

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



EL COMPLEJO *XYLEBORUS GLABRATUS* - *RAFFAELEA LAURICOLA* EN MÉXICO: UN
ANÁLISIS SOBRE LOS COSTOS ECONÓMICOS ASOCIADOS CON LA PLAGA

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA

LUIS GERARDO ZAPATA BARRIENTOS

DIRECTOR DE LA TESINA: DR. JUAN MANUEL TORRES ROJO

Agradecimientos

Quiero agradecer

*a mi asesor, el Dr. Juan Manuel Torres, por su apoyo continuo en la elaboración de este trabajo;
a mi profesor de seminario, el Dr. Irvin Rojas, por acompañarme a través de un camino sinuoso;
a mi lector, el Dr. Alejandro López Feldman, por su amable disposición y por sus comentarios;*

a la generación ME2019, por permitirme conocer personas excepcionales, con las que compartí experiencias y de las que me llevo lecciones muy valiosas;

a mis amigos de la licenciatura, que han dejado impresiones muy significativas en mí y que son la mejor representación de un grupo equilibrado y afable, de un club extraordinario,

y finalmente, a la comunidad de este centro de investigación, con la que tuve el placer de compartir los últimos cinco años.

Resumen

Este trabajo hace una evaluación de los costos económicos asociados con la llegada del complejo ambrosial *Xyleborus glabratus* - *Raffaelea lauricola* a México. Hay tres objetivos de estudio: realizar una estimación de los efectos de la plaga sobre la industria productora de aguacate, hacer un análisis insumo producto para calcular su impacto indirecto en otras industrias y realizar una evaluación de sus efectos sobre la provisión de servicios ecosistémicos en México. Este trabajo concluye que el costo económico de la plaga oscilaría entre 1,352.38 y 4,509.84 millones de pesos para los productores de aguacate y entre 581.09 y 2,905.47 millones de pesos en servicios ecosistémicos. Además, el choque afectaría otras industrias de forma indirecta: proveedores agrícolas en su mayoría. Dichos efectos estarían focalizados en el estado de Michoacán y en los bosques de encino y de encino pino.

Palabras clave: *Xyleborus glabratus*, *Raffaelea lauricola*, plaga, México, productores de aguacate, análisis insumo producto, servicios ecosistémicos, Michoacán

Contenido

| | |
|---|-----------|
| 1 Datos y metodología | 6 |
| 1.1 Industria del aguacate | 7 |
| 1.1.1 Escenario base | 9 |
| 1.1.2 Escenario de tratamiento | 10 |
| 1.2 Efectos derrame | 14 |
| 1.3 Servicios ecosistémicos | 17 |
| 2 Resultados | 21 |
| 2.1 Industria del aguacate | 22 |
| 2.2 Efectos derrame | 25 |
| 2.3 Servicios ecosistémicos | 27 |
| 3 Conclusión | 30 |
| Referencias | 32 |
| A. Pérdidas en la industria productora de aguacate | 36 |
| B. Pérdidas por servicios ecosistémicos | 37 |

Lista de figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Idoneidad ambiental para el escarabajo <i>Xyleborus Glabratus</i> | 7 |
| 1.2 | Producción de aguacate en México | 8 |
| 1.3 | Concentración de ecosistemas vulnerables por municipio | 18 |
| 2.1 | Distribución geográfica de las mermas en el escenario base | 22 |
| 2.2 | Impacto regional para la industria del aguacate | 22 |
| 2.3 | Distribución geográfica de las pérdidas por servicios ecosistémicos | 28 |

Lista de tablas

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Géneros hospedantes del <i>Xyleborus glabratus</i> en México | 17 |
| 1.2 | Valor de los servicios forestales en México | 19 |
| 2.1 | Costos asociados con el establecimiento de la plaga en México | 21 |
| 2.2 | Análisis costo-beneficio de aplicar <i>propiconazol</i> a los árboles | 23 |
| 2.3 | Efectos derrame de la plaga sobre diferentes clases de la economía nacional | 25 |
| 2.4 | Efectos derrame de la plaga sobre diferentes sectores de la economía | 26 |
| 2.5 | Pérdidas en servicios ecosistémicos | 29 |
| 1 | Análisis costo-beneficio de aplicar <i>propiconazol</i> a los árboles | 36 |
| 2 | Pérdidas en servicios ecosistémicos ($\lambda_b = 0.1$) | 37 |
| 3 | Pérdidas en servicios ecosistémicos ($\lambda_b = 0.25$) | 38 |

Introducción

Este trabajo evalúa los costos económicos asociados con la dispersión del complejo *Xyleborus glabratus* - *Raffaelea lauricola* en México. El escarabajo ambrosial *Xyleborus glabratus* opera como vector del hongo *Raffaelea lauricola*, que es causante de la “marchitez del laurel”. Esta enfermedad es mortal para los árboles del género *Lauraceae*. Por las consecuencias perjudiciales que tendría la llegada de la plaga sobre los ecosistemas mexicanos y sobre la industria productora de aguacate, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) considera al escarabajo una plaga potencial. La idea que subyace en este trabajo es que existe la necesidad de elaborar una estrategia de actuación frente a su posible llegada. En particular, es importante contar con una evaluación de los costos que vendrían asociados con esa posibilidad.

La plaga se implantó en Estados Unidos y ha devastado grandes poblaciones de lauráceas. Este trabajo considera entonces fundamental contextualizar (1) sus características ecológicas y (2) su llegada a Norteamérica.

Por una parte, el complejo *Xyleborus glabratus* - *Raffaelea lauricola* infecta los árboles y provoca su muerte. De forma específica, Crane et al. (2020) establecen que el escarabajo se introduce en el tronco de los árboles y forma galerías. Al desplazarse en su interior, siembra el hongo. Éste absorbe nutrientes del árbol y sirve de alimento para el escarabajo. Eventualmente, el complejo infecta el xilema. Como medio de defensa, los árboles segregan tálides y gomas. Sin embargo, éstos no logran erradicar el hongo y, como efecto adverso, obstruyen el xilema, lo que podría conducir a la muerte del árbol. Esto provoca la muerte del árbol. Hanula, J. L. and

Mayfield III, A. E. (2014) comentan que, una vez infectados, los árboles mueren en cuestión de semanas o de algunos meses. Crane et al. (2020) mencionan que lo ideal es combatir la enfermedad al poco tiempo de haber contraído el hongo. Sin embargo, es complicado diagnosticar temprano a los árboles enfermos, pues el escarabajo permanece la mayor parte del tiempo en el interior del árbol. No es hasta que la enfermedad avanza que sus síntomas se hacen visibles (por la decoloración de las hojas principalmente).

Por otra parte, la experiencia indica que el comercio facilita la dispersión de la plaga. Si bien el escarabajo y el hongo provienen de Asia, su primer registro en América ocurrió en el 2002, en Port Wentworth, Georgia. Es probable que el escarabajo haya sido transportado accidentalmente por algún medio marítimo. Harrington et al. (2011) advierten que diversos artículos madereros y de embalaje ocupados en actividades comerciales facilitan su transporte accidental. De acuerdo con los autores, esa es una explicación muy plausible sobre la llegada del escarabajo a los Estados Unidos.

El antecedente en Estados Unidos es relevante al plantear la eventual dispersión de la plaga en México. Existen dos razones para tomar en cuenta esa experiencia. La primera es que la plaga se ha diseminado en dicho país. Después de su primer registro, en Port Wentworth, Georgia en el 2002, el complejo escarabajo-hongo se dispersó rápidamente por la costa sureste. El servicio forestal estadounidense (USDA Forest Service) actualiza con regularidad un mapa que muestra la forma en que se ha dispersado. USDA Forest Service (2019) permite seguir la evolución del problema: en el 2002, ocurrió la primera detección de la plaga en Estados Unidos; en el 2005, había reportes de su presencia en varios condados de Georgia, Alabama y Carolina del Sur; en el 2006, alcanzó Florida; en el 2010, estaba ya internada en un gran número de condados en ese estado y muy cercana a Miami. Desde entonces, ha continuado su dispersión. En la actualidad, el USDA Forest Service (2019) reporta la presencia de la plaga en Mississippi, Louisiana, Arkansas, Texas, Tennessee y Kentucky (con pocos registros en éstos últimos tres).

Dada la información anterior, varios autores investigan factores relevantes respecto de la dispersión del complejo escarabajo-hongo. Koch y Smith (2008) reportan que éste se mueve a una

velocidad de entre 30 y 100 kilómetros por año (km/a). Luego presentan un modelo que incorpora la densidad forestal como factor explicativo del desplazamiento de la plaga. Una referencia más reciente es de Crane et al. (2020), que acotan la tasa de dispersión a una de entre 24.1 y 54.7 km/a en áreas naturales. A propósito de dicha tasa, Ploetz, Hugues, et al. (2017) destacan que las hembras del *Xyleborus glabratus* son capaces de volar una gran cantidad de kilómetros sin ayuda del viento. Además, mencionan que sus temporadas de mayor movimiento son durante marzo-abril y en octubre. Conocer esos patrones es relevante para prever fenómenos de dispersión estacionales. Por su parte, Seo et al. (2017) encuentran con datos experimentales que el movimiento de estos escarabajos genera radios de desplazamiento de 17.6 ± 4.6 metros al día. Así, estiman una dispersión de alrededor de 250 metros cada dos semanas. Con todo lo anterior, la dispersión descontrolada de la plaga es un escenario fundamental para México.

La segunda razón para examinar la experiencia estadounidense es que la marchitez del laurel ha sido una enfermedad alarmante en ese país. Tanto por su letalidad como por sus consecuencias sobre la industria productora de aguacate, la presencia de la plaga es un tema crítico. Fraedrich et al. (2008) hicieron el seguimiento de 132 árboles de laurel rojo en una zona de infectada con *Raffaelea lauricola*. Entre julio del 2005 y octubre del 2006, el porcentaje de especímenes muertos se elevó del 9.8% al 92.4%. Sus resultados indican que aquellos con troncos más anchos son más vulnerables. Crane et al. (2020) establecen que alrededor de 500 millones de lauráceas han muerto en Estados Unidos por causa de la marchitez del laurel. En cuanto a las consecuencias de la plaga sobre las plantaciones de aguacate en Florida, Crane et al. (2015) estiman una pérdida total de cerca de 8, 500 árboles en el estado de Florida (entre 2002 y 2015), que representan el 1.2% del acervo forestal productivo. Al comentar sobre el manejo que le han dado los agricultores a la enfermedad, menciona dos cuestiones relevantes. Una es que han habido estrategias de mitigación desde el 2011, que es cuando llegó la plaga a los plantíos de Florida. La otra cuestión es que los costos relacionados con el tratamiento o la remoción de árboles infectados han reducido el margen de los productores en forma considerable.

En lo que concierne a los métodos específicos para lidiar con la plaga en Estados Unidos,

destacan dos tipos de intervención: previas y posteriores a su llegada. Sobre las segundas, Ploetz, Hugues, et al. (2017) comparan los resultados en la literatura sobre el desempeño de los insecticidas y el de los biopesticidas comerciales. En general, los insecticidas sistémicos no presentan grandes beneficios en el control de la plaga: los insecticidas de contacto muestran mejores resultados. Ciertos biopesticidas son útiles, pero sólo de manera parcial. Los autores señalan que el problema de los insecticidas y de los biopesticidas es que difícilmente penetran el xylema de los árboles, que es donde se implanta la plaga. Sobre las intervenciones previas a que ésta se implante, destacan los trabajos de Crane (2013) y de Ploetz, Konkol, Pérez-Martínez, y Fernandez (2017). Ellos evalúan el desempeño de diferentes fungicidas para combatir la infección. De entre las sustancias que estudian, destaca la efectividad de las macroinfusiones con *propiconazol*, que consisten en aplicar grandes volúmenes de dicho fungicida diluido en las raíces de los árboles. Además, el tratamiento genera concentraciones muy bajas de la sustancia (debajo del máximo nivel permitido por la Agencia de Protección Ambiental estadounidense) en los frutos. No obstante las ventajas del tratamiento, Ploetz, Konkol, et al. (2017) señalan que su efectividad se restringe a un horizonte de entre diez y once meses. En lo que se refiere a los costos, Ploetz, Konkol, et al. (2017), Crane et al. (2015) y Ploetz, Perez-Martinez, Evans, y Inch (2011) concluyen que no es rentable tratar plantíos completos con *propiconazol*.

Dicho todo lo anterior, la llegada y la dispersión de la plaga es un escenario que debe contemplar el gobierno mexicano. En particular, existen varias razones que muestran ese escenario como una situación plausible y costosa. Es importante recordar que la plaga está presente en el estado de Texas y la distancia que la separa de la frontera con México se reduce conforme pasa el tiempo. Considere dos factores adicionales que son muy relevantes. Por una parte, es cierto que la relación comercial entre México y Estados Unidos es muy intensa. Aunado a la alta interconectividad marítima de América del Norte con el resto del mundo (especialmente con Asia), existe una gran cantidad de mercancías que transitan regularmente entre Estados Unidos y México. Lo anterior es importante al considerar que la plaga llegue al país y, específicamente, que ingrese por los puertos de Lázaro Cárdenas, Salina Cruz, Manzanillo o Mazatlán. Además,

una vez dentro del territorio mexicano, el trabajo de Lira-Noriega, Soberón, y Equihua (2018) muestra que el *Xyleborus glabratus* encontraría condiciones ambientales idóneas para establecerse. Por otra parte, existen altos costos asociados con la dispersión de la plaga. Las lauráceas son un cultivo muy relevante en la producción agrícola mexicana. Específicamente, el aguacate es un cultivo que el gobierno considera estratégico por el crecimiento reciente en su demanda internacional y por la ventaja comparativa que tiene México en su producción. Las pérdidas potenciales asociadas con la llegada de la plaga al país serían entonces muy graves. Además, como en el caso de Estados Unidos, habría una marcada disminución en la población de lauráceas silvestres. SENASICA (2018) indica que la presencia de dicho género es relevante en los estados de Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Hidalgo, Puebla y Veracruz. Entonces, habría una serie de costos provenientes de una menor provisión de servicios ecosistémicos.

En fin, una estrategia de actuación frente a la plaga es necesaria en México. En particular, una evaluación de los costos asociados con su dispersión es un insumo crucial en el momento de formular un plan preventivo. El propósito de este trabajo es hacer un análisis estático de lo anterior. En particular, establece tres objetivos de estudio dado que la plaga atacaría la población de lauráceas cultivadas y silvestres en México. Primero, se plantea calcular las pérdidas contables que vendrían de una menor producción de aguacate en el país bajo un escenario de intervención limitada y uno de tratamiento con macroinfusiones de *propiconazol*. Segundo, propone estimar los efectos secundarios que tendrían lugar en la economía ante el choque sobre los productores de aguacate. Tercero, considera las pérdidas que vendrían de una menor provisión de servicios ecosistémicos. Los resultados del trabajo establecen que el costo económico oscilaría entre 1,352.38 y 4,509.84 millones de pesos para los productores de aguacate y que la plaga acabaría con un monto de entre 581.09 y 2,905.47 millones de pesos en servicios ecosistémicos. Las secciones del escrito están estructuradas de la siguiente forma. Primero, el trabajo expone una metodología para estimar los costos y hace un análisis descriptivo de los datos; segundo, presenta los resultados, y por último, se concluye.

Capítulo 1

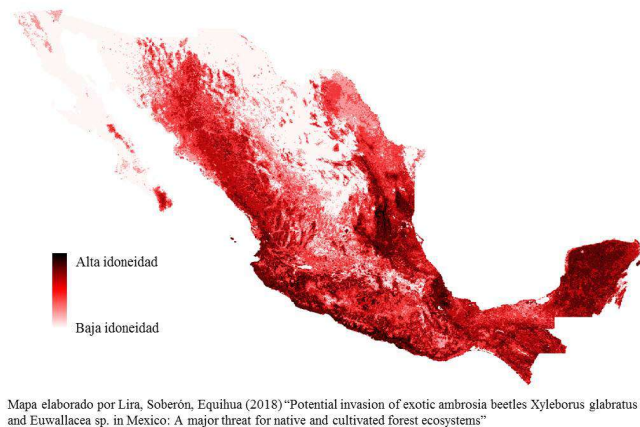
Datos y metodología

El análisis que se presenta está basado en un escenario hipotético, a saber: la llegada de la plaga a México. Este trabajo pretende hacer una evaluación de ese escenario bajo una perspectiva estática. Con ello, no modela la dispersión como tal, sino que establece valores de referencia que sirvan para acotar la gravedad del escenario. En particular, este trabajo concibe en su análisis dos componentes: las pérdidas contables para la industria del aguacate y las pérdidas por servicios ecosistémicos. Respecto del primero, el trabajo plantea dos escenarios: uno base y otro, en el que los árboles reciben un tratamiento previo a la llegada de la plaga. Respecto del segundo, el trabajo estima directamente las pérdidas de acuerdo con valores tomados de la literatura.

Es importante comenzar con una descripción del insumo principal de este análisis. El artículo publicado por Lira-Noriega et al. (2018) es muy valioso en el estudio de las regiones más vulnerables a la plaga. Los autores generaron un mapa que identifica las zonas con mayor probabilidad de alojar al escarabajo *Xyleborus glabratus*, que es el vector del hongo que ocasiona la marchitez del laurel. Específicamente, la figura 1.1 muestra los puntos en los que se establecería con mayor facilidad. Con ello, esos puntos son más susceptibles de presentar afectaciones una vez que la plaga ingrese al país. En adelante, este trabajo se refiere a esos valores también como valores de riesgo.

Los datos de Lira-Noriega et al. (2018) sirven de referencia para establecer una distribución

Figura 1.1: **Idoneidad ambiental para el escarabajo *Xyleborus Glabratus***



geográfica de las afectaciones potenciales.¹ En particular, este documento toma los valores de riesgo medios y altos para identificar los municipios más vulnerables en términos de su producción de aguacate y de sus ecosistemas nativos. El análisis es a ese nivel por dos razones. Primero, los datos de producción agrícola de México agregan la información por municipio. Segundo, un análisis a ese nivel es más informativo para fines de política pública.

1.1 Industria del aguacate

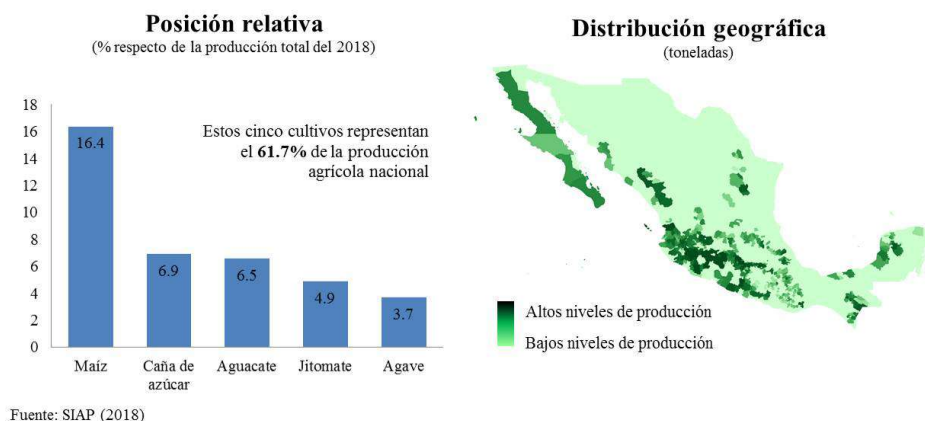
En lo que se refiere a la industria del aguacate, conviene empezar por dar un contexto sobre su relevancia económica. Para ello, este trabajo recurre a los datos anualizados de estadística básica agrícola por municipio en México del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018) (SIAP).² De interés particular para este trabajo son los datos sobre superficie cultivada, producción (en toneladas) y su valor de mercado. Esas variables son muy informativas para delinear la importancia de esta industria entre de los productores agrícolas del país. La figura 1.2 sintetiza la información al respecto.

Cabe hacer dos comentarios sobre lo que ilustra la figura 1.2: el aguacate está entre los cinco cultivos con mayor volumen en el país (6.9% de la producción nacional) y hay una concentración

¹ Agradezco al Dr. Andrés Lira por haberme facilitado los datos.

² Los datos son de acceso público.

Figura 1.2: Producción de aguacate en México



evidente de productores en el occidente de México. Existe la preocupación de que la llegada de la plaga a Michoacán y Jalisco tenga consecuencias negativas sobre (1) la economía regional de la zona y (2) su posición competitiva internacional.

Las afectaciones sobre la industria del aguacate son de gran relevancia económica. Los productores tienen perspectivas de crecimiento muy significativas en el mediano plazo. En ese sentido, un choque como el que considera este trabajo sería altamente perjudicial. Por una parte, SAGARPA (2017) señala que la industria mexicana de este producto está en proceso de consolidarse en Asia y de expandirse en Europa. El choque afectaría la posición estratégica de México frente a otros competidores de rápido crecimiento, como República Dominicana y Perú.³ Por otra parte, FAO (2020b) prevé que la demanda internacional por este cultivo crezca en los próximos diez años. En particular, espera que la demanda en países desarrollados (que son los principales consumidores) se incremente: proyecta un crecimiento en su consumo de al menos 2.9% anual. Con ello, será relevante prevenir el impacto de los choques que pueda haber sobre esta industria.

Una vez establecida la relevancia económica de la industria productora de aguacate, es necesario exponer una metodología que cuantifique el impacto de la plaga. Este trabajo encuentra un punto de referencia para medir sus efectos. Primero, describe un escenario base, de inter-

³FAO (2020a)

vención muy limitada: restringido a la remoción y al aislamiento de los árboles infectados. Segundo, explora la posibilidad de realizar macro-infusiones de un fungicida comercial con el fin de aminorar el impacto de la plaga. El análisis de esos dos escenarios es a nivel municipal y a nivel agregado en todo el país.

1.1.1 Escenario base

En el escenario base, existe un solo costo, que es el de la menor producción (mermas). Considere que, dado que la plaga llega a cierto municipio m , infecta los cultivos siempre que el ambiente sea idóneo, con los valores de idoneidad, ρ , provenientes del trabajo de Lira-Noriega et al. (2018). Con el objetivo de que los resultados de este trabajo sirvan como cota superior de los efectos de la plaga, el análisis consideró los valores de idoneidad arriba de la mediana. Esto es, el trabajo clasificó como idóneos a aquellos municipios con $\rho_m \geq 0.4$. En la sección de resultados se comenta sobre el efecto de cambiar dicho valor.

Una vez que la plaga infecta un municipio, sea el nivel de afectación $\lambda_B \in [0, 1]$: la probabilidad de que un árbol muera por marchitez del laurel. Así, λ_B es también la proporción esperada de árboles que mueren en un municipio infectado. Este parámetro varía en función de la letalidad de la plaga, pero también se define por las acciones de mitigación inmediatas que toman los agricultores. En particular, éstos aíslan los árboles infectados, los extraen y luego los trituran. Defina que la producción total de aguacate en el municipio, Y_m , guarda una proporción unitaria con el número de árboles. Entonces, las mermas, L_B^m , en un municipio vendrán dadas por

$$L_B^m = \lambda_B Y_m.$$

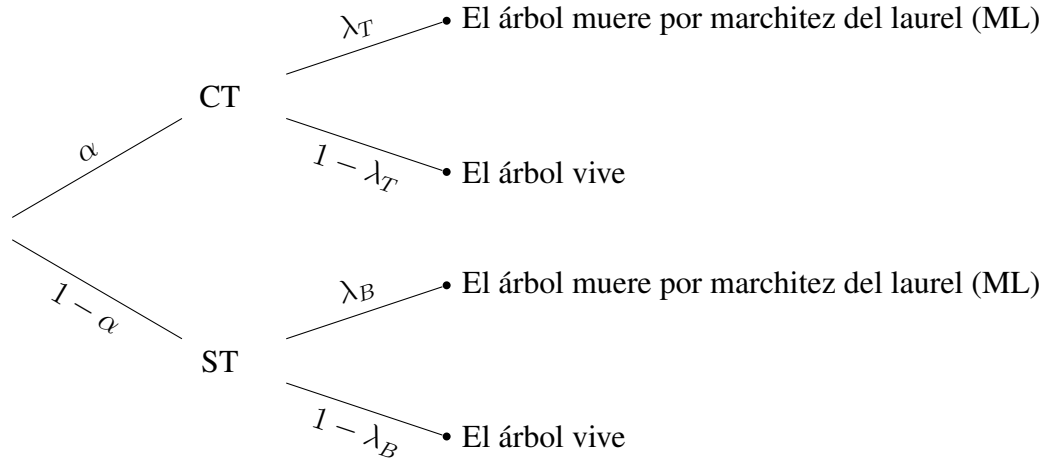
Asimismo, el valor agregado en toda la economía es

$$\begin{aligned}
 L_B &= \sum_{i=m}^M I(\rho_m \geq 0.4) L_B^m \\
 &= \lambda_B \sum_{i=m}^M I(\rho_m \geq 0.4) Y_m,
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

donde $I(\rho_m \geq 0.4)$ es una variable que vale 1 cuando $\rho_m \geq 0.4$ y vale 0 de otra forma. M es el número de municipios en el país. Este trabajo contempla tres valores de λ_B : 0.05, 0.1 y 0.25. La razón tiene que ver con lo que señalan Crane et al. (2015) sobre la experiencia en Florida: el nivel de afectación total ha sido del 1.2%. Dicha cifra contempla diversos tipos de tratamiento que ha habido entre el 2012 y el 2015. Este trabajo escogió λ_B de forma que los niveles de afectación pos-tratamiento sean cercanos a 1.2%.

1.1.2 Escenario de tratamiento

En el escenario de tratamiento, existen dos costos. Uno viene de las mermas y el otro viene del gasto en el que incurren los productores con tal de aminorar el daño. Este trabajo se concentra en un tipo de intervención que se realiza previa a la llegada de la plaga: los agricultores tratan una proporción $\alpha \in [0, 1]$ de los árboles en cada municipio idóneo ($\rho_m \geq 0.4$). La probabilidad de que un árbol arbitrario sea tratado es entonces α . El tratamiento modifica la letalidad de la plaga: con la intervención, la probabilidad de que un árbol muera es λ_T . Dado el tratamiento (CT) o su ausencia (ST), el siguiente diagrama expresa las probabilidades de que un árbol muera en un municipio infectado.



Defina entonces la probabilidad π de que un árbol muera en un municipio infectado:

$$\begin{aligned}
 \pi &= P(ML) \\
 &= P(ML|CT)P(CT) + P(ML|ST)P(ST) \\
 &= \lambda_T\alpha + \lambda_B(1 - \alpha) \\
 &= \lambda_B - \alpha(1 - \lambda_T)\lambda_B
 \end{aligned}$$

Así el tratamiento reduce la probabilidad de muerte respecto del escenario base. Note que π es además la proporción esperada de árboles muertos en un municipio infectado.

Con todo lo anterior, es importante hallar una expresión para los costos que contempla el escenario de tratamiento. Las mermas en un municipio vienen dadas por

$$\begin{aligned}
 L_T^m &= \pi Y_m \\
 &= [\lambda_B - \alpha(1 - \lambda_T)\lambda_B]Y_m \\
 &= \lambda_B Y_m - \alpha(1 - \lambda_T)(\lambda_B Y_m)
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

y el gasto por aplicar el tratamiento es

$$Z^m = \alpha p_f N_m, \tag{1.3}$$

donde N_m es el número de árboles en el municipio y p_f , el gasto promedio del tratamiento por árbol. Cabe destacar dos cosas respecto de la expresión anterior. Primero, si bien el SIAP no contiene datos del número de árboles, es posible aproximarlos con un valor promedio de densidad de plantación. Segundo, p_f , el costo del tratamiento por árbol, depende de la sustancia empleada y de su dosis. Este trabajo considera el tratamiento con *propiconazol*.

Los costos totales vienen dados por la suma de L_T^m con Z^m . Entonces,

$$\begin{aligned}
Q^m &= L_T^m + Z^m \\
&= \pi Y_m + \alpha p_f N_m \\
&= [\lambda_B - \lambda_B(1 - \lambda_T)\alpha] Y_m + \alpha p_f N_m \\
&= [p_f N_m - (1 - \lambda_T)(\lambda_B Y_m)]\alpha + \lambda_B Y_m.
\end{aligned} \tag{1.4}$$

Examine la ecuación (1.4). Considere que Q^m es lineal en α . Con ello, la proporción de árboles tratados que minimiza los costos para los productores será $\alpha = 0$ si $Q_\alpha^m > 0$ o bien $\alpha = 1$ de otra forma. En particular,

$$p_f N_m < (1 - \lambda_T)(\lambda_B Y_m) \tag{1.5}$$

implica que lo óptimo será establecer $\alpha = 1$. Recorra a la ecuaciones (1.2) y (1.3). Intuitivamente, esta condición establece que el beneficio marginal de α en términos de la reducción en las mermas es mayor que su costo marginal en términos contables.

Finalmente, queda plantear el análisis agregado. El valor global de las mermas en la economía es entonces

$$L = \sum_{i=m}^M I(\rho_m \geq 0.4) T_m \lambda_T Y_m + \sum_{i=m}^M I(\rho_m \geq 0.4) [1 - T_m] \lambda_B Y_m, \tag{1.6}$$

donde T_m es una variable binaria que vale 1 cuando el municipio decide tratarse de acuerdo con

la condición (1.5). El gasto agregado por el tratamiento es

$$Z = \sum_{i=m}^N I(\rho_m \geq 0.4) T_m N_m p_f. \quad (1.7)$$

Dado todo lo anterior, queda definir el valor que toman los parámetros. En el caso de N_m y de λ_T , este trabajo recurre a diversas fuentes. Por un lado, de acuerdo con FIRA (2007) el número promedio de árboles por hectárea es de 125 en el caso de cultivos temporales y de 113 en el caso de cultivos de riego.⁴ Este trabajo estimó el número de árboles en cada municipio con esos datos. Por otro lado, Crane (2013) reporta los resultados de una serie de experimentos sobre el efecto de tratar árboles de aguacate con diferentes fungicidas. En particular, destaca el *propiconazol* por su efectividad en el combate de la plaga dada su aplicación temprana (tres meses antes de la infección). Los resultados experimentales sugieren que, al infectar con el hongo a un árbol tratado, la probabilidad de que padezca marchitez del laurel después de ocho meses es de 0.17. Entonces, $\lambda_T = 0.17$.

Este trabajo establece p_f con base en el precio de un producto comercial (TILT[®] 250 CE) y cierta dosis. De acuerdo con un contrato celebrado en el 2019 entre un proveedor privado y el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), un precio de referencia para TILT[®] 250 CE es de \$1,362.75 por litro.⁵ La dosis sugerida por Crane (n.d.) es de 7.4 mililitros de producto diluidos con agua por pulgada de grosor en un árbol (2.91 mililitros por centímetro). En línea con Ploetz et al. (2011), este trabajo toma 50 centímetros como grosor promedio. Entonces, establece una dosis de 145.5 mililitros por árbol. Lo anterior implica un costo del pesticida por árbol (q) de \$198.28.

⁴ Cabe mencionar que estos números se limitan al caso de Michoacán. Sin embargo, dada la alta participación de ese estado en la producción nacional, este trabajo asumió estos valores para todo el país.

⁵ ICAMEX (2019)

1.2 Efectos derrame

Una vez establecido el impacto de la plaga sobre la industria del aguacate, es relevante admitir la existencia de efectos derrame (*spillover effects*) sobre el resto de la economía. En ese sentido, los análisis insumo producto son muy ilustrativos. Este trabajo plantea hacer un análisis del impacto indirecto de la plaga sobre la producción de otras industrias. Los datos provienen de la matriz de insumo producto (MIP) a nivel clase publicada en línea por INEGI (2013a). En ella, hay dos industrias de interés, sobre las que este trabajo simula un choque: la clase 111334, “Cultivo de aguacate” y la clase 325320, “Fabricación de pesticidas y otros agroquímicos, excepto fertilizantes”.⁶

Antes de continuar, es importante describir la estructura de la MIP y los conceptos básicos para su análisis. La matriz es cuadrada y está construida de forma que resume la interdependencia entre diferentes industrias. Específicamente, plasma cómo se distribuye la demanda intermedia por bienes y servicios en la economía. Defina la matriz \tilde{X} , de dimensión $n \times n$, que le corresponde a una economía con n industrias. Las entradas de la columna j distribuyen el valor de los bienes y servicios demandados por la industria j ; la fila i descompone el valor de los bienes y servicios que provee la industria i . Así, \tilde{x}_{ij} es el valor de los insumos que provee i a j . La MIP tiene la siguiente forma.

$$\tilde{X} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1i} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2i} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \cdots & \tilde{x}_{ni} & \cdots & \tilde{x}_{nn} \end{pmatrix} \quad (1.8)$$

El análisis insumo producto requiere una serie de supuestos que simplifican la estructura de la economía: (1) todas las unidades productivas dentro de una industria cuentan con la misma tecnología y producen un solo bien o servicio, (2) la demanda por insumos por parte de cada

⁶ La clasificación es de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN).

industria es proporcional a su producción y (3) los precios relativos permanecen constantes.⁷ Dichos supuestos simulan una estructura industrial muy simple, pero son útiles para entender el comportamiento de la economía en el corto plazo. En particular, bajo el supuesto (2), el valor de los insumos que provee i a j es proporcional a la producción de j . Con ello, $\tilde{x}_{ij} = a_{ij}x_j$, con a_{ij} dado y x_j como la producción de la industria j . Por consecuencia, la demanda intermedia puede ser expresada como Ax , donde x es el vector de n entradas con la producción total de cada industria y A es una matriz de dimensión $n \times n$, que es conocida como matriz de coeficientes técnicos. INEGI la publica directamente.

$$Ax = \begin{pmatrix} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \\ \vdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n \end{pmatrix} \quad (1.9)$$

Considere que la relación entre las matrices \tilde{X} y A está dada entonces por la siguiente ecuación:

$$\tilde{X} = A\hat{X},$$

donde \hat{X} es una matriz diagonal con los elementos del vector x .

Ahora bien la producción total de la economía se destina a satisfacer la demanda intermedia y la demanda final. Ésta última viene dada por un vector f , de n entradas. El sistema lineal que define la producción total en la economía queda expresado por la siguiente ecuación.

$$x = Ax + f$$

De la relación $(I - A)^{-1}$, conocida como la matriz de Leontief, la igualdad anterior se transforma en

$$x = (I - A)^{-1}f, \quad (1.10)$$

⁷ INEGI (2013b)

donde $(I - A)^{-1}$ expresa una relación lineal entre la demanda final, f , y la producción, x . Dicha matriz es publicada directamente por INEGI.

La metodología para medir los efectos derrame consiste en tomar los resultados de la sección 1.1 y definir con ellos dos choques sobre la demanda final. Uno vendrá por la menor producción de aguacate (L) y, el otro, por la mayor demanda de plaguicidas (Z). Refiérase a las ecuaciones (1.6) y (1.7). El trabajo encuentra el cambio en la producción de todas las industrias, Δ , con n entradas.

$$\Delta = (I - A)^{-1}(0, \dots, -L_T, \dots, Z, \dots, 0)^T \quad (1.11)$$

En el caso del análisis regional, este trabajo toma X y la modifica de manera que la demanda intermedia sea proporcional con el tamaño de la economía de Michoacán. En particular, utiliza una estrategia de re-escalamiento de la MIP nacional. De acuerdo con Flegg y Webber (1997), una manera conveniente para re-escalar una matriz nacional consiste en tomar A y modificar sus entradas de la siguiente forma.

$$r_{ij} = CILQ_{ij} a_{ij}, \quad (1.12)$$

donde $CILQ_{ij}$ es un cociente de ubicación inter-industrial. Éste es el elemento principal. Proporciona información sobre el tamaño relativo de las industrias i, j en una región respecto de la economía en todo el país. Una forma de estimar dicho cociente es con la siguiente expresión.

$$CILQ_{ij} = \frac{RE_i/NE_i}{RE_j/NE_j}, \quad (1.13)$$

donde RE es el empleo regional y NE es el empleo nacional para cada industria.⁸ Este trabajo toma en su lugar los datos del INEGI sobre el producto interno bruto por actividad y por entidad federativa.⁹ Una modificación respecto del análisis para todo el país es que, por la disponibilidad de información a nivel entidad, este trabajo estima los efectos derrame en Michoacán con base en la estructura de su economía por sector y no por clase.¹⁰

⁸ Los autores establecen que, cuando $\frac{RE_i/NE_i}{RE_j/NE_j} > 1$, uno de imponer $CILQ_{ij} = 1$

⁹ Los datos son de acceso público.

¹⁰ De acuerdo con la clasificación SCIAN

1.3 Servicios ecosistémicos

En lo que se refiere a los costos por pérdidas de servicios ecosistémicos, cabe examinar dónde se focalizarían y cuál sería su valor. Respecto de la primera cuestión, CONAFOR (2019) reconoce diversos géneros de árboles como hospedantes del escarabajo *Xyleborus glabratus*.¹¹ SENASICA (2018) incluye de manera adicional a la *Leucaena glauca*, una especie muy abundante en el país, como hospedante secundario. Con eso en mente, este trabajo establece los ecosistemas (forestales) que albergan especies hospedantes: el bosque mesófilo de montaña, el bosque de galería, el bosque de encino, el bosque de pino, el bosque de pino encino, la selva baja caducifolia, la vegetación secundaria arbórea (VSA) de selva baja perennifolia y la vegetación secundaria arbórea (VSA) de selva baja subcaducifolia. La tabla 1.1 resume la información anterior.

Tabla 1.1: Géneros hospedantes del *Xyleborus glabratus* en México

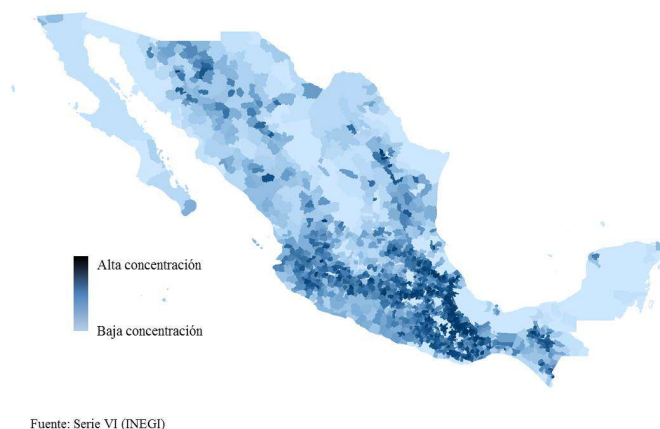
| Géneros | BG | BM | BP | BQ | BPQ | SBC | VSA SBP | VSA SBS |
|---------------|----|----|----|----|-----|-----|------------|------------|
| Persea | | | x | x | x | x | x | |
| Cinamommun | | x | x | x | x | x | | |
| Litsea | | | | | x | x | | |
| Nectandara | | x | | x | | x | | |
| Ocotea | | x | | x | | | x | |
| Licaria | | x | | | | x | | x |
| Salix | x | | | | | x | | |
| Iouea | | | | | | x | | |
| Beilschmiedia | | | | | | x | | |
| Cassytha | | | | | | x | | |
| Mocinnodaphne | | | | | | x | | |
| Leucaena | x | | | | | x | x | x |

Fuente: elaboración propia con información de CONAFOR y del Dr. Juan Manuel Torres
Clave: BG (Bosque de galería), BM (Bosque mesófilo de la montaña), BP (Bosque de pino), BQ (Bosque de encino), BPQ (Bosque de pino encino), SBC (Selva baja caducifolia), VSA SBP (Vegetación secundaria arbórea de la selva baja perennifolia) y VSA SBS (Vegetación secundaria arbórea de la selva baja subcaducifolia)

La figura 1.3 muestra cómo se distribuyen los ecosistemas vulnerables. En particular, el mapa muestra la proporción de ecosistemas vulnerables que contiene cada municipio respecto

¹¹ *Aiouea*, *Beilschmiedia*, *Cassythia*, *Cinnamomum*, *Licaria*, *Litsea*, *Monocinnodaphne*, *Nectandra*, *Ocotea* y *Persea*

Figura 1.3: **Concentración de ecosistemas vulnerables por municipio**



del total de ecosistemas que alberga. Como es evidente, existen zonas de importante concentración en el centro, en el sureste y en el occidente del país. Este punto es relevante si uno considera que hay puertos con mucha actividad comercial en esa región (Manzanillo y Lázaro Cárdenas por ejemplo).

La segunda cuestión relevante en este apartado es el valor de los servicios ecosistémicos que estarían en riesgo por la plaga. Para ello, este trabajo recurre a dos fuentes diferentes: la base de datos de *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB)¹² y los valores que predicen Lara-Pulido, Guevara-Sanginés, y Arias (2018).¹³ Ambas fuentes establecen el valor monetario de los servicios que proveen diferentes ecosistemas en México. La tabla 1.2 compila esos valores para los ecosistemas enlistados en el párrafo anterior como vulnerables.¹⁴

Para determinar el volumen de los servicios ecosistémicos en riesgo por la plaga, este trabajo recurre a los datos geo-referenciados sobre el uso de suelo y vegetación del INEGI (2017).¹⁵ En particular, usa las capas de ecosistemas de la Serie VI. El análisis consiste en sobreponer dichas capas con la de riesgo de infección elaborada por Lira-Noriega et al. (2018). El resultado es un mapa a nivel municipal que contiene información sobre los ecosistemas y el riesgo (promedio)

¹² Van der Ploeg y De Groot (2010) Los datos son de acceso público.

¹³ Éstos provienen de un análisis econométrico sobre diferentes trabajos de valuación ambiental en México.

¹⁴ Para calcular los valores en pesos mexicanos, este trabajo incorporó la inflación en Estados Unidos y luego, usó el tipo de cambio ajustado por paridad de poder de compra publicado por la OCDE.

¹⁵ Los datos son de acceso público

Tabla 1.2: Valor de los servicios forestales en México
(pesos por hectárea)

| Valores de an der Ploeg, S. and R.S. de Groot (2010) The TEEB Valuation Database | | |
|---|---------------------|-----------------|
| | Ecosistemas | |
| | Bosque de coníferas | Bosque tropical |
| Comida ^a | 6245.9 | 6245.9 |
| Bioprospección ^a | 121.1 | 121.1 |
| Retención de carbono ^b | 1949.5 | 1892.7 |
| Purificación del agua ^b | 0.8 | 4.5 |
| Preservación de la biodiversidad ^b | | 98.7 |
| Recreación ^c | | 117.3 |
| Turismo ^c | 11.8 | 11.8 |
| Materias primas ^a | | 1540.4 |

| Panel B. Valores de Arias, Lara-Pulido y Guevara-Saninés (2018) A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico | |
|--|---------|
| | Bosques |
| Servicios de provisión | 1671.9 |
| Servicios de regulación | 2861.9 |
| Servicios culturales | 4386.3 |

^a Servicios de provisión

^b Servicios de regulación

^c Servicios culturales

Fuente: elaboración propia con datos de Van der Ploeg, S. and R.S. de Groot (2010)
The TEEB Valuation Database – a searchable database of 1310 estimates of monetary values of ecosystem services. Foundation for Sustainable Development, Wageningen, The Netherlands.

por unidad. Este trabajo considera en riesgo a los municipios con un valor de idoneidad, ρ , mayor o igual que 0.4. Además, limita su análisis a aquellos ecosistemas que clasifica como vulnerables. Defina entonces $S_m^{e,s}$ como el valor de cierto servicio ecosistémico s que proporciona un ecosistema vulnerable e en un municipio m :

$$S_m^{e,s} = r_m^e a_m v^s \quad (1.14)$$

donde $r_m^e \in [0, 1]$ es el peso del ecosistema vulnerable e dentro del conjunto total de ecosistemas que alberga m . Además, a_m es el área (en hectáreas) del municipio y v^s es el valor por hectárea del servicio ecosistémico s . Es importante reconocer que asignar el mismo valor de v^s

en todos los municipios supone que los ecosistemas son uniformes.¹⁶ En particular, asume que todos están en condiciones óptimas. Este supuesto es muy general, sin embargo, permite simplificar el análisis. El objetivo de este trabajo es establecer valores de referencia para las pérdidas potenciales, con lo que sacrifica precisión en beneficio de un análisis global para todo el país. El valor de v^s viene dado por la tabla 1.2. El conjunto de servicios ecosistémicos que proporciona el ecosistema vulnerable e está denotado por S_e . Entonces, el valor total de los servicios proporcionados por e es

$$S_m^e = \sum_{s \in S_e} r_m^e a_m v^s. \quad (1.15)$$

Luego, para obtener el monto total de servicios ecosistémicos amenazados por la plaga, es necesario sumar S_m^e a través de todos los ecosistemas vulnerables que alberga m . El conjunto de esos ecosistemas está denotado por E_m . Entonces, una expresión para la suma de S_m^e por municipio es

$$S_m = \sum_{s \in E_m} \sum_{s \in S_e} r_m^e a_m v^s. \quad (1.16)$$

Finalmente, el valor total de los servicios ecosistémicos amenazados por la plaga estará dado por

$$S = \sum_{m=1}^M I(\rho_m \geq 0.4) \sum_{e \in E_m} \sum_{s \in S_e} r_m^e a_m v^s. \quad (1.17)$$

donde $I(\rho_m \geq 0.4)$ es una variable que vale 1 si el municipio está en riesgo y vale 0 de otra forma. Para calcular el valor de las pérdidas sobre los servicios ecosistémicos ante la invasión de la plaga, sería necesario ponderar S por un factor $\lambda_B \in [0, 1]$ que establezca la proporción que se perdería del total de S . Dicho factor dependerá directamente de la proporción promedio de lauráceas en los ecosistemas vulnerables y del grado de infección con el que se establezca la plaga. Este trabajo propone λ_B como en la sección anterior.

¹⁶Idealmente, un estudio más extenso podría asignar desviaciones para cada valor de v^s . Con ello, incorporaría la variación que existe en cierta región o en el país entero en cuanto el valor de sus ecosistemas.

Capítulo 2

Resultados

La tabla 2.1 resume los hallazgos de este trabajo. En general, descompone los costos asociados con la plaga en dos: los provenientes de la industria del aguacate y los relacionados con la menor provisión de servicios ecosistémicos. El trabajo establece tres niveles base de afectación, λ_B , que manifiestan el grado destructivo de la plaga. Para cada valor de afectación, el trabajo determina las mermas y el costo del tratamiento en el caso del aguacate y estima las pérdidas de servicios ecosistémicos de acuerdo con dos fuentes de valuación. Además, hace un análisis insumo producto para encontrar efectos derrame en la economía. Los resultados son muy informativos en el sentido en el que permiten esbozar la gravedad que tendría la plaga en el país.

Tabla 2.1: **Costos asociados con el establecimiento de la plaga en México**

(millones de pesos)

| λ_B | Industria productora de aguacate | | | Servicios ecosistémicos | | |
|-------------|----------------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------|------------------------|----------|
| | Escenario base | Escenario de tratamiento | | TEEB ¹ | ALG(2018) ² | Promedio |
| | Mermas | Mermas | Tratamiento | | | |
| 5% | 1,352.38 | 1,352.38 | - | 631.85 | 530.33 | 581.09 |
| 10% | 2,704.76 | 2,702.09 | 2.51 | 1,263.71 | 1,060.67 | 1,162.19 |
| 25% | 6,761.89 | 1,612.78 | 2,897.06 | 3,159.27 | 2,651.67 | 2,905.47 |

Fuente: elaboración propia

¹ Valores de an der Ploeg, S. and R.S. de Groot (2010) The TEEB Valuation Database

² Valores de Arias, Lara-Pulido y Guevara-Saninés (2018) A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico

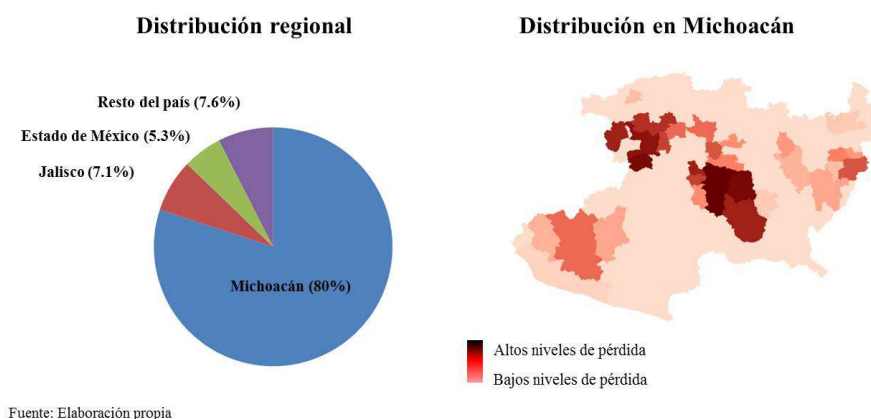
2.1 Industria del aguacate

La metodología establecida en la sección anterior consiste en identificar a los municipios productores de aguacate que son idóneos para el establecimiento de la plaga. Así, plantea dos escenarios: un escenario base y uno de tratamiento. Los costos económicos de la plaga vienen entonces dados por las mermas y, en el caso del tratamiento, por las mermas y el gasto en el *propiconazol*.

Figura 2.1: **Distribución geográfica de las mermas en el escenario base**



Figura 2.2: **Impacto regional para la industria del aguacate**



En el escenario base, hay tres alternativas: que cada municipio vulnerable tenga mermas del 5, del 10 o del 25% en su producción. En todo el país, dichos valores implican afectaciones por

un valor que oscila entre los 1,352.38 y los 6,761.89 millones de pesos. Dadas estas cifras, es de interés especial conocer su distribución geográfica.

Es importante reconocer algo que ya sugería la figura 1.2. Los estados del occidente del país concentran la mayor parte de las afectaciones. En particular, la figura 2.1 muestra que Michoacán y Jalisco tienen los niveles más altos de pérdidas. Considere la figura 2.2 para un examen más detallado de esta situación. Los resultados sugieren un impacto muy focalizado en términos regionales. Muy específicamente, Michoacán concentra el 80% de las pérdidas. De las anteriores, cuatro municipios agregan el 60%: Salvador Escalante, Ario, Tacámbaro y Peribán. Dicho resultado implica la necesidad de una estrategia de mitigación que permita disminuir el impacto.

Este trabajo evalúa la aplicación de *propiconazol* como un posible tratamiento. Recuerde que este fungicida reduce la probabilidad de muerte en los árboles. Entonces, el nivel de afectación bajo el tratamiento cambia: hay una menor probabilidad de que los árboles presenten marchitez del laurel. La tabla 2.2 compara el escenario base con el de tratamiento. Cabe mencionar que este ejercicio es sensible al nivel de ρ_m que indica las condiciones bajo las que se establece la plaga. En este caso, ésta invade un municipio cuando $\rho_m \geq 0.4$. Si bien las estimaciones cambian al variar dicho supuesto, este trabajo hace una estimación más ortodoxa, que en todo caso, define una cota superior para los efectos estudiados. La tabla en el apéndice A muestra valores para las estimaciones con los criterios $\rho_m \geq 0.5$ y $\rho_m \geq 0.6$.

Tabla 2.2: Análisis costo-beneficio de aplicar *propiconazol* a los árboles

(millones de pesos)

| Escenario base | | Escenario con tratamiento | | | |
|----------------|---------|---------------------------|-------------|----------|------------|
| λ_B | Mermas | Mermas | Tratamiento | Total | % tratados |
| 5% | 1,352.4 | 1,352.38 | - | 1,352.38 | 0.00% |
| 10% | 2,704.8 | 2,702.09 | 2.51 | 2,704.60 | 0.08% |
| 25% | 6,761.9 | 1,612.78 | 2,897.06 | 4,509.84 | 8.81% |

Fuente: elaboración propia

Considere la tabla 2.2. Hay tres cuestiones relevantes. En primer lugar, existen costos ambientales que este trabajo no está contemplando. Dichos costos vienen de las externalidades negativas que pueda tener el *propiconazol* sobre el suelo y el agua. Esos valores deben de ser contemplados en el momento de evaluar la implementación de la estrategia de tratamiento propuesta.

En segundo lugar, el tratamiento es muy caro para los agricultores. Aún con un nivel de afectación base del 25%, sólo el 8.81% de los municipios verían óptimo intervenir sus cultivos con *propiconazol*. Esto es congruente con lo que señala la literatura en Estados Unidos: el tratamiento con *propiconazol* no es rentable en general. El motivo tiene que ver con la ecuación (1.5). Note que, al reexpresarla, es cierto que aquellos municipios que escogen tratar sus árboles cumplen lo siguiente.

$$\frac{p_f}{(1 - \lambda_T)\lambda_B} < \frac{Y_m}{N_m}$$

Recuerde que este trabajo asignó valores para N_m a partir de la superficie cultivada. Entonces, los municipios que pagan el tratamiento tienden a ser más productivos. Sólo así, los beneficios marginales de las macro infusiones con *propiconazol* superan su costo marginal. En línea con lo anterior, la mitad de los que deciden tratar a sus árboles (bajo $\lambda_B = 0.25$) están en Michoacán.

En tercer lugar, examine cómo se distribuyen los costos para diferentes valores de λ_B . Conforme el nivel de afectación base se incrementa, la naturaleza económica del choque cambia. Con $\lambda_B = 0.05$, las mermas son la única fuente de pérdidas: con $\lambda_B = 0.25$, el gasto en el fungicida predomina y las mermas caen muy importantemente. Entonces, los efectos secundarios de la plaga dependen fundamentalmente de λ_B . Por un lado, éstos vienen de la menor producción que habría de aguacate; por el otro lado, habría una gran demanda por *propiconazol* (principalmente, en regiones muy productivas, como Michoacán). La siguiente sección examina el tema con mayor profundidad.

2.2 Efectos derrame

En cuanto a los efectos secundarios de la plaga sobre el resto de la economía, este trabajo hizo un análisis a partir de una matriz insumo producto. Partió de la misma premisa que la sección anterior: hay tres niveles de afectación base y la posibilidad de un tratamiento. En el primer caso, el choque en la economía viene únicamente de las mermas; en el segundo, viene de las mermas y del gasto en *propriconazol*. Luego, hizo un análisis regional para el estado de Michoacán. Para ello, re-escaló la matriz insumo producto nacional con el producto interno bruto por sector SCIAN en Michoacán. Considere primero los resultados de la tabla 2.3, que le corresponden al análisis sobre todo el país.

Tabla 2.3: **Efectos derrame de la plaga sobre diferentes clases de la economía nacional**

| (% respecto del valor de la producción) | | | |
|---|-------|--------|--------|
| Escenario base | | | |
| Clase | 5% | 10% | 25% |
| Cultivo de aguacate | -6.56 | -13.12 | -32.81 |
| Servicios de empaque y etiquetado | -0.25 | -0.50 | -1.25 |
| Fabricación de pesticidas y otros agroquímicos, excepto fertilizantes | -0.24 | -0.48 | -1.21 |
| Otros servicios relacionados con la agricultura | -0.23 | -0.46 | -1.14 |
| Fabricación de envases y contenedores de plástico para embalaje | -0.13 | -0.25 | -0.64 |
| Fabricación de fertilizantes | -0.10 | -0.19 | -0.48 |
| Minería de roca fosfórica | -0.08 | -0.16 | -0.39 |
| Escenario de tratamiento | | | |
| Clase | 5% | 10% | 25% |
| Cultivo de aguacate | -6.56 | -13.11 | -7.82 |
| Otros servicios relacionados con la agricultura | -0.25 | -0.50 | -0.29 |
| Servicios de empaque y etiquetado | -0.23 | -0.46 | -0.27 |
| Fabricación de envases y contenedores de plástico para embalaje | -0.13 | -0.25 | -0.15 |
| Fondos de aseguramiento campesino | -0.07 | -0.14 | -0.09 |
| Minería de otros minerales metálicos | -0.01 | -0.01 | 0.46 |
| Fabricación de otros productos químicos básicos inorgánicos | -0.01 | -0.02 | 0.72 |
| Fabricación de pesticidas y otros agroquímicos, excepto fertilizantes | -0.24 | -0.46 | 24.73 |

Fuente: elaboración propia

La tabla 2.3 corrobora lo que sugería la sección anterior. En el escenario base, las pérdidas vienen únicamente por la menor producción de aguacate. Entonces, los efectos derrame son negativos sobre todas las clases y se focalizan en las industrias relacionadas con la agricultura.

Cuando uno examina el escenario de tratamiento, el choque tiene un impacto diferente. Si bien las pérdidas están concentradas, como en el escenario base, en industrias relacionadas con la agricultura, hay otras que tienen un beneficio por la mayor demanda de plaguicidas. Dado que muy pocos productores de aguacate demandarían el tratamiento bajo niveles de afectación del 5 o del 10%, hay industrias que tienen beneficio sólo a partir de $\lambda_B = 0.25$. De hecho, con $\lambda_B \leq 0.1$, los productores de pesticidas presentan efectos negativos: muy pocos agricultores demandan el tratamiento con *propriconazol* y la gran mayoría presenta niveles relativamente grandes de mermas. Entonces, demandan menos de todos sus proveedores.

Cuando $\lambda_B = 0.25$, el 8.81% de los productores de aguacate demandan plaguicidas. Entonces, los productores de plaguicidas y las industrias relacionadas con ellos presentan efectos positivos. Es interesante notar que, como los productores de aguacate reducen en gran medida sus mermas, pareciera que pierden menos cuando $\lambda_B = 0.25$ que cuando $\lambda_B = 0.1$. Sin embargo, sus utilidades se reducen de forma monótona conforme λ_B se incrementa: puede que sus ingresos no disminuyan tanto, pero sus gastos aumentan por adquirir el fungicida. Dicho lo anterior, examine los efectos de la plaga en el estado de Michoacán, que presenta la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Efectos derrame de la plaga sobre diferentes sectores de la economía

| (% respecto del valor de la producción) | | | | | | |
|---|----------------|--------|---------|--------------------------|--------|--------|
| Análisis nacional | | | | | | |
| Sector | Escenario base | | | Escenario de tratamiento | | |
| | 5% | 10% | 25% | 5% | 10% | 25% |
| Agropecuarias | -0.174 | -0.347 | -0.869 | -0.029 | -0.059 | -0.147 |
| Comercio al por mayor | -0.004 | -0.007 | -0.018 | 0.018 | 0.017 | 0.016 |
| Manufacturas | -0.001 | -0.002 | -0.006 | -0.001 | -0.002 | 0.035 |
| Análisis regional: Michoacán | | | | | | |
| Sector | Escenario base | | | Escenario de tratamiento | | |
| | 5% | 10% | 25% | 5% | 10% | 25% |
| Agropecuarias | -2.989 | -5.978 | -14.944 | -2.986 | -5.978 | -2.616 |
| Comercio al por mayor | -0.503 | -1.006 | -2.516 | -0.503 | -1.006 | 6.843 |
| Manufacturas | -0.019 | -0.038 | -0.095 | -0.019 | -0.038 | 0.028 |

Fuente: elaboración propia

La tabla 2.4 compara los efectos derrame de la plaga sobre los diferentes sectores de la

economía en dos niveles: nacional y regional. Es importante notar dos cuestiones. La primera viene de comparar las tablas 2.3 y 2.4. Una muestra los resultados de un análisis a nivel clase y la otra, a un nivel sector. Entonces, estudian el mismo fenómeno a diferentes niveles de agregación. En la tabla 2.4, el sector con más pérdidas es el de las actividades agropecuarias. Sin embargo, el efecto de algunas industrias (específicamente la productora de aguacate) se diluye con las demás. Con ello, la tabla muestra cifras menores a las que resultan de un estudio más fino. Las manufacturas tienen un beneficio indirecto (aunque pequeño) por la mayor demanda de fungicidas. La segunda cuestión relevante tiene que ver con el hecho de que el impacto de la plaga en Michoacán es mucho más intenso que en el resto del país. El motivo es que dicho estado concentra la mayor parte de las pérdidas. Además, la participación agrícola en Michoacán es relativamente mayor respecto de la de otros estados. Por lo anterior, es cierto que los efectos de la plaga serían muy heterogéneos en el país: su establecimiento en Michoacán sería especialmente grave.

2.3 Servicios ecosistémicos

En lo que se refiere a las pérdidas por servicios ecosistémicos, la metodología expuesta en la sección anterior consiste en identificar los ecosistemas vulnerables en regiones susceptibles de alojar al complejo *Xyleborus glabratus* - *Raffaelea lauricola*. Luego, este trabajo calcula el valor de los servicios ecosistémicos que estarían en riesgo. Dado un nivel de afectación, λ_B , del 5%, este trabajo estima las pérdidas que tendrían lugar si se establece la plaga. La figura 2.3 muestra la distribución de las pérdidas potenciales en los bosques de encino y de pino encino. Dichos ecosistemas son los más vulnerables de acuerdo con los resultados de este trabajo. La tabla 2.5 agrupa los valores estimados. En el apéndice, están las estimaciones de las pérdidas para valores de λ_B iguales al 10 y al 25%.

Los resultados en la tabla 2.5 muestran que las dos fuentes de valores ecosistémicos conducen a sumas que difieren por alrededor del 20% en sus estimaciones de las pérdidas totales.

Figura 2.3: **Distribución geográfica de las pérdidas por servicios ecosistémicos**



Esto probablemente tenga que ver con el hecho de que los valores de TEEB para México son en su mayoría de 1989: puede haber un problema de desactualización. Una explicación más evidente tiene que ver la distribución que tiene el valor de los servicios ecosistémicos de acuerdo estas dos fuentes de información. La tabla 1.2 muestra que éstas ponderan muy diferentemente el tipo de servicios que proveen los bosques. Las estimaciones contenidas en la tabla 2.5 sirven entonces de referencia para establecer un rango en el que se muevan las pérdidas potenciales.

Ahora bien, es informativo examinar la distribución por ecosistema de las pérdidas. Ésta viene dada por cuan abundantes son los ecosistemas en las regiones vulnerables. La tabla de resultados muestra que los bosques de encino y de pino encino concentran alrededor del 50% del las pérdidas. Esto manifiesta que esos ecosistemas son extensos en las regiones vulnerables. El panel C muestra las estimaciones de pérdidas bajo diferentes valores de λ_B . Si bien las pérdidas suman una cantidad menor respecto de las consideradas con la industria del aguacate, son aún así una cantidad muy significativa en términos económicos. Será crucial que exista un plan que incorpore estos resultados y formule algún tipo de intervención que disminuya el impacto sobre los ecosistemas del país.

Tabla 2.5: Pérdidas en servicios ecosistémicos

(millones de pesos)

$$\lambda_b = 0.05$$

Panel A. Valores de an der Ploeg, S. and R.S. de Groot (2010)
The TEEB Valuation Database

| | BG | BM | BP | BQ | BPQ | SBC | VSA SBP | VSA SBS | Total |
|-------------------------|------|-------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|--------|
| Servicios de provisión | 3.99 | 50.89 | 63.87 | 99.74 | 96.65 | 75.41 | 0.36 | 2.97 | 393.89 |
| Servicios de regulación | 1.30 | 16.55 | 20.77 | 32.44 | 31.43 | 19.21 | 0.09 | 0.76 | 122.54 |
| Servicios culturales | 1.22 | 15.59 | 19.56 | 30.55 | 29.60 | 18.09 | 0.09 | 0.71 | 115.42 |
| Total | 6.52 | 83.03 | 104.20 | 162.73 | 157.68 | 112.71 | 0.54 | 4.44 | 631.85 |

Panel B. Valores de Arias, Lara-Pulido y Guevara-Saninés (2018) - ALG(2018)
A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico

| | BG | BM | BP | BQ | BPQ | SBC | VSA SBP | VSA SBS | Total |
|-------------------------|------|-------|-------|--------|--------|-------|------------|------------|--------|
| Servicios de provisión | 1.05 | 13.36 | 16.77 | 26.19 | 25.38 | 15.94 | 0.08 | 0.63 | 99.40 |
| Servicios de regulación | 1.80 | 22.87 | 28.71 | 44.83 | 43.44 | 27.29 | 0.13 | 1.08 | 170.15 |
| Servicios culturales | 2.75 | 35.06 | 44.00 | 68.71 | 66.58 | 41.83 | 0.20 | 1.65 | 260.78 |
| Total | 5.60 | 71.29 | 89.48 | 139.74 | 135.40 | 85.07 | 0.41 | 3.35 | 530.33 |

Panel C. Diferentes parámetros de afectación

| | $\lambda_b = 0.1$ | $\lambda_b = 0.25$ |
|-----------|-------------------|--------------------|
| TEEB | 1,263.71 | 3,159.27 |
| ALG(2018) | 1,060.67 | 2,651.67 |

Clave: BG (Bosque de galería), BM (Bosque mesófilo de la montaña), BP (Bosque de pino), BQ (Bosque de encino), BPQ (Bosque de pino encino), SBC (Selva baja caducifolia), VSA SBP (Vegetación secundaria arbórea de la selva baja perennifolia) y VSA SBS (Vegetación secundaria arbórea de la selva baja subcaducifolia)

Fuente: elaboración propia

Capítulo 3

Conclusión

En conclusión, este trabajo estima los costos asociados con la llegada del complejo *Xyleborus glabratus* - *Raffaella lauricola* a México. El propósito de la investigación fue establecer valores que sirvan de referencia para las pérdidas potenciales derivadas de dos aspectos: las consecuencias sobre la industria productora de aguacate y las pérdidas que tengan lugar por una menor provisión de servicios ecosistémicos. Así, el trabajo concluye que el costo económico oscilaría entre 1,352.38 y 4,509.84 millones de pesos para los productores de aguacate. Como efecto secundario, hay industrias en el resto de la economía que son vulnerables por su interconectividad industrial con los productores de aguacate: principalmente, proveedores en el sector agrícola. Existe el peligro de que la plaga acabe con un monto de entre 581.09 y 2,905.47 millones de pesos en servicios ecosistémicos. En todo el análisis, las pérdidas estarían muy focalizadas geográficamente: los estados de Michoacán y de Jalisco serían muy perjudicados y los bosques de encino y de pino encino padecerían la mayor parte de las pérdidas.

La relevancia de este trabajo tiene dos vertientes. Por un lado, el análisis presentado en las secciones anteriores significa un insumo fundamental para los gobiernos regionales (estatales y municipales) que estén en posición de elaborar un plan preventivo. Por otro lado, el trabajo añade una dimensión poco explorada en los reportes técnicos sobre el estado de la plaga en México. Si bien estos contemplan los efectos posibles sobre la industria productora de aguacate,

no incorporan a los ecosistemas naturales con una perspectiva de valuación económica. No cabe duda de que los resultados son un punto de referencia adecuado para propiciar el desarrollo de alternativas costo-eficientes para prevenir la plaga. Sin embargo, sería fundamental incorporar elementos adicionales al análisis. Este trabajo propone un estudio de la dispersión que pudiera haber dados diferentes puntos de entrada y profundizar sobre las estrategias de mitigación que pudieran adoptarse una vez establecido el complejo escarabajo - hongo. Después de todo, tener una perspectiva clara y precisa de la situación permitirá establecer planes de acción efectivos.

Referencias

- CONAFOR. (2019). *Programa de vigilancia del complejo de escarabajos ambrosiales exóticos Euwallacea sp. - Fusarium euwallaceae y Xyleborus glabratus - Raffaela lauricola*. (consultado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/464160/Alerta_Temprana_Escarabajos_Ambrosiales_Abril_Junio_2019.pdf)
- Crane, J. H. (n.d.). *How to infuse avocado trees*. (consultado en <https://sfyl.ifas.ufl.edu/media/sfylifasufledu/miami-dade/documents/tropical-fruit/Avocado-Infusion.pdf>)
- Crane, J. H. (2013). *Current status and recommendations for control of laurel wilt and the redbay ambrosia beetle*. (consultado en <https://trec.ifas.ufl.edu/RAB-LW-2/pdfs/Current%20status%20and%20recommendations%20for%20control%20of%20LW%20and%20RAB%204-10-13%20pdf%20version.pdf>)
- Crane, J. H., Carrillo, D., Ploetz, R. C., Evans, E. A., Palmateer, A. J., y Pybas, D. (2015). *Current status and control recommendations for laurel wilt and the ambrosia beetle vectors in commercial avocado (Persea americana L.) orchards in south florida*. (Actas del VIII Congreso Mundial de la Palta)
- Crane, J. H., Wasielewski, J., Carrillo, D., Gazis, R., Schaeffer, B., y ad Edward Evans, F. B. (2020). "Recommendations for the detection and mitigation of laurel wilt disease in avocado and related tree species in the home landscape." *Horticultural Sciences Department, UF/IFAS Extension*(HS1358), 1–7.
- FAO. (2020a). *Major tropical fruits - preliminary market results 2019*.

- FAO. (2020b). *Perspectivas a mediano plazo: perspectivas para la producción y el comercio mundial de bananos y frutas tropicales 2019-2028*.
- FIRA. (2007). *Aguacate. Análisis de Rentabilidad del Ciclo 2006 - 2007 y Costos de Cultivo para el Ciclo 2007 -2008*. (presentación elaborada sobre los cultivos en el estado de Michoacán)
- Flegg, A. T., y Webber, C. D. (1997). “On the Appropriate Use of Location Quotients in Generating Regional Input-Output Tables: Reply.” *Regional Studies*, 31(8), 795–805.
- Fraedrich, S. W., Harrington, T. C., Rabaglia, R. J., Ulyshen, M. D., Mayfield, A. E., Hanula, J. L., ... Miller, D. R. (2008). “A fungal symbiont of the redbay ambrosia beetle causes a lethal wilt in redbay and other lauraceae in the southeastern united states.” *Plant Disease*(92), 215–224.
- Hanula, J. L. and Mayfield III, A. E. (2014). *XXIX Redbay Ambrosia Beetle*. (pp. 299–311)
- Harrington, T. C., Yun, H. Y., Lu, S.-S., Goto, H., Aghayeva, D. N., y Fraedrich, S. W. (2011). “Isolations from the redbay ambrosia beetle, *Xyleborus glabratus*, confirm that the laurel wilt pathogen, *Raffaelea lauricola*, originated in asia.” *Mycologia*, 103(5), 1028–1036.
- ICAMEX. (2019). *Contrato de compra venta de agroquímicos y fertilizantes con número de control 04/19 celebrado el 12 de abril del 2019 entre Plásticos y Fertilizantes de Morelos, S.A. de C.V. y el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México*. (consultado en https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo3/2019/42958/5/9baf56cd99007f99026a3692d1e5f287.pdf)
- INEGI. (2013a). *Matriz de insumo producto*. (consultado en <https://www.inegi.org.mx/temas/mip/>)
- INEGI. (2013b). *Metodología Matriz Insumo-Producto. Año base 2013*. (consultado en https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/mip/2013/metodologias/SCNM_Metodo_MIP_B2013.pdf)
- INEGI. (2017). *Conjunto de datos vectoriales del uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie VI (Conjunto Nacional)*. (consultado en <https://www.inegi.org.mx/app/>)

mapas/default.html?t=0150011000000000&ag=00)

- Koch, F. H., y Smith, W. D. (2008). “Spatio-Temporal Analysis of *Xyleborus glabratus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Invasion in Eastern U.S. Forests.” *Journal of Economic Entomology*, 37(2), 442–452.
- Lara-Pulido, J. A., Guevara-Sanginés, A., y Arias, C. (2018). “A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico.” *Ecosystem Services*(31), 126–141.
- Lira-Noriega, A., Soberón, J., y Equihua, J. (2018). “Potential invasion of exotic ambrosia beetles *Xyleborus glabratus* and *Euwallacea* sp. in Mexico: A major threat for native and cultivated forest ecosystems.” *Scientific Reports*, 8(10179), 1–13.
- Ploetz, R., Hugues, M. A., Kendra, P. E., Fraedrich, S. W., Carrillo, D., Stelinski, L. L., ... Rollins, J. A. (2017). “Recovery plan for laurel wilt of avocado, caused by *Raffaelea lauricola*.” *Plant Health Progress*, 8(2), 51–77.
- Ploetz, R., Konkol, J., Pérez-Martínez, J., y Fernandez, R. (2017, 09). “Management of laurel wilt of avocado, caused by *Raffaelea lauricola*.” *Eur J Plant Pathol*, 149, 133–143.
- Ploetz, R., Perez-Martinez, J., Evans, E., y Inch, S. (2011, 08). “Toward fungicidal management of laurel wilt of avocado.” *Plant Disease*, 95, 977-982.
- SAGARPA. (2017). *Cultivos estratégicos con potencial de mercado - aguacate*. (ficha informativa elaborada con motivo de la investigación de la Planeación Agrícola Nacional 2017 - 2030)
- SENASICA. (2018). *Complejo escarabajo ambrosia del laurel rojo *Xyleborus glabratus* - *Raffaelea lauricola** (Tech. Rep. No. 48). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Seo, M., Martini, X., Rivera, M. J., y Stelinski, L. L. (2017). “Flight capacities and diurnal flight patterns of the ambrosia beetles, *Xyleborus glabratus* and *Monarthrum mali* (Coleoptera: Curculionidae).” *Physiological Ecology*, 46(3), 729–734.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018). *Estadística de la producción agrícola*. (datos consultados en <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>)

USDA Forest Service. (2019). *Distribution of Counties with Laurel Wilt Disease by year of Initial Detection*. (consultado en https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/fseprd571973.pdf)

Van der Ploeg, S., y De Groot, D. (2010). *The teeb valuation database - a searchable database of 1310 estimates of monetary values of ecosystem services*. (consultado en http://img.teebweb.org/wp-content/uploads/2017/03/teeb_database_teebweb.xlsx)

A. Pérdidas en la industria productora de aguacate

Tabla 1: Análisis costo-beneficio de aplicar *propiconazol* a los árboles

(millones de pesos)

| $\rho_m \geq 0.4$ | | | | | |
|-------------------|----------|---------------------------|-------------|----------|------------|
| Escenario base | | Escenario con tratamiento | | | |
| λ_B | Mermas | Mermas | Tratamiento | Total | % tratados |
| 5% | 1,352.38 | 1,352.38 | - | 1,352.38 | 0.00% |
| 10% | 2,704.76 | 2,702.09 | 2.51 | 2,704.60 | 0.08% |
| 25% | 6,761.89 | 1,612.78 | 2,897.06 | 4,509.84 | 8.81% |

| $\rho_m \geq 0.5$ | | | | | |
|-------------------|----------|---------------------------|-------------|----------|------------|
| Escenario base | | Escenario con tratamiento | | | |
| λ_B | Mermas | Mermas | Tratamiento | Total | % tratados |
| 5% | 594.32 | 594.32 | - | 594.32 | 0.00% |
| 10% | 1,188.65 | 1,185.98 | 2.51 | 1,188.49 | 0.17% |
| 25% | 2,971.61 | 759.99 | 1,242.60 | 2,002.59 | 9.38% |

| $\rho_m \geq 0.6$ | | | | | |
|-------------------|--------|---------------------------|-------------|-------|------------|
| Escenario base | | Escenario con tratamiento | | | |
| λ_B | Mermas | Mermas | Tratamiento | Total | % tratados |
| 5% | 14.09 | 14.09 | - | 14.09 | 0.00% |
| 10% | 28.18 | 25.52 | 2.51 | 28.03 | 3.03% |
| 25% | 70.46 | 15.38 | 39.21 | 54.59 | 15.15% |

Fuente: elaboración propia

B. Pérdidas por servicios ecosistémicos

A continuación, están las distribuciones por ecosistema y por servicio ecosistémico para valores de λ_B iguales al 10 y al 25%.

Tabla 2: **Pérdidas en servicios ecosistémicos** ($\lambda_b = 0.1$)

(millones de pesos)

$\lambda_b = 0.1$

Panel A. Valores de an der Ploeg, S. and R.S. de Groot (2010)
The TEEB Valuation Database

| | BG | BM | BP | BQ | BPQ | SBC | VSA SBP | VSA SBS | Total |
|-------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|----------|
| Servicios de provisión | 7.99 | 101.78 | 127.74 | 199.49 | 193.29 | 150.83 | 0.72 | 5.94 | 787.78 |
| Servicios de regulación | 2.60 | 33.10 | 41.54 | 64.87 | 62.86 | 38.41 | 0.18 | 1.51 | 245.08 |
| Servicios culturales | 2.45 | 31.17 | 39.13 | 61.10 | 59.21 | 36.19 | 0.17 | 1.43 | 230.84 |
| Total | 13.03 | 166.05 | 208.41 | 325.46 | 315.36 | 225.42 | 1.08 | 8.88 | 1,263.71 |

Panel B. Valores de Arias, Lara-Pulido y Guevara-Saninés (2018)
A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico

| | BG | BM | BP | BQ | BPQ | SBC | VSA SBP | VSA SBS | Total |
|-------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|----------|
| Servicios de provisión | 2.10 | 26.73 | 33.54 | 52.38 | 50.76 | 31.89 | 0.15 | 1.26 | 198.80 |
| Servicios de regulación | 3.59 | 45.75 | 57.42 | 89.67 | 86.88 | 54.59 | 0.26 | 2.15 | 340.30 |
| Servicios culturales | 5.50 | 70.11 | 88.00 | 137.43 | 133.16 | 83.66 | 0.40 | 3.30 | 521.56 |
| Total | 11.19 | 142.59 | 178.96 | 279.47 | 270.80 | 170.14 | 0.82 | 6.71 | 1,060.67 |

Clave: BG (Bosque de galería), BM (Bosque mesófilo de la montaña), BP (Bosque de pino), BQ (Bosque de encino), BPQ (Bosque de pino encino), SBC (Selva baja caducifolia), VSA SBP (Vegetación secundaria arbórea de la selva baja perennifolia) y VSA SBS (Vegetación secundaria arbórea de la selva baja subcaducifolia)

Fuente: elaboración propia con datos de Van der Ploeg, S. and R.S. de Groot (2010) The TEEB Valuation Database – a searchable database of 1310 estimates of monetary values of ecosystem services. Foundation for Sustainable Development, Wageningen, The Netherlands y de Arias, Lara-Pulido y Guevara-Saninés (2018) A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico.

Fuente: elaboración propia

Tabla 3: Pérdidas en servicios ecosistémicos ($\lambda_b = 0.25$)

(millones de pesos)

$\lambda_b = 0.25$

Panel A. Valores de an der Ploeg, S. and R.S. de Groot (2010)
The TEEB Valuation Database

| | BG | BM | BP | BQ | BPQ | SBC | VSA SBP | VSA SBS | Total |
|-------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|----------|
| Servicios de provisión | 19.97 | 254.45 | 319.35 | 498.72 | 483.23 | 377.06 | 1.81 | 14.86 | 1,969.45 |
| Servicios de regulación | 6.49 | 82.75 | 103.85 | 162.19 | 157.15 | 96.03 | 0.46 | 3.78 | 612.71 |
| Servicios culturales | 6.12 | 77.94 | 97.82 | 152.76 | 148.02 | 90.47 | 0.43 | 3.57 | 577.11 |
| Total | 32.58 | 415.13 | 521.02 | 813.66 | 788.40 | 563.56 | 2.70 | 22.21 | 3,159.27 |

Panel B. Valores de Arias, Lara-Pulido y Guevara-Saninés (2018)
A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico

| | BG | BM | BP | BQ | BPQ | SBC | VSA SBP | VSA SBS | Total |
|-------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|----------|
| Servicios de provisión | 5.24 | 66.81 | 83.86 | 130.95 | 126.89 | 79.72 | 0.38 | 3.14 | 497.01 |
| Servicios de regulación | 8.98 | 114.37 | 143.54 | 224.16 | 217.20 | 136.47 | 0.65 | 5.38 | 850.76 |
| Servicios culturales | 13.76 | 175.29 | 220.00 | 343.56 | 332.90 | 209.16 | 1.00 | 8.24 | 1,303.91 |
| Total | 27.98 | 356.47 | 447.40 | 698.68 | 676.99 | 425.35 | 2.04 | 16.76 | 2,651.67 |

Clave: BG (Bosque de galería), BM (Bosque mesófilo de la montaña), BP (Bosque de pino), BQ (Bosque de encino), BPQ (Bosque de pino encino), SBC (Selva baja caducifolia), VSA SBP (Vegetación secundaria arbórea de la selva baja perennifolia) y VSA SBS (Vegetación secundaria arbórea de la selva baja subcaducifolia)

Fuente: elaboración propia con datos de Van der Ploeg, S. and R.S. de Groot (2010) The TEEB Valuation Database – a searchable database of 1310 estimates of monetary values of ecosystem services. Foundation for Sustainable Development, Wageningen, The Netherlands y de Arias, Lara-Pulido y Guevara-Saninés (2018) A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico.

Fuente: elaboración propia