

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA  
CONSERVACIÓN  
ESCUELA DE POSGRADO**

**IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMATICO EN EVENTOS  
EPIDÉMICOS DEL GORGOJO DESCORTEZADOR DEL PINO *Dendroctonus  
frontalis Zimmermann* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) EN HONDURAS**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

*Magister Scientiae* en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y  
Biodiversidad

Por


Milton Rivera Rojas

Turrialba, Costa Rica, 2007


Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

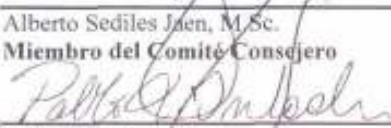
**Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales  
y Biodiversidad**

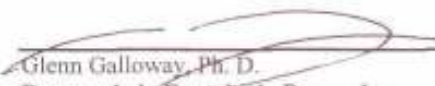
**FIRMANTES:**

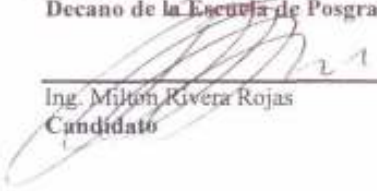
  
\_\_\_\_\_  
Carlos J Pérez, Ph. D.  
Consejero Principal

  
\_\_\_\_\_  
Bruno Locatelli, Ph. D.  
Miembro del Comité Consejero

  
\_\_\_\_\_  
Alberto Sediles Jaen, M.Sc.  
Miembro del Comité Consejero

  
\_\_\_\_\_  
Pablo Imbach, M.Sc.  
Miembro del Comité Consejero

  
\_\_\_\_\_  
Glenn Galloway, Ph. D.  
Decano de la Escuela de Posgrado

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Milton Rivera Rojas  
Candidato

## **Dedicatoria**

*A Dios, dueño, amo y señor de toda mi vida.*

*A mi madre, mis 10 hermanos y mis 31 sobrinos.*

*A Luis Felipe mi hijo, motivación suficiente para emprender la búsqueda de nuevas  
metas*

## **Agradecimientos**

A Dios por darme la fortaleza necesaria para que la perseverancia supliera el talento.

A mi madre, mis hermanos y toda mi familia por el apoyo brindado durante mi estadía en el CATIE, sin ellos no hubiera sido posible culminar con éxito mis estudios de maestría.

A mi profesor consejero Doctor Carlos J Pérez, además de dirigir la investigación me brindo una sincera amistad.

A los miembros del comité consejero Bruno Locatelli, Alberto Sediles y Pablo Imbach, han aportado grandemente a mi formación profesional.

Al CATIE, en especial a la escuela de posgrado por todo el apoyo y conocimientos recibidos durante mis estudios.

Al grupo Cambio Global por darme el apoyo económico y brindarme la posibilidad de realizar esta tesis dentro del proyecto TroFCCA.

A la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) por la beca otorgada en el trigésimo noveno periodo de sesiones del Consejo Internacional de las Maderas Tropicales.

A la Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal COHDEFOR por el apoyo brindado durante la fase de campo.

A mis compañeros de maestría por el apoyo brindado y por los buenos momentos vividos durante los dos años de estudios.

A todos los hermanos de la comunidad cristiana Asambleas de Dios de Turrialba por todo el amor que me brindaron.

## Contenido

Dedicatoria.....	III
Agradecimientos .....	IV
Contenido.....	V
Resumen.....	VII
Índice de cuadros .....	IX
Índice de figuras.....	X
Lista abreviaturas y siglas.....	XI
1. Introducción.....	12
2. Objetivo .....	16
3. Materiales y métodos.....	16
3.1 Área de estudio .....	16
3.2 Fuentes y tipo de información .....	17
3.3 Análisis de la información de la información.....	18
3.4 Desarrollo de un modelo lineal.....	19
3.5 Desarrollo de un modelo con árboles de decisión .....	20
3.6 Desarrollo de un modelo de simulación .....	21
3.6.1 Etapa I: Desarrollo del modelo Conceptual.....	24
3.6.2 Etapa II Desarrollo del modelo cuantitativo .....	25
3.6.3 Etapa III: evaluación del modelo.....	27
3.6.4 Etapa IV: uso del modelo.....	28
4. Resultados y análisis.....	29
4.1 Datos climáticos de Honduras .....	29
4.1.1 Temperatura.....	29
4.1.2 Precipitación .....	30
4.2 Afectación histórica.....	31
4.2.1 Afectación por brotes.....	31
4.2.2 Afectación por incendios forestales.....	32
4.3 Correlación entre las variables.....	33
4.4 Análisis de resultados del modelo lineal.....	34
4.5 Análisis de resultados modelo con árboles de decisión.....	37
4.5.1 Árbol I.....	37

4.5.2	Árbol II .....	38
4.5.3	Árbol III .....	39
4.5.4	Árbol IV .....	40
4.5.5	Árbol V .....	41
4.6	Análisis de resultados modelo de simulación .....	42
5.	Discusión .....	45
5.1	Cambio climático en Centroamérica.....	45
5.2	Relación entre variables climáticas y eventos epidémicos del <i>D. frontalis</i> .....	45
6.	Conclusiones .....	49
7.	Recomendaciones .....	52
8.	Bibliografía .....	59
	ANEXOS .....	65

*Nota: Este documento ha sido elaborado en el marco de la ejecución del Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático –Trofcca-, ejecutado por CATIE y el Centro Internacional de Investigaciones Forestales (CIFOR) en América Central, a través del contrato No. EuropeAid/ENV/2004-81719 entre CIFOR y la Comisión Europea. El contenido de este documento bajo ninguna circunstancia refleja la posición de la Unión Europea.*

## Resumen

**Rivera Rojas, M. 2007.** Impacto potencial del cambio climático en eventos epidémicos del gorgojo descortezador *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) en Honduras. Tesis M. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 65 p

**Palabras clave:** Honduras, bosques de pino, gorgojo descortezador, variables climáticas, modelos de simulación.

Los bosques de pino en Honduras son uno de los principales capitales naturales con los que cuenta esta nación Centroamericana. Los incendios forestales y los brotes epidémicos del gorgojo descortezador de los pinos *Dendroctonus frontalis*, son dos factores importantes que limitan el manejo sostenible de estos ecosistemas. Este último se ha convertido en una de las principales causas de pérdidas económicas e impacto ambiental en los bosques de pino. Las autoridades del sector forestal de Honduras han registrado los brotes epidémicos de *D. frontalis* desde 1982. Este estudio busca correlacionar aquellas variables climáticas y de manejo forestal que están asociadas a los brotes epidémicos del gorgojo descortezador del pino en Honduras. Se consideró un enfoque de sistemas dinámicos combinando una regresión lineal simple, un modelo con árboles de decisión y finalmente, se integraron todos los factores en un modelo de simulación de brotes de *D. frontalis* en un período de aproximadamente 20 años.

Se concluyó que los cambios en la temperatura promedio de la época seca y la ocurrencia de incendios forestales son factores correlacionados con los brotes epidémicos de *D. frontalis* en Honduras. Los resultados de la simulación a partir del enfoque sistémico ponen de manifiesto la importancia del manejo forestal como medida de prevención y control de los brotes epidémicos. Finalmente, se demuestra que estos modelos podrían ser una herramienta importante en la toma de decisiones sobre manejo de los bosques e ilustran un enfoque general para predecir los efectos que ocasionaría el cambio climático en los bosques de pino de Honduras.

**Rivera Rojas, M. 2007.** Potential impact of climate change on outbreaks of the pine bark beetle *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in Honduras. Thesis M. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 65 p

**Keywords:** Honduras, Pine forests, bark beetle, climatic variables, simulation models

### **Abstract**

Pine forests are important components of the natural resources assets in Honduras. Forest fires and recurrent outbreaks of the pine bark beetle *Dendroctonus frontalis* are main factors limiting sustainable forest management. Forest authorities in Honduras have recorded *D. frontalis* outbreaks since 1982. In this study, several climatic and forest management variables were explored to infer association between *D. frontalis* outbreaks and environmental conditions that favor these outbreaks. A dynamic system approach was used combining simple linear regression, decision tree models, and simulation of population dynamics integrating climatic and forest management factors in the model. A period of 20 years beyond 2011 was considered for the simulation model. It was concluded that an increase in the average temperature during the dry season of the previous rainy season and the occurrence of forest fires are significantly related to *D. frontalis* outbreaks. The simulation model indicates that forest management such as extraction and use of damaged trees and adequate thinning, is essential for outbreak prevention and control. These models could become useful tools for pine forest management decisions in Honduras, particularly if global warming trends become real.



## Índice de cuadros

Cuadro 1. Etapas para el desarrollo de un modelo de simulación a partir del enfoque de análisis de sistemas dinámicos (Grant <i>et al.</i> 2001).....	23
Cuadro 2. Ecuaciones para el desarrollo del modelo de simulación con Vensim. ....	26
Cuadro 3. Matriz de correlación entre los valores observados y simulados de acuerdo a los parámetros alfa y beta del modelo de simulación de Vensim.....	28
Cuadro 4. Matriz de correlación de variables que explican la afectación por <i>D. frontalis</i> en los pinares de Honduras.....	33
Cuadro 5. Cinco mejores árboles de decisión con su performance, éxito de validación y variables incluidas en la creación que explican la afectación por <i>D. frontalis</i> en los pinares de Honduras.....	37

## Índice de figuras

Figura 1. Áreas de bosque donde han ocurrido los brotes epidémicos del <i>D. frontalis</i> durante el periodo 1982 a 2006. ....	17
Figura 2. Distribución de las estaciones meteorológicas en la zona de pinares de Honduras. estaciones pluviométricas    estaciones de temperatura .....	19
Figura 3. Comparación de diferentes métodos para el enfoque de una investigación de acuerdo al nivel relativo de entendimiento e información disponible. Fuente: Grant et al 2001 .....	22
Figura 4. Temperatura promedio anual histórica y proyectada para la zona de pinares.....	29
Figura 5. Precipitación promedio anual, estación seca    y    estación húmeda observada y proyectada de acuerdo al escenario A2.....	30
Figura 6. Área afectada por ataque de <i>D. frontalis</i> durante el periodo 1982-2006 .....	31
Figura 7. Volumen de madera afectada por <i>D. frontalis</i> para el periodo 1982-2006 .....	32
Figura 8. Área afectada por incendios forestales durante el periodo 1982-2006 .....	33
Figura 9. Distribución del área de bosque afectado por incendios forestales durante el periodo observado y el área afectada proyectada según el escenarios de cambio climático .....	35
Figura 10. Distribución del área de bosque afectado observado y el área afectada proyectada según los escenarios de cambio climático .....	36
Figura 11. Nivel de afectación (a) y esquema (b) para el árbol de decisión I .....	38
Figura 12. Nivel de afectación (a) y esquema (b) para el árbol de decisión II .....	39
Figura 13. Nivel de afectación (a) y esquema (b) para el árbol de decisión III.....	40
Figura 14. Nivel de afectación (a) y esquema (b) para el árbol de decisión IV .....	40
Figura 15. Nivel de afectación (a) y esquema (b) para el árbol de decisión V.....	41
Figura 16. Modelo conceptual para el análisis de la dinámica de eventos epidémicos del <i>D. frontalis</i> . Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 17. Índice de ataque simulados para los bosques de pino considerando el escenario climático A2 y un manejo de cero hectareas (línea punteada)    y    cincuenta mil hectareas (línea continua). ....	44

## **Lista abreviaturas y siglas**

COHDEFOR: Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal

PRECIS: Modelo Climático Regional para la región de Centroamérica, México y el Caribe

IPCC: Panel intergubernamental de cambio climático

INAFOR: Instituto Nacional Forestal de Nicaragua

SERNA: Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras

## 1. Introducción

América Central cuenta con al menos 3,8 millones de hectáreas de pinares nativos (*Pinus* spp.). Por mucho tiempo, estos bosques han estado sometidos a amenazas de diversos agentes destructivos tales como huracanes, sequías, incendios, actividades humanas y plagas forestales, entre otros. La combinación de estos factores ha producido en años recientes efectos destructivos en los recursos forestales de Honduras y de la región (FAO 2001).

De los países centroamericanos, Honduras es el que cuenta con mayor extensión de área con vocación forestal, totalizando 9,8 millones de hectáreas, equivalente al 87% del territorio; de éstas, 5,4 millones cuentan con cobertura forestal. La superficie cubierta con bosques latifoliados, incluyendo manglares, se estima en 2,9 millones de hectáreas, concentrándose en los departamentos de Gracias a Dios, Olancho, El Paraíso, Colón y Atlántida. Los bosques de pino están localizados principalmente en la parte centro oriental y occidental del país y cubren una extensión de aproximadamente 2,5 millones de hectáreas (COHDEFOR 2000). El bosque de coníferas en Honduras es aparentemente estable en su cobertura, no obstante, ha sufrido una reducción en su capacidad productiva y calidad genética de las especies que lo conforman y la posible causa se asocia con el problema de los incendios y las plagas forestales (CCAD-UICN 2005).

Se han documentado varias plagas de importancia económica para los pinares de la región (CATIE 1991). Una de las plagas forestales más importantes es el gorgojo descortezador de los pinos *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). Se han registrado ataques importantes de esta plaga sobre pinares de Belice, Guatemala, Nicaragua y Honduras. Se conocen además para América Central alrededor de seis especies de *Dendroctonus* y varias de ellas se han documentado también en Estados Unidos y México (CATIE 1991).

El *D. frontalis* es un insecto descortezador que ataca varias especies de pino, iniciando su ataque en pinos debilitados por fuegos, alta densidad del rodal u otras causas. El efecto de su ataque se da por la obstrucción al paso de nutrientes y agua dentro del árbol. Influenciado

por la temperatura, su ciclo de vida dura 26 y 54 días, llegando a alcanzar hasta 10 generaciones por año (Payne 1980).

En Honduras se han registrado brotes importantes de *D. frontalis* en los periodos de 1962 a 1965, 1982 a 1984, 1989 a 1990 y el último en el año 2001. En ese primer periodo de ataques no se conocía el insecto ni su biología y por consiguiente se extendió a todo el país bajo un carácter epidémico y llegó a destruir el 28% de los pinares del país (COHDEFOR 2002). Para el año 2001, se observó un incremento en la incidencia de insectos descortezadores en bosques de pino, desde el sur de México hasta el norte de Nicaragua, en ese año las poblaciones de *D. frontalis* habían aumentado de manera alarmante en bosques naturales y plantaciones de *P. oocarpa* y *P. caribae* de toda América Central. En Guatemala por ejemplo, se reportaron más de 300.000 hectáreas destruidas y en Nicaragua había unas 30.000 hectáreas infestadas por esta plaga (Macías e Hilje 2001; INAFOR 2002).

El historial de ataques en Honduras indica que en el año 1964 más de dos millones de hectáreas de bosques fueron atacadas por el gorgojo descortezador y la tasa de infestación alcanzó las 150.000 hectáreas por mes; posteriormente la plaga se mantuvo en estado endémico hasta el año 1982 cuando aparece de nuevo con niveles epidémicos (Billings 1982). Datos de la Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR) registran con respecto a plagas forestales que para el año 2002 se detectaron casi 6.000 brotes en una superficie de 13.511 hectáreas, afectando un volumen de 715.480 m<sup>3</sup> de madera (COHDEFOR 2002). En Estados Unidos donde también se encuentran distintas especies de gorgojos descortezadores, incluido el *D. frontalis*, los registros de ataques datan desde el año 1960, su mayor incidencia se documentó en el año 1973 y la última en el año 1997 (Price *et al.* 1998).

Son varios factores bióticos y abióticos que explican el desarrollo de brotes epidémicos de *D. frontalis*. En el caso de la temperatura, esta puede tener amplios efectos en la fisiología y el comportamiento de este insecto en las diferentes etapas de su desarrollo; influye desde la actividad diaria, reproducción, nutrición, desarrollo y supervivencia de los mismos; en zonas templadas por ejemplo, con una temperatura promedio de 10 °C el ciclo de vida tardaría alrededor de 82 días mientras que en el verano con temperaturas promedio de 30 °C el ciclo de vida se acorta a tan solo 31 días (Payne 1980, Ray y Hicks 1980).

Muchos investigadores han tratado de relacionar los factores climáticos con el estrés de los árboles de pino y el cambio en la severidad de los brotes de *D. frontalis*. Aunque se ha estudiado con frecuencia no quedan conclusiones claras que permitan tener un entendimiento preciso de las relaciones entre el estado de los árboles, las condiciones ambientales y el crecimiento de las poblaciones de insectos (McNulty *et al.* 1995).

Un estudio realizado sobre el efecto de los factores climáticos en la dinámica poblacional del *D. frontalis* en Estados Unidos mostró que un incremento de la temperatura puede transformar un hábitat frío e inhóspito en un hábitat benigno o favorable, dando lugar a un cambio geográfico en la distribución hacia el Norte como también hacia sitios altos previamente marginales por las bajas temperaturas (Logan y Bentz 1999). Estos mismos autores hacen referencia a tres efectos directos del incremento de la temperatura en la bioecología del insecto. El primero de ellos es la reducción del tiempo necesario entre una generación y la siguiente; segundo, un aumento en la fecundidad; y tercero, una disminución de la mortalidad por causas climáticas. Ungerer *et al* (1999) estimaron que *D. frontalis* ante un incremento de 3°C en la temperatura mínima anual podría ampliar sus límites de distribución hacia el Norte en unos 170 kms. Adicionalmente, los cambios en la temperatura y la precipitación podrían influenciar directamente las poblaciones de *D. frontalis*, actuando en los procesos fisiológicos del insecto, e indirectamente, a través de la alteración de los árboles hospederos generando la pérdida de resistencia o disminuyendo la población de depredadores naturales (Gan 2004).

En Centroamérica no hay evidencias de que se haya desarrollado un programa de investigación que permita entender la correlación entre los factores que influyen en ocurrencia de brotes epidémicos (Conversación personal con Alberto Sediles en Nicaragua, Vicente Espino en Honduras y Ron Billings en Texas USA). Los escasos estudios realizados se han centrado en la descripción de especies de los gorgojos de los pinos (Thunes *et al* 2005), otros en la descripción de las técnicas de manejo de la plaga (Billing 1982, Nuñez 2001), y el más reciente (Rivera 2005), que determinó las áreas con mayor riesgo de ser atacadas por *Dendroctonus spp* basándose en áreas afectadas durante los años 2004 y 2005.

Las condiciones cambiantes del clima hacen que las predicciones frente a lo que será el clima futuro sean inciertas. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC),

estima que para América Central se proyecta una disminución paulatina de la precipitación durante la época de lluvias, particularmente en la región del pacífico, mientras que las proyecciones muestran tendencias hacia el aumento de las temperaturas en la región (IPCC 2001). En otros estudios sobre la evolución del clima en la región centroamericana se concluyó que para América Central en los últimos 40 años no se ha observado una disminución significativa en la precipitación total promedio anual. No obstante, ha aumentado el número de días secos por año, compensados por días en que llueve con mayor intensidad, lo que sugiere un cambio en el régimen de lluvias. Este mismo estudio concluye que las temperaturas máxima y mínima han aumentado un promedio de 0.2 °C y 0.3 °C por década, respectivamente (Aguilar *et al* 2005). Este aumento paulatino de temperatura puede brindar las condiciones adecuadas para una mayor incidencia de los ataques epidémicos de *D. frontalis*, como ha sido proyectado en estudios realizados en los Estados Unidos de Norte América (Gan 2004, Williams y Liebhold 2002).

Entender las causas y las consecuencias de los brotes epidémicos de plagas forestales es un objetivo fundamental para las autoridades forestales y las encargadas del manejo recursos naturales de la región. Mientras que algunos brotes se explican al parecer por factores exógenos tales como efectos o disturbios climáticos, otros parecen ser causados por las características intrínsecas como la dinámica poblacional de la plaga (Richard *et al.* 2006), estimulados a su vez, por la alta densidad de árboles en los bosques sin manejo forestal (Ray y Hicks 1980). De algún modo, las condiciones climáticas afectarán directa o indirectamente la dinámica de los insectos, actuando como un factor de estrés que debilita los bosques de pino. En este contexto, los sistemas naturales como los bosques tropicales incluyendo los bosques de pino, pueden ser especialmente impactados por el cambio climático, debido a su limitada capacidad de adaptación. Seguramente los daños o pérdidas de bosques de pino aumentarán con la magnitud y la rapidez del cambio climático si las políticas y acciones para reducir las emisiones no logran una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC 2001).

## 2. Objetivo

Este estudio busca determinar el impacto potencial del cambio climático en los ataques del gorgojo descortezador de los pinos *D. frontalis* en los ecosistemas de coníferas de Honduras. En este país se han registrado ataques del descortezador del pino desde 1982. Con la información disponible se analizarán las condiciones climáticas durante los años que se han presentado los brotes de *D. frontalis*, luego se evaluarán distintos modelos para entender el comportamiento de los ataques en una escala temporal considerando escenarios de cambio climático, la dinámica poblacional del insecto, los eventos antrópicos y el manejo del bosque. Finalmente, se brindaran pautas para el diseño de estrategias de manejo adaptativo en función de la amenaza futura a la que se exponen los bosques de pino por el incremento de eventos epidémicos. Este estudio se basa en la hipótesis de que el área de bosque afectada por la ocurrencia de brotes epidémicos de *D. frontalis* está determinada por la dinámica poblacional del insecto, las condiciones climáticas, la ocurrencia de eventos antrópicos y las actividades silviculturales y que ante cambios en la temperatura y el régimen de lluvias, aumentaran la frecuencia e intensidad los brotes de *D. frontalis*.

## 3. Materiales y métodos

### 3.1 Área de estudio

Este estudio se realiza a una escala nacional. Se consideró la información de brotes de gorgojo descortezador *D. frontalis* desde el año 1982 hasta 2006. Según los registros oficiales de AFE-COHDEFOR (2007), estos bosques están localizados en la parte centro oriental y occidental de Honduras (Figura 1). Cubren una extensión de aproximadamente 2,5 millones de hectáreas de bosques de pino representados por varias especies, entre ellas: *Pinus caribaea* Moralet (variedad hondurensis), *P. oocarpa* Schiede, *P. maximinoi* (H. E. Moore), *P. tecunumanii* ((Schw.) Eguiluz & Perry)), *P. ayacahuite* Ehr, *P. pseudostrobus* Lindl (Hernández 1980). No se incluyó los bosques localizados en la región de Gracias a Dios en la



parte nororiental del país ubicada en el litoral del Caribe porque en esta zona no se han registrado brotes del gorgojo descortezador.

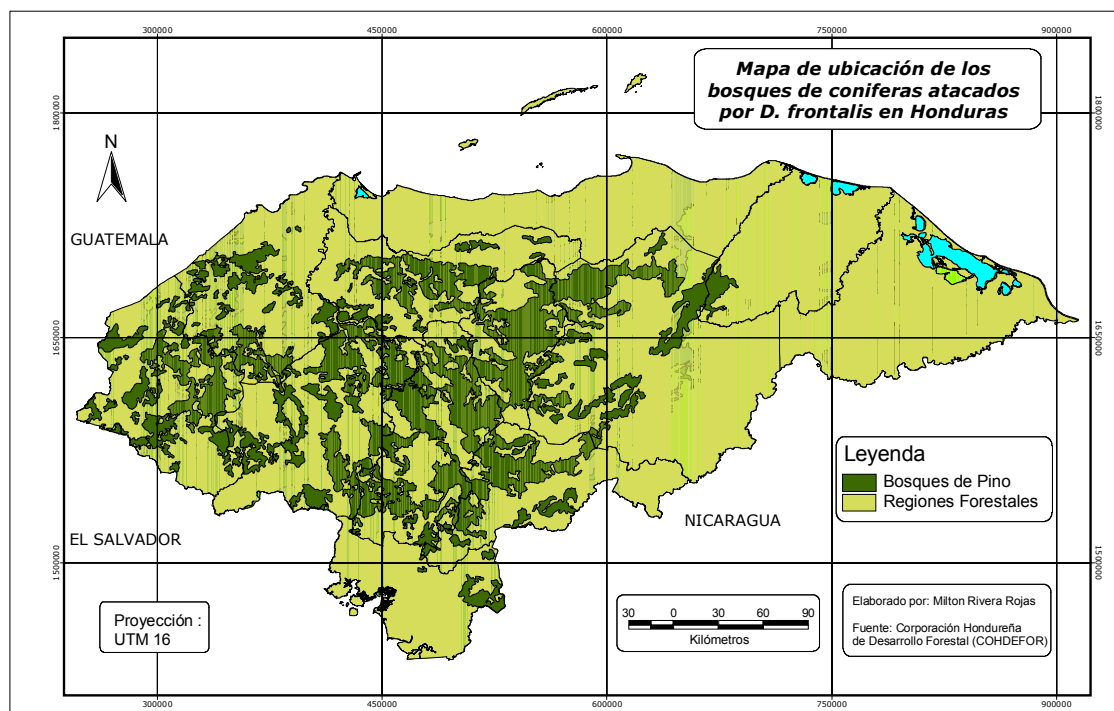


Figura 1. Áreas de bosque donde han ocurrido los brotes epidémicos del *D. frontalis* durante el periodo 1982 a 2006.

### 3.2 Fuentes y tipo de información

La información utilizada en este estudio proviene de los registros de la Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (AFE-COHDEFOR) y fue recopilada en una visita realizada a Honduras durante el I cuatrimestre de 2007. La base de datos disponible incluye un registro histórico de brotes *D. frontalis*, incluyendo, el área de bosque incendiada y el área de bosque bajo manejo forestal. Los registros históricos de precipitación y temperatura fueron suministrados por la Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) a través del Departamento de Servicios Hidrológicos y Climatológicos de Honduras. Esta base de datos ofrece información de aproximadamente 50 estaciones meteorológicas para el cálculo de la

precipitación y temperatura promedio anual. También se utilizó información cartográfica suministrada por COHDEFOR para el análisis del clima de la zona y las aéreas afectadas. El periodo de análisis de brotes con las variables climáticas es el comprendido entre 1982 a 2006.

Las estimaciones de brotes futuros para el periodo 2011 - 2025 se hicieron con la información climática proyectada para ese periodo fue obtenida del programa PRECIS-CARIBE (PRECIS 2007). Este programa simula las anomalías mensuales de temperatura, precipitación y otras 14 variables climáticas. Las anomalías son estimadas considerando el escenario de cambio climático A2 que es uno de los que en la actualidad están disponibles en PRECIS-CARIBE (PRECIS 2007). El escenario A2 es relativamente pesimista en cuanto a la reducción de emisiones de GEI con las políticas y acciones actuales (IPCC 2001). Para el período de estudio, poco o nada se puede hacer para reducir las emisiones alteradas de GEI que están ya presentes en la atmósfera (IPCC 2007).

### **3.3 Análisis de la información de la información**

Inicialmente se conformó una matriz de variables (Anexo 1): temperatura promedio anual, temperatura promedio por estación (seca y lluviosa), precipitación promedio anual y por estación, ocurrencia de eventos extremos como El Niño y La Niña, variables silviculturales como el área bajo manejo, área incendiada y otras anomalías climáticas como el número de meses secos en el año, número de meses húmedos y calurosos. Para el análisis se eligieron aquella que representan factores que pueden explicar o estar asociados a la ocurrencia de eventos epidémicos del *D frontalis*. Se realizó preliminarmente un análisis estadístico descriptivo que permitió conocer el comportamiento de las variables seleccionadas.

Para la determinación de las variables climáticas se utilizaron registros históricos de las estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de pinares (Figura 2). Se promediaron los valores de temperatura y precipitación total anual para la estación seca y la estación húmeda. Se determinó además una serie de anomalías e índices climáticos por año (Anexo 2) que posteriormente fueron incluidos en el análisis. Seguidamente, sobre el clima base se aplicaron las anomalías obtenidas de PRECIS CARIBE y se realizaron las proyecciones del clima para el periodo 2011-2025. Se definió este periodo de análisis como una escala de tiempo que

permite la toma de decisiones en la actualidad y que podría impactar la productividad del sector forestal en los próximos 20 años. Las proyecciones son a partir del 2011, es decir, PRECIS-CARIBE no proyecta el clima de 2007 a 2010.

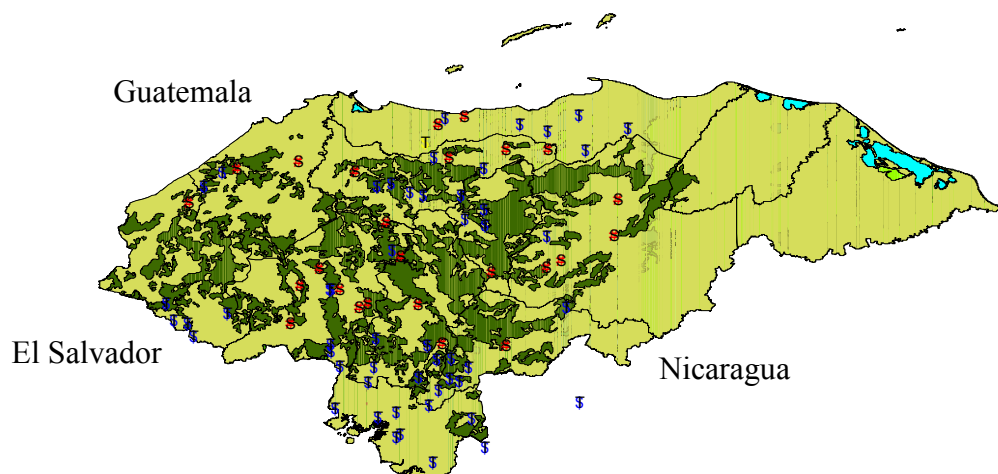


Figura 2. Distribución de las estaciones meteorológicas en la zona de pinares de Honduras. estaciones pluviométricas ▲ estaciones de temperatura ●

### 3.4 Desarrollo de un modelo lineal

Una vez realizado el análisis descriptivo de las variables seleccionadas en el estudio se desarrolló el modelo lineal para representar las áreas de bosque afectadas por brotes de *D. frontalis*. A partir de una matriz de variables se realizó la correlación múltiple y luego se realizó la regresión lineal simple para estimar la ecuación del modelo (Infostat 2007). Para la estimación del modelo de regresión se consideró las variables correlacionadas con la variable dependiente (área de bosque afectada o volumen de madera afectado). Las correlaciones se consideraron significativas cuando la probabilidad del coeficiente de correlación de Pearson era  $P < 0,1$  (Infostat 2007). La integración de la variable “área incendiada” en el modelo mejoró significativamente el coeficiente y permitió la posterior proyección de las áreas afectadas. De igual manera que en el análisis anterior se planteó a partir de la matriz de

variables una correlación múltiple para conocer el grado de afectación de las variables climáticas con respecto al área incendiada.

### **3.5 Desarrollo de un modelo con árboles de decisión**

Un árbol de decisión permite identificar aquellas variables críticas que determinan la clase de afectación de la variable dependiente. Para establecer los árboles de decisión aplicables al manejo de *D. frontalis* se utilizaron los mismos datos que en el modelo lineal y se agregaron otras variables creadas a partir del análisis de anomalías climáticas. Se consideró la ocurrencia de meses atípicos en cuanto al clima base; por ejemplo, un mes atípicamente seco es aquel cuyo total de precipitación es menor al percentil 25 del valores promedio de la serie; similarmente, un mes atípicamente húmedo es aquel cuyo total de precipitación supera el percentil 75 del valor promedio de la serie; finalmente, un mes atípicamente caluroso es aquel cuyo promedio de temperatura supera el percentil 75 del valor promedio de la serie.

Todos los datos recopilados cubren 25 años correspondientes a la serie de tiempo de 1982 a 2006. La variable dependiente es el área afectada por brotes y se clasificó en tres clases. El 33% de valores más altos reciben el valor de clase III y son los que están por encima de 2.430 hectáreas, los valores de clase II se encuentran en el intervalo 338 y 2.430 hectáreas de afectación. Finalmente, el 33% de valores de afectación más bajos que 338 hectáreas reciben el valor de Clase I.

Las variables independientes, 50 en total, son las variables climáticas, área de bosque incendiada y área bajo manejo. Los árboles de decisión son elaborados con el programa Matlab<sup>TM</sup> a partir de un número restringido de variables discriminantes. La calibración final de los árboles se hizo sobre una muestra de 12 años sacados al azar de los 25 disponibles, luego, el árbol se validó con los 13 años restantes. El procedimiento fue el siguiente:

Paso 1. Se escogieron al azar entre 5 y 10 de las 50 variables independientes

Paso 2. Se escogieron al azar 12 de los 25 años con datos disponibles, para el aprendizaje.

Paso 3. Se estableció el árbol de decisión con el procedimiento "treefit" de Matlab.

Paso 4. Se evaluó el árbol de decisión con los 13 años de datos no utilizados en el aprendizaje.

Paso 5. Se calculó un indicador de eficacia que sirve para seleccionar los mejores árboles:

$$\text{Eficacia} = 1 - \frac{1}{\text{numClass} - 1} \frac{\sum_{i=1}^n |y_{\text{model}}(i) - y_{\text{real}}(i)|}{n}$$

Si el árbol explica perfectamente los brotes en los años de validación,  $Y_{\text{modelo}}(i) = Y_{\text{real}}(i)$  para todos los  $(i)$ , el indicador de eficacia es igual a uno. Si el árbol tiene poca eficacia, el indicador será bajo, cercano a cero. Como los valores estimados  $Y_{\text{modelo}}(i)$  y los valores observados  $Y_{\text{real}}(i)$  pueden diferenciarse a un máximo de dos (numero de clases -1) se utiliza este denominador en la ecuación. Por ejemplo, cuando se predice la clase tres clases, el error máximo será cuando la clase real sea uno, es decir, dos de error máximo.

Paso 6. Se observó el % de observaciones bien estimadas por el árbol en la muestra de validación y en toda la muestra.

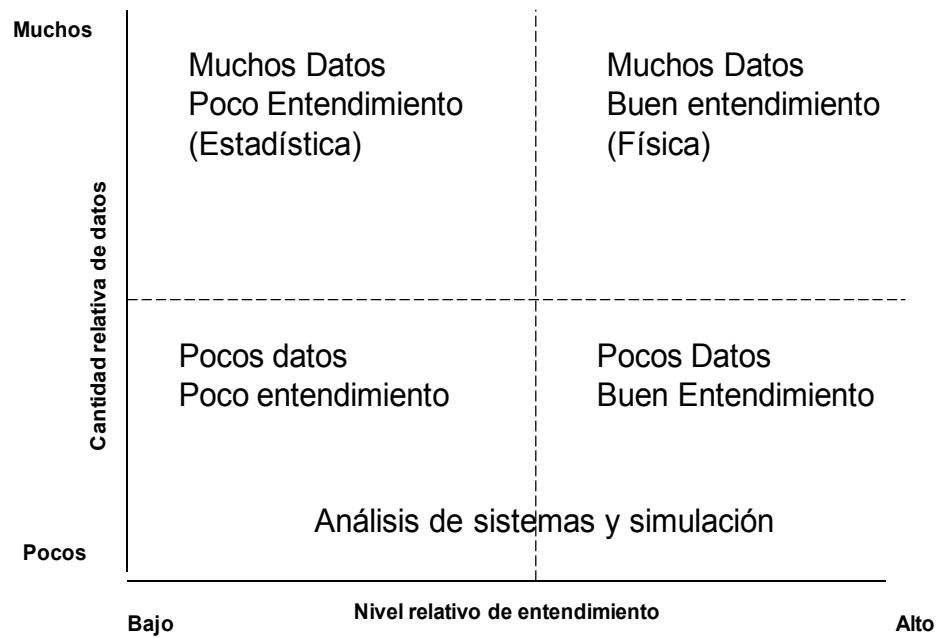
Paso 7. Se repitió el procedimiento 5000 veces mediante la utilización de Matlab™.

Paso 8. Se seleccionaron los cinco mejores árboles de acuerdo al nivel de eficacia.

### 3.6 Desarrollo de un modelo de simulación

Existen relaciones complejas entre el estrés de los árboles, las condiciones ambientales y el tamaño de las poblaciones de gorgojos descortezadores (Nulty *et al* 1998). El utilizar una herramienta de simulación como Vensim permite incluir en los análisis algunas relaciones que aunque no estén claramente definidas, por observaciones de campo se evidencia que hacen parte en las relaciones del sistema (Aracil 1995). En este caso, el sistema integrado por el bosque de pino – *D. frontalis* – clima.

De acuerdo al nivel de conocimiento y la disponibilidad de datos que se tengan a la hora de analizar un problema o una relación ecológica se pueden utilizar diferentes enfoques (Figura 3).



*Figura 3. Comparación de diferentes métodos para el enfoque de una investigación de acuerdo al nivel relativo de entendimiento e información disponible. Fuente: Grant et al 2001*

Se escogió el análisis de sistemas como un enfoque que permitió realizar el estudio de acuerdo a las condiciones de disponibilidad de información. La metodología utilizada en esta parte de la investigación fue la propuesta por Grant *et al* (2001) siguiendo cuatro etapas (Cuadro 1).

*Cuadro 1. Etapas para el desarrollo de un modelo de simulación a partir del enfoque de análisis de sistemas dinámicos (Grant et al. 2001)*

<b>ETAPA</b>	<b>ACTIVIDADES</b>
(I) Desarrollo del modelo Conceptual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición de los objetivos del modelo</li> <li>• Definición de los límites del sistema</li> <li>• Clasificación de los componentes del sistema.</li> <li>• Identificar relaciones entre los componentes del sistema.</li> <li>• Representación del modelo conceptual.</li> <li>• Describir los patrones esperados en el comportamiento del modelo.</li> </ul>
(II) Desarrollo del modelo Cuantitativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar la forma matemática general del modelo</li> <li>• Definir intervalos de tiempo para las simulaciones</li> <li>• Identificar las formas de las relaciones entre las variables del modelo</li> <li>• Estimar los parámetros de las ecuaciones del modelo</li> <li>• Codificar las ecuaciones del modelo en la computadora</li> <li>• Ejecutar las simulaciones</li> <li>• Presentar las ecuaciones del modelo</li> </ul>
(III) Evaluación del modelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la estructura del modelo y las relaciones representadas</li> <li>• Evaluar la concordancia entre el comportamiento del modelo y los patrones esperados</li> <li>• Evaluar la concordancia entre las predicciones del modelo y los datos reales</li> <li>• Determinar la sensibilidad del modelo a cambios en parámetros importantes.</li> </ul>
(IV) Uso del modelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar las simulaciones</li> <li>• Analizar e interpretar los resultados del modelo</li> <li>• Examinar el manejo o las condiciones ambientales alternativas.</li> <li>• Comunicar los resultados de la simulación</li> </ul>

### 3.6.1 Etapa I: Desarrollo del modelo Conceptual

En esta etapa se desarrolló el modelo conceptual del sistema analizado. Una vez definidos los objetivos de la investigación estos fueron la pauta para abstraer del sistema real los componentes a incluir en el análisis y que se consideran relevantes para responder las preguntas y abordar las hipótesis de la investigación. Seguidamente se definieron los componentes del sistema modelado que en este caso corresponde a las variables que podrían estar influyendo en la ecología del insecto incluyendo las variables climáticas. Se consideró los siguientes factores:

1. Clima (Temperatura, Precipitación).
2. Eventos antrópicos y/o naturales (Incendios Forestales).
3. Área de bosque bajo manejo.
4. Ecología del insecto (Taza de reproducción, Ciclos Biológicos).

Ya habiendo definido los componentes del sistema se clasificaron las variables de acuerdo a la función de las mismas dentro del modelo teniendo así:

1. Variables de estado: Representa el punto de acumulación de información del sistema simulado, en este caso el índice de ocurrencia de eventos epidémicos medidos en función de la dinámica poblacional del *D. frontalis* en número de poblaciones por año y el índice de vulnerabilidad del bosque causado por el estrés climático, ausencia de manejo y debilitamiento por incendios forestales.
2. Variables externas: Son las variables que afectan el sistema pero que no están afectadas por el resto de variables del sistema, en este caso, la temperatura y el índice de estrés climático.
3. Constantes: Corresponden a valores numéricos que describen características que no cambian en la simulación, los parámetros alfa y beta son las constantes de este modelo
4. Retrasos en la información. Para este caso se tienen retrasos de información en la cantidad de área que es afectada por ataques y que después de un tiempo (10 años en este caso) vuelve a estar vulnerable a ser atacada.



Después de haber clasificado las variables se identifican las relaciones entre estas. Se unificó entre cada uno de los componentes del sistema las relaciones que pudieran ser de interés en el estudio. Para tener certeza que las relaciones planteadas fueran correctas se consultó estudios científicos, opinión de expertos y observaciones en campo. Seguidamente se elaboró el diagrama de flujos el cual ayudó a tener una visión clara del sistema analizado con sus relaciones y efectos, abstrayendo así el problema que se quiere resolver. Este diagrama facilitó también la utilización de la información entre los componentes del sistema simulado y el establecimiento de los patrones de comportamiento del modelo.

### **3.6.2 Etapa II Desarrollo del modelo cuantitativo**

En el segundo paso desarrolló un modelo cuantitativo para el sistema objeto de estudio, proceso que se dio a través de ecuaciones matemáticas usando el modelo conceptual como base para describir los comportamientos o la transferencia de información en la dinámica del sistema. Para desarrollar un modelo de simulación se pueden utilizar matrices de variables, ecuaciones diferenciales o integrando sistemas dinámicos como fue este caso (Grant *et al.* 2001).

Los intervalos de tiempo para las simulaciones están en función de cambios significativos de las variables que afectan el sistema. La variación de la temperatura promedio anual y el total de precipitación anual determinaron que el intervalo de tiempo para realizar las simulaciones fuera de un año; este intervalo de tiempo (2011-2125) facilitó la utilización de los escenarios climáticos. Para determinar el tipo de relación entre las variables se utilizó la información obtenida en el análisis estadístico, se tuvo en cuenta el conocimiento de expertos en el tema y se complementó con la revisión de literatura científica, como en el caso de la dinámica poblacional del gorgojo descortezador.

Una vez identificadas los tipos de relación entre las variables se procedió a programar la simulación en el programa Vensim. Posterior a este primer paso se escribió las ecuaciones en el lenguaje escogido de acuerdo a las funciones del software (Cuadro cuatro), luego se

corrigió para depurar los errores cometidos en desarrollo del proceso de codificación y por último se verificó el cumplimiento de las órdenes establecidas en los pasos anteriores.

*Cuadro 2. Ecuaciones para el desarrollo del modelo de simulación con Vensim.*

<i>Variable</i>	<i>Ecuación</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área bajo manejo</li> <li>• Índice de área incendiada</li> <li>• Índice de estrés climático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área bajo manejo/Área total</li> <li>• Área incendiada anual/Área total</li> <li>• Promedio de afectación anual expresado en clase de afectación, valor uno para afectaciones leves y tres para afectaciones severas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrés climático</li> <li>• Estrés climático del año anterior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>(\text{Índice estrés climático}-1)/2</math></li> <li>• (Valor X del estrés climático del año inmediatamente anterior al análisis en un tiempo T)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área total disponible del año pasado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>(\text{Índice de área total disponible sin ataques en los 10 últimos años})</math></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área total disponible sin ataque en los 10 últimos años</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área total disponible del año pasado- Índice de áreas atacadas el año anterior + Índice de áreas recuperadas después de 10 años</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área sensible + Beta*Índice de área muy vulnerable</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área sensible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área total disponible (sin ataques en los 10 últimos años)-10*Índice de área manejada</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilidad del bosque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrés climático*(1+Estrés climático del año anterior)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área muy vulnerable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área incendiada</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área atacada el año anterior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor del índice de área atacada X para el tiempo T inmediatamente anterior al análisis</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de áreas recuperadas después de 10 años</li> <li>• Índice de área atacada</li> <li>• Índice de afectación</li> <li>• Parámetro Alpha</li> <li>• Parámetro Beta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de área atacada desde el año cero hasta el año 10 de la serie de tiempo pasada</li> <li>• Índice de afectación</li> <li>• <math>\text{Alpha} \times \text{Abundancia del insecto} \times \text{índice de área} \times \text{sensibilidad del bosque}</math></li> <li>• 0,15</li> <li>• 20</li> </ul>
---	--

### 3.6.3 Etapa III: evaluación del modelo

La evaluación del modelo toma como base su utilidad en el propósito específico. La atención se concentró en la revisión de las características que hacen del modelo una herramienta potencialmente útil. Para la evaluación de un modelo que incluye sistemas dinámicos se recomienda analizar todas las facetas de su estructura hasta los resultados obtenidos (Grant *et al.* 2001). Las principales pruebas son: la estructura del modelo, su coherencia y la veracidad en las relaciones planteadas desde el contexto bio-ecológico. La evaluación de la concordancia entre las predicciones del modelo y los datos reales se desarrolló observando el comportamiento del sistema con los datos reales y confrontándolos con los datos simulados. Para ello se hizo una correlación entre la serie de datos observados y los datos simulados. Este proceso se llevo a cabo varias veces hasta encontrar el coeficiente de correlación más alto posible.

Finalmente, la evaluación del ajuste del modelo se realizo correlacionando los valores observados con los valores simulados por Vensim. Después de una cierta cantidad de simulaciones se logró obtener una correlación de 0.80 con  $P < 0,001$  (Cuadro 3).

*Cuadro 3. Matriz de correlación entre los valores observados y simulados de acuerdo a los parámetros alfa y beta del modelo de simulación de Vensim*

<i>Beta</i>	<b>6,25</b>	<b>12,5</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>
<i>Alfa</i>						
0.025	0,77	0,77	0,74	0,69	0,62	0,58
0.05	0,78	0,78	0,76	0,69	0,62	0,58
0.1	0,79	0,80	0,77	0,69	0,59	0,54
0.15	0,78	0,79	0,76	0,65	0,55	0,52

#### **3.6.4 Etapa IV: uso del modelo**

Con base en las características de un modelo de simulación como el que se utilizó, no se involucró dentro de las simulaciones un diseño experimental que requiriera análisis estadísticos de los resultados, pues los mismos carecen de aleatoriedad. En respuesta a esta condición se hizo una simulación por cada escenario climático planteado y se consideró la inclusión del manejo forestal como alternativa de impacto.

## 4. Resultados y análisis

### 4.1 Datos climáticos de Honduras

#### 4.1.1 Temperatura

La temperatura promedio anual para la zona de pinares donde han ocurrido los brotes de *D frontalis* no registra grandes variaciones en el periodo analizado (1980 – 2006). Los valores promedios fluctúan entre los 24 °C y 25,4 °C y se estima para los próximos 20 años un incremento de por lo menos un grado de temperatura en promedio considerando las proyecciones a partir del escenario A2 (Figura 4).

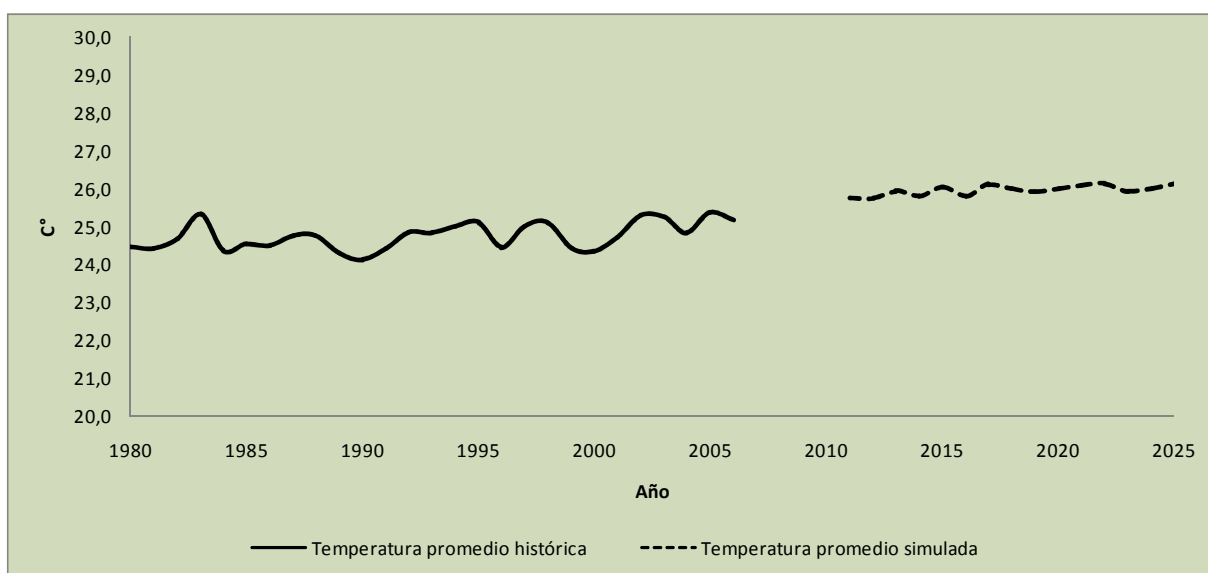


Figura 4. Temperatura promedio anual histórica y proyectada para la zona de pinares

#### 4.1.2 Precipitación

La precipitación promedio anual presenta variaciones. Se registraron valores que van desde los 1250 mm como el ocurrido en el año 1987, hasta los 2750 en 1999. Durante la estación lluviosa la precipitación fluctúa entre 1200 y 2000 mm, para la estación seca que comprende los meses de noviembre a abril, el valor promedio de precipitación es de aproximadamente 200 mm (Figura 5). Si se considera las proyecciones de acuerdo al escenario A2 para el periodo 2011 – 2025 el promedio de precipitación para la estación húmeda se reduciría y se establecería alrededor de los 1250 mm, mientras que el promedio en la estación seca se incrementaría hasta los 500 mm. Al final de este periodo la precipitación promedio anual no habría presentado grandes cambios y se mantendría alrededor de los 1750 mm.

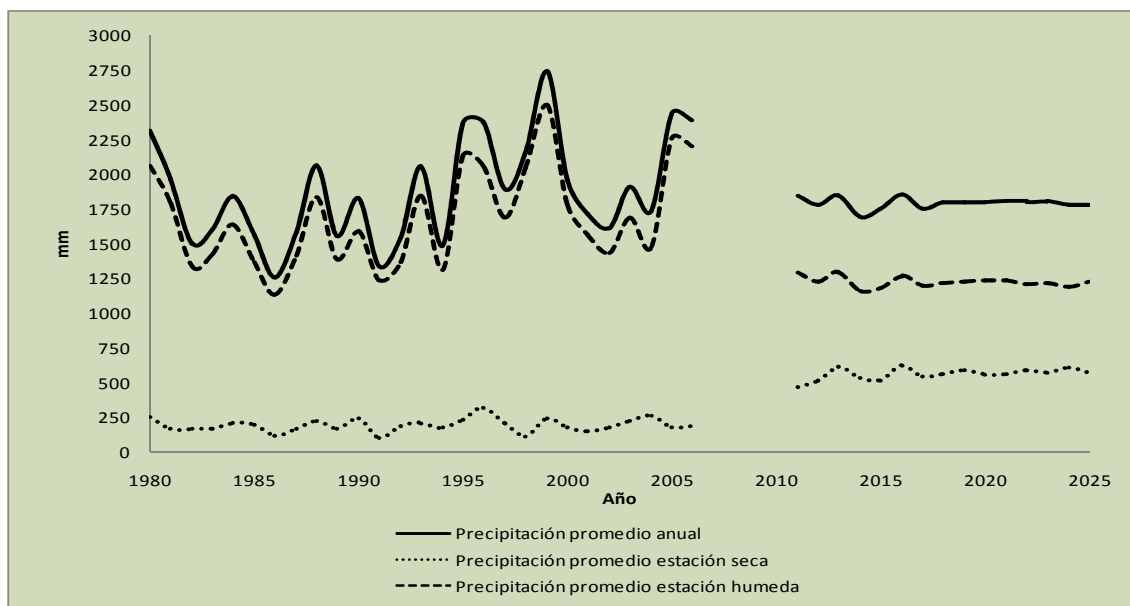


Figura 5. Precipitación promedio anual, estación seca y estación húmeda observada y proyectada de acuerdo al escenario A2

## 4.2 Afectación histórica

### 4.2.1 Afectación por brotes

La afectación de los brotes reflejada en el área total o volumen de m<sup>3</sup> de madera afectada muestra una ocurrencia de picos durante la serie de tiempo (Figuras 6 y 7). En 1982 por ejemplo, se tuvo un total de 8.500 hectáreas afectadas, seguidamente en el año 1988 se presenta un nuevo evento con menor intensidad, alrededor de 4.000 hectáreas. Posterior a estos eventos en la década de los 90 no se registran grandes afectaciones y se mantuvo con un nivel de afectación bajo; en el año 2.000 aparece de nuevo un leve incremento de brotes para luego en el año 2001-2002 presentarse la mayor afectación. Las fluctuaciones continúan entre el 2003 – 2006, con tendencias a mantenerse en altos niveles de ataque.

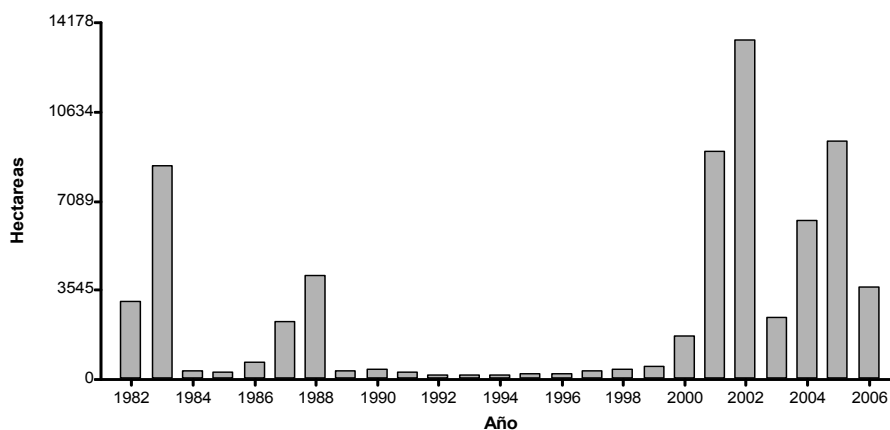


Figura 6. Área afectada por ataque de *D. frontalis* durante el periodo 1982-2006

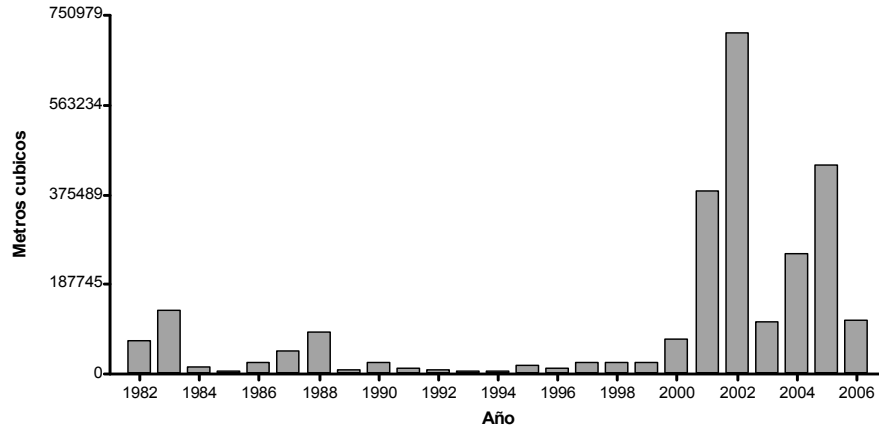


Figura 7. Volumen de madera afectada por *D. frontalis* para el periodo 1982-2006

El promedio de hectáreas afectadas por año durante el periodo de análisis es de 2.759 sin embargo, si se compara con lo observado en el periodo 2000- 2006 el promedio de afectación se incrementa a 6606 ha, lo que demuestra un claro incremento en los niveles de ataque en los últimos seis años de registro.

#### 4.2.2 Afectación por incendios forestales

Otra de las perturbaciones de los bosques de pino de Honduras son los incendios forestales. Desde 1982, anualmente se registra en promedio 9000 ha afectadas año, área que eventualmente queda debilitada y más vulnerable a los ataques del *D. frontalis*. Dentro de la serie de tiempo se destaca lo ocurrido en el 2005 donde el área afectada se multiplicó y alcanzó unas 90.000 ha. Para el 2006 el nivel de afectación bajó considerablemente registrándose alrededor de 60.000 ha, sin embargo, todavía muy por encima del promedio para la serie de tiempo analizado (Figura 8).



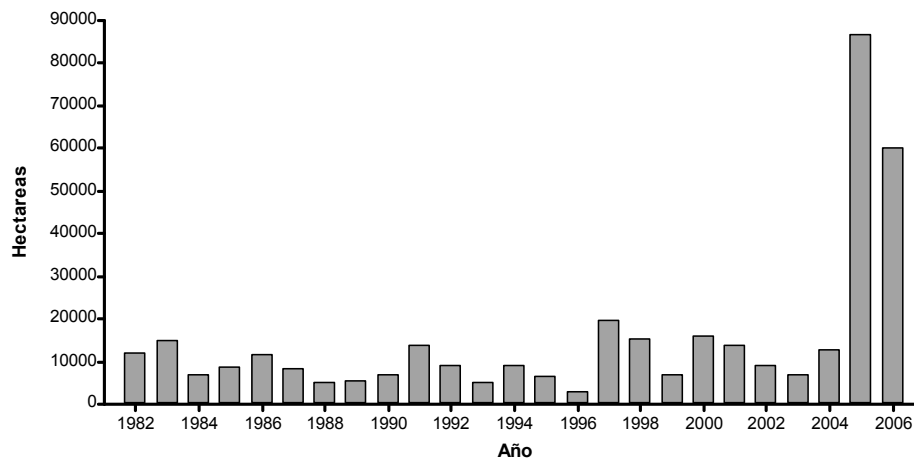


Figura 8. Área afectada por incendios forestales durante el periodo 1982-2006

### 4.3 Correlación entre las variables

Finalmente, al hacer la correlación múltiple entre variables se encontró que la temperatura media en la estación seca y el total de área afectada por incendios forestales están correlacionadas con el total de área afectada por brotes de *D. frontalis* (Cuadro 4).

Cuadro 4. Matriz de correlación de variables que explican la afectación por *D. frontalis* en los pinares de Honduras.

	Área Afectada	Volumen Afectado (m <sup>3</sup> )	Área Incendiada	Temperatura media Época seca
Área Afectada (Has)	1	< 0,001	0,06	< 0,001
Volumen Afectado (m <sup>3</sup> )	0,94	1	0,07	< 0,001
Área Incendiada	0,39	0,37	1	0,19
Temperatura media Época seca	0,64	0,61	0,27	1

#### 4.4 Análisis de resultados del modelo lineal

Con las variables correlacionadas se desarrollo la regresión lineal y se obtuvo el modelo que describe la afectación:

$$\underline{\text{LnAA} = -105,3 + 33,22\text{LnTmes} + 0,74\text{LnAi}}$$

$$(P < 0.001; R^2 = 0,57)$$

Donde:

LnAA = Logaritmo natural del área afectada por brotes de *D. frontalis*

LnTmes = Logaritmo natural de la temperatura media en la época seca

LnAi = Logaritmo natural del área incendiada

Para poder extrapolar al futuro las áreas incendiadas se desarrolló la siguiente regresión no lineal

$$\underline{\text{Ai} = -\alpha^{\beta(\text{NMMC})}}$$

Donde:

Ai = Área afectada por incendios forestales

$\alpha = 9.277,77 = 9.278$  (P < 0.001)

$\beta = 0,35$  (P < 0.001)

NMMC = Numero de meses muy calientes en el año

(Un mes muy caliente es aquel cuyo índice de anomalía es > 1.5 °C, calculado a partir de la diferencia entre la temperatura promedio de ese mes en un año cualquiera con respecto al promedio de la serie para ese mismo mes, todo esto dividido sobre la desviación estándar de la serie). Por ejemplo: en enero de 1980 tiene se registró de temperatura de 23,5 °C, el promedio de la serie para todos los meses de enero es de 22,7 °C y la desviación estándar es de ± 0,71 °C. Entonces la estimación del índice de anomalía (IA) a través de la relación (23,5-22,7)/0,71 resulta en un IA de 2,53. Este caso, enero de 1980 es considerado un mes muy caliente. En este análisis hay dos ecuaciones, una que nos describe el área afectada por los

brotos y que está en función de la temperatura promedio en la estación seca y el área incendiada anualmente. La segunda ecuación simula los incendios forestales y está en función del número de meses muy calientes que ocurren en un año.

Las áreas afectadas por incendios de acuerdo a los parámetros estimados para la ecuación  $AI = 9277,77^{0,35} (NMMC)$  serán las siguientes (Figura 9)

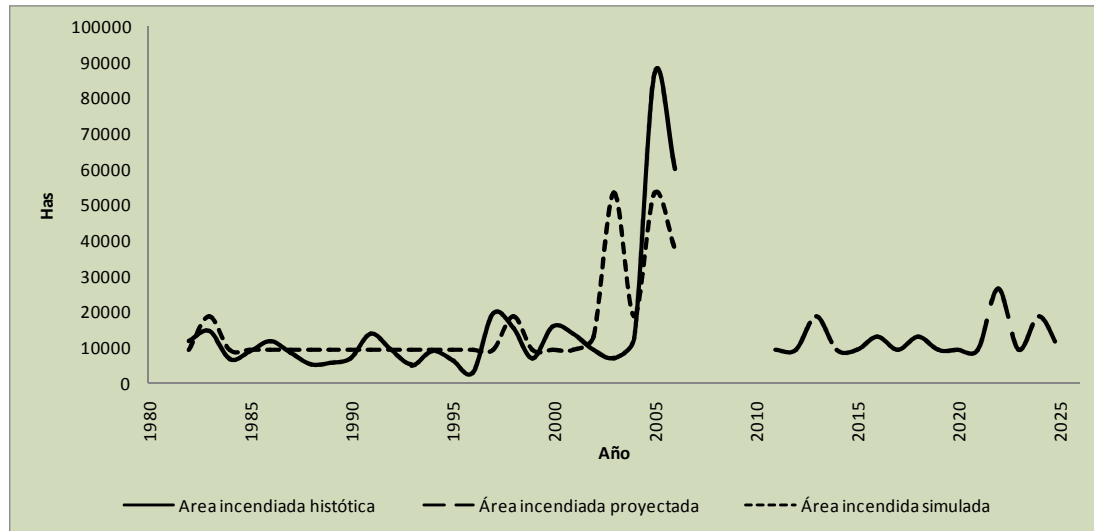
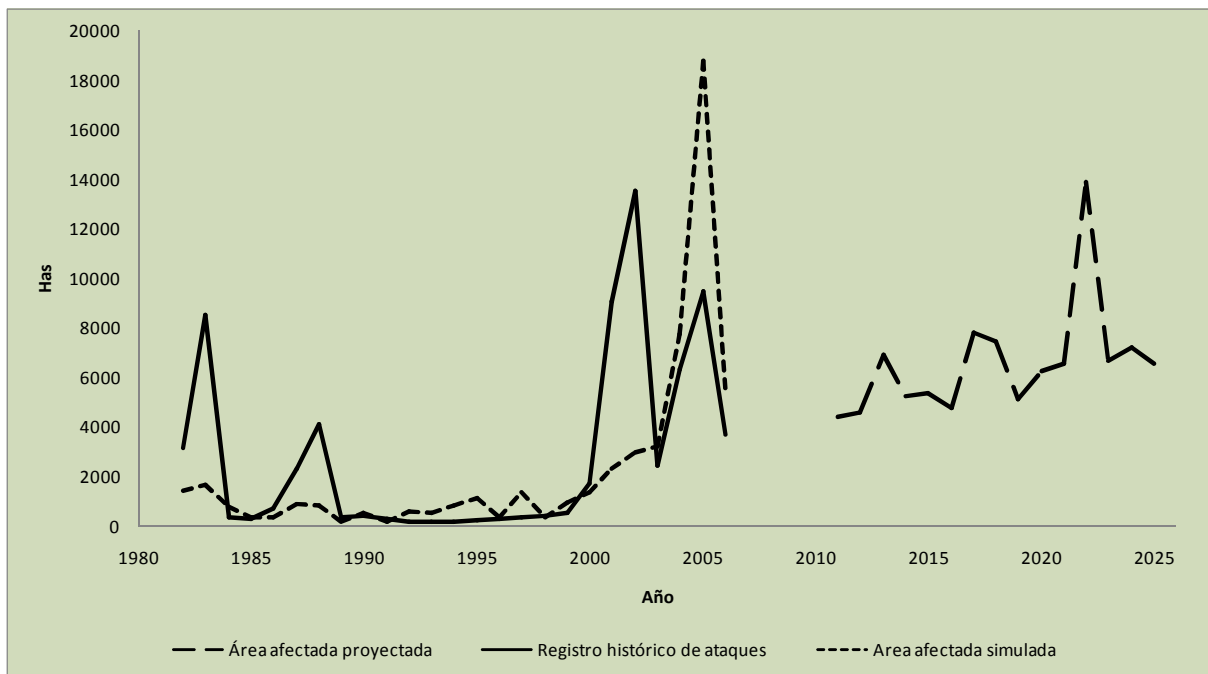


Figura 9. Distribución del área de bosque afectado por incendios forestales durante el periodo observado y el área afectada proyectada según el escenarios de cambio climático

Con excepción a lo ocurrido en los años 2.005 y 2.006, las proyecciones de áreas incendiadas para la serie de tiempo 2.011 – 2.025 tendrían un comportamiento similar a lo ocurrido de 2004 hacia atrás. La afectación promedio anual estaría entre 10.000 y 15.000 hectáreas aproximadamente y se registrarían dos años especiales, 2.013 con casi 20.000 hectáreas y 2.022 con al menos 30.000 ha.

Incorporando el total de área afectada por incendios forestales en la ecuación general de área afectada por brotes “ $LnAA = -105,30 + 33,22 (LnTES) + 0,74 (LnAi)$ ” se tiene la proyección de lo que sería el aérea afectada por ataque de *D. frontalis* (Figura 10). En esta misma figura se tiene que el ajuste entre la curva real del área histórica afectada y la curva del modelo muestra una variación en cuanto a los picos donde los brotes llegaron a ser

epidémicos, el  $R^2$  de 0,57 permite explicar por qué los valores observados en algunos años no corresponde a lo expresado por el modelo.



*Figura 10. Distribución del área de bosque afectado observado y el área afectada proyectada según los escenarios de cambio climático*

Considerando las anomalías climáticas a partir del escenario de emisiones A2 se proyecta un aumento en los niveles promedio de afectación para la serie de tiempo 2011 – 2025. En el caso de este escenario la tendencia sería muy similar al utilizar un escenario de emisiones como el B1, se explica esta tendencia debido a que para el periodo de análisis, este se verá afectado por las emisiones que se dan actualmente. Esto justifica hacer las proyecciones a partir de un único escenario, A2 en este caso.

#### 4.5 Análisis de resultados modelo con árboles de decisión

Hay que tener en cuenta que la afectación en este modelo será medida en tres categorías, uno para un valor de afectación menor a 338 ha, dos para afectaciones entre 388 y 2.430 heteras y tres para afectaciones mayores a este ultimo valor. La utilización de los cinco mejores árboles facilitó comparar las tendencias de afectación considerando las diferentes variables de anomalías climáticas con las cuales fueron creados Cuadro (5).

*Cuadro 5. Cinco mejores árboles de decisión con su eficacia, éxito de validación y variables incluidas en la creación que explican la afectación por D. frontalis en los pinares de Honduras.*

<i>Numero del árbol</i>	<i>Ajuste o eficacia</i>	<i>Éxito en la validación (%)</i>	<i>Éxito en la validación con todos los datos (%)</i>	<i>Variables utilizadas en la creación del árbol</i>
1	0,88	76,9	76	Ai-1; TES,PPEH, NMUPH, SAMH, SAMUPS2, SAMS2, SAMMS2, NMUPC2, SAMC
2	0,85	76,9	76	TES, TEH, NMH, NMH2, NMAT, SAMMC
3	0,85	76,9	84	TES, NMS2, NMUPH2, NMH2, NMUPC, SAMMC
4	0,85	69,2	76	TES, PRTA, NMS, SAMMH2, SAMUPS2, SAMMS2, NMUPH2, NMAT2, SAMMC
5	0,85	69,2	80	TES, NMATS, NMMH, NMUPS2, SAMUPS2

##### 4.5.1 Árbol I

El esquema para este árbol de decisión (Figura 11b) ayuda a interpretar fácilmente la influencia de las variables climáticas en los niveles de afectación. Si la variable, sumatoria de

anomalías de los meses muy secos en los dos últimos años (SAMMS-2) es  $< -1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el nivel de afectación será dos, si es mayor, será la temperatura promedio en la época seca (TES) la que decida el nivel de afectación. Si es  $< 23,95\text{ }^{\circ}\text{C}$  será uno, si es mayor será tres.

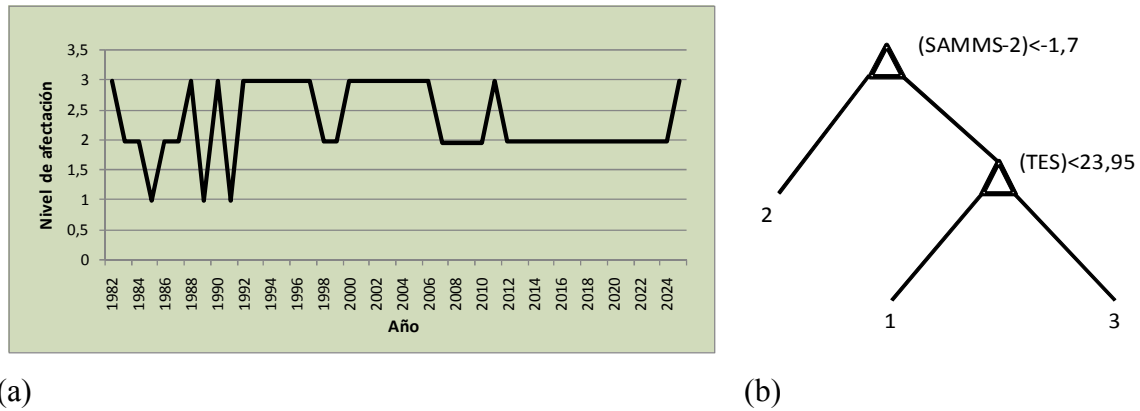


Figura 11. Nivel de afectación (a) y esquema (b) para el árbol de decisión I

Según proyecciones de este árbol para el periodo 2011-2025 (Figura 11a), el nivel de afectación para el escenario climático simulado (A2) se mantendrá constante en un valor dos y al final del periodo se incrementara a un nivel tres.

#### 4.5.2 Árbol II

El esquema para este árbol de decisión (Figura 12b) ayuda a interpretar fácilmente la influencia de las variables climáticas en los niveles de afectación. Si la variable, temperatura promedio en la época seca (TES) es  $> 23,95\text{ }^{\circ}\text{C}$  el nivel de afectación será tres, si es menor, será la variable numero de meses húmedos (NMH) la que decida el nivel de afectación. Si es  $< 0,5$  será uno, si es mayor será dos.

Según este árbol (Figura 12a), el nivel de afectación para el escenario climático simulado (A2) se mantendrá constante dese el 2011 hasta el 2025 en un valor tres.

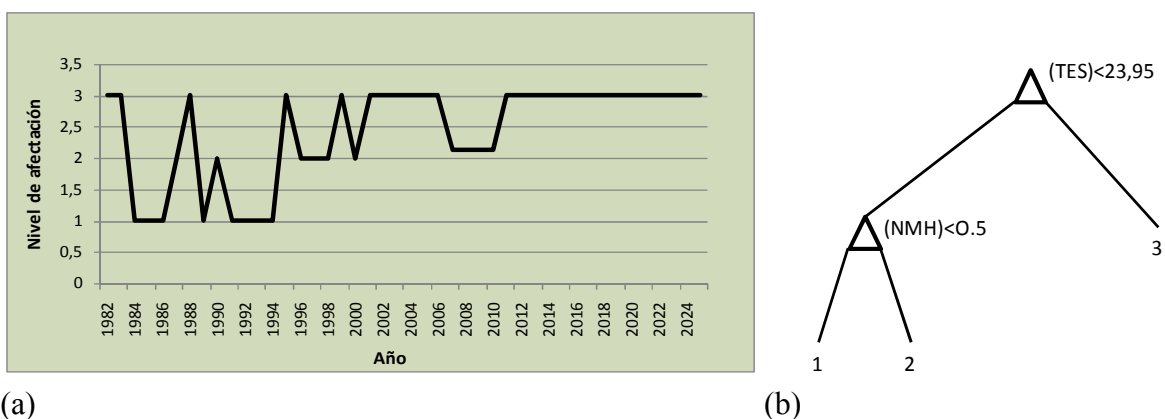
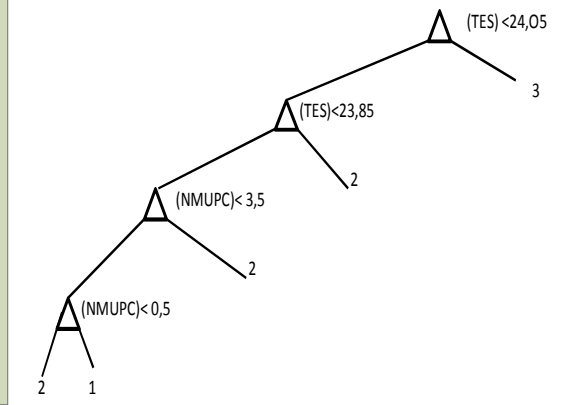
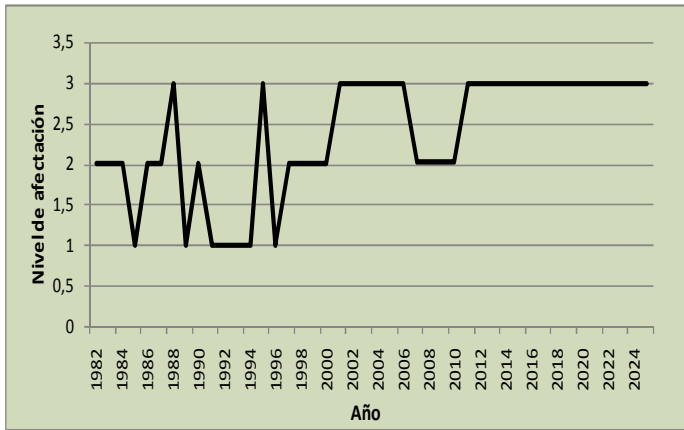


Figura 12. Nivel de afectación (a) y esquema (b) para el árbol de decisión II

### 4.5.3 Árbol III

El esquema para este árbol de decisión (Figura 13b) ayuda a interpretar fácilmente la influencia de las variables climáticas en los niveles de afectación. Si la variable, temperatura promedio en la época seca (TES) es  $> 24,05$  °C el nivel de afectación será tres, si es menor, será la temperatura promedio en la época seca (TES) en un valor de  $23,95$  °C la que decida el nivel de afectación. Si es mayor a este valor será dos, si es menor será la variable numero de meses un poco calientes (NMUPC) la que decida la afectación. Si es mayor será dos, si es menor, será la variable numero de meses un poco calientes (NMUPC) con un valor de  $0,5$  la que decida la afectación. Si es mayor será uno si es menor será dos.

Según los resultados de este árbol (Figura 13a), los nivel de afectación para el periodo entre el 2011 a 2025 se mantendrían constantes en un valor de afectación tres, es decir por encima de un valor a  $2430,8$  ha.



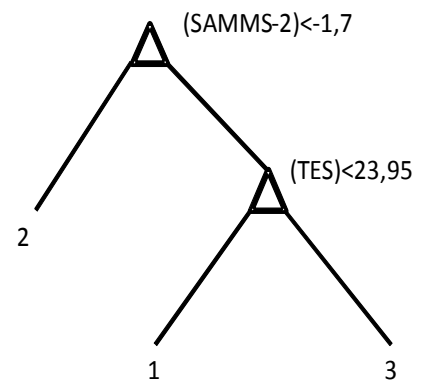
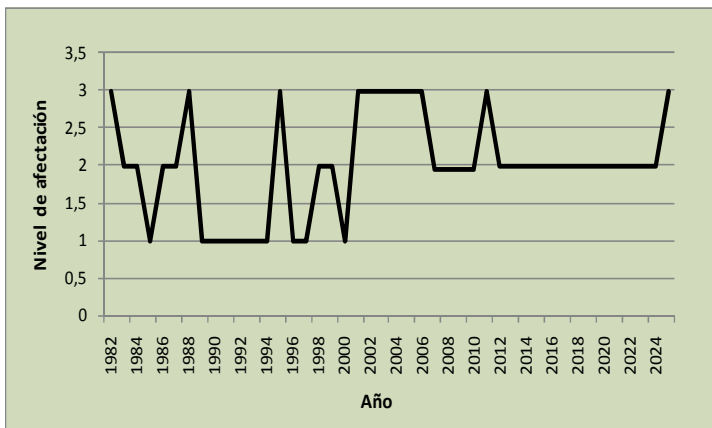
(a)

(b)

Figura 13. Nivel de afectación (a) y esquema (b) para el árbol de decisión III

#### 4.5.4 Árbol IV

El esquema para este árbol de decisión (Figura 14b) ayuda a interpretar fácilmente la influencia de las variables climáticas en los niveles de afectación. Si la variable, sumatoria de anomalías de los meses muy secos en los dos últimos años (SAMMS-2) es  $< -1,7$ , el nivel de afectación será dos, si es mayor, será la temperatura promedio en la época seca (TES) la que decida el nivel de afectación. Si es menor a  $23,95$  °C será uno si es mayor será tres.



(a)

(b)

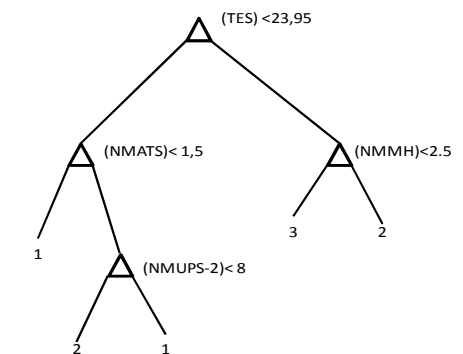
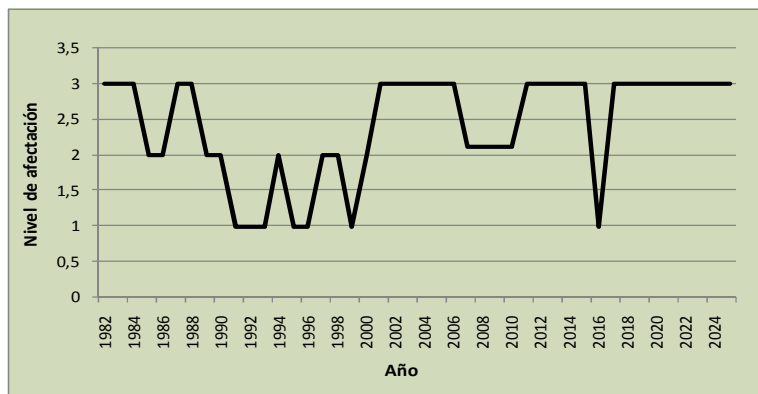
Figura 14. Nivel de afectación (a) y esquema (b) para el árbol de decisión IV



Según los resultados proyectados en este árbol (Figura 14a), el nivel de afectación para el escenario climático A2 se mantendrá constante en un valor dos y al final del periodo se incrementara a un nivel tres.

#### 4.5.5 Árbol V

El esquema para este árbol de decisión (Figura 15b) ayuda a interpretar fácilmente la influencia de las variables climáticas en los niveles de afectación. Si la variable, temperatura promedio en la época seca (TES) es  $> 23,95$  °C el nivel de afectación lo decide la variable numero de meses muy húmedos (NMMH), si es menor, será la variable numero de meses atípicos secos (NMATS) la que decida la afectación. Si (NMMH) es  $< 2,5$  el nivel de afectación será tres, si es mayor será dos. Si (NMATS) es  $< 1,5$ , la afectación será uno, si es mayor será el numero de meses un poco secos en los dos últimos años (NMUPS-2) quien decida la afectación. Si (NMUPS-2) es  $< 8$  la afectación es dos, si es mayor es uno.



(a)

(b)

Figura 15. Nivel de afectación (a) y esquema (b) para el árbol de decisión V

Según la proyección de este árbol (Figura 15a), el nivel de afectación para el escenario climático simulado se mantendría constante en un valor tres con excepción del año 2016 quien presentaría un nivel uno.

El haber proyectado el comportamiento de los ataques a través de esta metodología se limitó la estimación de un valor aproximado de afectación por año, la ganancia por su parte, es poder tomar estos valores en un momento dado como los umbrales mínimos de afectación y que al ser calculados a partir de la correlación de una serie de variables climáticas describen de una manera más profunda lo que podría ser el fenómeno de ataques de *D. frontalis* en un futuro. Se puede decir finalmente, que de los cinco árboles seleccionados tres de ellos muestran una afectación casi constante en el nivel tres, lo que quiere decir que el nivel mínimo de afectación que se tendría serían de aproximadamente 2430 ha por año.

#### **4.6 Análisis de resultados modelo de simulación**

La utilización del software Vensim permitió la inclusión de las variables manejo forestal y la dinámica poblacional del *D. frontalis* como componentes adicionales en el análisis. Los efectos de las variables climáticas en este modelo están representados en el estrés climático que afecta la capacidad de defensa del bosque ante los ataques y que estimula por su parte el desarrollo constante de las poblaciones de gorgojos. El modelo conceptual del sistema muestra la integración de de las variables y las relaciones entre cada una de ellas (Figura 16).

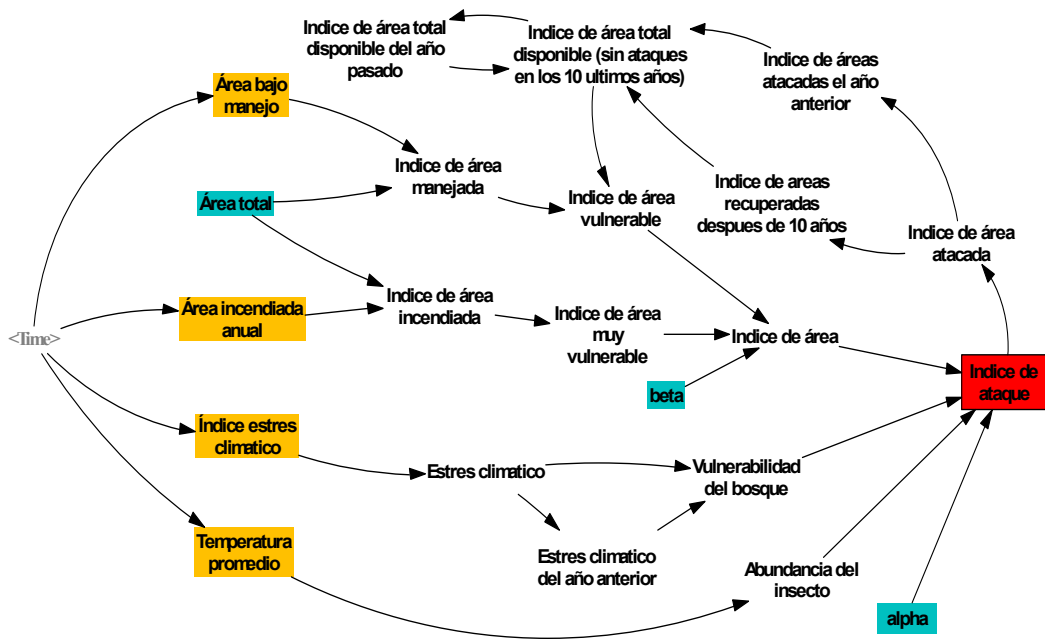
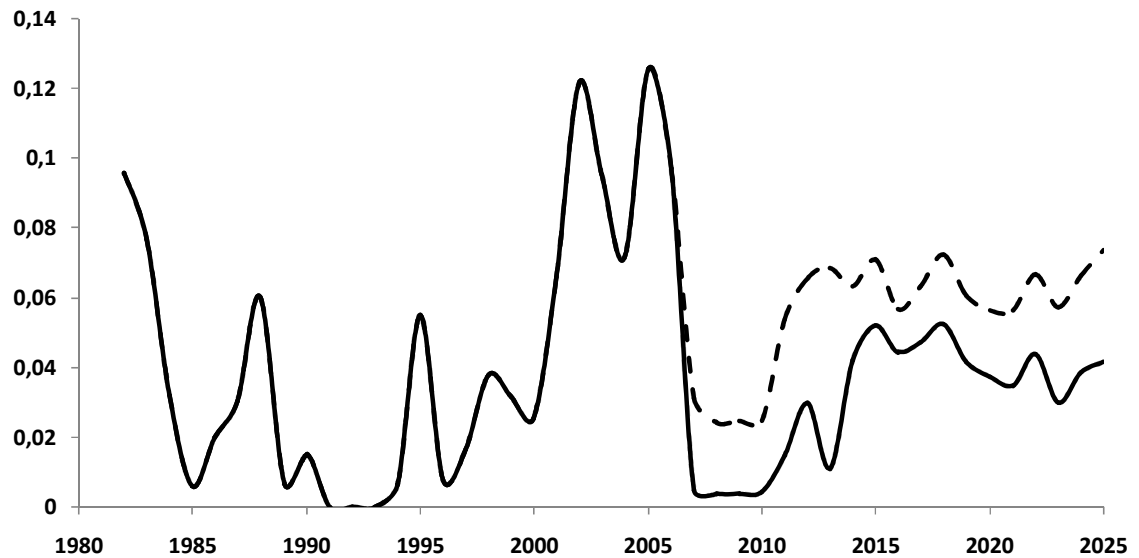


Figura 16. Modelo conceptual para el análisis de la dinámica de eventos epidémicos del *D. frontalis*. Fuente: Elaboración propia

En el modelo lineal se realizaron las proyecciones de lo que sería la afectación medida en hectáreas, con los modelos árboles de decisión se obtuvo el valor del impacto en clases de afectación y en el caso de la simulación realizada con Vensim la afectación está dada en un índice de ataque que toma valores entre 0 y 0,14 aproximadamente (Figura 14). El valor cero indica el umbral menor de afectación y no la ausencia total de ataques, ya que el gorgojo descortezador es un insecto endémico. Los valores máximos cercanos a 0,14 indican aquellos años en los que los brotes han aumentado de forma muy atípica



*Figura 17. Índice de ataque simulados para los bosques de pino considerando el escenario climático A2 y un manejo de cero hectareas (línea punteada) y cincuenta mil hectareas (línea continua).*

Los valores simulados de afectación para la serie de tiempo observada (1982 – 2006) tienen un valor máximo en los años 2002 y 2005 con un índice de 0,12 aproximadamente (Figura 17); por otro lado, la menor afectación se observa en el periodo 1991 – 1994. Para el periodo simulado entre el 2011 y 2025 e incluyendo un total de área de bosque bajo manejo de 50.000 ha el índice de ataque o afectación fluctúa entre 0.04 y 0,05 equivalente a 2.320 ha afectada por año; en el caso de no incluir las 50.000 ha manejadas en la simulación el índice de ataque tendría un incremento desde el año 2011 hasta el 2018 alcanzando un máximo valor de 0,07; posterior a este periodo habría un leve descenso hasta el 2021 y luego tomaría similar tendencia. En este caso la afectación por año sería de 3.950 hectáreas.

## **5. Discusión**

### **5.1 Cambio climático en Centroamérica**

Los resultados refuerzan la teoría del cambio del clima para Honduras. Los registros históricos y las proyecciones futuras muestran que la precipitación anual no ha variado significativamente. Respecto a la temperatura, la variación para el periodo de análisis (2011 – 2025) muestra un aumento promedio de 1 °C, con los aumentos mayores durante la época de lluvias, periodo que para Centroamérica coincide con el verano y el otoño del hemisferio Norte. Aguilar *et al* (2005) reporta igual comportamiento al hacer un análisis de lo que sería el clima futuro para toda Centroamérica. El análisis de este estudio permite prever que a futuro habrá estaciones lluviosas posiblemente más calurosas y si se considera la influencia del océano Pacífico y del mar Caribe sobre Honduras, los efectos del cambio del clima se verán más evidenciados en posibles fenómenos como El Niño, La Niña, tormentas y huracanes más frecuentes e intensos.

### **5.2 Relación entre variables climáticas y eventos epidémicos del *D. frontalis***

Son varias las formas y métodos utilizados para medir los impactos del cambio climático en los brotes del *D. frontalis*. La definición de predecir o proyectar con uno u otro método está en función de la información disponible. Los métodos utilizados para este estudio (Modelo lineal, Modelo Árbol de Decisión y Modelo de Simulación) fueron escogidos de acuerdo al tipo y la cantidad de datos disponibles, por ejemplo, la serie de tiempo de 25 años y la carencia de datos puntuales en las áreas donde se registraron los ataques imposibilitó realizar análisis estadísticos más precisos y por consiguiente no se pudo llegar a determinar la dinámica espacial de los posibles brotes.

Aumento de la temperatura promedio anual, (un grado aproximadamente para el periodo 2011-2025) y variaciones generales del clima como los cambios en el régimen de

lluvias, (más milímetros en la estación seca y menos en la estación húmeda) y aumento en el número de meses secos durante el año dan como resultado un aumento significativo en la afectación por parte del *D. frontalis*. Los valores encontrados en cada uno de los modelos superan en todos los casos al promedio registrado en el periodo de análisis que es de 2750 hectáreas por año. Este impacto estaría influenciado mayormente por el aumento de temperatura que aceleraría el tiempo de desarrollo del insecto, propiciando así más generaciones por año al mismo tiempo que genera una pérdida en la capacidad de defensa del árbol por el aumento en el estrés climático. Urgerer *et al* 1999, Gumpertz *et al* 2000, Caroll *et al* 2003 desarrollaron estudios similares, considerando factores climáticos y patrones espaciales como la latitud y la longitud lograron concluir que las posibles áreas impactadas por el *D. frontalis* irían en aumento. Ayres y Reams (1997) similarmente concluyeron que sería una realidad la alteración en los patrones de distribución espacial y temporal de los insectos forestales a causa de los cambios en el clima.

En Honduras y toda Centroamérica la evaluación y seguimiento a los impactos que deja el *D. frontalis* no se ha desarrollado de manera que se pueda tener un manejo adecuado de los brotes. Este desconocimiento ha contribuido a que en años recientes el aumento en áreas afectadas haya alcanzado registros históricos como los presentados en el 2.001 y 2.005. En Estados Unidos, el *D. frontalis* es la especie de los gorgojos descortezadores de mayor impacto para la economía forestal y ha despertado el interés de la comunidad científica y las autoridades forestales (Price *et al.* 1998), no obstante, las epidemias recientes han excedido el record histórico de ataques (Fettig *et al.* 2007).

Utilizando diferentes tipos de variables, escalas de tiempo y métodos de proyección todos los estudios concluyen que las condiciones del cambio climático tendrán efectos sobre los aumentos en los niveles de ataque, medidos estos ya sea en una escala espacial, incrementando los picos máximos de afectación, reduciendo el periodo de los brotes epidémicos y manteniéndolos constantes. Para este caso en donde no se incluye un análisis espacial ni se centra el análisis en la dinámica poblacional del insecto, los tres modelos desarrollados permiten igualmente advertir mediante un análisis temporal que existirá un incremento en los niveles de afectación causadas por los cambios de clima en Honduras.

El utilizar en las simulaciones una gama amplia de escenarios climáticos y variables propias de la ecología del insecto provee igualmente una serie de resultados que pueden dar una perspectiva más amplia de las acciones a desarrollar. En este caso, la no disponibilidad de diferentes escenarios climáticos limitó el análisis que se hubiera podido desarrollar, como el propuesto por Gan (2004) quien a partir de diferentes escenarios de cambio climático, basándose en una serie de correlaciones de variables climáticas y la ecología del insecto determinó los impactos y concluyó que el cambio del clima intensificaría los niveles de ataque y que por disponibilidad de nuevas aéreas de pino a ser atacadas las prácticas de manejo de la plaga serian todo un desafío. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en este estudio donde se prevé un promedio de afectación que en algunos casos estaría por encima de seis mil hectáreas al año y que seguramente afectará áreas que hasta la fecha no han sido impactadas, todo un desafío para el manejo y conservación de los bosques de coníferas de Honduras.

Con el modelo de simulación de Vensim se encontró que las variaciones de temperatura no alterarían considerablemente el número de poblaciones de *D. frontalis* por año. Se explica este comportamiento porque para el periodo de tiempo simulado (2011-2025) solo se proyecta un incremento de un grado de temperatura aproximadamente con registros más o menos constantes durante todo el año, esto haría que el insecto logre desarrollarse entre ocho o nueve generaciones por año. Turchin *et al.* (1991) igualmente no reportó efectos significativos de las variables climáticas sobre los cambios poblacionales del gorgojo descortezador de los pinos de Texas, insinuó que los brotes dependerían de la densidad de población que tenga la especie en un momento dado. Este caso al estar la especie en niveles de desarrollo constante de acuerdo a las condiciones climáticas se esperaría una densidad poblacional alta.

La escala de tiempo en la que se da un evento epidémico puede variar de acuerdo a diferentes circunstancias dentro de las cuales influyen las condiciones climáticas. Las poblaciones en estado epidémico pueden mantenerse en su máximo umbral por un periodo de hasta cuatro años para luego volver a su estado endémico, en algunos casos en las zonas templadas los brotes pueden llegar a durar una década (Price *et. al* 1998). Para el caso de Honduras las condiciones climáticas tienden a tener variabilidad en cuanto al régimen de lluvias y un incremento mínimo pero constante de la temperatura, lo que haría prever que la duración de los brotes en este caso no estará determinado por las condiciones climáticas

únicamente y en parte el manejo forestal que se le dé a las áreas susceptibles de ser atacadas estarán jugando un papel significativo. Esta relación se pudo observar en los resultados encontrados al simular la afectación incrementando las áreas bajo manejo, lo cual dio como resultado una disminución en el total de área afectada por año.

No se puede afirmar cuál de las tendencias mostradas por los modelos utilizados sería la más creíble, el modelo lineal muestra la afectación relacionando las condiciones climáticas y el área de bosque incendiada, resultados que refuerza la teoría de Billings y Espino (2002) y que ha sido observada por los técnicos en campo pero que hasta la fecha aun no se ha demostrado su grado explícito de correlación. Por su parte, el modelo con árboles de decisión nos muestra igualmente una tendencia al incremento en la afectación, los umbrales mínimos estarían por encima de las 2400 ha/año. Este modelo permitió relacionar los niveles de afectación con un número considerable de anomalías climáticas y que por lo general cuando se trabaja con promedios anuales o por estaciones (húmeda, seca) como en el modelo lineal no son tenidas en cuenta. Finalmente, la utilización del modelo de simulación con Vensim permitió relacionar no solo las variables climáticas sino que también se pudo incluir los demás factores que la literatura relaciona como posibles causantes de eventos epidémicos. Igualmente en esta simulación la tendencia al incremento se mantiene con valores en los índices de afectación que se concentran siempre por encima del valor promedio del periodo observado.



## 6. Conclusiones

El gorgojo descortezador del pino *D. frontalis* es un insecto nativo de los ecosistemas de coníferas, por lo tanto no será posible la erradicación como medida de control absoluta. Deberá plantearse y ejecutarse planes de manejo y control para mantener las poblaciones en estado endémico ya que los brotes futuros tendrían condiciones favorables para el continuo aumento y las áreas susceptibles aumentarían por las condiciones climáticas que favorecerían los niveles de estrés de los bosques y en menor proporción la dinámica poblacional del insecto.

Se podría pensar que las medidas de adaptación que se tomen para enfrentar la problemática de los descortezadores en Honduras serían un poco especulativas, de igual manera, hay que tener en cuenta que las condiciones climáticas futuras son inciertas, así, las respuestas de adaptación al cambio del clima en función de las plagas forestales de los pinares deberían estar basadas en prácticas silviculturales preventivas (incremento de área bajo manejo) que mantengan los bosques en una condición de adaptación propia desde su ecología.

El gorgojo descortezador de los pinos *D. frontalis* ha sido la causa de grandes pérdidas económicas en la industria forestal de Honduras y otros países de la región, incluyendo América del Norte. En el caso de Honduras, los ataques de *D. frontalis* se han registrado de manera formal desde 1982, pero hay poca evidencia de una atención sistemática a la problemática a través de programas sostenidos de investigación de campo. A pesar de la disponibilidad de datos, todavía hace falta mejorar la calidad de los registros para así mejorar también el análisis de la situación, por ejemplo, ninguno de los ataques está debidamente georeferenciado o se carece de un sistema de georeferenciación que contribuya a la elaboración de estrategias de manejo del gorgojo descortezador.

Una de las principales conclusiones de este estudio es que se pudo reforzar la teoría sobre las influencia del clima en los eventos epidémicos del gorgojo descortezador, caso concreto, la correlación de la temperatura promedio anual en el modelo lineal, el número de meses secos por año en el modelo árboles de decisión y el estrés climático en el modelo de simulación. De igual forma, la correlación del rea incendiada y el área afectada por brotes son otra de las formas como el clima estaría influenciado este fenómeno, pues sabemos que las

áreas incendiadas están directamente relacionadas con los periodos de sequia. En este mismo sentido, en nueve de 11 ataques epidémicos del *D. frontalis* en Honduras ocurrió el fenómeno de sequia conocido como El Niño, sin embargo, al momento de hacer la correlación esta no fue significativa, la razón, las variables temperatura promedio en la época seca y número de meses secos están directamente relacionadas con este fenómeno y en este caso ya estarían representando este fenómeno.

Los efectos del cambio del clima parecen ser cada vez más evidentes y están siendo aceptados por la comunidad científica internacional, sin embargo, aun existe un ambiente de especulación en muchos temas que como el abordado en este trabajo hasta ahora están siendo de interés por los planificadores y tomadores de decisiones. En el caso de Honduras y Centroamérica en general, a pesar que la problemática del gorgojo descortezador de los pinos lleva alrededor de 30 años este es uno de los primeros estudios.

La relación de incendios con brotes epidémicos pone en evidencia la necesidad de afrontar la problemática de una manera conjunta. Las condiciones climáticas adversas como sequias prolongadas aumentarían el riesgo en la ocurrencia de incendios forestales, esto conllevaría al aumento en la disponibilidad de área boscosa expuesta para la posterior aparición de brotes. Esta relación directa lleva a concluir que los esfuerzos para combatir al *D. frontalis* debe considerar la planificación conjunta de actividades preventivas de manejo y control que incluyan los incendios forestales y el aumento en el total de área bajo manejo forestal.

Los escenarios de cambio climático para la zona de pinares de Honduras muestran un incremento de temperatura de al menos un grado para el periodo 2011- 2025 considerando el promedio observado durante el periodo 1980 - 2006. La precipitación promedio anual no tendría diferencias significativas, no así la cantidad de lluvias de la estación seca que aumentarían considerablemente y en la estación húmeda que por el contrario disminuirán. Se proyecta un cambio significativo en el régimen de lluvias lo que alteraría las condiciones medioambientales de la zona y con ello las interacciones entre el *D frontalis* y el bosque. Todas las proyecciones dan como resultado un incremento en los impactos de los ataques del *D. frontalis* en los pinares. En el periodo analizado el promedio de afectación es de 2.750 ha año, mientras tanto, con uno de los modelos se proyecta un promedio de afectación de 6.600

ha por año, el otro modelo muestra un umbral mínimo de afectación que sería de 2.430 ha año y finalmente sin considerar ningún tipo de manejo forestal preventivo el área impactada anualmente estaría alrededor de 4.000 ha.

En este mismo sentido se advierte que los impactos podrían alcanzar las áreas de pino que actualmente se encuentran aisladas de ataques por condiciones de microclimas y que ante los cambios proyectados podrían en un futuro ser impactadas por *D. frontalis* que adoptaría el desplazamiento altitudinal como una respuesta de adaptación a las condiciones cambiantes, igualmente, los eventos epidémicos podrían impactar generando la pérdida y reducción de muchos de los bienes y servicios ecosistémicos, por ejemplo, la pérdida de beneficios globales dada por las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera producto de la corta de madera que anualmente se perdería convirtiendo así estos bosques en una fuente continua de emisiones de gases de efecto invernadero. En cuanto a pérdida de beneficios locales, aparte de la pérdida de los metros cúbicos de madera se podría considerar la afectación hidrológica, los impactos en este sentido podrían ser significativos en la calidad y cantidad del agua. En forma general, podríamos decir que al ser afectada un área por brotes habría aumentos de agua como consecuencia de la disminución en la evapotranspiración pero se afectaría la intensidad con que el suelo recibe el agua aumentando de esta manera el volumen de material de sedimentos en los ríos y con esto bajaría la calidad del agua para la industria y el consumo humano.

## 7. Recomendaciones

Los modelos predictivos en la ocurrencia de eventos epidémicos son una herramienta útil en la planificación del manejo y conservación de los bosques. En este caso, se han utilizado tres metodologías diferentes que dan como resultado el posible aumento en el total de área de bosque afectada por este fenómeno. El haber utilizado tres metodologías distintas da las pautas para planear en función de los resultados encontrados, no obstante, se recomienda explorar la metodología basada en el modelo de simulación de Vensim, la plasticidad de este modelo dada por la incorporación de la dinámica temporal permite cada vez ir ajustando la metodología con la utilización de datos cada vez más precisos, en este caso, reduciendo las escalas temporal y espacial.

Con las variables utilizadas en este modelo se puede llegar a tener datos muy precisos en la simulación, por ahora los datos de afectación con los que se realizó la simulación son a escala nacional lo que puede generar una sobre estimación o sub estimación de los datos proyectados, en el caso de los datos climáticos estos fueron promedios mensuales para toda la zona de pinares de Honduras, las proyecciones futuras se realizaron a partir de un único escenario de cambio climático, factor que se puede mejorar con la utilización de varios escenarios generados a partir de diferentes fuentes, esto permitirá hacer un contraste de los datos proyectados en una gama más amplia de resultados. Con las variables utilizadas y los respectivos ajustes en las fuentes de información se puede llegar tener resultados muy confiables, no se trata entonces de aumentar el número de variables a estudiar sino aumentar un esfuerzo en mejorar la calidad y disponibilidad de información.

Este estudio como exploración de los efectos que podría generar el cambio climático en los ecosistemas de pinares sienta las bases para demostrar que se deben tomar medidas que a su vez permitan la adaptación a las condiciones de cambio, sin embargo, se debe seguir aumentando el número de estudios que en este mismo sentido ayuden a entender las diferentes relaciones y causas que generan un brote epidémico del gorgojo descortezador. Se recomienda de esta manera diseñar un programa de investigación que permita el continuo reajuste de las estrategias adoptadas, en este sentido, la Escuela Nacional de Ciencias Forestales ESNACIFOR como institución de ciencia y enseñanza sería el aliado idóneo para la Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal COHDEFOR. Se considera que los temas de

investigación que ayudarían a este propósito serían los siguientes, no olvidando que hace falta mucha ciencia base sobre la ecología del insecto en los países de Centro América donde los pinares son ecosistemas importantes en la provisión de bienes y servicios ambientales .

1. Estudios sobre los impactos socioeconómicos de las actividades de prevención y control de la plaga. Además, se debe evaluar los impactos ambientales de los ataques de *D. frontalis*, particularmente las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y el posible aumento en la erosión y los cambios en las funciones hidrológicas de los pinares.
2. Monitoreo temporal sobre los meses del año en donde se da la aparición de nuevos brotes. Puede esta investigación dar la pauta para poner en marcha un plan de que lleve al control rápido de los pequeños brotes.
3. Monitoreo espacial o ubicación georeferenciada de puntos calientes para el ataque de *D. frontalis* basados en la ecología de la especie y la experiencia de los técnicos de campo.
4. Monitoreo de las poblaciones *D. frontalis* a través del establecimiento de una red de trampas. Experiencias de este tipo llevadas a cabo en Texas Estados Unidos desde el año 1988 pueden llegar a ser un buen parámetro para medir la efectividad de las técnicas de prevención
5. Investigación sobre la relación entre plagas forestales, incendios forestales y el área de bosque bajo manejo.

El control y la prevención de las epidemias de *D. frontalis* requieren de un conocimiento de los mecanismos que determinan la dinámica de estos eventos. Entender las interacciones entre las características del sitio, condiciones ambientales y las poblaciones epidémicas de los gorgojos del pino será un punto de partida importante que llevará a la toma de decisiones adecuadas en el control de la plaga. En este sentido, las prácticas silviculturales preventivas y de manejo del bosque por muchos años han y seguirán siendo el método más efectivo para el control de los brotes.

Según las tendencias de los brotes, existirá un inminente incremento de área de bosque afectada anualmente por ataque del gorgojo descortezador, significa que debe ser prioridad

para las autoridades encargadas del manejo de los recursos forestales diseñar y poner en marcha una estrategia de manejo que permita la prevención de los ataques, momento en el cual resulta más viable técnica y económicamente el control.

Llevar a cabo las actividades de prevención y control de los brotes requiere de un presupuesto económico que permita su implementación, sobre todo en aéreas de propiedad del estado, de medianos y pequeños productores que necesitarían de un apoyo económico para su ejecución. Se recomienda entonces poner en marcha un plan de auxilios económicos que permitan integrar y estimular la prevención del insecto. Un posible mecanismo de financiación de este fondo podría darse a partir de un pago por servicios ambientales (PSA) o una venta de certificados por emisiones de O<sub>2</sub> que se evitarían al no permitir la tala de bosques maduros por ataque del gorgojo. Este mecanismo podría sostenerse a través de la consolidación de un fondo de reinversión forestal como el que en la actualidad existe.

En el sur de los Estados Unidos donde a través del tiempo se ha presentado la problemática de plagas forestales, han puesto en marcha un plan de prevención basado en la prevención de los brotes logrando hacer de ellas una estrategia técnica y económicamente rentable. En este sentido y dada la similitud de los ecosistemas de pinares de Honduras con los bosques del sur de los Estados Unidos, podemos advertir dos tipos de acciones silviculturales que permitirían la adaptación a las condiciones cambiantes de los niveles de ataque, no queriendo decir con esto que sea la única opción de enfrentamiento del problema de plagas forestales, pues se debe pensar en integrar estas actividades con otras estrategias de manejo.

*Recomendaciones técnicas:* Seguramente mucho de estas recomendaciones se estén realizando actualmente en el manejo de los brotes, no obstante, describiremos las técnicas silviculturales más adecuadas y que a través del tiempo han sido los mecanismos más eficientes desde el punto de vista técnico y económico.

Las practicas silviculturales preventivas buscan hacer que los rodales de pino sean más resistentes al ataque de del *D. frontalis* y el objetivo será minimizar el riesgo de ataque. Las infestaciones por lo general están asociadas a condiciones específicas de sitio donde se cree influye las características del suelo como es la disponibilidad de agua y nutrientes; igualmente, observaciones de técnicos forestales en campo coinciden en que el inicio de las infestaciones se da en rodales pobremente o sin ningún tipo de manejo y que carecen de tratamientos de sanidad. De esta manera resulta conveniente identificar las áreas de bosques que por sus

características biofísicas pueden llegar a ser foco de infección. En estas áreas se deberá realizar particas silviculturales tendientes al saneamiento, eliminando árboles debilitados y susceptibles al ataque de la plaga. Para este tipo de actividades se puede diseñar una metodología que incluya la utilización de herramientas como los SIG, información de los planes de manejo e inventarios forestales.

Se recomienda también eliminar de los rodales todos aquellos árboles susceptibles a ser atacados. Estos árboles comúnmente son aquellos debilitados principalmente por incendios forestales o en algunos casos por causas naturales como las tormentas que frecuentemente afectan la zona de pinares de Honduras. De la misma manera, la competencia por nutrientes en rodales muy densos hace de estos árboles individuos débiles que incrementan la sensibilidad al ataque, la cercanía de los árboles en estos rodales le facilita al gorgojo descortezador el proceso de colonización de nuevos árboles. En estas áreas es necesario realizar raleos para estimular el crecimiento diamétrico de los árboles y su vigorosidad, además, aumentar las distancias entre árboles.

Los ecosistemas de pinares se caracterizan por ser áreas muy homogéneas y específicas, esto sin duda que incrementa su vulnerabilidad al ataque de cualquier plaga que se alimente o se beneficie de sus características. Diversificar la composición de los bosques puede llegar a ser una estrategia de prevención a los ataques del gorgojo. La diversificación en la composición básicamente estará reduciendo la oferta de alimento y hospedaje a los gorgojos, además de dificultar la ubicación de los árboles en el proceso de colonización. Esta práctica puede llegar a ser efectiva en el control de los brotes pero igualmente puede generar un impacto negativo en los ecosistemas de pinares que se verían desplazados por especie de latifoliados que se establecería para el control de los brotes.

Se recomienda finalmente, que una vez realizado el aprovechamiento forestal se lleve a cabo una labor de sanidad de los árboles maltratados por la tala y arrastre de madera y elaboración de caminos de extracción. La reducción del impacto en el aprovechamiento forestal comienza en una buena planificación, esta deberá estar diseñada con base en las características biofísicas de las áreas objeto de extracción y esto determinara el tipo de tecnología a utilizar ya sea mecánica o artesanal. En el caso de la extracción de resina se deberá contemplar como una labor de especial protección debido al debilitamiento que sufren los bosques por esta práctica.

Los árboles sobre maduros reducen su crecimiento diamétrico lo que genera en ellos un debilitamiento propio de la edad y por consiguiente un incremento en la vulnerabilidad a ser atacados. En áreas de manejo especial como son las áreas de reserva y los parques naturales es muy dado encontrar este tipo de árboles donde la legislación ambiental por lo general no permite el aprovechamiento en estas áreas. Se recomienda para este caso llevar a cabo planes para el estímulo de la regeneración natural en estas áreas. Como dijimos anteriormente, los bosques de pino en Honduras están compuestos por al menos seis especies, de las cuales dos de ellas son las más abundantes; dentro de este grupo de especies algunas son más susceptibles que otras, esto hace pensar que promover la restauración de áreas afectadas con especies que sean más resistentes al ataque podría resultar en una buena práctica de manejo.

Por otro lado, las practicas silviculturales para el manejo del los brotes están orientadas al control de los brotes una vez ocurridos, el fin es eliminar los árboles infectados y reducir las poblaciones de *D. frontalis*. El corte de salvamento se recomienda para reducir las poblaciones del gorgojo, además, para un rápido aprovechamiento de la madera infectada buscando reducir las pérdidas económicas. Para este proceso se debe identificar claramente el área infectada y determinar su accesibilidad para el posible aprovechamiento. Según las características del brote se determina derribar una franja de árboles para evitar la expansión. Esta franja según la prioridad puede llegar a ser entre 3 y 30 metros de ancho.

Cortar y dejar es una práctica que permite ejercer algún control donde no es posible realizar una corta de salvamento, se recomienda aplicar este método de control en brotes pequeños que están entre 10 y 100 árboles. Esta práctica permite un incremento en las poblaciones competidoras lo que siguiere el estancamiento del crecimiento poblacional del *D frontalis*. Resulta también muy económico realizar esta práctica debido al poco equipo y personal que se requiere para su implementación.

Cortar, apilar y dejar es el método es el más antiguo y eficiente cuando se logra realizar a tiempo. En este método se incrementan los costos y por esta razón su implementación es limitada. Por tratarse de quemar los árboles infectados se corre el riesgo de generar incendios forestales por lo que la decisión de realizar esta práctica está en función de la época en que se dé el brote.

A parte de las prácticas silviculturales se recomienda tomar acciones administrativas. El control futuro de la plaga estará en función de lo efectiva que sean las prácticas



silviculturales y estrategia de manejo de la misma. Poder evaluar la efectividad de estas actividades en la ocurrencia de los eventos epidémicos requiere de un detallado registro de información que permita hacer ajustes sobre la marcha. Se recomienda la creación de un banco de datos alimentado con toda la información histórica depurada, además de registrar en adelante cada uno de los eventos que ocurran, su magnitud, ubicación, fecha de ocurrencia y métodos de control del mismo. Igualmente, se recomienda un plan continuo de capacitación de técnicos en relación al manejo de la plaga e interactuar con instituciones especializadas en el tema de las plagas forestales como lo es el Servicio Forestal de Texas quien puede liderar un programa regional de manejo de los brotes. Finalmente, se recomienda evaluar la efectividad de las medidas legales de control como lo son los decretos o normativas de sanidad expedidos por COHDEFOR, esto con el fin de evitar que se generen efectos contrarios al control de los brotes.

Cualquier estrategia que se plantee para enfrentar la problemática significará una inversión económica y logística que posiblemente no estará disponible o carecerá de recursos para ejecutarse. Puede tomarse las medidas de adaptación al cambio del clima como el componente de riesgo en la planificación del desarrollo sustentable de los recursos forestales. Teniendo conocimiento del nivel de riesgo, este se puede utilizar como una herramienta de planificación de las acciones o medidas de adaptación y se enfocaría en aumentar el conocimiento sobre la adaptación al cambio del clima, determinación de la vulnerabilidad del ecosistemas boscosos, en este caso lo pinares y la sociedad que de él depende, desarrollo presente y futuro de acciones adaptables económica y ambientalmente rentables, monitoreo de los impactos potenciales y ejecución de medidas que aceleren el proceso de restauración de los ecosistemas.

Parece ser evidente y por lo tanto debemos aceptar los cambios que ocurrirán en un futuro con respecto a las condiciones climáticas y las implicaciones que esto trae para los bosques y las comunidades que dependen de estos recursos. Ante la inminente amenaza y teniendo en cuenta que las políticas de manejo y conservación de los bosques en la actualidad están basadas y sustentadas en las condiciones históricas de clima y como aun no conocemos muchos de los impactos que pueda generar el cambio del clima, no podemos garantizar una

intervención precisa; significa que las estrategias de planificación, monitoreo y la evaluación de la vulnerabilidad al cambio del clima y la adaptación deben empezar desde ahora.

## 8. Bibliografía

AFE-COHDEFOR. 2000. Plan Nacional Forestal de las Áreas Protegidas y de la Vida Silvestre, 2002 – 2016. Tegucigalpa Hn. 69 p.

\_\_\_\_\_. 2002. Manejo integral de plagas y enfermedades forestales. Consultado el 01 de septiembre de 2007. En línea. [www.cohdefor.hn/proteccion\\_forestal/](http://www.cohdefor.hn/proteccion_forestal/).

\_\_\_\_\_. 2002. Plan Estratégico del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Honduras (SINAPH). Tegucigalpa Hn. 27 p.

Aracil, Javier. 1995. Dinámica de sistemas. Madrid, Es. 88 p.

Aguilar, E; Peterson, T; Ramírez, P; Frutos, R; Retana, J; Solera, M; Soley, J; González, I; Araujo, R; Santos, A; Valle, V; Brunet, M; Aguilar, L; Álvarez, L; Bautista, M; Castañón, C; Herrera, L; Ruano, E; Sinay, J; Sánchez, E; Hernández, G; Obed, F; Salgado, J; Vázquez, J; Baca, M; Gutiérrez, M; Centella, C; Espinosa, J; Martínez, D; Olmedo, B; Ojeda, C; Núñez, R; Haylock, M; Benavides, H; Mayorga, R. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and Northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research*. 110: 23-107.

Bale, J; Mastes, G; Hodkinson, I; Awmack, C; Bezemer, I; Brown, V; Butterfield, J; Buse, A; Coulson, J; John, F; Harrington, R; Hartley, S; Lindroth, R. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8:1-16

Billings, R. 1892. Informe a la corporación hondureña de desarrollo forestal sobre la evaluación y recomendaciones de control de la plaga *Dendroctonus* en los pinares de Honduras. Tegucigalpa. HN 45 p

- \_\_\_\_\_. 2001. Evaluación de la plaga del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis*) en los pinares de Honduras con recomendaciones para su control. Lufkin, Texas, Estados Unidos, Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal/USDA Foreign Agricultural Service. Informe inédito. 38 p.
- Burton, I; Huq, S; Lim, B; Pilifosova, O; Schipper, EL. 2002. From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate Policy* 2: 145-159.
- Cameron, RS; Billings, RF. 1988. Southern pine beetle: factors associated with spot occurrence and spread in young plantations. *South. J. Appl. For.* 12: 208-214.
- Carroll, AL; Taylor, SW; Regniere, J; Safranyik, L. 2003. Effects of Climate Change on Range Expansion by the Mountain Pine Beetle in British Columbia Mountain Pine Beetle Symposium: Challenges and Solutions. October 30-31. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre. 298 p.
- CATIE. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central: Guía de Campo. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. C.R. 185 p.
- \_\_\_\_\_. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central: Manual de consulta. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. C.R. 185 p.
- CCAD-UICN. 2005. Centroamérica en el límite forestal: Desafíos para la implementación de políticas forestales en el Istmo. San José. Cr.172 p.
- Davidson, DJ; Williamson, T; Parkins, JR. 2003. Understanding climate change risk and vulnerability in northern forest-based communities. *Canadian Journal Forest Research* 33: 2252-2261.
- FAO. 2001. Proyecto Bosques y Cambio Climático en América Central. Consultado el 28 de Agosto de 2007 .En línea [www.fao.org/regional/honduras/pbcc/doc/PlanTrabajo.pdf](http://www.fao.org/regional/honduras/pbcc/doc/PlanTrabajo.pdf).

- Fettig, J; Christopher, K; Kierd, D; Billings, R; Munson, Steven; Nebeker, TE; Negron. J; Nowak, JT. 2007. The effectiveness of vegetation management practices for prevention and control of bark beetle infestations I coniferous forest of the western and southern United States. *Forest Ecology and Management*. 238: 24-53.
- Gan, J. 2004. Risk and damage of southern pine beetle outbreaks under global climate change. *Forest Ecology and Management* 191: 61-71.
- Gant, WE; Marín, SL; Pedersen; EK. 2001. *Ecología y Manejo de Recursos Naturales: Análisis de Sistemas y Simulación*. IICA. San Jose, CR. 338 p.
- Gumpertz, LM; Wu, S; Pye, JM. 200. Logistic Regression for Southern Pine Beetle Outbreaks with Spatial and Temporal Autocorrelation. *Forest Science* 46 (1): 95-107.
- Guisan, A; Zimmermann, N. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Hannah, L; Midgley, F; Millar, D. 2002. Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology & Biogeography* 11: 485-495.
- Hollis, S. 2004. *The Southern Pine Beetle and Pine Forest Ecosystems*. Department of Mathematics, Armstrong Atlantic State University, Savannah. USA. 9 p.
- IPCC. 1997. *Impactos Regionales Del Cambio Climático: Evaluación de la vulnerabilidad*. Ginebra Suiza. 27 p.
- \_\_\_\_\_. 2000. *Resumen para responsables de políticas. Escenarios de emisiones. Informe especial del grupo de trabajo III*. Ginebra Suiza. 83 p.

- \_\_\_\_\_. 2001. Tercer informe de evaluación: Impactos Adaptación y Vulnerabilidad. Ginebra. Suiza. 101 p.
- InfoStat. 2007. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.
- Logan, J; Bentz, B. 1999. Model Analysis of Mountain Pine Beetle (Coleoptera: Scolytidae) Seasonality. *Environmental Entomology*. 28(6): 924-925.
- Macias, J; Hilje, L. 2001. Manejo integrado de plagas: Plagas Forestales Neotropicales. *Boletín informativo. C R*. 61: 85, 86 p.
- Miller, J; Turner, M; Smithwick; E; Dent; L; Stanley, E. 2004. Spatial Extrapolation. *The Science of Predicting Ecological Patterns and Processes. BioScience*. 54 (4): 210-220.
- McNulty, SG; Lorio, PL; Ayres, Jr; Matthew, P; Reeve, JD. 1998. Predictions of southern pine beetle populations using a forest ecosystem model. En. *The productivity and sustainability of southern forest ecosystems in a changing environment Ecological Studies*. 128. (33): 617-634.
- Núñez, D. 2001. Manejo integrado del gorgojo del pino *Dendroctonus Frontalis*. Programa Regional Forestal para Centroamérica. Siguatepeque. HN. 37 p.
- Payne, T. 1980. Life History and Habits. En. *The Southern Pine Beetle*. Department of Entomology Texas A. & M. University. College Station, TX. 123 p.
- Parmesan, C; Root, T; Willig, M. 2000. Impacts of Extreme Weather and Climate on Terrestrial Biota. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81 (3): 443-450.

- Ray, R; Hicks, JR. 1980. Climatic, Site, and Stand Factors. En. The Southern Pine Beetle. Department of Entomology Texas A. & M. University. College Station, TX. 123 p.
- Rivera, KL. 2005. Áreas vulnerables al ataque del *Dendroctonus* spp. Basado en tres variables climáticas de Honduras. Tesis (Ing). ESNACIFOR. Siguatepeque, HN. 72 p.
- Safiya, S; Logan; J. 2000. Assessment and response to bark beetle outbreaks in the Rocky Mountain area. Report to Congress from Forest Health Protection, Washington Office, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 46 p.
- Schabel, H; Hilje, L. 1999. Economic entomology in the tropical forest plantations: An Update. *Journal of Tropical Forest Science*. 11 (1): 303 - 315 p.
- Sullivan, T. 2005. Electrophysiological and Behavioral Responses of *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae) to Volatiles Isolated from Conspecifics. *Journal Economic Entomology*. 98 (6) 2067-2078.
- Thunes, K; Midtgaard, F; Kirkendall, L, Leveron O; Espino, V. 2005. Los gorgojos del pino en Honduras: Descripción de especies, Asociaciones de hospederos y métodos de monitoreo y control. Tegicigalpa Hn. 35 p.
- Turchin, P; Lorio, P; Tailor, A; Billings, R. 1991. ¿Why Do Population of Southern Pine Beetles (Coleoptera: Scolytidae) Fluctuate?. *Environmental Entomology*. 20 (2): 401-409.
- Ungerer, M; Ayres, M; Lombardero, M. 1999. Climate and the northern distribution limits of *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Coleoptera: Scolytidae) *Journal of Biogeography* 26: 1133-1145.

Williams, DW; Lieghold, AM. 2002. Climate change and the outbreak ranges of two North American bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology* 4: 87-89.



## **ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de variables de eventos epidémicos del *D. frontalis* en Honduras

Año	AA (Ha)	No Brotes		Vol Afec (m3)	AI (Ha)	AI (Ha) -1	ABM	To M_ES	To M_ES-1	To M_EH	To M_EH-1	PPM_ES	PPM_ES-1	PPM_EH	PPM_EH-1	O-NIÑO	O-NIÑA	ONI-NIÑO	ONI-NIÑA	INT-NIÑO	INT-NIÑA	INT-NIÑO-1	INT-NIÑA-1
		Detectados	Controlados																				
1980					23038,0		0,0	24,2		25,2		293,0		1456,2		0	0	0	0	0	0	0	0
1981					13833,0	23038,0	0,0	23,0	24,2	25,1	25,2	444,8	293,0	1495,6	1456,2	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	3.125	362	230	71.184	11908,0	13833,0	0,0	24,0	23,0	24,8	25,1	363,1	444,8	1139,9	1495,6	1	0	2,3	0	20,7	0	0	0
1983	8.512	563	297	133.625	14797,0	11908,0	0,0	24,0	24,0	25,6	24,8	273,9	363,1	1127,6	1139,9	1	1	2,3	-0,9	16,1	-4,5	20,7	0
1984	340	1.084	408	15910	6778,0	14797,0	0,0	23,9	24,0	24,7	25,6	449,4	273,9	1376,8	1127,6	0	1	0	-0,9	0	-5,4	16,1	-4,5
1985	293	837	471	7.427	8800,0	6778,0	0,0	23,2	23,9	24,9	24,7	403,9	449,4	1042,3	1376,8	0	1	0	-1,1	0	-7,7	0	-5,4
1986	696	1.341	1.224	24.157	11789,0	8800,0	0,0	23,1	23,2	24,8	24,9	377,7	403,9	953,2	1042,3	1	0	1,6	0	9,6	0	0	-7,7
1987	2.293	1.006	777	48.651	8492,0	11789,0	0,0	23,9	23,1	25,1	24,8	266,1	377,7	999,2	953,2	1	0	1,6	0	19,2	0	9,6	0
1988	4.130	1.063	918	87.484	5201,0	8492,0	0,0	24,1	23,9	25,0	25,1	587,6	266,1	1514,0	999,2	1	1	1,6	-1,9	4,8	-17,1	19,2	0
1989	325	244	204	10.367	5639,0	5201,0	0,0	22,9	24,1	25,0	25,0	484,7	587,6	1114,1	1514,0	0	1	0	-1,9	0	-11,4	4,8	-17,1
1990	422	348	330	25.632	7006,0	5639,0	0,0	23,6	22,9	23,9	25,0	475,8	484,7	1110,7	1114,1	0	0	0	0	0	0	0	-11,4
1991	292	166	84	11.219	13844,0	7006,0	0,0	22,5	23,6	25,0	23,9	489,0	475,8	960,0	1110,7	1	0	1,8	0	16,2	0	0	0
1992	191	101	55	8.141	9164,0	13844,0	0,0	23,5	22,5	25,3	25,0	394,5	489,0	1053,9	960,0	1	0	1,8	0	12,6	0	16,2	0
1993	169	83	68	6.481	5046,0	9164,0	124.456,2	23,7	23,5	24,0	25,3	369,3	394,5	1399,8	1053,9	1	0	0,8	0	5,6	0	12,6	0
1994	175	54	49	5510	8950,0	5046,0	196.474,8	23,8	23,7	25,5	24,0	552,5	369,3	1001,2	1399,8	1	0	1,3	0	13	0	5,6	0
1995	246	121	79	17.054	6378,0	8950,0	200.750,5	24,2	23,8	24,2	25,5	475,3	552,5	1672,0	1001,2	1	1	1,3	-0,8	5,2	-4	13	0
1996	257	174	117	13.468	2865,0	6378,0	665.645,7	23,8	24,2	24,8	24,2	746,3	475,3	1324,5	1672,0	0	1	0	-0,8	0	-3,2	5,2	-4
1997	370	255	160	25.588	19501,0	2865,0	76.715,0	23,7	23,8	25,9	24,8	692,2	746,3	1009,1	1324,5	1	0	2,5	0	22,5	0	0	-3,2
1998	396	375	285	23890	15445,4	19501,0	43.869,6	22,9	23,7	23,8	25,9	542,9	692,2	1619,2	1009,1	1	1	2,25	-1,6	12,5	-11,2	22,5	0
1999	497	511	364	24.624	6925,6	15445,4	88.476,8	24,0	22,9	24,9	23,8	575,3	542,9	1529,7	1619,2	0	1	0	-1,6	0	-19,2	12,5	-11,2
2000	1.743	1.691	1.072	72.279	15966,2	6925,6	48.503,8	23,8	24,0	25,1	24,9	959,0	575,3	1147,4	1529,7	0	1	0	-1,6	0	-16	0	-19,2
2001	9.078	3.698	2.691	383.916	13985,3	15966,2	62.115,1	24,3	23,8	25,4	25,1	730,0	959,0	1207,1	1147,4	0	1	0	-0,7	0	-2,1	0	-16
2002	13.511	5.937	4.574	715480	9167,0	13985,3	11.738,3	24,7	24,3	25,7	25,4	446,9	730,0	1108,6	1207,1	1	0	1,5	0	13,5	0	0	-2,1
2003	2.457	1.496	816	108.632	6915,0	9167,0	21.437,4	24,9	24,7	26,2	25,7	459,9	446,9	1260,9	1108,6	1	0	1,5	0	6	0	13,5	0
2004	6.293	471	226	251.599	12784,3	6915,0	42.180,0	25,2	24,9	25,6	26,2	569,2	459,9	1006,7	1260,9	1	0	0,9	0	6,3	0	6	0
2005	9.469	1.522	870	437.771	86870,4	12784,3	47.535,4	24,8	25,2	26,1	25,6	603,8	569,2	1678,9	1006,7	1	0	0,9	0	2,7	0	6,3	0
2006	3690	544	295	111989	60021,8	86870,4	27.226,3	24,1	24,8	26,6	26,1	625,4	603,8	1321,4	1678,9	1	0	1,1	0	5,5	0	2,7	0

*Anexo 2. Listado de variables de anomalías climáticas*

<i>Variable</i>	<i>Descripción</i>
<i>Aa</i>	<i>Área afectada por brotes</i>
<i>Vol</i>	<i>Volumen de madera afectado por brotes</i>
<i>Ai</i>	<i>Área afectada por incendios</i>
<i>Ai-1</i>	<i>Área afectada por incendios en el año anterior</i>
<i>TES</i>	<i>Temperatura promedio en la época seca</i>
<i>TEH</i>	<i>Temperatura promedio en la época húmeda</i>
<i>TMA</i>	<i>Temperatura media anual</i>
<i>PES</i>	<i>Precipitación promedio en la época seca</i>
<i>PEH</i>	<i>Precipitación promedio en la época húmeda</i>
<i>PTA</i>	<i>Precipitación total anual</i>
<i>NMAT</i>	<i>Número de meses atípicos secos</i>
<i>NMAT-2</i>	<i>Número de meses atípicos secos en los dos últimos años</i>
<i>NMUPS</i>	<i>Número de meses un poco secos</i>
<i>NMS</i>	<i>Número de meses secos</i>
<i>NMMS</i>	<i>Número de meses muy secos</i>
<i>NMUPS-2</i>	<i>Número de meses un poco secos en los dos últimos años</i>
<i>NMS-2</i>	<i>Número de meses secos en los dos últimos años</i>
<i>NMMS-2</i>	<i>Número de meses muy secos en los dos últimos años</i>
<i>SAMUPS</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses un poco secos</i>
<i>SAMS</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses secos</i>
<i>SAMMS</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses muy secos</i>
<i>SAMUPS-2</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses un poco secos en los dos últimos años</i>
<i>SAMS-2</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses secos en los dos últimos años</i>
<i>SAMMS-2</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses muy secos en los dos últimos años</i>

---

	<i>últimos años</i>
<i>NMATH</i>	<i>Número de meses atípicos húmedos</i>
<i>NMATH-2</i>	<i>Número de meses atípicos húmedos en los dos últimos años</i>
<i>NMUPH</i>	<i>Número de meses un poco húmedos</i>
<i>NMH</i>	<i>Número de meses húmedos</i>
<i>NMMH</i>	<i>Número de meses muy húmedos</i>
<i>NMUPH-2</i>	<i>Número de meses un poco húmedos en los dos últimos años</i>
<i>NMH-2</i>	<i>Número de meses húmedos en los dos últimos años</i>
<i>NMMH-2</i>	<i>Número de meses muy húmedos en los dos últimos años</i>
<i>SAMUPH</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses un poco húmedos</i>
<i>SAMH</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses húmedos</i>
<i>SAMMH</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses muy húmedos</i>
<i>SAMUPH-2</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses un poco húmedos en los dos últimos años</i>
<i>SAMH-2</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses húmedos en los dos últimos años</i>
<i>SAMMH-2</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses muy húmedos en los dos últimos años</i>
<i>NMAC</i>	<i>Número de meses atípicos calientes</i>
<i>NMAC-2</i>	<i>Número de meses atípicos calientes en los dos últimos años</i>
<i>NMUPC</i>	<i>Número de meses un poco calientes</i>
<i>NMC</i>	<i>Número de meses calientes</i>
<i>NMMC</i>	<i>Número de meses calientes</i>
<i>NMUPC-2</i>	<i>Número de meses un poco calientes en los dos últimos años</i>
<i>NMC-2</i>	<i>Número de meses calientes en los dos últimos años</i>
<i>NMMC-2</i>	<i>Número de meses muy calientes en los dos últimos años</i>

---

---

<i>SAMPC</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses poco calientes</i>
<i>SAMC</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses calientes</i>
<i>SAMMC</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses muy calientes</i>
<i>SAMPC-2</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses poco calientes en los dos últimos años</i>
<i>SAMC-2</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses calientes en los dos últimos años</i>
<i>SAMMC</i>	<i>Sumatoria de anomalías meses muy calientes en los dos últimos años</i>

---