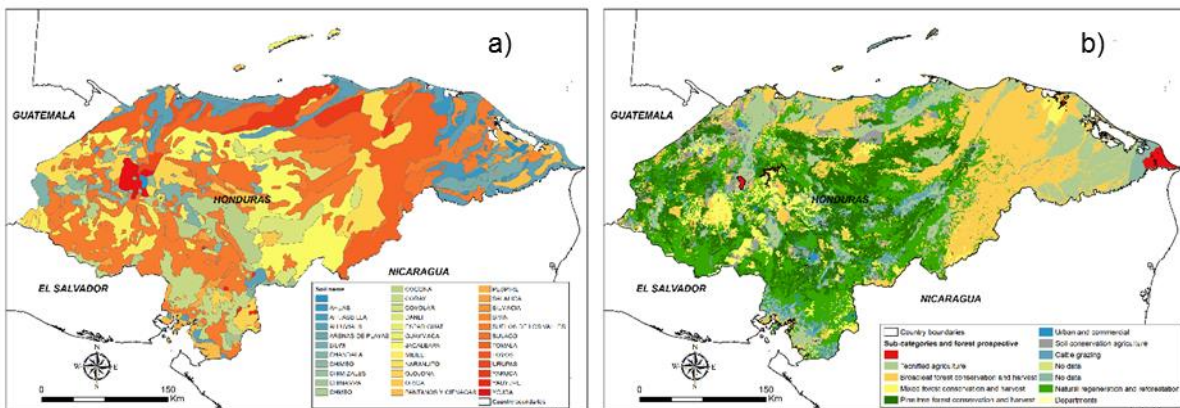
253

254

255

256

El tipo de suelo y las subcategorías prospectivas del bosque son otros datos necesarios para planificar las mejores prácticas de manejo forestal y el modelado. El tipo de suelo fue recolectado durante muchos años de muestreo con la ayuda de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el equipo técnico del ICF. El tipo de clasificación utilizado se basa en las categorías de Simmons. Los atributos de suelos proporcionan muchas categorías como drenaje, profundidad, PH, textura y pendiente. Su nombre se basa en las áreas locales donde se adquirieron las muestras. Este tipo de datos puede requerir actualización en sitios demostrativos, ya que se desarrolló en 1973. Las categorías de bosques prospectivos se definen en función del mapeo de la cubierta terrestre, la topografía y las recomendaciones técnicas. Las subcategorías son 8 y las más relevantes para los elementos de trabajo definidos son la conservación y cosecha del pino, y la regeneración y reforestación natural del pino (Figura 10).



257

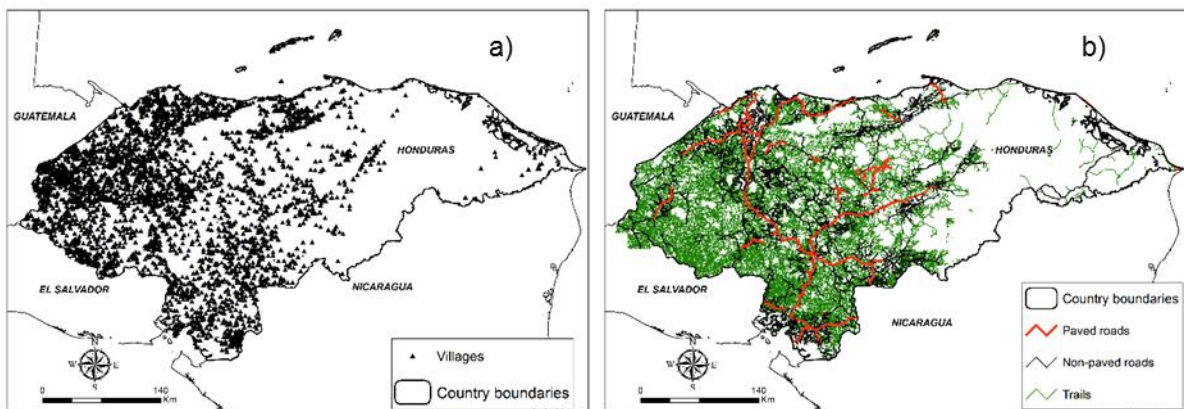
258

Figura 10. a) Tipo de suelo basado en la clasificación de Simmons y b) Bosque prospectivo

2591.1.4 Características antropogénicas

260 Para representar la huella humana en el país, es necesario adquirir los diferentes conjuntos de datos
261 SIG que indican accesibilidad (Figura 11). Este tipo de información es esencial para la
262 modelización espacial de los modelos de susceptibilidad y expansión. Los datos disponibles se
263 usarán para estimar las distancias euclidianas (en metros) a los diferentes tipos de variables de
264 accesibilidad. Los datos de las carreteras también se subdividen en diferentes categorías en función
265 de la accesibilidad durante la estación húmeda y seca, y la superficie de la carretera. Los datos de
266 la red de carreteras se han derivado de los mapas de cartografía basados en la digitalización manual;
267 en algunos casos, esta función debe actualizarse y editarse para detectar errores de digitalización.
268 Otros datos geospaciales disponibles en la información del Censo, es la ubicación de las casas de
269 campo, aldeas, ciudades y centros municipales. Estos datos tienen atributos relacionados con
270 aspectos socioeconómicos y población. Es generado por el Instituto de estadística cada cinco años
271 con visitas casa a la ubicación de grabación con GPS por lo que tiene una alta fiabilidad y es
272 reciente.

273



275

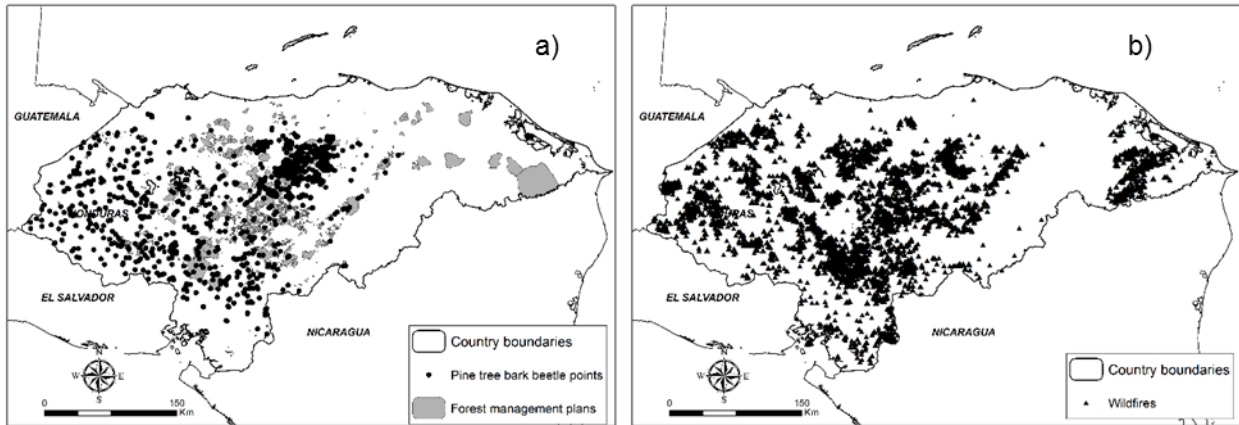
275 **Figura 11. a) Ubicación de las aldeas y b) red de carreteras en Honduras clasificada en**
276 **función de la superficie y la accesibilidad.**

277

278

279 **1.1.5 Puntos de desastre histórico (puntos de escarabajo de corteza de pino, incendios**
280 **forestales)**

281 Los datos históricos son necesarios para el modelado espacial del riesgo del escarabajo
282 descortezador del pino y también es necesario para el modelo de expansión y para la identificación
283 de los sitios de demostración. Estos datos fueron recolectados por los técnicos de ICF en el campo
284 como parte de las acciones de gestión contra el ataque ocurridas desde 2014 hasta 2016 y con el
285 uso del vehículo aéreo no tripulado, que fue clave para identificar el ataque en áreas remotas. Las
286 imágenes de satélite también fueron relevantes para este trabajo. Se estimó que un total de más de
287 500,000 hectáreas de bosque de pinos se infectó durante el desastre. Además, para apoyar el
288 modelado espacial de los mapas de riesgo de ataque de escarabajos descortezador de pino, la
289 densidad de incendios forestales debe incluirse como una variable, por lo tanto, es necesario contar
290 con la disponibilidad de eventos históricos de incendios forestales. La densidad de incendios
291 forestales se ha relacionado históricamente con la disminución de la calidad de los árboles y los
292 suelos, por lo que los bosques se vuelven más propensos a un ataque. Estos también son registrados
293 por la ICF anualmente durante la temporada de incendios forestales, que es oficialmente de enero
294 a mayo (Figura 12). Sin embargo, el registro espacial de estos datos comenzó a estar disponible a
295 partir de 2010. Para superar esto, los datos de MODIS FIRMS se usarán como datos
296 complementarios. Los datos de MODIS FIRMS están disponibles desde 2000 hasta la actualidad.
297 Además, estos datos deben actualizarse cada año y se requiere recopilar los puntos de incendios
298 forestales de la temporada 2017-2018.



299

300 **Figura 12. a) Puntos de ataque de escarabajos de corteza recolectados de 2013-2016 y b)**
 301 **puntos de incendios forestales de 2010-2016 requeridos como una variable para el mapeo de**
 302 **riesgo de escarabajo de corteza**

303

304 **1.2 Informe nacional de gases de efecto invernadero y estrategia de ajuste de la salud**
 305 **forestal**

306 Dentro de los acuerdos tomados antes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el
 307 Cambio Climático (CMNUCC), específicamente el Artículo 4, párrafo 1 (a), existe el compromiso
 308 de identificar, desarrollar, actualizar periódicamente, publicar y poner a disposición, los inventarios
 309 nacionales de emisiones antropogénicas por fuentes y eliminaciones por sumideros, de todos los
 310 gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal¹, utilizando metodologías
 311 acordadas por las partes. Honduras como participante de la CMNUCC y mediante la realización
 312 del Tercer proyecto de comunicación nacional implementado por el Programa de las Naciones
 313 Unidas para el Desarrollo (PNUD) con recursos del Fondo Mundial para el Medio Ambiente
 314 (FMAM), trabajó en la preparación de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático
 315 y la Primera Actualización del Informe Bienal de Honduras, cuyo trabajo se ha llevado a cabo en
 316 la construcción del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) como parte
 317 esencial para su presentación ante la CMNUCC.

318 El INGEI nos permite conocer los contaminantes emitidos a la atmósfera y sus contribuciones

319 específicas al cambio climático. Estos inventarios deben llevarse a cabo en varios sectores; Energía
320 y Transporte, Industria, Residuos, Agricultura y Uso de la Tierra, Cambio de Uso del Suelo y Sector
321 Forestal (LUCFS) con el propósito fundamental de colaborar en la orientación y diseño de
322 estrategias nacionales más efectivas para los impactos del cambio climático. Sin embargo, para
323 abordar cada sector se ha asignado a diferentes instituciones gubernamentales en el país para su
324 construcción respectiva (teniendo en cuenta sus ejes de acción), y para el caso específico de la
325 LUCFS, se ha asignado a la ICF. Honduras como signatario de la CMNUCC y mediante la
326 realización del Tercer Proyecto de Comunicación Nacional y la Primera Actualización del Informe
327 Bienal de Honduras implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
328 (PNUD) con recursos del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (FMAM). Actualmente, para
329 hacer frente a este trabajo y disminuir las altas tasas de deforestación, se promueve un Sistema
330 Nacional de Monitoreo Forestal (SNMB) que puede contribuir a formular políticas, desarrollar
331 estrategias, programas y acciones para reducir la deforestación y promover el manejo forestal
332 sostenible de los bosques hondureños por el ICF. Para este propósito, el programa Reducción de
333 Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (REDD +), un proyecto financiado por Forest
334 Carbon Partnership Fund (FCPF), el Banco Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el
335 Desarrollo (PNUD), entregó a ICF mobiliario y equipo, para ayudar en el monitoreo de la
336 deforestación. REDD + es una alianza global que promueve la reducción de las emisiones de gases
337 de efecto invernadero de la deforestación y la degradación forestal, lo que acelera el cambio
338 climático y también fortalece los marcos políticos e institucionales para la gobernanza forestal.

339 En base a todos estos antecedentes, y en base a las necesidades del ICF con respecto al INGEI, en
340 este proyecto coordinaremos acciones para trabajar en el ajuste de las metodologías existentes,
341 utilizando datos de teledetección. y proporcionar asistencia técnica con capacitación en el uso de
342 tecnologías de teledetección para la actualización del INGEI para el LUCFS para el próximo
343 período (2016-2021). Este INGEI debe incluir las pérdidas (debido a la deforestación) y las

344 ganancias de la cubierta forestal, considerando que este es el resultado de actividades humanas
345 (confirmado con la investigación de campo). Para la estimación de las emisiones netas de CO₂, es
346 necesario tener los datos de actividad y los factores de emisión correspondientes (FE) para cada
347 una de las categorías de uso forestal y de la tierra. Los datos geoespaciales adquiridos (es decir,
348 mapas de cobertura terrestre, planes de gestión e inventarios de alta resolución) actualizados en el
349 primer año del proyecto y, posteriormente, se utilizarán como soporte técnico para trabajar junto
350 con otras agencias, para actualizar el informe de INGEI para el ICF. Con base en el INGEI, en el
351 último año de este proyecto, también apoyaremos al ICF para crear un plan estratégico de ajuste
352 de la salud forestal en respuesta al cambio climático. Se darán más detalles de la metodología en
353 la siguiente sección.

354 **1.2.1 Objetivos**

355 Específicamente, en este ítem de trabajo, nuestros objetivos son: 1) Brindar capacitación y
356 asistencia técnica al ICF, y con la ayuda del INGEI anterior, mapa base de cobertura terrestre,
357 identificar y estimar las áreas (hectáreas) de ganancias y pérdidas de cobertura forestal (datos de
358 actividad) utilizando imágenes satelitales (mosaicos para todo el país desde el año 2016 al 2021).
359 Además, con el uso de datos de teledetección y SIG, se ayudara en la estimación de las áreas
360 forestales (hectáreas) que permanecen (año 2016 hasta 2021), apoyando así la implementación del
361 SMNB. 2) Brindar apoyo técnico (capacitación) y revisar la metodología utilizada para estimar las
362 emisiones de CO₂ para cada tipo de cubierta forestal. Para ayudar con esto, se requieren bases de
363 datos obtenidas de la Unidad de Estadísticas Forestales del ICF (Inventario Forestal Nacional).

364 **1.2.2 Actualización, identificación y estimación de las áreas de ganancias y pérdidas de la** 365 **cubierta forestal**

366 Para lograr este objetivo, es necesario homologar las categorías de cobertura del suelo con las
367 categorías de cobertura establecidas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático

Tabla 2. Homologación de cobertura de bosques y Uso del Suelo

Macro-categoría	Categorías nacionales de cobertura del suelo	Categorías propuestas por el IPCC
Forest	Tropical rainy broadleaf forest	Forest lands
	Flooded broadleaf forest	
	Tique (<i>Acoelorrhaphe wrightii</i>)	
	Mixed forest	
	Deciduous broadleaf forest	
	Dense Conifer forest	
	Sparse conifer forest	
	Low Mangrove forest	
	High mangrove forest	
Non-forest	Humid secondary vegetation	Crop areas
	Deciduous secondary vegetation	
	Coffee plantations	
	African palm	
	Technified agriculture	
	Pasture/annual crops	Pasture
	Disperse trees outside of forests	
	Savannahs	
	Lakes and natural lagoons	Wetlands
	Artificial water bodies	
	Other water surfaces	
	Continental humid areas	
	Shrimp farms	Settlements
	Continuous urban	
	Discontinuous urban	
	Beach sandy areas	Other lands
	Bare soil	

El orden y la manera de presentar los datos para este INGEI se derivan de la agrupación de estas

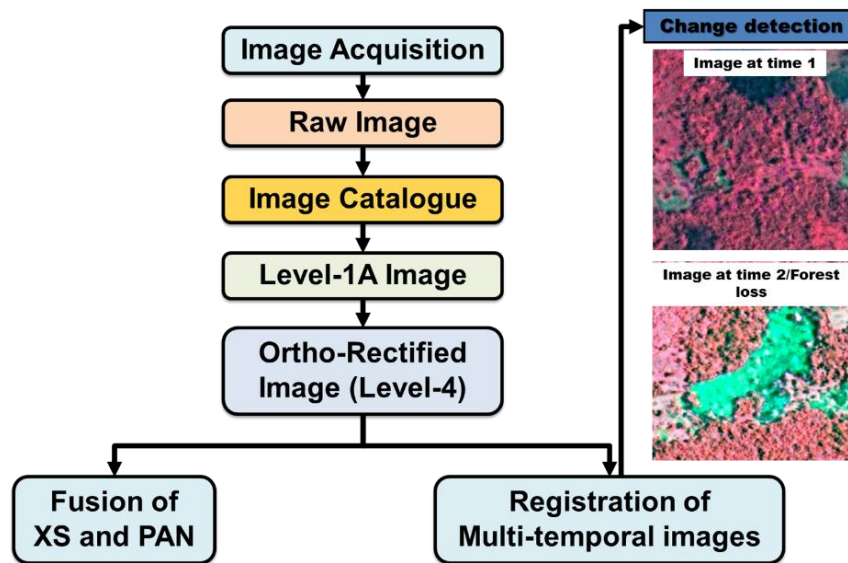
categorías, con la excepción de que para este caso los datos de actividad se especifican como

373 resultado de la conversión de tipos de bosques a no forestales directamente (sin discriminar los
374 tipos del uso de la tierra) y la conversión de bosques a bosques.

375 Los datos de actividad se han elaborado a partir de un mapa de cobertura terrestre base en 2012 y
376 la tipología forestal en Honduras, lo que indica que en el país existen cuatro macro ecosistemas,
377 que queremos conocer su dinámica en el período de análisis y así determinar cuál es los más
378 afectados por la deforestación en el nuevo período. Los macro ecosistemas que contiene el mapa
379 de tipología son 4: bosque húmedo de hoja ancha, bosque de hoja ancha decidua, bosque de
380 coníferas y bosque de manglar. ICF ha utilizado en el pasado imágenes satelitales de resolución
381 espacial media de los diferentes sensores disponibles (es decir, Landsat, MODIS, Sentinel) para la
382 generación de mosaicos (2000 a 2016) a nivel nacional, lo que ha servido de base para la
383 identificación de cambios en la cobertura forestal en el país, restos, pérdidas y ganancias (NREF).
384 La pérdida y las ganancias forestales futuras se calcularán utilizando métodos automáticos con
385 edición manual. Para este proceso, el método a seguir es la metodología estándar de detección de
386 cambios que incluye el procesamiento previo de imágenes multitemporales en el tiempo 1 y el
387 tiempo 2, y la detección de cambios en función de la información espectral utilizando algoritmos
388 de detección de cambios (Figura 13). Google Earth Engine también ha sido utilizado por el ICF
389 como una herramienta para detectar los cambios de forma automática. La estimación de las áreas
390 forestales estables se calculará utilizando el mapa base 2012, la tipología forestal de Honduras y
391 los cambios detectados para la deforestación. El mapa base contiene la información espacial de las
392 macro categorías de productos forestales y no forestales. Luego se realizará una intersección con
393 la capa de tipología del país para determinar las áreas de bosque para los cuatro tipos de bosque.
394 El trabajo que se desarrollará para este proyecto es revisar la metodología seguida por el ICF,
395 proporcionar asesoramiento técnico y definir las técnicas de capacitación para la detección de
396 cambios utilizando imágenes satelitales para realizar los ajustes adecuados en la metodología
397 establecida anteriormente. Además, se recopilarán datos de campo para validar los resultados

398

obtenidos a través de imágenes satelitales.



399

400

Figura 13. Diagrama de flujo para la detección de pérdidas y ganancias forestales

401

1.2.3 Estimación de los factores de emisión de CO₂ (Inventario Forestal Nacional) para cada tipo de cubierta forestal

402

403

Una de las principales fuentes de datos para la construcción del INGEI es el nivel de referencia para emisiones forestales (RLFE) (2017), que ha sido evaluado por un equipo técnico de expertos designado por el Marco de la Comisión de las Naciones Unidas sobre el clima cambio (UNFCC). Este documento presenta la estimación de las emisiones derivadas de la deforestación en un período de referencia de los años 2000-2006, 2006-2012 y 2012-2016 (Tabla 3 y 4). El RLFE propuesto tiene un alcance nacional y considera depósitos de biomasa aérea, subterránea, madera muerta, árboles muertos, basura y tocones (Figura 14).

404

405

406

407

408

409

410

El ICF estimó las emisiones totales de la deforestación en tres categorías diferentes: bosque húmedo de hoja ancha (incluye manglar), bosque de coníferas y bosque latifoliado seco. Las emisiones promedio de la deforestación para el período 2012-2016 son más de 14 millones de toneladas de CO₂ (tCO₂) por año y de acuerdo con los resultados adquiridos, hay una tendencia ascendente en las emisiones de la deforestación, especialmente de 2012 a 2016 (Tabla 4). El estrato más afectado en el análisis realizado es el bosque húmedo de hoja ancha, seguido por el bosque de coníferas y el menos afectado es el bosque latifoliado seco.

411

412

413

414

415

416

417

418

419

Tabla 3. Emisiones forestales promedio para el período 2000-2016

Period 2000-2016				
Estrato forestal	Carbon (tC/ha)	Carbon dioxide (tCO₂/h)	Deforestation promedio (ha/al año)	Emisiones históricas por deforestación (tCO₂/year)
Conifera	39.58	145.14	2,165	314,242.3
Latifoliado húmedo	100.29	367.72	39,432	14,499,964.5
Latifoliado seco	34.85	127.78	1,991	254,438.8
Total	184.71	677.26	43,589	14,814,206.8

Tabla 4. Promedio de emisiones por deforestación en el periodo 2000-2016

Periodo	Emisiones históricas por deforestación (tCO₂/año)
2000-2006	4,717,411.7
2006-2012	5,765,178.5
2012-2016	14,814,206.8
Promedio (2000-2016)	7,756,056.5



422

423

424

Figura 14. Nivel de referencia para las emisiones forestales (RLFE) desarrollado en Honduras

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

De acuerdo con las pautas emitidas por el IPCC 2006, los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero en el sector de cambio de cobertura de suelo deben presentar no solo emisiones, sino también remociones de carbono resultantes de actividades antropogénicas, por esta razón es necesario implementar metodologías usadas en el RLFE (2017) y que son consistentes con las Directrices de buenas prácticas del IPCC de 2003 y las pautas de 2006 para calcular los datos de actividad e identificar y determinar las áreas de ganancias forestales (remociones) en todo el territorio nacional. En este sentido, el NIGG reflejará las emisiones y las remociones de CO₂ que ocurrieron en Honduras en el período de 2016 a 2021. Las emisiones totales se entregarán en un período, lo que servirá para identificar las medidas de mitigación que se implementarán en el futuro.

435

Esta evaluación incluye las pérdidas forestales y las ganancias derivadas de la conversión de otras

436 tierras a la cubierta forestal y las pérdidas forestales, considerando que esto es el resultado de
437 actividades humanas. Para la estimación de las emisiones netas de CO₂, es necesario contar con
438 los datos de actividad y los factores de emisión correspondientes (EF) para cada una de las
439 categorías de uso forestal y otras, y el uso de otras variables (producción de leña, uso de bosques,
440 entre otros). El NIGG será el resultado de la multiplicación de los datos de actividad por los
441 factores de emisión (DA * FE).

442

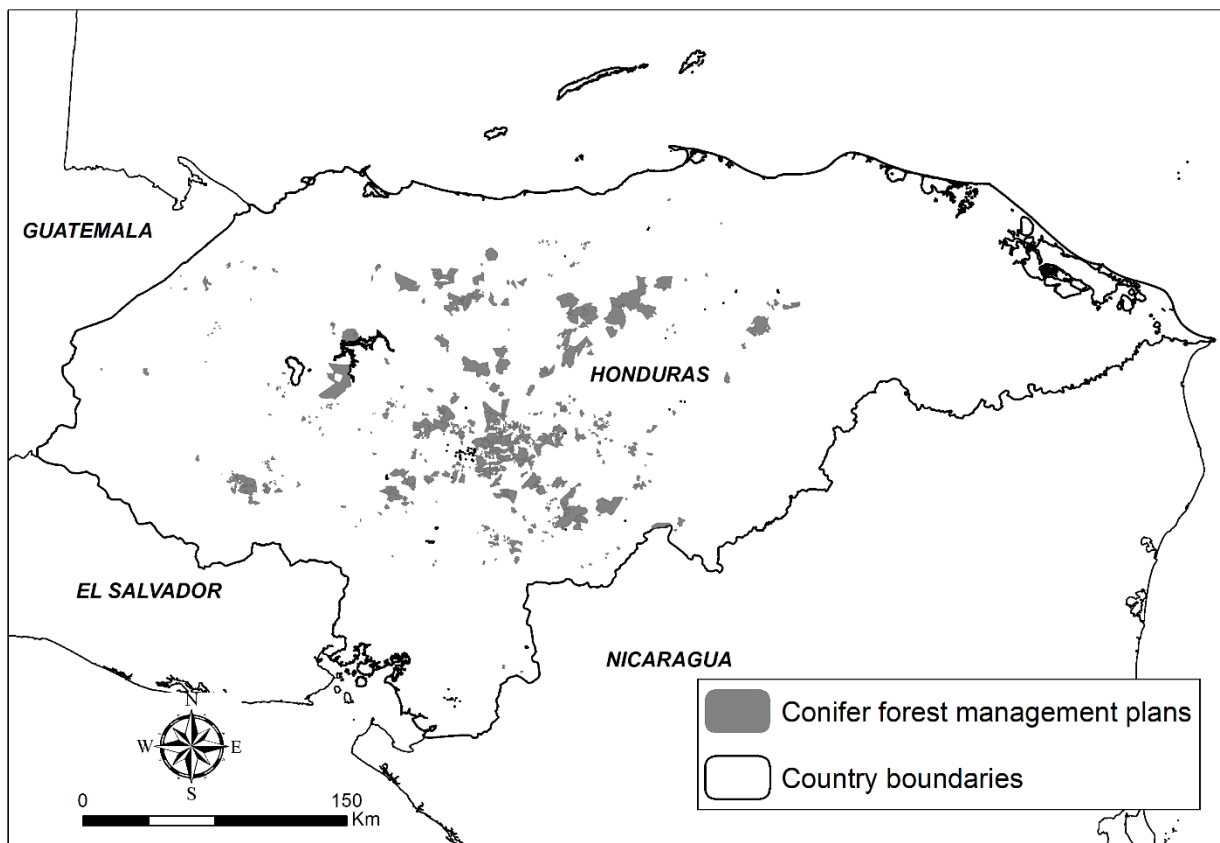
443 **1.3 Sitios de muestreo de gestión de la salud forestal:**

444 El ataque del escarabajo descortezador del pino causó, entre otros, daños económicos, sociales y
445 ambientales significativos a las personas y sus comunidades, y obstaculizó el desarrollo sostenible
446 de Honduras. Estas amenazas han dañado los bosques, la infraestructura y los sitios estratégicos
447 del país, como las cuencas que suministran agua a las comunidades, las represas, especialmente las
448 que producen energía hidroeléctrica, poniendo en riesgo la producción agrícola, ganadera y
449 energética del país.

450 Estas amenazas afectan considerablemente el acceso de los habitantes: al agua, a un ambiente
451 saludable, al trabajo, a la comida, a la vivienda, a la propiedad, al desarrollo; y perjudican, con
452 mayor énfasis, a ciertos grupos y sectores ya perjudicados, como los grupos indígenas que trabajan
453 en el sector forestal como cooperativas, y las comunidades que dependen del sector forestal para
454 el desarrollo, y otros.

455 Por esta razón, es importante identificar las causas profundas del mayor ataque del escarabajo
456 descortezador del pino, identificar las condiciones que lo condujeron y tratar de fomentar mejores
457 prácticas de manejo para reducir el riesgo de su aparición. Para los objetivos establecidos en este
458 proyecto, y para implementar técnicas de manejo forestal que sean sostenibles, económica y
459 ambientalmente, utilizando mejores prácticas de manejo que puedan mejorar la composición del

460 bosque y las condiciones del suelo, el ejecutor del proyecto junto con el Instituto Forestal de
461 Honduras (ICF) seleccionara tres áreas que servirán como áreas modelo en las que se
462 implementarán varias técnicas con el objetivo principal de eludir otro ataque de escarabajo de
463 corteza de pino a gran escala en el futuro, y la conservación del bosque. Los posibles sitios
464 demostrativos que se discutieron son tres: el primero, un área que está bajo la implementación de
465 un plan de manejo forestal y fue atacado por el escarabajo descortezador del pino, otro sitio que
466 está bajo la implementación de un plan de manejo forestal, pero no ha sido atacado por el
467 escarabajo descortezador del pino, y un tercero, un sitio que no tiene un plan de manejo forestal
468 implementado, pero fue atacado por el escarabajo descortezador del pino (Figura 15).



469
470 **Figura 15. Área con un plan de manejo forestal aprobado en ejecución dentro de las áreas**
471 **forestales de coníferas, estos son posibles sitios demostrativos.**

472
473 El objetivo del primer sitio es identificar si la implementación de las técnicas recomendadas en el
474 plan de manejo se implementó según lo planificado de manera oportuna y siguiendo las normas y

475 regulaciones establecidas por el ICF. Esto es para reunir la evidencia de las malas técnicas de
476 implementación e identificar si esto puede haber mejorado el ataque del escarabajo descortezador
477 del pino. Para el segundo sitio, es relevante identificar también la implementación de buenas
478 prácticas de manejo o las condiciones ambientales tales como las características del suelo y la
479 composición del bosque que impidieron un ataque masivo de escarabajo descortezador del pino.
480 Finalmente, en el tercer sitio, el propósito es identificar la necesidad de un bosque de la
481 implementación de técnicas de manejo para tener una mejor composición forestal, características
482 del suelo y en este caso evitar ataques masivos de plagas como los ocurridos entre 2012 y 2016.
483 Las acciones a desarrollar en los sitios demostrativos incluyen: revisión de los planes de manejo
484 forestal y técnicas de implementación para los sitios de manejo forestal, inventario forestal y
485 ejecución del plan de manejo forestal, y monitoreo continuo de posibles ataques de escarabajo de
486 corteza de pino en el campo y con el ayuda de UAV e imágenes satelitales. Además, los tres sitios
487 servirán como áreas demostrativas para la investigación de campo y giras de campo y también se
488 pueden usar para desarrollar capacitación y prácticas con el personal técnico de la ICF. Cada uno
489 de estos elementos se explicará en detalle en las siguientes subsecciones.

490 **1.3.1 Revisión de los planes de manejo forestal y técnicas de implementación**

491 La gestión forestal en nuestro país no ha recibido la importancia que se merece, los esfuerzos se
492 han enfocado en aspectos de productividad y aspectos de mejores prácticas de aprovechamiento,
493 que en sí mismos son solo aspectos que forman parte de un todo llamado manejo forestal. El
494 Manejo Forestal es un proceso orientado a lograr el máximo rendimiento del bosque para la
495 recolección de madera y proporciona bienes complementarios como agua, vida silvestre, entre
496 otros, en el proceso se espera lograr la regeneración natural y la recuperación de las áreas tratadas,
497 y minimizar los impactos ambientales que ocurren en el uso. De acuerdo con la legislación forestal
498 actual, ICF debe preparar y actualizar los planes de gestión y los planes operativos de las áreas
499 públicas; así como el monitoreo del adecuado cumplimiento de los mismos, ya sea directamente o

500 a través de terceros. Por lo tanto, es necesario contar con procedimientos claros que lo guíen en
501 todo el proceso relacionado con estas obligaciones. El proceso que inicialmente debe cumplirse y
502 que se refiere a la preparación y aprobación del documento que guiará el proceso. Para los dos
503 sitios bajo la implementación del plan de manejo forestal, se debe hacer una revisión del plan
504 aprobado, ya que los planes adecuados de manejo forestal deben cumplir al menos con los
505 siguientes aspectos:

- 506 • Ciclo de corte
- 507 • Inventario de recursos forestales
- 508 • División del área a someter a gestión forestal, generalmente sectores y estratos.
- 509 • Cómo y cuánto se reducirá en cada unidad de corte ya definida, tratamientos complementarios y
510 programa de corte.
- 511 • Plan operativo anual
- 512 • Productos que se extraerán
- 513 • Planes de reforestación si falla la regeneración natural
- 514 • Medidas de prevención, control y combate de incendios, plagas y enfermedades forestales.
- 515 • Técnicas forestales a ser implementadas y metodologías de marcado de árboles.
- 516 • Descripción clara y precisa de la red de carreteras que se utilizarán, las aberturas, los cierres y las
517 carreteras (aunque estas deberían reducirse al uso de mejores prácticas de gestión, como la
518 extracción tradicional o el cable).
- 519 • Mapas que muestren los puntos de inventario, las áreas a cortar, la clasificación de superficies,
520 la red de carreteras y cualquier otra información relevante o requerida por el regulador y el
521 facilitador.

522 Después de la revisión de los planes, se requieren inspecciones de campo con el personal técnico
523 de ICF en los sitios del ataque para determinar las causas del aumento y la expansión del escarabajo
524 descortezador del pino en el área 1 y determinar las condiciones. Se desarrollarán muestreos de las
525 características del suelo y mapeo, así como la revisión de las áreas donde se implementaron
526 técnicas forestales para revisar si siguen los estándares y si se han implantado mejores prácticas de
527 manejo según lo establecido en el plan (prácticas tales como el raleo para reducir densidad de
528 árboles que reduce en gran medida el riesgo de expansión del escarabajo descortezador del pino).
529 En el sitio 2, también se desarrollará una revisión exhaustiva del plan de manejo forestal en el plan
530 y en el campo para determinar las razones por las cuales el escarabajo descortezador del pino no
531 llegó a esta área. Para estos 2 sitios de demostración, después de un diagnóstico, promoveremos la
532 implementación de mejores prácticas de manejo, con el fin de reducir el riesgo de ataque del
533 escarabajo descortezador al bosque de pinos. Algunas prácticas incluyen el raleo: teniendo en
534 cuenta la productividad y el estado de salud del ecosistema forestal, el tratamiento silvícola del
535 raleo es muy importante ya que elimina el exceso de competencia en el rodaje y por lo tanto tiene
536 un producto mejor esperado y rodales más sanos y menos susceptibles a plagas y enfermedades.
537 Otras prácticas incluyen cortar y dejar árboles semilleros: tratamiento silvícola aplicado a bosques
538 medianos y maduros donde los mejores árboles se seleccionan fenotípicamente para proporcionar
539 una semilla excelente y dar como resultado una descendencia de excelentes características.
540 Implementación del plan de protección forestal: esto incluye la implementación adecuada de
541 rondas para evitar una posible propagación de incendios, quemas controladas para la reducción de
542 combustible y monitoreo del escarabajo descortezador del pino del bosque y climatológico.

543 **1.3.2 Inventario forestal y ejecución del plan de manejo forestal**

544 Para el sitio de estudio tres, es importante determinar las causas ambientales del ataque del
545 escarabajo descortezador del pino, pero dado que este sitio seleccionado no se encuentra bajo la
546 implementación de un plan de manejo, es fácil determinar la necesidad de implementar uno.

547 Implementar un plan, ya que el primer paso es desarrollar un inventario forestal. Un inventario
548 forestal consiste en la recopilación sistemática de datos sobre los recursos forestales de un área
549 determinada. Permite la evaluación del estado actual y sienta las bases del análisis y la planificación,
550 que constituyen el punto de partida de una gestión forestal sostenible. Su importancia radica en el
551 hecho de que solo es posible adoptar decisiones basadas en información confiable y sólida, por lo
552 que es necesario un proceso cíclico de recopilación de datos, toma de decisiones y evaluación de
553 los resultados obtenidos. Debido a limitaciones de tiempo y costo, los inventarios generalmente se
554 llevan a cabo utilizando técnicas de muestreo. En general, todas las operaciones relacionadas con
555 un inventario deben seguir al menos los siguientes pasos: definición de los objetivos del inventario
556 y la información deseada. Desarrollo del diseño y métodos de muestreo, recopilación de datos
557 (encuestas de campo, análisis de datos obtenidos por teledetección y otras fuentes), análisis de
558 datos y publicación de resultados. Con esta información adquirida, se elaborará un plan de manejo
559 forestal para su futura ejecución. El plan debe incluir prácticas silvícolas claras y establecidas que
560 sigan los componentes mencionados en la sección 1.3.1, por lo que puede ser un plan integral con
561 las mejores prácticas de manejo forestal.

562

563 **1.3.3 Monitoreo de posibles ataques de escarabajo de corteza de pino en el campo y con la** 564 **ayuda de UAV e imágenes satelitales**

565 Para monitorear las posibles amenazas de ataques de escarabajo de corteza de pino, se
566 implementará un sistema de detección y monitoreo permanente para evaluar la dinámica de plagas
567 en los bosques a nivel local a través de imágenes satelitales (Landsat, Sentinel), sobrevuelos,
568 drones y topografía. Además, con el uso de imágenes de satélite Landsat-8 y Sentinel-2 que tiene
569 una resolución espacial más alta, es posible utilizar el índice de humedad de diferencia normalizada
570 (NDMI) que ha demostrado ser más eficiente para identificar el ataque de escarabajos de corteza
571 de pino y es más preciso que el índice de diferencia de humedad mejorada (EWDI). Este índice

572 contrasta la banda 4 infrarroja cercana (NIR), que es sensible a la reflectancia del contenido de
573 clorofila foliar a la banda SWIR de infrarrojo de onda corta 5, que es sensible a la absorbancia de
574 la humedad de la hoja. Se aplicará tecnología satelital y UAV junto con el monitoreo de la
575 inspección de campo de las poblaciones para un mejor monitoreo.

576

577 **2. Desarrollar mapas de riesgo del escarabajo descortezador de pino en Honduras**

578 En este Proyecto, para planificar medidas más focalizadas a tomar para controlar la infección por
579 el escarabajo descortezador del pino, es necesario identificar las áreas que tienen una alta
580 susceptibilidad a los incidentes de plagas. Según la literatura, el escarabajo descortezador del pino
581 es más propenso a los ataques durante la estación seca, por esta razón es necesario realizar esta
582 actividad en diferentes períodos de tiempo. Para este proyecto, crearemos mapas de susceptibilidad
583 al ataque del escarabajo descortezador de pino para la estación seca (diciembre-mayo) y la estación
584 húmeda (junio-noviembre). El primer período corresponde al período en el que también los
585 incendios forestales son comunes y también corresponden a las tasas de precipitación más bajas y
586 las temperaturas más altas. Para este elemento de trabajo, utilizaremos los puntos de datos
587 históricos donde el escarabajo descortezador del pino ha atacado y vincularemos estos puntos con
588 una serie de variables que de acuerdo con la revisión de la literatura tienen influencia, para luego
589 identificar las áreas donde hay alta susceptibilidad a la ocurrencia de un ataque del gorgojo del
590 pino. Las predicciones de la susceptibilidad al ataque de los escarabajos descortezador y su
591 variabilidad espacial son instrumentos importantes que las autoridades locales deben utilizar para
592 la gestión forestal adecuada y planes de conservación. Los resultados de este elemento de trabajo
593 pueden ayudar al Instituto Forestal de Honduras (ICF) y a las agencias ambientales locales a
594 implementar estrategias localizadas para reducir el daño y los impactos causados por los ataques
595 de escarabajo descortezador del pino en una región vulnerable y propensa al cambio climático.

596

597 **2.1 Objetivos**

598

599 Específicamente, lograremos tres objetivos: 1) Identificar las variables climatológicas, de
600 vegetación y antropogénicas que son relevantes o tienen una contribución importante para la
601 ocurrencia de ataques de escarabajo descortezador en los bosques de pino en Honduras. 2) Estimar
602 la susceptibilidad del escarabajo descortezador del pino espacialmente explícito (estación seca y
603 estación húmeda) vinculando la teledetección y los datos del SIG con los ataques históricos del
604 escarabajo descortezador del pino; y 3) utilizar variables climatológicas bajo diferentes escenarios
605 de cambio climático para modelar la susceptibilidad futura del escarabajo descortezador del pino.
606 Los detalles de la metodología a seguir para lograr los tres objetivos diferentes se darán en las
607 siguientes secciones.

608

609 **2.2 Metodología**

610

611 Para identificar la variabilidad espacial de la susceptibilidad al ataque del escarabajo descortezador
612 del pino, la metodología diseñada (Figura 16) seguirá tres pasos principales: (1) recolección de
613 datos, (2) procesamiento de datos, análisis exploratorio de variables e importancia de variables, (3)
614 modelado espacial y validación. Cada uno de los pasos se explica en detalle en las siguientes
615 secciones.

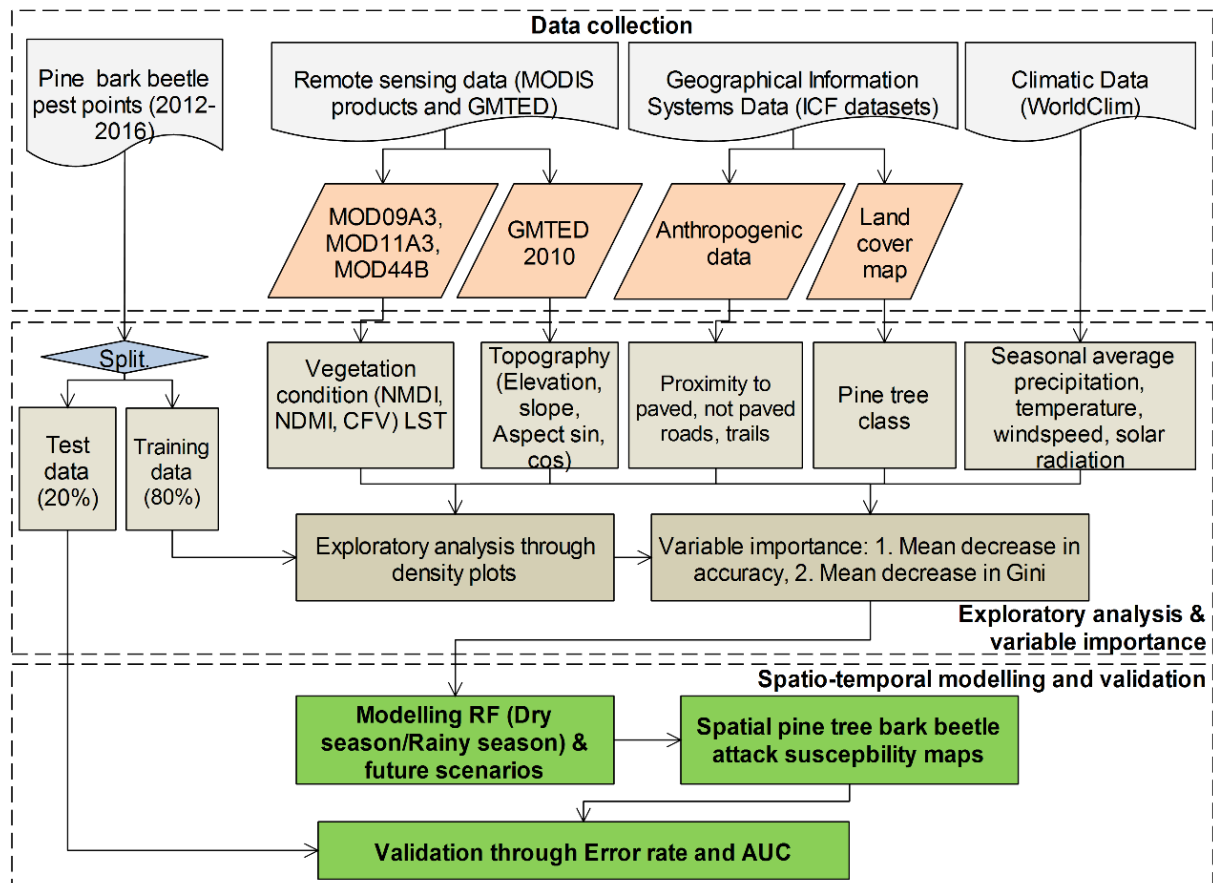


Figura 16. Diagrama de flujo de metodología para el elemento de trabajo.

616

617

618

6192.2.1 Recopilación y procesamiento de datos

620

Existen diferentes fuentes de datos espaciales disponibles para preparar las covariables (Tabla 3).

621

Algunos de los datos son espacio-temporales, por lo tanto, es necesario prepararlos cada dos

622

períodos. Los datos de teledetección utilizados se subdividen en datos MODIS y datos de elevación

623

de terreno multi resolución global (GMTED). Necesitamos tres productos MODIS diferentes:

624

datos de reflectancia de superficie (MOD09A3) con una resolución de 500 m y resolución temporal

625

de 8 días, temperatura superficial terrestre MODIS (LST) (MOD11A3) con una resolución espacial

626

de 1 km y resolución temporal de 8 días y los Campos Continuos de Vegetación (CFV) MODIS,

627

Producto MOD44B. A partir de los datos de reflectancia de superficie MOD09A3, podemos

628

preparar el índice de sequía multibanda normalizada (NMDI) y el índice de humedad de diferencia

629

normalizada (NDMI) ya que ambos índices han sido útiles para evaluar el contenido de agua de la

630

vegetación y la sequía del suelo, ambas variables son claves en la ocurrencia de brotes de

631

escarabajos de corteza de pino, según eventos históricos. El NMDI indica condiciones secas

632

cuando está cerca de 0 y las condiciones húmedas cuando los valores están cerca de 1.

633

Este índice contrasta la banda 4 infrarroja cercana (NIR), que es sensible a la reflectancia del

634 contenido de clorofila foliar a la banda SWIR de infrarrojo de onda corta 5, que es sensible a la
635 absorbancia de la humedad de la hoja. Se ha demostrado que este índice es más preciso que el
636 índice de diferencia de humedad mejorada (EWDI), que se usaba comúnmente anteriormente para
637 detectar ataques de escarabajo de corteza de pino.

638 Además, se requiere el CFV adquirido del producto MOD44B que se incluye para conocer la
639 variabilidad de la densidad de la vegetación. Este es un concepto relativamente nuevo para estimar
640 el porcentaje de cobertura del dosel. El CFV consiste en estimaciones proporcionales de la cubierta
641 del dosel para diferentes tipos de vegetación mediante el modelado de datos obtenidos por
642 teledetección. Cada valor de píxel corresponde a una estimación de cobertura de dosel prevista a
643 través de un modelo de regresión. En este estudio, utilizaremos el CFV para la vegetación leñosa
644 (bosques). Además del LST adquirido de MODIS como datos climatológicos, incluiremos las
645 variables climatológicas de los datos de WorldClim, que comprenden: datos de velocidad del viento,
646 radiación solar, precipitación y temperatura. Los datos de WorldClim son una versión mejorada y
647 podemos adquirirlos durante la estación seca de noviembre a mayo y para la temporada de lluvias
648 de junio a octubre. Estos datos tienen una resolución espacial de 1 km (Hijmans et al., 2016). Los
649 datos deben proyectarse a UTM y se remuestrearán a 500 m. Para conjuntos de datos futuros,
650 utilizaremos los conjuntos de datos de WorldClim que se preparan bajo diferentes modelos de
651 circulación global (GCM) con diferentes escenarios de emisión de gases de efecto invernadero,
652 llamados Representantes de Rutas de Concentración (RCP) (Hijmans et al., 2006). Estos conjuntos
653 de datos se reducen a una resolución espacial de 30 segundos (de longitud / grado de latitud) (esto
654 es alrededor de 1000 metros en Honduras).

655 Vamos a derivar las variables topográficas de elevación y pendiente desde el GMTED a 500 metros
656 de resolución espacial. Para representar la huella humana, utilizaremos los datos SIG adquiridos
657 de la base de datos ICF-CIPF y SINITHN para poder derivar factores, como la proximidad a
658 carreteras y senderos (pavimentados y no pavimentados) utilizando la herramienta de distancia
659 euclidiana en la caja de herramientas Spatial Analyst en ArcGIS.

660

661

662

663

664

665

666

667

Tabla 5. Variables utilizadas para predecir la variabilidad espacial de la plaga del escarabajo de la corteza del pino.

Variables	Resolución	Fuente	Descripción
Índice de sequía multibanda normalizado (NMDI)	500 m	MODIS MOD09A3	Monthly estimates (unitless)
Índice de la diferencia de humedad normalizado (NDMI)	500 m	MODIS MOD09A3	Monthly estimates (unitless)
Temperatura de la superficie (LST)	1 km	MODIS MOD11A1	Celsius
Elevacion	500 m	GMTED 2010	Elevacion (msnm)
Pendiente	500 m	GMTED 2010	Degrees (°)
Radiación solar	1 km	WorldClim data	(kJm ⁻² /day ⁻¹)
Velocidad del viento	1 km	WorldClim data	Monthly average m s ⁻¹
Temperatura	1 km	WorldClim data (Presente/futuro)	Monthly average °C
Precipitación	1 km	WorldClim data (Presente/futuro)	Monthly total precipitation (mm)
Proximidad a carretera pavimentada	500 m	ICF GIS base de datos	Euclidean distance (m)
Proximidad a carretera no-pavimentada	500 m	ICF GIS base de datos	Euclidean distance (m)
Proximidad a senderos	500 m	ICF GIS base de datos	Euclidean distance (m)
Campos de vegetacion continua (CFV)	250 m	MODIS MOD44B	Yearly (unitless)
Densidad de incendios	500 m	ICF IS base de datos	density

Finalmente, con el uso de la base de datos de incendios forestales del ICF, incluiremos la densidad de incendios como una variable. Es ampliamente reconocido que la presencia persistente de

673 incendios forestales debilita la estructura del bosque, haciéndolo más propenso al ataque de
674 cualquier plaga.

675 676 **2.2.2 Análisis exploratorio de datos e importancia variable**

677
678 Para observar el comportamiento de cada variable individual, necesitamos preparar los gráficos de
679 dependencia parcial para tener una representación gráfica de la relación entre las variables
680 individuales y la probabilidad prevista de ataque del escarabajo descortezador del pino, estimado
681 a partir del RF.

682 Los gráficos de dependencia parcial se generan incorporando los efectos de todas las variables
683 además de la variable de interés. Los datos de dependencia parcial se construyen seleccionando
684 puntos separados uniformemente a lo largo de la distribución de la variable X de interés. Para cada
685 valor ($X = x$), la predicción promedio del RF sobre todas las demás variables en X se calcula
686 utilizando lo siguiente:

$$687 \tilde{f}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{f}(x, x_{i,o}),$$

688
689 donde \hat{f} es la respuesta prevista del RF y $x_{i,o}$ es el valor de todos los otros predictores excepto
690 $X = x$ para la observación. Básicamente, se estima un promedio de las predicciones para cada
691 observación en el conjunto de entrenamiento en el valor de $X = x$.

692 Las predicciones promedio obtenidas de este método son más que solo relaciones marginales
693 entre el evento y las variables. Cada una de las predicciones se realiza utilizando la información
694 de todos los otros predictores de una observación, por lo tanto, el método proporciona la
695 dependencia parcial en lugar de la dependencia marginal. La relación que se muestra en una
696 gráfica de dependencia parcial contiene el vínculo entre $X = x$ y \hat{f} y también incluye los efectos
697 promediados con todos los otros predictores X. La importancia de la variable a través del
698 algoritmo de RF tiene dos medidas para determinar la potencia explicativa de la variable. Este
699 análisis es útil para determinar qué variables son los factores más relevantes que contribuyen al
700 ataque del escarabajo descortezador del pino en los bosques de coníferas de Honduras. La
701 importancia de la variable se mide por la disminución media en la precisión de predicción y la
702 disminución media en Gini. La disminución media de precisión se completa al estimar la precisión
703 de árboles individuales y luego comparar la predicción que se realiza utilizando un subconjunto

704 de observaciones con la predicción de observaciones fuera de la bolsa (OOB). Para cada variable,
705 las observaciones OOB se permutan aleatoriamente y el MSE se vuelve a calcular. La diferencia
706 MSE para cada árbol se promedia y se normaliza mediante la desviación estándar de las
707 diferencias. Una variable con un aumento mayor en MSE indica un mayor grado de su
708 importancia. Como alternativa, la segunda medida es el aumento total en la pureza del nodo de la
709 división en cada variable, promediada sobre todos los árboles. Una variable con un aumento
710 mayor en la pureza del nodo indica su mayor grado de importancia.

711

712 **2.2.3 Modelado y validación espacial**

713

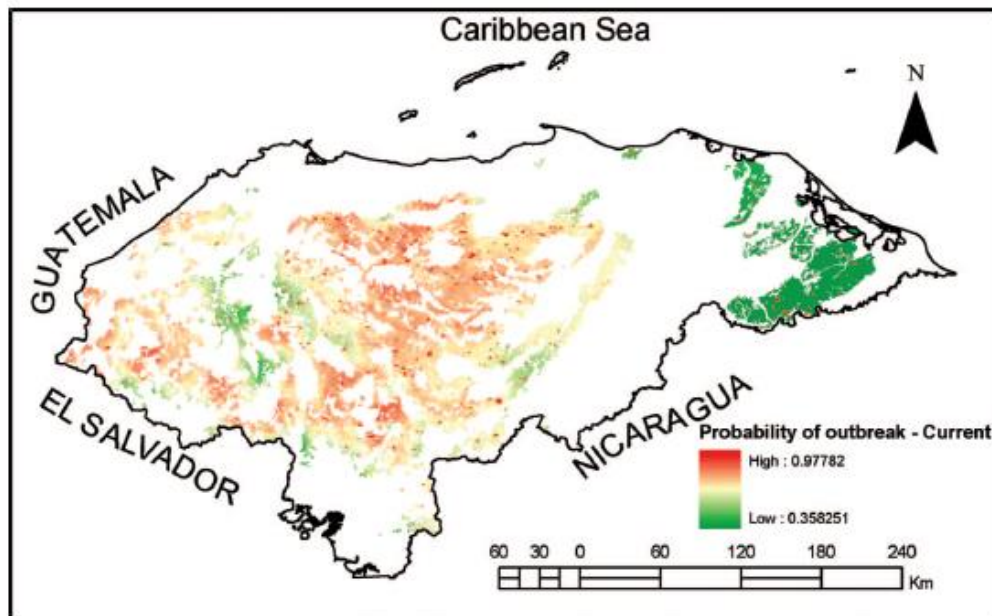
714 El modelado de RF es un método de aprendizaje automático que utiliza el promedio de muchos
715 árboles de clasificación o regresión individual, y cada árbol se crea utilizando solo una parte de los
716 datos de entrenamiento. El bosque aleatorio tiene varias ventajas sobre otros algoritmos de
717 aprendizaje automático. Una de ellas es que puede usarse para tareas de clasificación y regresión.
718 Otra ventaja es que puede superar el problema de sobreajuste utilizando una gran cantidad de
719 árboles en el bosque, por lo que el clasificador no sobre agregará al modelo. RF es un poderoso
720 algoritmo que puede manejar la alta complejidad del área de estudio y la alta dimensionalidad de
721 los datos. El uso de una gran cantidad de árboles permite que el algoritmo de RF tenga una mayor
722 precisión de predicción superando el problema de ambigüedad que existe al usar un árbol
723 individual.

724 El algoritmo de RF tiene dos etapas, una es la creación de un modelo de bosque aleatorio, y la otra
725 es hacer una predicción a partir del modelo de bosque aleatorio creado en la primera etapa. En la
726 primera etapa, la RF funciona seleccionando un número de árboles de decisión usando muestras
727 de arranque y eligiendo algunas variables explicativas en cada nodo. Una cierta cantidad (un tercio)
728 de las observaciones originales de la muestra de arranque se incluyen al menos una vez y las
729 observaciones que no se incluyen se llaman out-of-bag (OOB). Los árboles de clasificación o
730 regresión se ajustan individualmente a una muestra, y en los nodos, solo se utiliza un subconjunto
731 de variables aleatorizadas. En esta primera etapa, utilizaremos el 80% de los puntos de muestra
732 adquiridos a través de ICF Honduras y extraeremos la información de las variables mencionadas
733 en la sección anterior. Para contrastar, también requerimos que la segunda etapa sea la predicción,
734 que se basa en los resultados de la mayoría de todos los árboles. Para estimar la tasa de error y el
735 MSE, se utilizan las observaciones OOB, por lo tanto, no se requiere un conjunto de datos de
736 prueba independiente, aunque todavía se prueba de forma independiente fuera del modelado de RF.
737 Los dos parámetros más relevantes para el ajuste de RF son la cantidad de árboles (ntree) y el

738 número de variables que se deben probar en cada división (mtry). Estos dos valores se pueden
739 encontrar utilizando una función llamada tuneRF que calcula a diferentes valores *mtry* y *ntree* la
740 precisión y proporciona los valores que ofrecen la mayor precisión.

741 Necesitamos ejecutar el modelo utilizando todas las variables explicativas no correlacionadas, y
742 las variables que mostraron menor importancia se pueden eliminar, después del análisis de
743 importancia variables. El modelo se puede volver a ejecutar usando solo las variables explicativas
744 más relevantes, dado que consideramos irrelevantes, y luego podemos ajustar el modelo. Entonces
745 podemos realizar la predicción de la susceptibilidad en todo el país con bosques de coníferas.
746 Después de la predicción, validamos nuestros resultados utilizando MSE, la validación interna
747 utilizada por el RF. La base de datos adquirida del ICF debe separarse para entrenamiento del
748 modelo (80%), y validación (20%).

749



750

751 **Figura 17. Superficie de respuesta de la probabilidad de un brote de escarabajo**
752 **descortezador del pino en condiciones climáticas actuales o normales.**

753

754 Podemos usar el 80% para el entrenamiento del modelo y el 20% para la validación. También
755 podemos realizar una validación independiente utilizando el 20% de los puntos de ataque del
756 escarabajo de corteza como el conjunto de datos de prueba independiente para medir la aptitud del
757 modelo por parte del área bajo la curva (AUC). Un valor de AUC de 0.5 indica que la predicción
758 no es mejor que la aleatoria, los valores por debajo de 0.5 son peores que los aleatorios, y valores
759 superiores a 0.5 mejor que los aleatorios.

760 Durante este período, el ejecutor del proyecto creará dos mapas de riesgo de plaga del árbol de

761 pino al año, uno para la estación seca y otro para la estación húmeda.

762

763 **3. Desarrollar métodos de manejo de plagas forestales**

764 Las tareas en estos elementos de trabajo incluyen (1) mecanismo de brote de plagas forestales y
765 modelo de expansión, (2) tecnología de teledetección y monitoreo de superficie, (3) métodos de
766 informe y comunicación de desastres, (4) métodos de investigación de pérdidas y (5) modelo de
767 alerta temprana para la plaga forestal. Detalles a continuación:

768

769 **3.1 Mecanismo de brote de plagas forestales y modelo de expansión**

770 En el primer año del proyecto, la tarea principal es recopilar datos históricos para construir modelos.

771 En el segundo año del proyecto, se planea completar el mecanismo de brote de plagas y los modelos
772 de expansión.

773

774 **3.1.1 Recolección de datos históricos**

775

776 Los incidentes de plagas de insectos se han producido muchas veces históricamente. Al estar
777 influenciados por El Niño y los climas extremos, las sequías y los datos de temperatura más altos
778 en las regiones de América Central alcanzan el número más alto de la historia. El impacto también
779 ha proporcionado un ambiente amigable de reproducción para los escarabajos del pino. La
780 recopilación de datos ambientales de incidentes recientes de plagas se puede utilizar en el análisis
781 de antecedentes sobre los brotes de plagas y la expansión en Honduras.

782 Dos períodos de recolección de datos incluyen: el primer período de plagas de 1998 a 2002 y el
783 segundo período de plagas de 2014 a 2016. El análisis de ambos períodos incluye (1) mapas
784 históricos de plagas forestales, (2) datos climáticos históricos durante períodos de plagas forestales,
785 (3) Análisis del brote histórico de plagas y su interacción con el medio ambiente. Más detalles para
786 la recopilación de datos se muestran en las siguientes secciones.

787

788

789

790

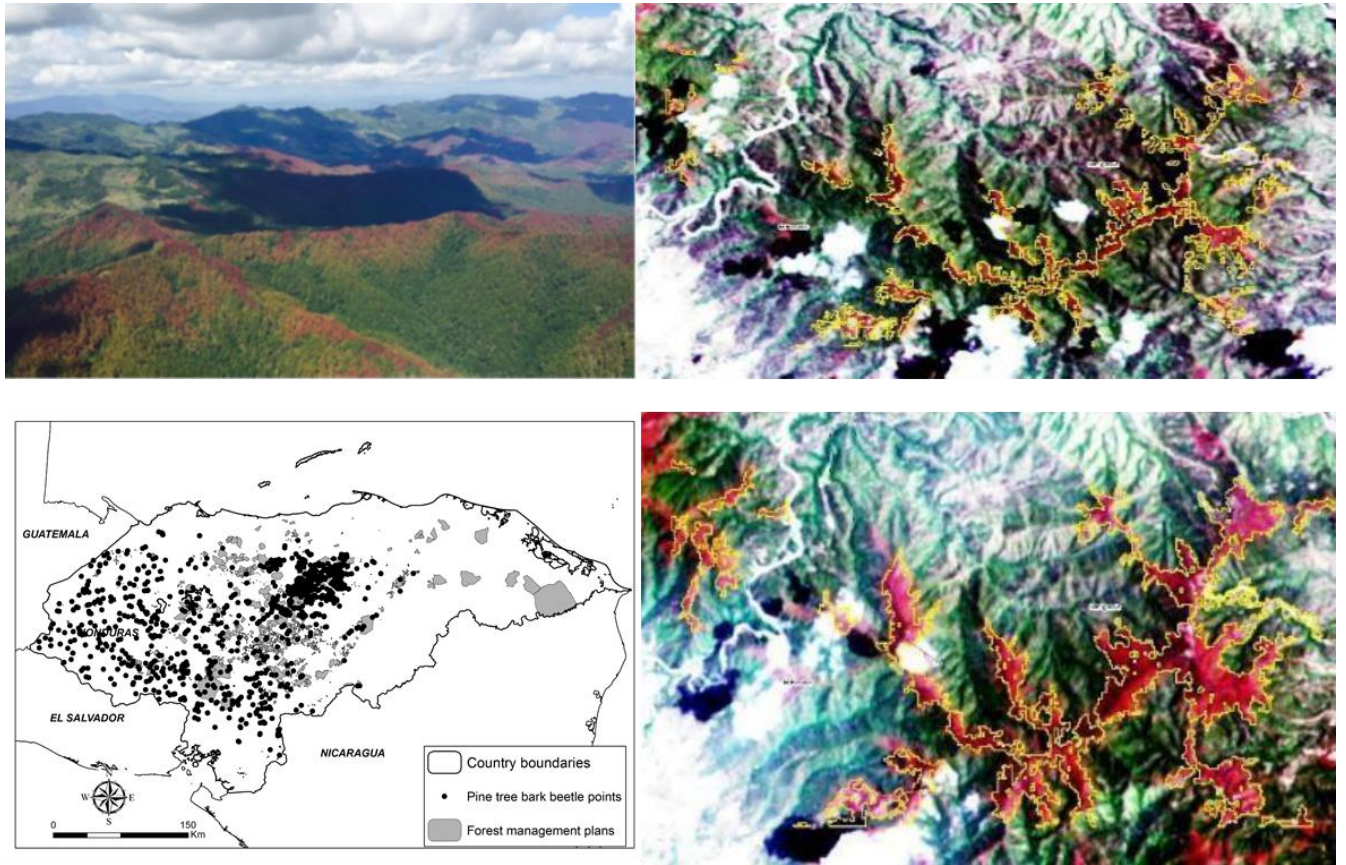
791

792

793

794 **3.1.1.1 Mapas históricos de plagas forestales (10 mapas)**

795 A lo largo del tiempo, han habido diferentes brotes de escarabajos descortezador del pino (PBBO)
796 en los bosques de coníferas de Honduras. En las últimas décadas, el cambio climático ha tenido
797 manifestaciones extremas con el evento de El Niño, por lo que las variaciones climáticas han
798 alcanzado los récords más altos en términos de sequías prolongadas y altas temperaturas en los
799 años, provocando los PBBO de 1998-2002 y 2014 a 2017. El estrés hídrico en los árboles, favoreció
800 los niveles de propagación del escarabajo descortezador del pino, especialmente *Dendroctonus*
801 *frontalis*, sin embargo, otras especies de *Dendroctonus* sp aparecieron, los que causaron
802 infestaciones que alcanzaron 40,300 hectáreas en el primer período (1998-2002) y 511,554
803 hectáreas infectadas de bosques de pinos en el segundo período (2014-2016). Para los fines
804 establecidos en este elemento de trabajo, es importante la recopilación de datos geoespaciales
805 disponibles en las diferentes plataformas y departamentos del ICF, específicamente la ubicación
806 espacio-temporal de los sitios en los que se produjeron los ataques, durante ambos períodos.
807 Durante el ataque, se implementó la detección y monitoreo permanente para evaluar la dinámica
808 de plagas en los bosques a nivel nacional a través de imágenes de satélite (LANDSAT, Sentinel),
809 sobrevuelos, drones y agrimensura, para lo cual se realizaron alianzas estratégicas y acciones para
810 la participación y el fortalecimiento de las capacidades de las instituciones del Estado, los
811 municipios, las organizaciones de la sociedad civil organizada, los consejos asesores y las
812 comunidades, entre otros. Para el monitoreo de imágenes satelitales, la presencia de nubes siempre
813 representó una gran dificultad, por lo que la identificación del ataque se realizó anualmente cuando
814 se adquirieron imágenes claras. Para ello, con la ayuda del Centro de información del ICF,
815 adquiriremos los puntos en los que se identificó el ataque del gorgojo, utilizando todos los medios
816 posibles, y mapeamos espacio-temporalmente de forma anual (2014-2017), con la expectativa de
817 que también podamos adquirir los datos de la plaga durante los primeros años del siglo (2002).



818

819 **Figura 18. Algunos ejemplos de la detección por satélite del PBBO durante el período 2014-**
 820 **2017.**

821 Además, generaremos un mapa de Puntos calientes para cada año durante la plaga con el fin de
 822 utilizar las áreas de puntos calientes en un análisis posterior de las variables ambientales que
 823 pueden darnos una idea amplia de la interacción dentro de las covariables y las áreas afectadas.
 824 Para identificar agrupaciones espaciales con una alta o baja concentración de áreas infectadas con
 825 el escarabajo descortezador de pino, necesitamos calcular las estadísticas locales Getis-Ord G_i^*
 826 (Getis y Aldstadt 2004; Ganguly et al. 2017), que se pueden estimar utilizando lo siguiente:

827

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \mu \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{s \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{1,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}}$$

828

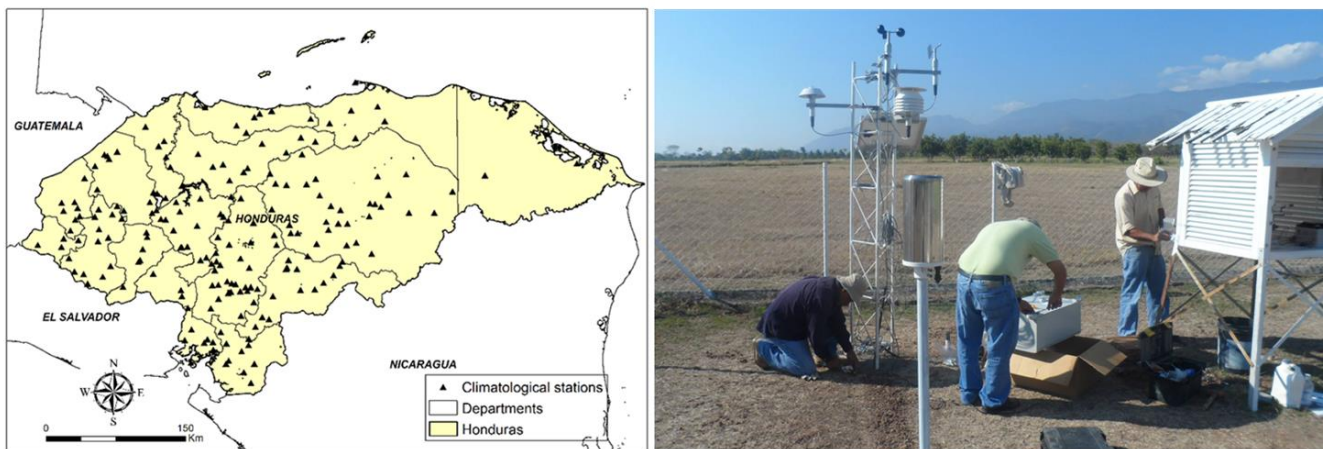
donde x_j es el atributo para cada objeto j , $w_{i,j}$ es el peso especial entre el objeto i y j , n es el
 829 numero total de objetos, μ es la media, y s es la desviación estándar de los datos en cada celda.

830 La estadística G_i^* se asocia con un puntaje z , que se puede usar para probar su significancia
831 estadística. Un punto caliente representa una agrupación de puntos positivos estadísticamente
832 significativos, y una zona fría un agrupamiento de puntos negativos estadísticamente significativas
833 (Prasannakumar et al., 2011).

834 3.1.1.2 Análisis de la reconstrucción de datos meteorológicos utilizando datos de campo y 835 satélite

836 La disponibilidad de datos climatológicos es escasa en Honduras, y el uso de la información de
837 estaciones climatológicas no es lo suficientemente confiable, especialmente en regiones remotas,
838 donde la recolección de datos se basa en el trabajo manual. Además, la densidad de estaciones
839 climatológicas en Honduras es demasiado baja para producir información confiable espacialmente
840 (Figura 19), a pesar de la introducción de 46 estaciones meteorológicas nuevas y modernas en 2014.
841 Estas nuevas estaciones meteorológicas tendrán ahora una tecnología digital, lo que les permite
842 recibir los datos vía GPRS a 2 servidores, uno ubicado en el Servicio Meteorológico Nacional
843 (SMN) y otro que recibe la misma información (servidor espejo) en los laboratorios de la
844 Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH).

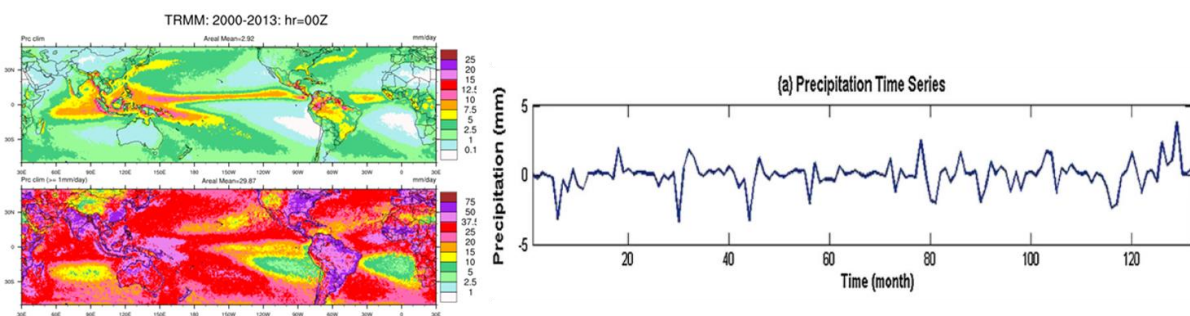
845



846

847 **Figura 19. Ubicación de las estaciones climatológicas administradas por el Centro**
848 **Meteorológico en Honduras**

849 Para hacer frente a esta dificultad, el uso de datos de teledetección, nuevos modelos climáticos y
850 nuevos algoritmos ha hecho que la situación sea más factible para adquirir y producir, cuando sea
851 necesario, productos reticulados para el modelado espacial y temporal a una resolución más alta.
852 Para esto, también haremos uso de este tipo de datos disponibles para la reconstrucción de series
853 temporales durante el período de la plaga. Esta reconstrucción de series de tiempo puede ayudarnos
854 a identificar los eventos o condiciones subyacentes que desencadenaron el ataque del 2014-2016.
855 Algunos de los datos disponibles para la reconstrucción de series temporales son la Misión de
856 Medición de Precipitaciones Tropicales (TRMM), una misión conjunta de la NASA y la Agencia
857 de Exploración Aeroespacial de Japón, que se lanzó en 1997 para estudiar las precipitaciones para
858 la investigación meteorológica y climática. Los datos de lluvia de TRMM han dejado de funcionar
859 en 2015, sin embargo, otras misiones se han hecho cargo de continuar la generación de datos de
860 lluvia en todo el mundo.

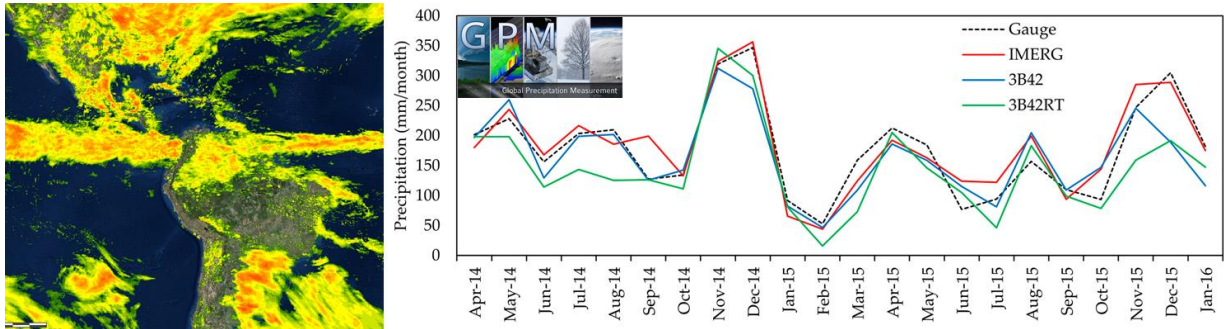


861
862 **Figura 3. Ejemplo de datos de TRMM globalmente, y la extracción de series temporales de**
863 **precipitaciones mensuales.**

864
865 Una de ellas es la misión de Medición Global de Precipitaciones (GPM, por sus siglas en inglés),
866 que es una red internacional de satélites que proporciona observaciones de lluvia de la próxima
867 generación. Sobre la base del éxito del TRMM, el concepto de GPM se centra en el despliegue de
868 un satélite "Core" que lleva un sistema avanzado de radar / radiómetro para medir la precipitación
869 desde el espacio y sirve como referencia para unificar las mediciones de precipitación de una

870 constelación de investigación y satélites. El GPM se lanzó en abril de 2014 y proporciona
 871 mediciones de precipitación global con precisión, cobertura y rango dinámico mejorados para
 872 estudiar las características de precipitación.

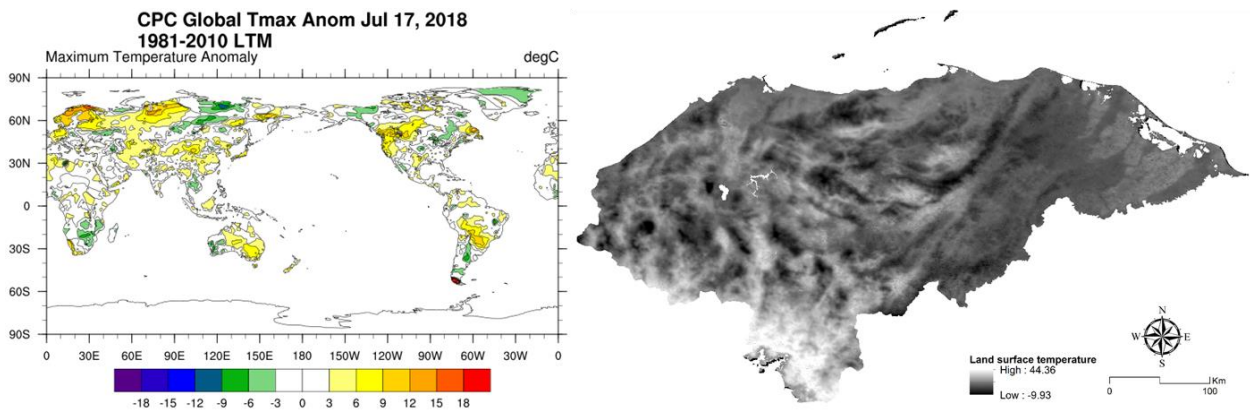
873



874

875 **Figura 20. Ejemplo de datos de precipitación GPM (IMERG) y reconstrucción de series de**
 876 **tiempo en comparación con TRMM y datos de pluviómetros.**

877



878

879 **Figura 21. Ejemplo de temperatura global en cuadrícula CPC y MODIS LST reconstruido**
 880 **durante un mes en Honduras**

881

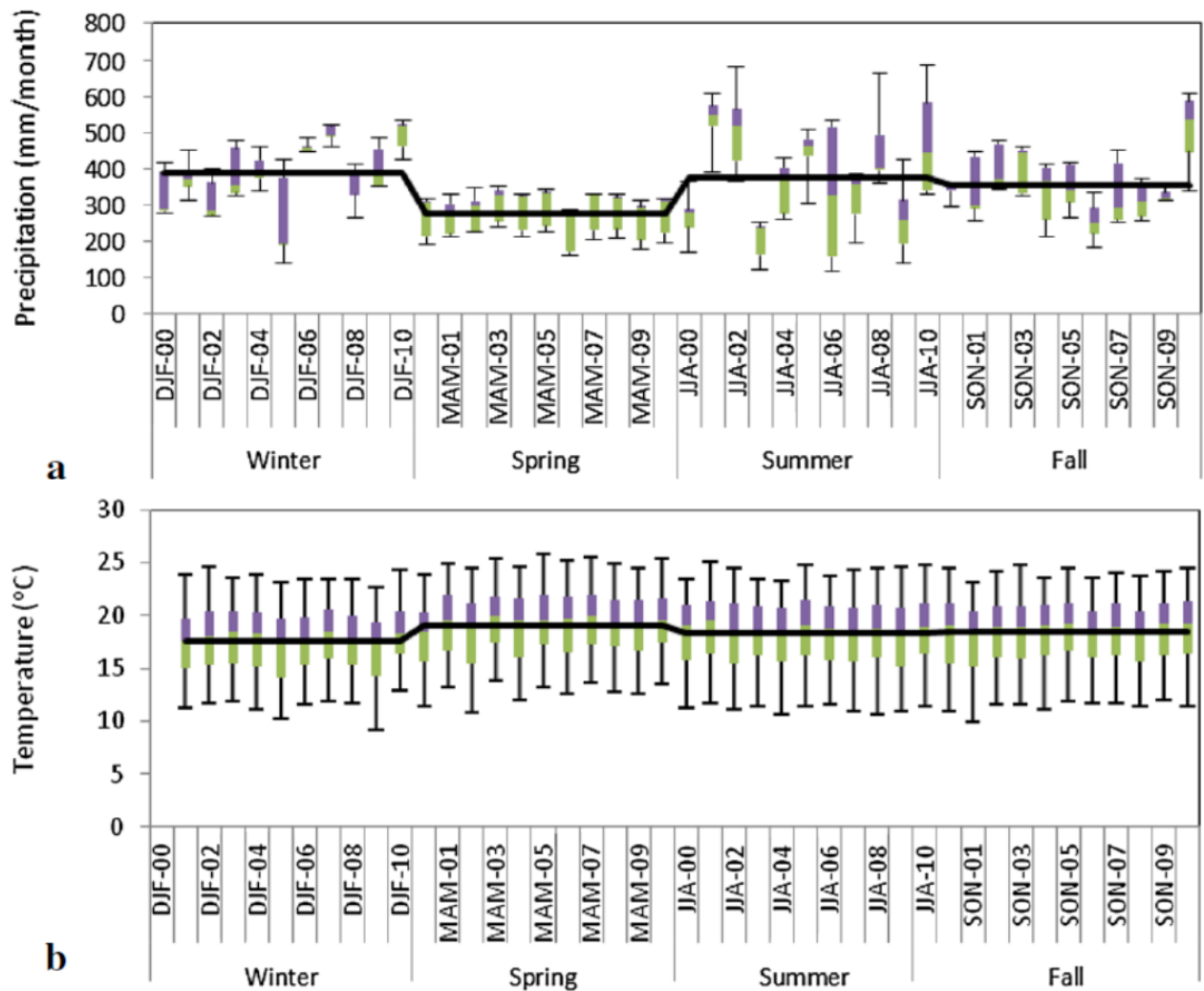
882 En cuanto a la temperatura, también tenemos muchas alternativas además de los datos históricos
 883 de la estación climatológica adquiridos en la oficina meteorológica. Entre ellos, el MODIS de
 884 temperatura de la superficie terrestre (LST) del producto MOD11A2, datos mensuales que pueden
 885 recopilarse desde el 2000 hasta el presente. El producto MOD11A2 versión 6 proporciona una
 886 temperatura promedio de la superficie terrestre (LST) de 8 días por píxel en una cuadrícula de 1 x

887 1 kilómetro. Cada valor de píxel en el MOD11A2 es un promedio simple de todos los píxeles LST
888 MOD11A1 correspondientes recopilados dentro de ese período de 8 días. Otras alternativas
889 incluyen datos de temperatura del aire reticulada, como la temperatura diaria global del centro de
890 predicción del clima, que tiene temperaturas diarias desde 1979 hasta la actualidad.

891

892 **3.1.1.3 Análisis del brote histórico de plagas forestales e interacción ambiental**

893 Para explorar la interacción entre las variables con los ataques del gorgojo durante los dos períodos,
894 1998-2002 y 2014-2106, primero necesitamos extraer los píxeles de las áreas de calor derivadas
895 en la sección 3.1. Para estudiar la interacción ambiental entre las variables y los ataques del gorgojo,
896 necesitamos procesar todas las variables dentro de los puntos de calor. El primer paso es convertir
897 todos los conjuntos de datos en promedios mensuales para LST, temperatura del aire y totales
898 mensuales para datos de precipitación. Debido a que la estacionalidad forma las señales más fuertes
899 en los datos climáticos (Kawale et al., 2011), debe eliminarse al calcular los valores de anomalías
900 de las series de tiempo. En general, los datos de anomalías pueden calcularse restando los valores
901 medios mensuales basados en píxeles para cada mes. La razón principal para aplicar valores de
902 anomalías es su capacidad para describir variabilidad climática en áreas más grandes. Además, los
903 valores de anomalías permiten comparaciones más significativas entre ubicaciones y cálculos de
904 tendencias más precisos. Para reducir el ruido, los datos de anomalías también se pueden filtrar
905 utilizando un filtro promedio de 3 meses, y luego cada conjunto de datos terrestres se promedia a
906 una única serie temporal. Además, se aplicará la variabilidad de la evaluación a través del diagrama
907 de cajas y el análisis de ondículas (wavelet) a las variables ambientales dentro de las zonas activas.
908 A menudo se aplicaba el diagrama de cajas para mostrar las estadísticas descriptivas y resumir los
909 datos (Potter, 2006). En este proyecto, se usará un conjunto de gráficos para representar
910 comparativamente una agrupación única de temperatura estacional, LST e información de
911 precipitación.



912

913

914

Figura 22. Ejemplos de análisis de diagrama de caja para datos de series de tiempo de precipitación y temperatura

915

916

917

918

919

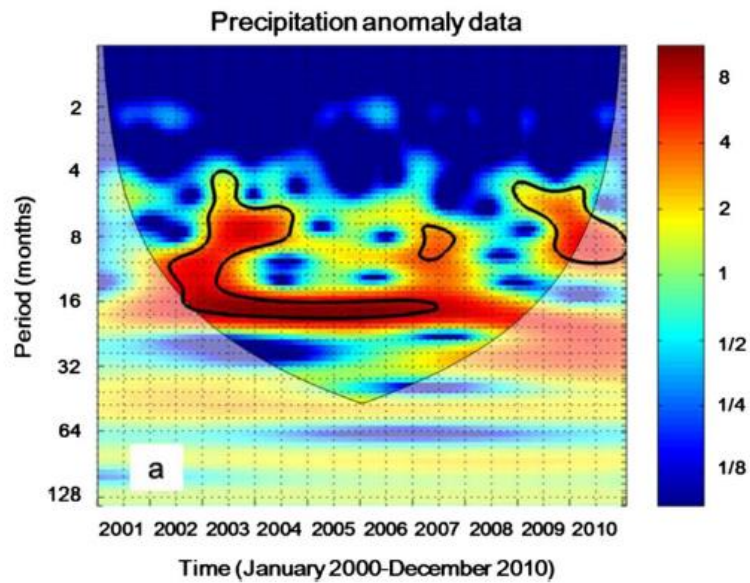
920

921

922

También se aplicará un análisis wavelet para cuantificar y visualizar los cambios estadísticamente significativos en la precipitación, el LST y la temperatura terrestre mensuales en las áreas de ataque del gorgojo, es decir en las áreas calientes. Específicamente, la transformación wavelet continua (CWT). El análisis de ondas (wavelet) es un método espectral de descomposición de una serie temporal en el espacio de tiempo y frecuencia, que permite la identificación y el análisis de las variaciones de poder localizadas (Keener et al., 2010). El método del análisis wavelet ha sido popular para analizar la varianza no estacionaria en muchas frecuencias diferentes dentro de una serie temporal geofísica (Torrence y Compo, 1995; Labat et al., 2000). La transformación wavelet

923 continua (CWT) produce un espectro de potencia wavelet, que muestra los coeficientes de energía
924 de la serie de tiempo descompuesto. Las magnitudes de estos coeficientes muestran la fuerza de la
925 potencia de wavelet localizada de una serie de tiempo en cada escala.

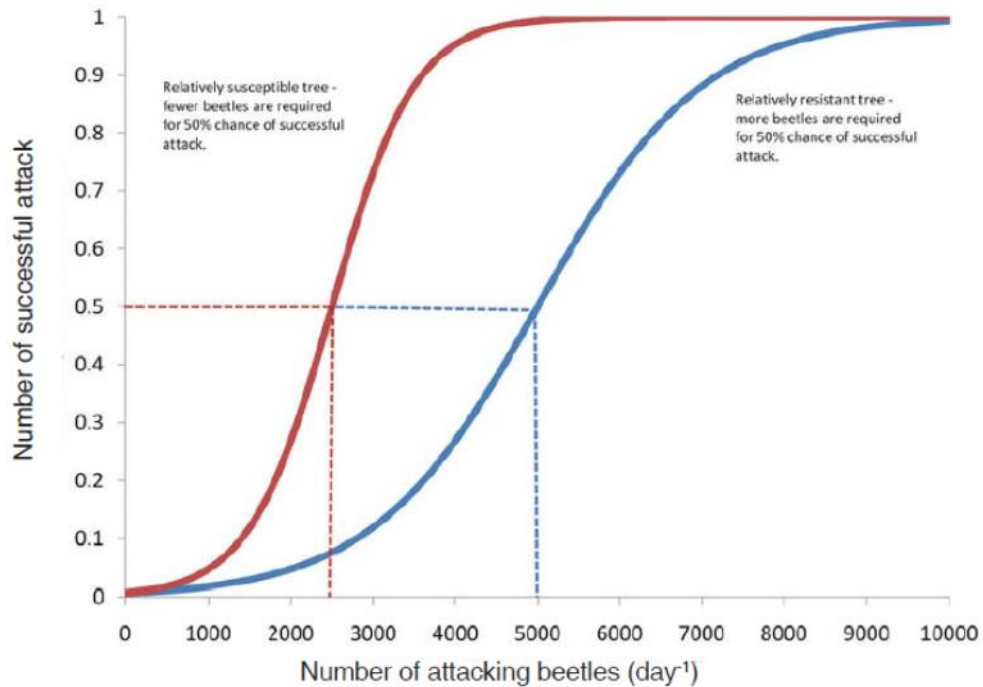


926 **Figura 23. Transformada de wavelet continua para datos de series temporales de anomalía**
927 **de precipitación. La potencia de Wavelet se muestra en diferentes colores. Por ejemplo, el**
928 **rojo indica alta potencia y el azul indica baja potencia**

931 3.1.1.4 Brote de plagas de insectos forestales

933 Se recogerá la distribución del pino, la densidad de los pinos, los datos sobre el cambio climático
934 y la información de los impactos de diferentes gorgojos sobre el bosque de pino con diferente
935 reactividad y resistencia.

936 Las reacciones de los enemigos del gorgojo del pino a los factores climáticos también se analizarán
937 utilizando el modelo lineal generalizado para los brotes de plagas en Honduras y las relaciones
938 entre los brotes y los posibles factores del mecanismo.



939

940 **Figura 24. La relación entre el número de ataques exitosos de SPB y el número de**
 941 **escarabajos atacantes en especies de pino con diferente reactividad y resistencia.**

942

943 3.1.2 Modelado de expansión de brotes

944

945 El equipo del proyecto utilizará (1) modelo de expansión de parentesco molecular y (2) modelo de
 946 expansión espacial de detección remota para evaluar el patrón de expansión de plagas en Honduras.

947

948 3.1.2.1 Modelo de expansión de parentesco molecular

949 Existen tres hipótesis sobre los modelos de expansión de GORGOJO DEL PINO (como se muestra
 950 en la figura 25), que son el modo de difusión puntual (5-A), el modo de difusión radial (5-B) y el
 951 modo de difusión regional (5-C). Los datos descritos anteriormente (la distribución de las especies
 952 de pino en varias regiones de Honduras desde la década de 1960 hasta la actualidad, la densidad
 953 de pinos en los bosques de pinos de cada distrito, los datos de cambio climático de cada distrito y
 954 la información de los impactos del gorgojo en especies de pino con diferente reactividad y
 955 resistencia) serán analizados y verificados con las tres hipótesis para determinar cuál es mejor
 956 descrito para el modelo de expansión de plagas.

957 Para verificar el modelo de expansión: primero, seleccione sitios de demostración en el bosque de
 958 pinos en Honduras y recopile muestras del Gorgojo para estudios de moléculas. Extraiga ADN de
 959 cada muestra y utilice un marcador molecular regular (p. Ej., CO1 mitocondrial y fragmentos
 960 moleculares como ITS1 e Histone3) para estimar (1) ubicaciones de fuentes, tipos de bosques y las

961 diferenciaciones genéticas (utilizando parámetros como FST) entre varias regiones, y (2) diferentes
962 valores de variaciones genéticas entre cada especie (usando parámetros tales como D de Tajima o
963 FIS).

964 Los resultados del estudio inicial pueden usarse para analizar si el gorgojo en varios bosques de
965 pinos de Honduras tiene una diferenciación genética obvia o procedencias diferentes, y para
966 estimar la cantidad de variación genética para determinar si el bosque en una determinada región
967 puede ser una fuente de población. En la última fase del estudio, se pueden agregar datos de
968 secuenciación de nueva generación (como RADseq) para una estimación precisa del tamaño de la
969 población y los cambios poblacionales en el historial de gorgojo del pino en diferentes regiones
970 (utilizando el método de gráfico Stairway, que se aplicó con éxito estimar los cambios históricos
971 de los mosquitos en la malaria (Miles et al., 2017). Además, la cantidad de datos generados por los
972 resultados de la secuenciación de próxima generación es extremadamente grande, podemos usar
973 un modelo informático para comparar la capacidad de diferentes hipótesis para explicar el historial
974 de expansión de la población de gorgojo del pino. Los datos de RADseq deducen el origen (familia)
975 y las inferencias acerca de cuántas ubicaciones de origen diferentes se han calculado mediante
976 modelos informáticos (por ejemplo, ψ estadísticas) y se han aplicado con éxito para inferir la
977 procedencia de los conejos de Alaska (He et al. 2017). Si diferentes especies de gorgojo del pino
978 tienen diferente adaptabilidad a los pinos con diversas sensibilidades y resistencia, también pueden
979 ser detectados por esta m método analítico.

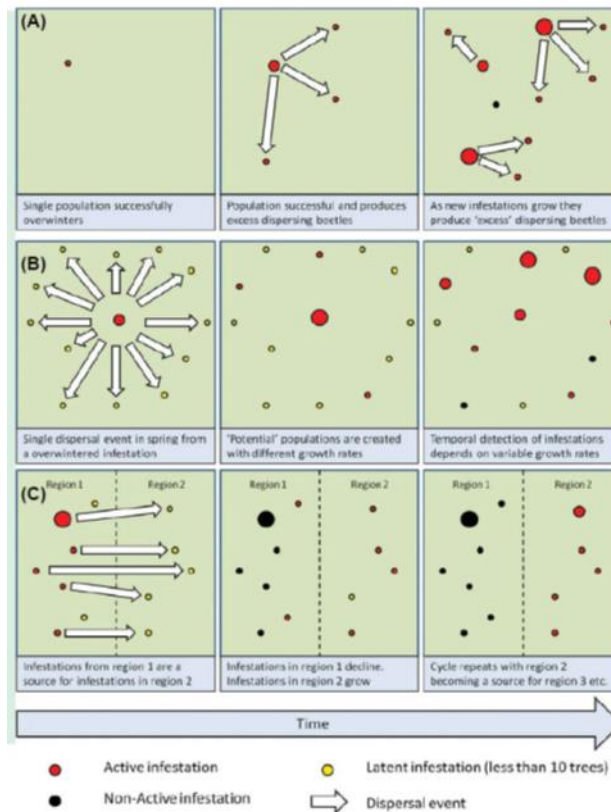


Figura 25. El modelo de expansión potencial del gorgojo del pino

3.1.2.2 Modelo de expansión espacial de detección remota

Los brotes de gorgojo pueden comenzar en cualquier momento, dadas las condiciones ambientales adecuadas para que el escarabajo descortezador se reproduzca a velocidades muy rápidas. Debido a esto, es importante identificar / modelar áreas de posible expansión, basadas en muchas covariables ambientales que influyen en la propagación del escarabajo descortezador. Es importante saber cómo el escarabajo de corteza se expandirá a través del bosque para aplicar las medidas correctivas lo antes posible y evitar un desastre como el ocurrido recientemente. Para este propósito, se aplicará un modelo que combina regresión logística, junto con el modelado basado en autómatas celulares (CA), para simular la futura expansión y el desarrollo del escarabajo descortezador del pino en los bosques de pinos de Honduras (Figura 26). El modelo integrado de regresión logística y autómatas celulares comienza con la regresión logística de los dos conjuntos de datos de pinos infectados y factores explicativos no infectados que determinan el potencial de cambio de un pino sano a un pino infectado en cada célula (celda o pixel). Luego, usando la proporción del área que probablemente pasará de no infectada a infectada, la ubicación de esta área estimada de conversión se calcula a través de la CA. Un modelo logit puede evaluarse por el área

bajo la curva característica operativa (AUC) del receptor (ROC), que se basa en las proporciones de incidencias reportadas correctamente como positivas (verdaderas positivas) e incidencias erróneamente informadas como positivas (falsas positivas). Utilizando el valor de AUC, un modelo de logit predictivo puede clasificarse como aceptable ($AUC > 0.7$), excelente ($AUC > 0.8$) o sobresaliente ($AUC > 0.9$).

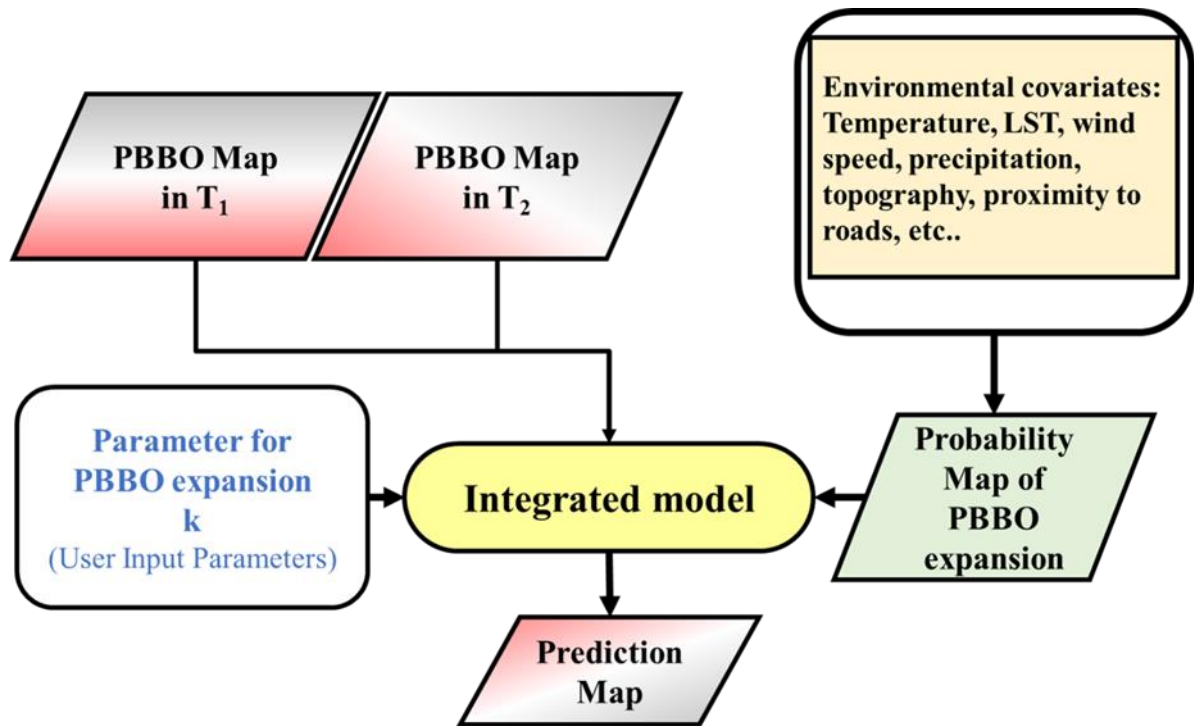


Figura 26. Modelo espacial de expansión del gorgojo del pino.

La expansión del gorgojo se simula por el cambio de probabilidad en el tiempo y el espacio. En un sistema de cuadrícula de trama, el cambio de la probabilidad de expansión se obtiene mediante análisis de regresión logística. El algoritmo CA lleva a cabo la expansión del gorgojo a lo largo del tiempo.

El componente (CA) en el modelo de expansión de PBB0 determina la asignación de infectados o no infectados en cada célula. Los modelos CA definen un nuevo estado de salud del bosque de pinos para cada celda durante un período determinado y, como la función declarada previamente de los vecinos de células, está definido a través de un grupo de reglas de transición definidas. En este modelo, se aplica CA y la dinámica espacial se controla mediante este algoritmo.

3.2 Monitoreo satelital y terrestre

3.2.1 Monitoreo satelital

Los métodos para monitorear las plagas del pino utilizando tecnología de teledetección, como imágenes satelitales y fotografías aéreas, permiten una evaluación del daño por plagas a través de la respuesta espectral del dosel en la banda de luz visible. Debido a la severidad de los pinos atacados por el gorgojo de pino, el dosel del pino cambiará gradualmente de verde a rojo. Por lo tanto, el análisis de las bandas visibles de luz roja y verde identificará árboles que han sido atacados severamente (como se muestra en la figura 27). Los árboles que han sido levemente atacados, sin embargo, deben utilizarse algunos índices de vegetación que muestren el estrés de los arboles con una reducción de su vigor. Es importante determinar un umbral el cual determine que puede existir un potencial brote del gorgojo del pino.



Figura 27. La comparación entre la imagen de satélite anterior y posterior de infección de plagas

El uso de la tecnología de teledetección tiene sus limitaciones en el análisis de los pinos que atacan a gorgojo del pino; puede, hasta cierto punto, proporcionar la asistencia para analizar la dirección de la expansión de la plaga. Generalmente, se utilizan imágenes satelitales múltiples en la comparación anterior y posterior para determinar los cambios de distribución de las áreas afectadas por plagas, de acuerdo con la superposición de datos relevantes del mapa en el sistema SIG (como el mapa de distribución del pino) para evaluar la tendencia futura de impactos de plagas. Por ejemplo, el equipo del proyecto taiwanés utilizó imágenes satelitales Landsat-8 para monitorear la tendencia de las plagas del pino en Honduras de 2014 a 2016 (Figura 27). Al analizar las áreas afectadas por la plaga, también se observó que la infección de plagas se expandió desde el noreste al suroeste. Además, la monitorización a gran escala también puede contribuir al análisis de planificación espacial. En este elemento de trabajo, el primer año del proyecto completará el

análisis de planificación de los puntos de monitoreo de superficie con imágenes satelitales.

1049
1050

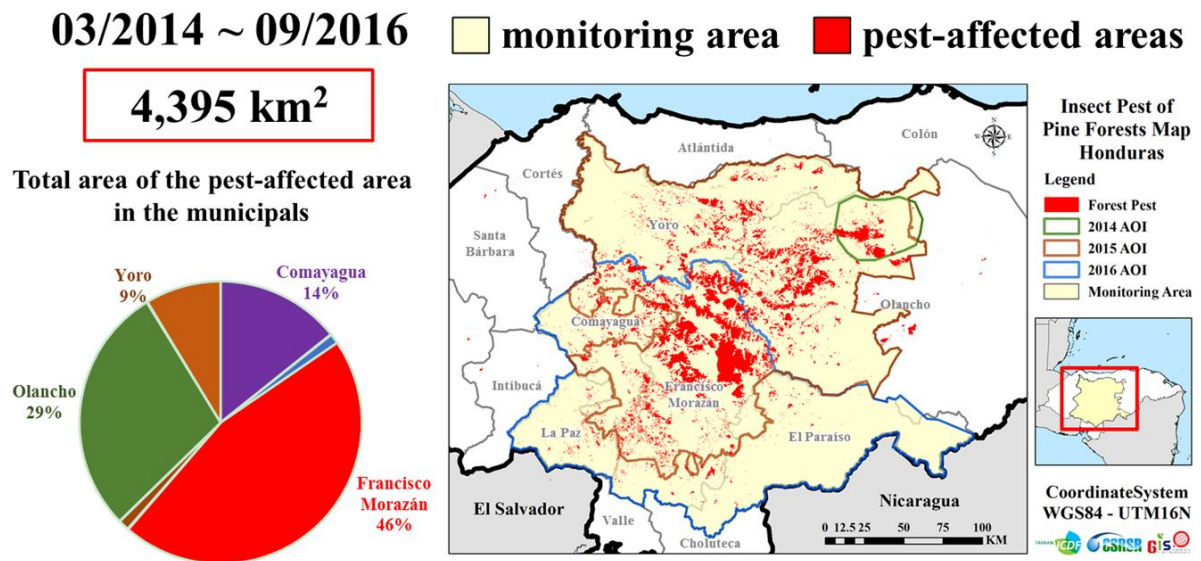


Figura 28. Resultado del uso de imágenes satelitales para monitorear la plaga del pino en Honduras desde 2014 hasta 2016.

3.2.2 Métodos de monitoreo de superficial

Hay dos tipos principales de métodos de monitoreo de superficie, uno es el monitoreo visual directo y el otro es el monitoreo del atrayente. El formulario de monitoreo para ambos métodos se enumerará para los coordinadores hondureños.

Cuando los brotes de plagas comienzan la expansión, el monitoreo visual directo se puede dividir en tres fases de ataque de plagas (Figura 29). En la fase 1, los gorgojos del pino adultos comenzaron a atacar pinos vivos. Pequeños agujeros invadidos por los gorgojos del pino jóvenes se pueden encontrar en las cortezas de los árboles. en este momento, el dosel de los pinos todavía estaba verde. esto duraría de 5 a 10 días antes de entrar en la fase 2. En la fase 2, se puede ver fácilmente una gran cantidad de túneles en el floema invadido por los gorgojos del pino jóvenes después de despegar las cortezas de los árboles, el dosel del árbol cambia de verde a amarillo, y toda la fase duraría alrededor de 25 a 35 días. A continuación, es la fase 3, se descubrió la aparición de una nueva generación de gorgojo del pino adultos en el tronco, y se encontró un gran número de gorgojos del pino jóvenes en las cortezas. El dosel del árbol ahora había cambiado gradualmente de amarillo a rojo anaranjado. En este momento, los pinos estaban muertos. Mediante el uso de imágenes satelitales y fotografías aéreas, se puede identificar y estimar la pérdida de áreas sanas de pinos.

1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073

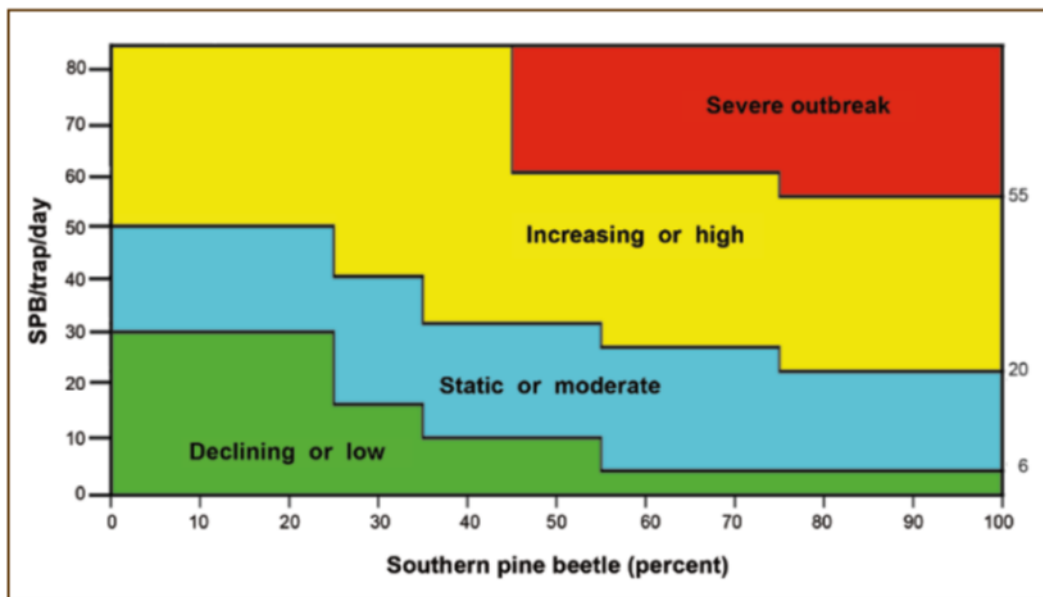


Figura 29. Monitoreo visual directo

La monitorización del atrayente generalmente se aplica a la trampa de múltiples embudos de Lindgren y otras herramientas trampa con atrayentes de plagas para monitorear los cambios dinámicos en la población de insectos. Este método se ha aplicado en los Estados Unidos de América durante al menos 20 años. El pronóstico y el análisis de los brotes de SPB han tenido logros efectivos (figura 30).

Hay tres atrayentes para el gorgojo del pino en este momento: frontal, a-pinen y endo-brevicomín. La fuente y los resultados de los tres atrayentes son diferentes. En la actualidad, los resultados experimentales muestran que la combinación de los tres elementos atrayentes se utiliza mejor para atraer trampas, lo que también se aplicará a este proyecto en Honduras. Esto puede requerir la recolección periódica de muestras y el reemplazo de atrayentes. La recolección de muestras podría basarse en un período de 15 días, mientras que, durante un brote de gorgojo, el período de recolección regular debería disminuir a 7 días. Las muestras recolectadas serán identificadas y los resultados serán cargados a través de un informe y notificación de desastre de plagas.

1090



1091

1092 **Figura 30. El atrayente que supervisa los números de SPB y posibles brotes (Billings & Upton,**
1093 **2010)**

1094

1095 **3.3 Informe de desastres y métodos de comunicación**

1096

1097 Considerando el hecho de que los desastres de plagas en Honduras han alcanzado nivel nacional,
1098 ICF tomó medidas y estableció un departamento especializado en plagas llamado Unidad Técnica
1099 para el Control de Plagas (también conocido como UECP). Cuando ocurra la emergencia, ICF
1100 integrará recursos financieros y técnicos y consultará a los operadores de UECP para monitorear y
1101 controlar el desarrollo de plagas.

1102 Los miembros de UECP son supervisores de unidades, entrenadores y expertos en monitoreo. Las
1103 actividades y planes anuales, incluidas las acciones de control, monitoreo, aplicación, producción
1104 y comercialización de plagas, se basan en el presupuesto de cada año. Dos áreas principales de
1105 tareas ya desarrolladas: interpretación y monitoreo de satélites y prevención y control in situ de
1106 plagas.

1107

1108 **3.3.1 Interpretación y monitoreo de datos satelitales**

1109

1110 Cuando ocurre una emergencia, UECP mantendrá las huellas en un sistema de monitoreo a escala
1111 nacional, que incluye imágenes de satélite, imágenes de sistemas aéreos no tripulados e
1112 investigaciones de campo, con el fin de registrar un desarrollo dinámico de la expansión de plagas.
1113 A través de la alianza estratégica de varios departamentos gubernamentales para promover los

1114 trabajos de seguimiento. Los departamentos a nivel nacional, departamentos municipales,
1115 organizaciones de la sociedad civil y grupos comunitarios, etc. incluyendo ICF, Municipios de
1116 Honduras (AMHON) y la Universidad Nacional Forestal (UNACIFOR) son todos parte de las
1117 redes de monitoreo.

1118

1119 **3.3.2 Control de plagas in situ**

1120

1121 UECP ayudará a los departamentos forestales y las unidades regionales en la coordinación de
1122 recursos y la asignación del control del sitio de las plagas. Al asignar personal de campo, el tamaño
1123 del área de control se basará en la información provista por el sistema de monitoreo para confirmar
1124 las ubicaciones de primera línea y la cantidad de mano de obra requerida al enfrentar la expansión
1125 de plagas. La asignación de mano de obra se actualizará cada mes. Por ejemplo, 300 empleados de
1126 campo fueron despedidos en noviembre de 2016, incluidos 35 técnicos forestales, 120 operadores
1127 de sierras, 89 guardias de seguridad y 29 empleados de transporte. Más tarde, en diciembre de 2016,
1128 el personal de campo de contratación total se redujo a solo la mitad de los equipos antes
1129 mencionados. En el primer año del proyecto, se establecerán los criterios de clasificación para la
1130 interpretación de desastres, y se capacitará al personal de monitoreo de superficie y notificado. La
1131 tecnología de monitoreo de superficie aplica monitoreo visual directo y el método de monitoreo de
1132 atrayentes para realizar monitoreo en el sitio. La interpretación de los resultados del desastre se
1133 informará a UECP. Al mismo tiempo, se actualizará un informe de desastre de plagas y un análisis
1134 del estado de notificación en este proyecto y UECP se encargará de tomar decisiones de prevención
1135 y control de plagas basadas en el análisis y los resultados del informe. El proceso de informe de
1136 desastres de insectos regulares y de emergencia se muestra en la figura 31. Los resultados del
1137 monitoreo de las unidades forestales de cada provincia se actualizarán automáticamente y se
1138 enviarán a la UECP cada dos semanas.

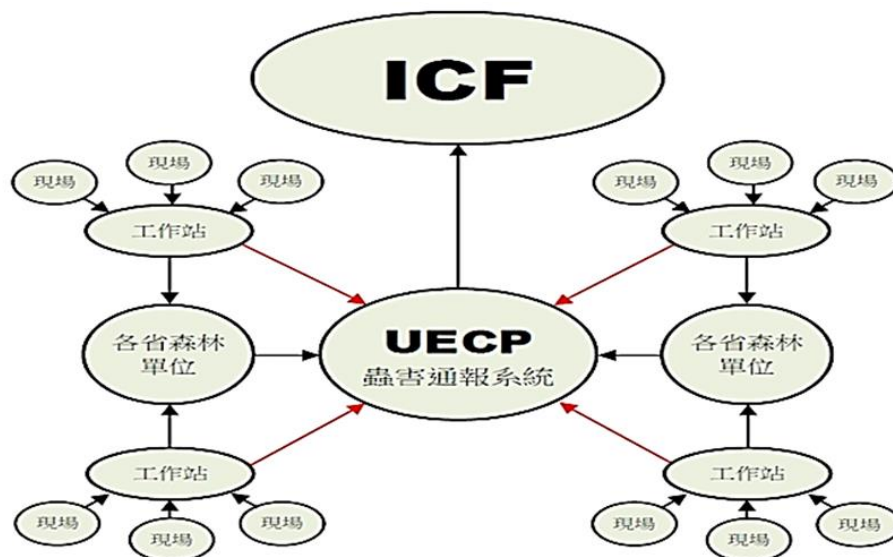


Figura 31. Proceso de notificación e informe de desastre de plagas

3.4 Técnicas de investigación de pérdidas por ataque

La tarea se planifica para completarse para el tercer año del proyecto, incluidos los elementos en las siguientes descripciones.

3.4.1 Estimación del área afectada por plagas.

La resolución espacial de las imágenes satelitales del Landsat 8 puede llegar a ser de 15 metros, que se planea usar en este proyecto. La adquisición de satélites para el último brote de plagas en Honduras fue del 1 de enero de 2012 al 31 de diciembre de 2016. Después de que se filtra la imagen y se procesa la imagen, se generarán imágenes del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). El índice se calcula utilizando la reflectancia de la banda roja y la banda del infrarrojo cercano en la imagen del satélite, de la siguiente manera:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})$$

(ρ_{RED} es la reflectividad de la banda roja, y ρ_{NIR} es la reflectividad de la banda infrarroja cercana). El NDVI es ampliamente utilizado como un indicador de cobertura de vegetación superficial. Para entender los cambios de NDVI en tiempo y espacio causados por la invasión del gorgojo en el bosque de pino hondureño, en este proyecto se analizarán imágenes satelitales adquiridas durante los períodos de plagas y utilizará los valores NDVI para interpretar el área afectada por plagas y usar los cambios en el área y la distribución de los bosques de pinos afectados para establecer el

método de estimación de áreas afectadas por plagas.

3.4.2 Desarrollar un modelo de evaluación de pérdidas afectado por los escarabajos del pino.

El impacto en la economía social y la escala de pérdidas en Honduras se puede revelar a través de la investigación de pérdidas por daños de plagas. Más importante aún, una identificación precisa de los factores de cambio estimados de los daños de plagas podría desarrollarse en los datos de pérdidas de incidentes históricos de plagas. Mientras tanto, los factores de pérdida clave también podrían enfocarse en el análisis de correlación. Para buscar y analizar continuamente datos históricos, el modelo de análisis de daños de plagas se podría desarrollar y construir como una herramienta de evaluación de pérdidas.

3.5 Modelo de alerta temprana para plagas forestales.

La insuficiencia en la capacidad de alerta temprana del gobierno hondureño fue un problema importante para la prevención y el tratamiento de los brotes de plagas en el pasado. En este proyecto, el equipo del proyecto taiwanés establecerá un sistema de alerta temprana para gestionar y controlar los daños causados por las plagas. En 2003, el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estableció un método y proceso de implementación del Sistema de Alerta Temprana (EWS) para la amenaza forestal de los EE. UU. El método de implementación consta de cuatro pasos: (1) identificar la amenaza potencial (2) detectar la amenaza real (3) evaluar los impactos y (4) responder.

Con base en estos 4 pasos, un sistema de alerta temprana de daño por plagas bien desarrollado requiere la siguiente información: (1) Historial de vida básico y comportamientos ecológicos de los insectos plaga (2) Patrones de brotes de plagas (3) Patrones de expansión de plagas (4) Teledetección tecnología y herramienta de monitoreo de superficie (5) Datos climáticos. Esta información se utilizará como datos básicos, además del sistema de apoyo a la decisión y el sistema de evaluación de desastres, para establecer un sistema de alerta temprana. El control de plagas debe ser parte de la gestión de la salud del bosque. Por lo tanto, para comenzar con la gestión de la salud de los bosques y cooperar con las prácticas apropiadas de manejo forestal para reducir el impacto de las plagas a veces es necesario. En general, el objetivo final de este proyecto es implementar la gestión de la salud forestal en Honduras.

En la etapa inicial del estudio, se establecerá un sistema de alerta temprana mediante el uso del método de monitoreo de atrayentes en tierra junto con las herramientas de notificación y traspaso

de desastres. Se establecerán cuatro niveles diferentes de alerta temprana basados en el número de monitoreo de población de gorgojo en varias regiones, es decir (1) bajo nivel de riesgo (población pequeña de gorgojo) (2) nivel de riesgo moderado (población SPB media) (3) alto riesgo nivel (gran población de gorgojo) y (4) brotes SPB. En la última etapa del estudio, un modelo de alerta temprana de plagas se basará en el modelo de monitoreo de poblaciones SPB y en otros datos tales como datos climáticos, datos de teledetección y datos topográficos.

4. Desarrollo de la plataforma de apoyo para la toma de decisiones en el manejo de plagas y la salud del bosque

4.1 Antecedentes

La Plataforma de Apoyo a la Decisión para el Manejo de Plagas y Salud Forestal se basa principalmente en (1) codificación por software de código abierto, (2) siguiendo los estándares ISO / TC211 y OGC para procesar metadatos relacionados, (3) conformando los sistemas de coordenadas en Honduras, (4) WMS o WFS para compartir servicios geoespaciales para los sistemas existentes en Honduras, como el Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF), el Geoportal del Sector Forestal de Honduras y el Sistema de Computadora para la Trazabilidad de la Madera (SIRMA).

4.2 El software y el hardware

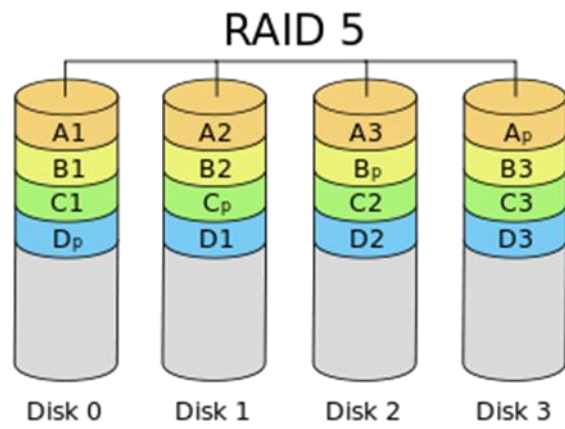
A continuación, se detalla el software y el hardware adquirido.

Tipo	Descripción y especificaciones
Application Server	Intel Xeon Scalable 4110 Processor 32GB DDR4 DIMM 1TB, SATA x2 Microsoft Windows Server 2016
Almacenaje de datos	600GB SAS x10 (RAID-5) Mini-SAS high density to mini SAS2-meter cable 25 SAS/ SATA/ SSD in Smart Carriers Drivers Supported Host Interface: 12 G/s SAS

RAID 5 consiste en la creación de bandas a nivel de bloque con paridad distribuida. La información de paridad se distribuye entre las unidades. Requiere que todas las unidades, excepto una, estén presentes para operar. En caso de falla de un solo disco, las lecturas subsiguientes se pueden

1223 calcular a partir de la paridad distribuida de modo que no se pierdan datos. RAID 5 requiere al
1224 menos tres discos.

1225



1226

1227 **Figura 32. Diagrama de una configuración de RAID 5 con paridad distribuida con cada**
1228 **color que representa el grupo de bloques en el bloque de paridad respectivo (una franja).**
1229 **Este diagrama muestra el algoritmo asimétrico izquierdo.**

1230

1231 4.3 Estructura del sistema

1232

1233 La plataforma incluye cuatro subsistemas de la siguiente manera:

- 1234 1. Sistema de información de gestión de la salud forestal (Health-MIS)
- 1235 2. Sistema de monitoreo de teledetección forestal (RS-MS)
- 1236 3. Sistema de Monitoreo de Infecciones de Plagas Forestales (Pest-MS)
- 1237 4. Sistema de apoyo a la decisión de Forest Pest (Pest-DSS)

1238 Las funciones principales y el flujo de datos de cada subsistema se planifican de acuerdo con las
1239 especificaciones del contrato. A continuación se muestra la relación entre 4 subsistemas.

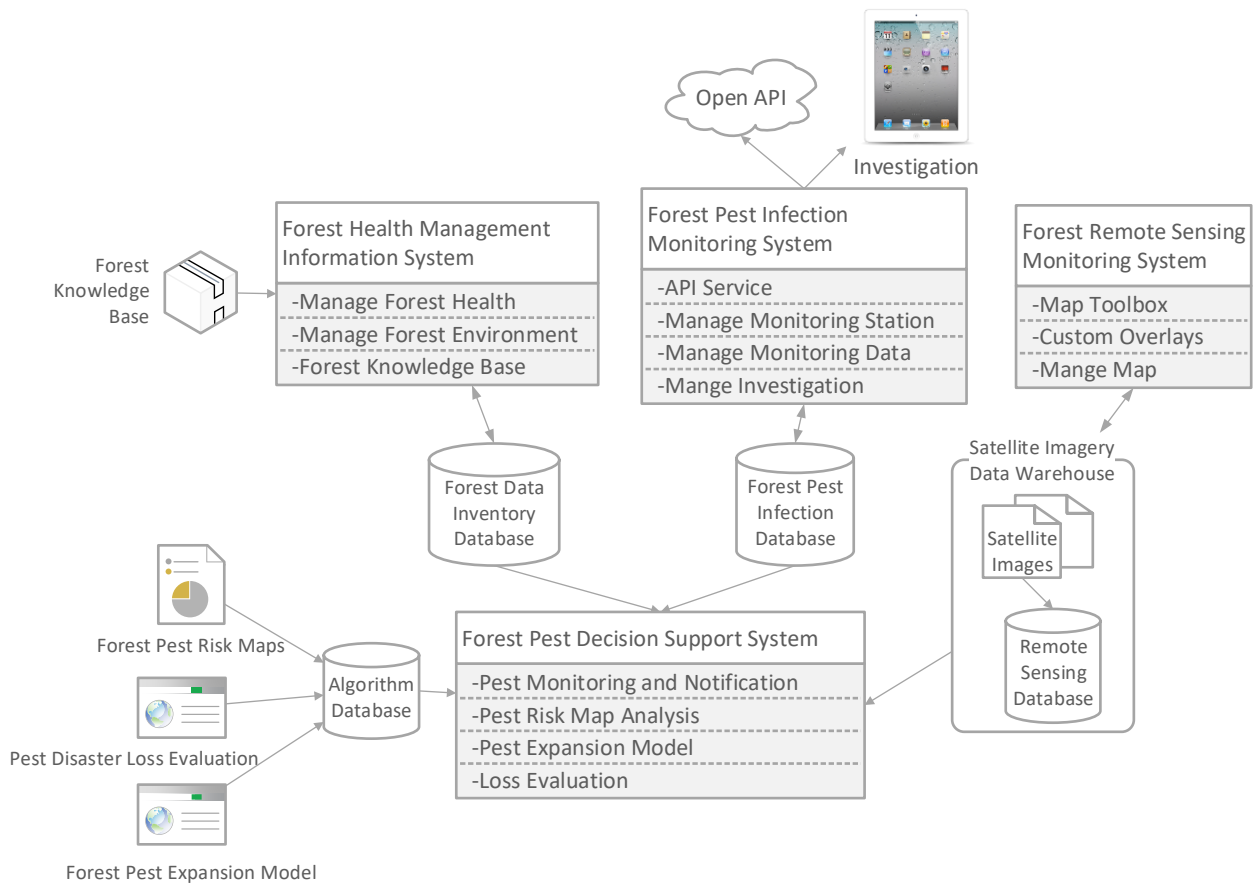
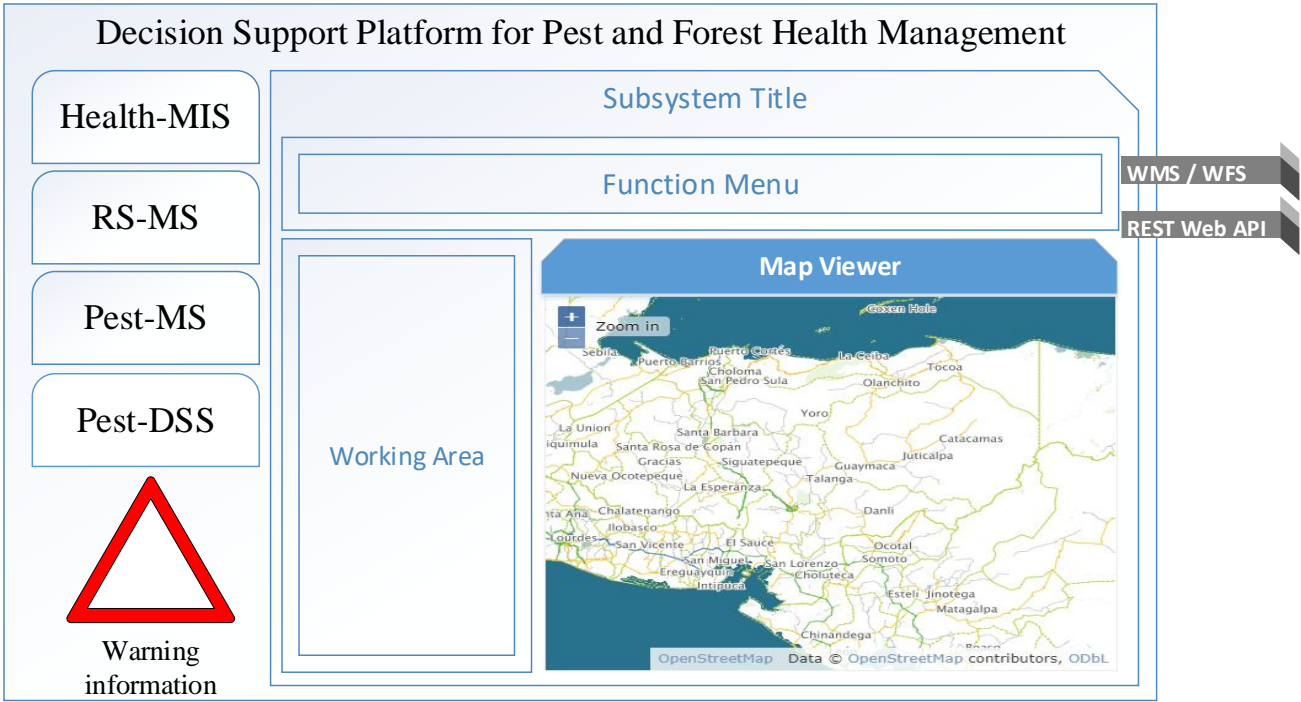


Figura 33. Relación entre 4 subsistemas.

4.4 Diseño de interfaz de usuario

La interfaz de usuario se basa en GIS basado en web. Ciertos elementos de la interfaz de usuario están diseñados por Responsive Web Design (RWD) para tener una vista adecuada entre PC o dispositivos móviles.



1248

1249

1250

1251

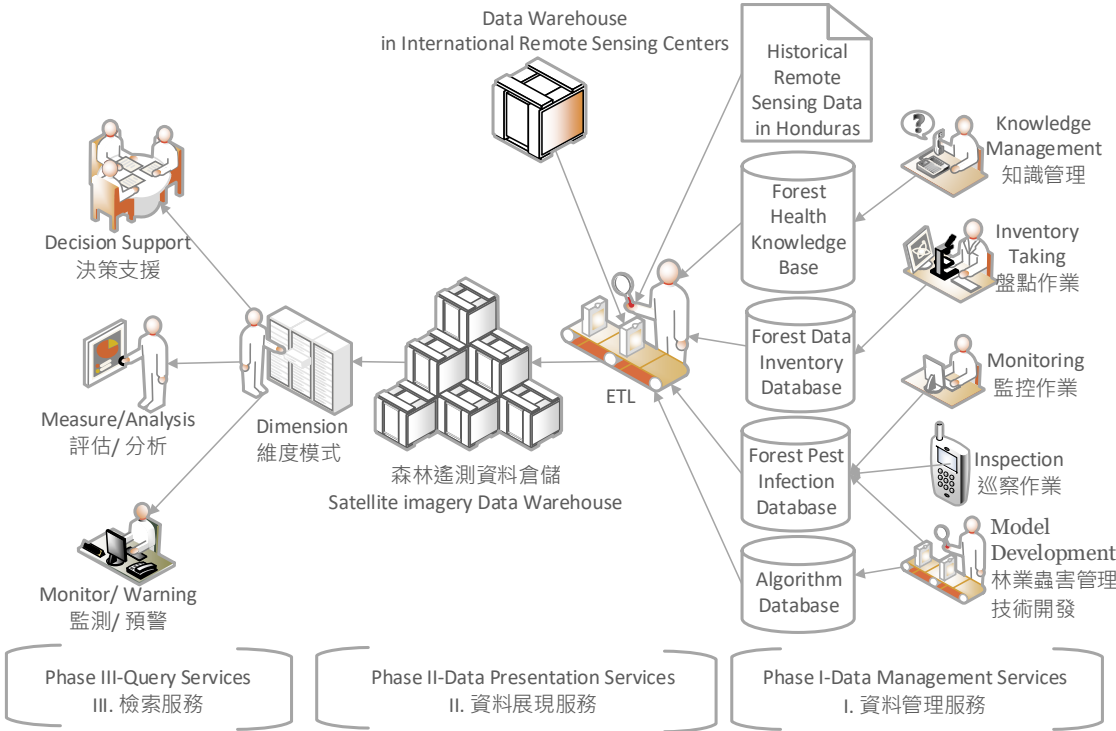
1252

1253

Figura 34. Diseño de la interfaz gráfica de la plataforma.

4.5 Proceso conceptual de datos

El proceso general de la base de datos del sistema se basa en un mecanismo de servicio trifásico, como se muestra a continuación:



1254

1255

1256

Figura 35. Proceso conceptual de datos.

1257 **1. Servicio de gestión de datos**

1258 Los datos del sistema provienen de múltiples fuentes y contienen múltiples formatos. En primer
1259 lugar, obtenemos datos de las rutinas activas, incluida la toma de inventario, el sistema de
1260 teledetección, la inspección y el análisis de plagas.

1261 La estructura de la base de datos está bien diseñada para optimizar el rendimiento del almacén de
1262 datos y el acceso. Los registros de inventario de datos forestales, las bases de conocimiento de
1263 expertos, los datos de teledetección, la estación de monitoreo y los registros de inspección se
1264 procesan mediante un esquema de datos predefinido y metadatos estructurales. Para los datos
1265 espaciales, los mosaicos de mapas también se aplican durante el procesamiento de los datos del
1266 mapa.

1267 **2. Servicio de visualización de datos**

1268 De acuerdo con la logística de datos y el propósito de la aplicación del sistema, los datos
1269 recopilados en la primera fase pasarán por Extracción, Transformación, Carga y finalmente se
1270 ingresarán en la base de datos.

1271 ETL es un proceso de datos de conversión periódicos, que se utiliza para verificar, fusionar, separar
1272 y extraer datos de bases de datos heterogéneas. Los datos se compilan en una dimensión de datos
1273 definida que permite a los usuarios buscar, analizar, operar y desarrollar en los cuatro subsistemas
1274 anteriores.

1275 **3. Servicio de consultas**

1276 Proporcione datos con diferente disminución para 4 subsistemas. La tabla de datos relevantes
1277 (hechos) se utilizará según el modelo dimensional del requerimiento de diferentes usuarios del
1278 sistema en respuestas al análisis de datos sensoriales remotos, evaluación del conocimiento de la
1279 salud forestal, monitoreo de plagas forestales, advertencia de expansión de plagas forestales,
1280 prevención de plagas forestales y apoyo a decisiones.

1281
1282 **4.6 Definición de requisitos**

1283
1284 Plataforma de toma de decisiones para el control de plagas y la salud forestal

1285 1. La siguiente es una lista de software de código abierto que se utiliza para desarrollar la
1286 plataforma

1287 (1) Codificación: C # .NET, HTML5, JavaScript

1288 El ingeniero de software en Honduras puede editar y mantener el código C # en cualquier editor
1289 de texto (incluido el bloc de notas) o utilizar Visual Studio Community Edition disponible
1290 gratuitamente.

1291 (2) Vista de mapa GIS basado en la web

1292 • GeoServer es un servidor de código abierto para compartir datos geoespaciales. Diseñado para la
1293 interoperabilidad, publica datos de cualquier fuente de datos espaciales importantes utilizando
1294 estándares abiertos.

1295 • OpenLayers es una biblioteca de código abierto de JavaScript para mostrar datos de mapas en
1296 navegadores web.

1297 • Leaflet es una de las bibliotecas de JavaScript de código abierto más populares para mapas
1298 interactivos.

1299 2. Esta plataforma sigue el formato de los sistemas de coordenadas en Honduras, UTM.

1300 3. Autorización de usuario: determina los permisos de usuario para cada subsistema.

1301 [¿Datos?] Se requiere que cada usuario del sistema haga coincidir la función o los datos disponibles
1302 para cada subsistema.

1303 En primer lugar, la cuenta de usuario más importante, el Administrador, debe asignarse a una
1304 persona o grupo. El administrador puede controlar completamente todas las funciones y acceder
1305 completamente (leer / escribir / cargar / descargar) todos los datos para 4 subsistemas. De lo
1306 contrario, el diseño de la cuenta de usuario dependería de los requisitos de ICF. Después del
1307 lanzamiento del sistema, el administrador también podría mantener cada cuenta de usuario con
1308 permisos en el sistema de fondo.

1309 A continuación, se muestra una tabla de coincidencia de usuarios y funciones, por ejemplo.

1310 • Tipo de cuenta de usuario: (1) Administrador: gerente superior, (2) Administrador: el gerente
1311 general para el elemento de trabajo específico, (3) Operador: mantenedores de datos (3) Inspector:
1312 supervisando investigadores, (3) Visitante: para la población.

1313 • Tipo de derecho de usuario: (1) Control total: todas las funciones están disponibles y se permite
1314 ver, escribir, cargar o descargar datos; (2) Correo electrónico: reciba avisos por correo electrónico,
1315 como recordatorio de inspección o advertencia temprana de plagas; (3) solo permite ver la
1316 información provista por las funciones; (4) Nombre de la función: solo esta función está disponible.

1318 **4.7 Sistema de información de gestión de la salud forestal, Health-MIS**

1319 La tarea principal de este elemento de trabajo es administrar todos los registros de inventario,
1320 observación y observación de datos de los bosques, datos de investigación relacionados.

1321 Health-MIS tiene las siguientes funciones principales:

1322 1. Desarrollar una base de datos de inventario de datos forestales en Honduras.

1323 La tarea es actualizar la base de datos de inventario de datos forestales en Honduras, incluidos dos
1324 aspectos. Uno de ellos es la información de gestión de la salud forestal, que incluye datos sobre los

1325 recursos forestales, clase forestal y análisis de plagas. El otro es la información ambiental forestal,
1326 como la lluvia, la temperatura y los datos del suelo.

1327 1.1 La información de gestión de salud forestal

1328 Se requiere la especificación de datos de los ítems de gestión sanitaria (datos forestales, clase
1329 forestal y análisis de plagas), como el formato de datos, los documentos relacionados o los archivos
1330 multimedia.

1331 1.2 La información ambiental del bosque

1332 La especificación de datos de elementos ambientales (precipitación, temperatura y suelo), como el
1333 formato de datos, documentos relacionados o archivos de medios son obligatorios.

1334 2. Gestionar el inventario de datos de salud forestal

1335 La tarea es mantener los datos de gestión de la salud forestal incluidos los recursos forestales, la
1336 clase de bosque y el análisis de plagas. Los formatos de datos incluyen texto sin formato, tipo
1337 numérico y multimedia, como sonido e imágenes.

1338 2.1 Criterios de consulta

1339 Proporcione "tiempo", "ubicación" y "creador de datos (personal)" como condiciones para
1340 recuperar los resultados de la consulta

1341 2.2 Conéctese con Pest-DSS para realizar un análisis cruzado basado en SIG

1342 Verifique los elementos de la interfaz de usuario en la sesión de Pest-DSS.

1343 3. Administrar el inventario de datos ambientales del bosque

1344 La tarea es mantener registros de monitoreo y observación que incluyan lluvia, temperatura, datos
1345 del suelo y la llamada información ambiental.

1347 3.1 Conectarse a Pest-DSS para realizar un análisis cruzado basado en SIG

1348 [¿Confirmar?] Compruebe los elementos de la interfaz de usuario en la sesión de Pest-DSS.

1349 3.2 Monitoreo automático

1350 [¿Confirmar?] Desarrollar un mecanismo de monitoreo automático para recibir datos (ubicación,
1351 tiempo, etc.) de 3 sitios de demostración

1352 4. Base de conocimientos de salud forestal

1353 La tarea es diseñar una función para que los usuarios carguen, compartan y consulten noticias,
1354 teorías y datos reales sobre la salud del bosque.

1355 4.1 [¿Datos?] Se requiere cualquier documento, documento de investigación o enlace web
1356 relacionado con la identificación de plagas o el control de plagas.

1358 4.8 Sistema de Monitoreo de Sensores Remotos Forestales, RS-MS

1359 La tarea principal en este elemento de trabajo es administrar datos de detección remota y mapas
1360 con valores agregados.

1361 El RS-MS tiene las siguientes funciones principales:

1362 1. Establecer un almacén de datos de teledetección forestal en Honduras.

1363 La tarea es recolectar imágenes satelitales de (1) la base de datos de teledetección forestal en
1364 Honduras son los datos históricos de teledetección, (2) otros datos satelitales recopilados de los
1365 centros internacionales de teleobservación en este proyecto. Los datos de teledetección satelital se
1366 clasifican por series de tiempo y ubicaciones. Además, se admitirían diferentes formatos de
1367 imágenes satelitales, incluidos Landsat, Sentinel y MODIS.

1368 1.1 Datos históricos de teledetección en Honduras

1369 [¿Datos?] Se requieren los archivos físicos para referencia.

1370 1.2 Metadatos

1371 Los metadatos de las imágenes de satélite se basan en la especificación de NCU

1372 1.3 Vista de mapa optimizada

1373 Los datos en áreas históricas de plagas y 3 sitios de demostración se optimizarán para acelerar el
1374 rendimiento posterior de visualización y análisis.

1375 2. Administrar datos de teledetección en Honduras

1376 La tarea es procesar los datos de sensores remotos del bosque de los datos históricos de
1377 teledetección del ICF y los centros de teledetección internacional, como LCMAP y AGDC para
1378 construir el depósito de datos de imágenes satelitales.

1379
1380 3. Desarrollar un sistema de monitoreo y teledetección forestal.

1381 La tarea es desarrollar una escritura GIS basada en la web en HTML5 para datos de teledetección
1382 y carga de mapas de valor agregado, mostrar y compartir. El visor de mapas se puede navegar
1383 usando técnicas estándar (deslizar para panoramizar, acercar, superponer)

1384 3.1 Gestionar mapa

1385 Proporcione funciones básicas de análisis como comparación de imágenes para datos de
1386 teledetección. El mapa de valor agregado producido en este proyecto incluye un mapa de riesgo de
1387 plagas forestales e información investigada en las áreas afectadas por plagas que puede anunciar y
1388 compartir para análisis futuros.

1389 [¿Confirmar?] Proporcionar funciones para cargar y publicar mapas de valor agregado como WMS
1390 / WFS. Por otro lado, los usuarios pueden vincularse a Pest-DSS para realizar un análisis avanzado
1391 del mapa de riesgo de plagas forestales e información investigada.

1392

1393 **4.9 Sistema de Monitoreo de Infecciones de Plagas Forestales, Pest-MS**

1394
1395 La tarea principal en este elemento de trabajo es controlar la infección de plagas.

1396 Pest-MS tiene las siguientes funciones principales:

1397 1. Desarrollar una base de datos de monitoreo de infección por plagas de insectos forestales

1398 Este elemento de trabajo se basa en el formato de datos de los datos de monitoreo de infección de
1399 plagas de insectos forestales para integración, análisis y búsqueda.

1400 1.1 Los datos se devuelven principalmente de 3 sitios de demostración como estaciones de
1401 monitoreo.

1402 [¿Confirmar?] La frecuencia de la transmisión de datos de monitoreo (no regular o periódica).

1403 2. Administrar estaciones de monitoreo

1404 La tarea es agregar y editar información básica en cada estación de monitoreo. La información
1405 básica incluye la ubicación, el formato, la capacidad y el vendedor. Además, carga, descarga o
1406 enlace URL para los tutoriales de instalación y mantenimiento (manuales o videos) de estaciones
1407 de monitoreo y equipos instalados.

1408 [¿Datos?] Se requieren documentos (manuales o videos) para estaciones de monitoreo y equipos
1409 relacionados.

1410 3. Administrar datos de monitoreo

1411 La tarea es proporcionar administrar los registros de supervisión devueltos por los investigadores
1412 que incluyen la fecha de configuración y eliminación de trampas, insectos y números de plagas.

1413 Los formatos de datos incluyen texto sin formato, tipo numérico y multimedia, como sonidos e
1414 imágenes.

1415 3.1 Criterios de consulta

1416 [¿Confirmar?] Proporcione "tiempo", "ubicación" e "investigador" como condiciones para
1417 recuperar los resultados de la consulta

1418 3.2 Conéctese con Pest-DSS para realizar un análisis cruzado basado en GIS.

1419 [¿Confirmar?] Compruebe los elementos de la interfaz de usuario en la sesión de Pest-DSS.

1420 4. Investigación de sarna

1421 La tarea es organizar el horario y hacer recordatorios para las investigaciones de la estación de
1422 monitoreo.

1423 4.1 Recordatorio de inspección y avisos de advertencia para las estaciones de monitoreo que no
1424 han iniciado sesión después de las fechas límite.

1425 [¿Confirmar?] Este recordatorio de inspección y avisos de advertencia se envían por correo
1426 electrónico a los inspectores. Los mensajes de seguimiento también se muestran y resaltan cuando

1427 el inspector está conectado en esta plataforma.

1428 [¿Datos?] Se requiere información de contacto de las personas a cargo.

1429 5. Crear API abiertas

1430 Esta tarea es crear API abiertas para el intercambio de datos. El documento API para
1431 desarrolladores de sistemas también se proporciona.

1432 [¿Confirmar?] Siguiendo el marco API REST Web API para crear API abiertas para compartir
1433 información de 3 nuevos sitios de demostración.

1434 6. Compatible con dispositivo móvil

1435 La tarea es proporcionar funciones de grabación y almacenamiento en los dispositivos móviles
1436 para los inspectores mientras realizan inspecciones en el campo.

1437 6.1 La estructura de diseño y las configuraciones en el servicio móvil deberían ser flexibles para
1438 los ajustes de acuerdo con el estado y la calidad de Internet en Honduras.

1439 [¿Confirmar?] Los elementos de la IU están diseñados por Responsive Web Design (RWD) para
1440 que los inspectores puedan acceder fácilmente a la información.

1441

1442 **4.10 Sistema de apoyo a la decisión sobre plagas de insectos forestales (Pest-DSS)**

1443 La tarea principal en este elemento de trabajo es ayudar a la toma de decisiones en el control y
1444 prevención de plagas de insectos.

1445 The Pest-MS tiene las siguientes funciones principales:

1446 1. Desarrollar una plataforma de soporte de decisión basada en GIS web.

1447 La tarea es proporcionar modelos de posicionamiento espacial, superposición y análisis espacial
1448 para llevar a cabo evaluaciones en el control de plagas, advertencia, análisis y posibles áreas
1449 afectadas.

1450 1.1 Conéctese a Health-MIS, RS-MS, Pest-MS

1451 [¿Confirmar?] Llevar a cabo una vista y un análisis SIG basados en la web para analizar datos de
1452 Health-MIS, RS-MS, Pest-MS expuestos en la sección "Elementos de la interfaz de usuario"

1453 2. Monitoreo y notificación de plagas

1454 La tarea es monitorear 3 sitios de demostración y desarrollar una alerta temprana basada en el
1455 análisis de información de trampas de plagas. los usuarios pueden tener información y datos sobre
1456 el estado actual de la plaga y confirmar las áreas afectadas por la plaga para su posterior
1457 notificación.

1458 2.1 Mecanismo de alerta temprana

1459 [¿Confirmar?] Después del SOP de notificación del desastre de una plaga forestal, el mensaje de
1460 advertencia se envía por correo electrónico. Los mensajes de seguimiento también se muestran y

1461 resaltan cuando el usuario inicia sesión en esta plataforma
1462 [¿Datos?] Se requiere información de contacto de la persona a cargo.
1463 3. Análisis del mapa de riesgo de plagas
1464 La tarea es aplicar mapas de riesgo de plagas forestales para volver a producir incidentes históricos
1465 de plagas en diferentes períodos de tiempo para mejorar las posibles áreas de plagas y riesgos.
1466 3.1 Mostrar diferentes mapas de riesgo de plagas de insectos forestales.
1467 [¿Confirmar?] Muestre los mapas de riesgo de plagas de insectos forestales por semestre, área y
1468 nivel de riesgo.
1469 4. Modelo de expansión de plagas
1470 La tarea es aplicar los resultados del modelo de expansión de plagas. También algunos factores del
1471 mecanismo de brotes de plagas pueden tomar en consideración
1472 4.1 La vista basada en SIG para áreas afectadas por plagas
1473 Proporcionar visualización de mapas estáticos y dinámicos. El formato de datos es datos ráster.
1474 5. Evaluación de pérdida
1475 La tarea es administrar las imágenes y registros generados a partir de las inspecciones y luego
1476 analizar las áreas de desastre y la estimación de pérdidas. Además, con el mecanismo de
1477 investigación y evaluación de la pérdida de plagas, se establecerán los métodos de estimación para
1478 desastres y pérdidas por desastres.