

Artículo

Los bosques y la economía, una alianza frondosa

Forests and the economy, a fruitful alliance

César Sandoval,¹ Juan Miguel Goyzueta² y Paulina Reyes³

Resumen

Preservar los bosques naturales de Guatemala ha sido una preocupación de primer orden. Una de las medidas más exitosas para este propósito es la implementación de programas de incentivos forestales. Este estudio realiza una estimación de la participación del PIB forestal dentro de la economía de Guatemala a través de un ajuste de acuerdo con el total de productos que el bosque aporta a la economía nacional, así como del desempeño del establecimiento de plantaciones de *Pinus maximinoi* H. E. Moore –árbol con mayor intención de siembra y de mayor acceso en la industria del aserrío–. Se valoró el rendimiento de materia prima de esta conífera, así como las condiciones de índice de sitio más apropiadas para el otorgamiento del incentivo como instrumento de la política forestal para la recuperación del bosque. Se concluye, al menos para esta especie, que el incentivo no es suficiente para motivar el establecimiento de plantaciones en regiones con un índice de sitio por debajo de ocho y podría ser innecesario a partir de índice de sitio nueve. El estudio muestra que un

Manuscrito original arbitrado por pares ciegos

Historial

Fecha de recepción: 23/01/2025

Fecha de aceptación: 28/07/2026

Fecha de publicación: 16/10/2026

Cita sugerida: Sandoval, C., Goyzueta, J. y Reyes, P. (2026).

Los bosques y la economía, una alianza frondosa. *Revista Académica de Ciencia y Tecnología Clavius*, 3, e350.

<https://doi.org/10.36631/CLV/v3.e350>



- 1 Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), Universidad Rafael Landívar, Guatemala. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5856-092X>. Correo electrónico de contacto: csandoval@url.edu.gt
- 2 Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), Universidad Rafael Landívar, Guatemala. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6139-7261>. El autor desarrolló esta investigación durante su vinculación con la Universidad Rafael Landívar. Actualmente, se desempeña como director de la oficina de Madrid de la firma privada Fideres Iberia SL. Correo electrónico de contacto: juan.goyzueta@fideres.com
- 3 Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), Universidad Rafael Landívar, Guatemala. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2696-3999>. La autora desarrolló esta investigación durante su vinculación con la Universidad Rafael Landívar. Actualmente, se desempeña como analista en la Sección de Cuentas Ambientales del Banco de Guatemala, Guatemala. Correo electrónico de contacto: aprd@banguat.gob.gt

problema que impide una mayor eficacia de estos esquemas es la fijación de una tarifa invariable del incentivo por hectárea a nivel nacional. Para los programas de protección, la tarifa por hectáreas resulta apta para cubrir el costo de oportunidad medio de la tierra –al menos, durante los años en que se recibe el pago– para algunos cultivos, pero no para cubrir el costo de oportunidad en relación con los usos más productivos de la tierra (hortalizas, café, cereales y cardamomo). Por otro lado, se estimó el PIB forestal, cuyo valor fue de 3.9 %, cuando no se le aplicaron ajustes por pérdida de bosques derivadas de procesos de deforestación ni tampoco por la pérdida de oportunidad de acceder a beneficios por reducción de emisiones de CO₂ no almacenado. Al aplicarlos, el PIB forestal ajustado se reduce a 3.07 % para 2020.

Palabras clave: incentivos forestales, PIB forestal, deforestación

Abstract

Preserving Guatemala's natural forests has been a top priority. One of the most successful measures in this regard has been the implementation of forest incentive programs. This study estimates the contribution of the forestry GDP to the economy of Guatemala by adjusting for the total volume of products that forests provide to the national economy, as well as the performance of establishing plantations of Pinus maximinoi H. E. Moore –the tree with the highest planting intention and most accessible in the sawmill industry. The raw material yield of this conifer was assessed, along with the most

suitable site index conditions for granting the incentive as a forest policy instrument for woodland restoration. It is concluded, at least for this species, that the incentive is not enough to motivate plantation establishment in regions with a site index below eight and might not be necessary from a site index of nine onward. The study shows that a problem preventing these schemes from being more effective is setting a fixed incentive rate per hectare at the national level. For protection programs, the per-hectare rate is suitable to cover the average opportunity cost of the land –at least during the years payment is received– for some crops, but not to cover the opportunity cost compared to more productive land uses (vegetables, coffee, cereals, and cardamom). On the other hand, forest GDP was estimated at 3.9% prior to applying adjustments for forest loss resulting from deforestation processes, as well as the opportunity cost of lost carbon credit benefits from non-sequestered CO₂ emissions. Once these factors are applied, the adjusted forest GDP decreases to 3.07% for 2020.

Keywords: forest incentives, forest GDP, deforestation

1. Introducción

Preservar los bosques de Guatemala es una preocupación ambiental de primer orden. La pérdida de la cobertura forestal en el país no es reciente y ha ocurrido de manera sostenida desde la década de 1950 hasta la presente fecha. Si bien en años recientes el ritmo de deforestación anual neta se ha reducido, el país aún no alcanza un equilibrio entre las

áreas deforestadas y la conservación de los bosques naturales, cuya extensión se reduce cada año. Una de las mayores presiones sobre el bosque proviene de la expansión de la frontera agrícola, como evidencian las matrices de cambio de uso de la tierra entre 2010 y 2020 (Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra [Gimbut], 2012; Gimbut, 2014; Ministerio de Agricultura, Gananería y Alimentación [MAGA], 2021).

Frente a esta realidad, el presente trabajo busca, en primer lugar, evidenciar el valor económico de la contribución de los bosques a la economía para, a partir de ahí, dimensionar la pérdida de riqueza que supone la deforestación. En segundo lugar, se propone analizar el comportamiento del manejo forestal con apoyo de los programas de incentivos forestales en fincas privadas. Finalmente, pretende examinar qué tan adecuados son los montos financieros de los programas de incentivos forestales en Guatemala bajo sus diferentes modalidades, con el fin de determinar si los mismos permiten cubrir el costo de oportunidad del uso de la tierra, pero sin conceder rentabilidades extraordinarias a los beneficiarios.

2. Marco analítico

Esta sección presenta las consideraciones conceptuales sobre las que se fundamenta el estudio. Se parte de los desafíos para estimar el PIB forestal (asociado a la problemática de la deforestación) y de los beneficios ecosistémicos que proveen los bosques, para luego analizar el desempeño de los programas de incentivos forestales que se implementan por parte del Instituto Nacional de Bosques (INAB) en Guatemala.

2.1. Incentivos forestales en Guatemala

En Guatemala, el Programa de Incentivos Forestales (Pinfor) fue formulado inicialmente⁴ con el objetivo central de proveer madera para la industria y la conformación de bloques foresto-industriales, para constituir al sector forestal en su conjunto como un motor de la economía nacional. A partir de 2016, con la implementación del Programa de Incentivos para el Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala (Probosque), el enfoque se amplió hacia la protección y el pago por servicios ambientales (PSA), lo cual probablemente ha contribuido a la reducción de la demanda para el establecimiento de plantaciones forestales.

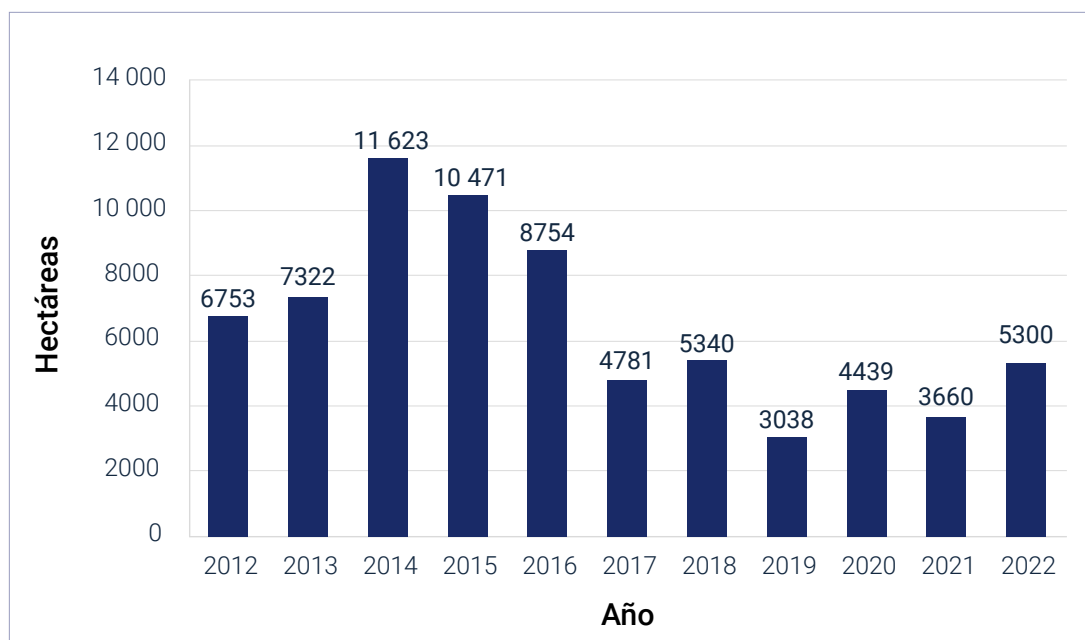
Sin embargo, desde 2014 ya se observaba una disminución en el establecimiento de plantaciones forestales por medio de incentivos (ver figura 1), a pesar de que el monto de este reconocimiento ha aumentado sustancialmente en cada actualización que para el efecto realiza el INAB.⁵

4 Ley Forestal, Decreto 101-96: «Artículo 81. Distribución de los incentivos por actividad forestal. El INAB destinará anualmente el 80 % del monto total de incentivos para la reforestación y mantenimiento de bosques voluntarios y el 20 % al manejo de bosques naturales» (Gobierno de Guatemala y Congreso de la República de Guatemala, 1996, p. 27).

5 Consultar las modalidades y montos que se reconocen como incentivo en: <https://inab.gob.gt/index.php/probosque>.

Figura 1

Plantaciones establecidas por año mediante Pinpep y Pinfor-Probosque, periodo 2012-2022 (hectáreas)



Fuente: Sistema de Información Forestal de Guatemala (Sifgua, 2023b).

2.2. Los montos de los incentivos forestales en algunos países de la región de Latinoamérica

Con relación a las especies utilizadas, se reporta que para 2018 el pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore) era el árbol con mayor intención de siembra (con 23 455 hectáreas), cuya distribución a nivel nacional es amplia. Asimismo, existe demanda para su transformación secundaria y presenta flexibilidad durante los procesos de aserrío (INAB, 2012; INAB, 2019).

Al comparar preliminarmente los incentivos brindados en algunos países de la región, se observa que los montos reconocidos en Guatemala son mayores. Por ejemplo, lo que se reconoce en Costa Rica en la modalidad de establecimiento de plantaciones con fines industriales, por parte del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (Fonafifo), constituye una tercera parte de lo que se paga en Probosque y menos del 50 % de lo que se incentiva a través del Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal o Agroforestal (Pinpep) (ver tabla 1).

Tabla 1

Comparación de pagos por servicios ambientales en programas de incentivos forestales entre Guatemala y Costa Rica (USD/ha)

Modalidad	País		
	Guatemala		Costa Rica
	Probosque (USD/ha)	Pinpep (USD/ha)	Pago por servicios ambientales (USD/ha)
establecimiento y mantenimiento de plantaciones con fines comerciales	2911.88	2001.45	819.13*
establecimiento y mantenimiento de sistemas agroforestales	1510.22	1000.77	
árboles en línea**			2.69
manejo de bosques naturales con fines de producción de 0.5 a 15 ha***	510.94		264.53
manejo de bosques naturales con fines de producción de > de 15 ha	664.23		
manejo de bosques naturales con fines de producción de semillas forestales	664.23		
manejo de bosques naturales con fines de protección y provisión de servicios forestale	3193.40	3685.19	829.07

Nota. *El valor representa el promedio de diferentes modalidades. **Costa Rica ofrece la modalidad de pago por árbol. ***En Guatemala se paga por hectárea durante 10 años (primeras 15 hectáreas + USD 153.26 por hectárea adicional).

Fuente: INAB (2023) y Gobierno de Costa Rica (2020).

Asimismo, al comparar lo que se reconoce en Guatemala por árbol establecido (tanto para reforestación como para agroforestería), con lo que se incentiva en otros países de la región –entre ellos Chile, Colombia, México y Costa

Rica–, se observa que Probosque desembolsa un monto mayor (ver tabla 2). Si el análisis se centra en el incentivo para la conservación de los bosques naturales, solo Colombia paga más que Guatemala (ver tabla 3).

Tabla 2

Comparación del pago de incentivos por árbol según el sistema de plantación en países de Latinoamérica (USD/árbol)

País	Programa de incentivos	Reforestación (total USD/árbol)	Agroforestería (total USD/árbol)
Chile	incentivos para bosques nativos	1.98	1.16
Colombia	certificados de inversión forestal	0.74	0.44
Costa Rica	pago por servicios ambientales	1.94	1.55
Guatemala	Probosque	2.45	1.92
México	Programa de Desarrollo Forestal Sostenible	0.48	0.70

Fuente: Zamora et al. (2022).

Tabla 3

Comparación del incentivo para la conservación de bosques en cinco países de Latinoamérica (USD)

País	Incentivo para la conservación de bosques (montos USD)
Perú	44.52
México	118.17
Costa Rica	494.33
Guatemala	900.64
Colombia	906.15

Fuente: Zamora et al. (2022).

3. Metodología

Esta investigación consta de dos componentes. En uno se aborda la estimación del PIB forestal y en el otro la incidencia de los incentivos forestales como un instrumento de política pública para revertir la deforestación del país.

3.1. Estimación del PIB forestal

El estudio describe la importancia del sector forestal mediante un indicador macroeconómico (producto interno bruto forestal), para lo cual considera la participación de los productos que se derivan del bosque, sean estos controlados, no controlados o ilegales.⁶ Para obtener la participación real de la actividad sectorial dentro de la economía se aplicó un ajuste que contempla la degradación de la cobertura boscosa derivada de la deforestación, así como la pérdida de la posibilidad de aplicar a fondos por compensación mediante la reducción de emisiones (CO₂ eq.).

En el caso de los productos extraídos del bosque, se realizó un ajuste para incorporar la actividad no controlada al PIB forestal por medio de los reportes de la producción de leña y troncos de madera que circulan dentro de la economía sin ningún tipo de control gubernamental. Esto permitió evaluar adecuadamente la actividad no controlada e ilegal.

Para cumplir con el objetivo de incorporar al análisis las *explotaciones primarias*, lo relativo al autoconsumo y los aprovechamientos no controlados, se tomaron como punto de partida las estimaciones de consumo final en los hogares. Así, se encontraron considerables variaciones en los niveles agregados de oferta de productos primarios del bosque –específicamente, de leña– entre las distintas fuentes oficiales. Por ejemplo, para 2014:

- el balance energético del Ministerio de Energía y Minas (MEM) reportaba un nivel de consumo nacional de 24.75 millones de m³ de leña (MEM, 2016);⁷
- la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (Encovi) del Instituto Nacional de Estadística (INE) daba cuenta de un consumo de 19.9 millones de m³ de leña en los hogares, lo que –considerando las proporciones de consumo entre los hogares y la industria en el Sistema de Cuentas Nacionales (SCN)– resulta en un consumo agregado de 23.8 millones de m³ a nivel nacional (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2014);
- el Banco de Guatemala (Banguat) reportó un consumo agregado de 20.6 millones de m³ de leña en las cuentas nacionales del periodo 2013-2020 para 2014 (Banguat, s. f.a).

A la luz de estas diferencias, para estimar la producción no controlada se contrastaron las mediciones del consumo (conforme lo realizan el MEM y el INE) frente a la medi-

⁶ Se denomina actividad legal/registrada/controlada/formal aquella que se desarrolla cumpliendo todos los requisitos legales y bajo el control gubernamental. La actividad no controlada/no registrada/informal no se encuentra bajo el control gubernamental. La actividad ilegal es la que se realiza fuera de las normas del Gobierno (entiéndase del INAB y del Consejo Nacional de Áreas Protegidas [Conap]) (INAB et al., 2015).

⁷ Prácticamente no hay importación de leña, por lo que se trata en exclusiva de producción de origen nacional.

ción de la producción (según el enfoque del Banguat). Como resultado, se optó por tomar como referencia los consumos reportados en los balances energéticos del MEM, que además se publican con frecuencia anual desde 2001.

De esa forma, el ajuste al alza para el consumo de leña se realiza de forma directa, por medio de la ecuación 1:

$$\text{producción ajustada de leña} = \text{leña}_{\text{Banguat}} \times \frac{\text{leña}_{\text{MEM}}}{\text{leña}_{\text{Banguat}}}$$

Gracias a los sistemas de control del INAB y del Conap, se sabe que el reparto de productos en los aprovechamientos controlados es cercano a un 50/50: se produce un volumen agregado muy similar de leña y de troncos de madera en las explotaciones controladas. Sin embargo, no existen mediciones directas de dicho reparto en las explotaciones no controladas, pero a la luz de los datos obtenidos y de otros estudios anteriores (INAB *et al.*, 2015), es evidente que es mucho más favorable en el caso de la leña. Por lo tanto, se modelaron distintos escenarios de reparto entre ambos productos para las explotaciones no controladas y uno de los más plausibles es: un 90 % del volumen se destina a leña y un 10 % a troncos de madera.⁸

Es así que, el cálculo para el ajuste en los troncos de madera resulta ser un tanto más complejo y se alimenta también de los datos detallados de los aprovechamientos

controlados.⁹ La producción ajustada de los troncos de madera se estimó a través de la ecuación 2:

$$\begin{aligned} &\text{producción ajustada de troncos de madera} \\ &= \text{troncos de madera controlados} + \left(\text{leña no controlada} \right) \left(\frac{0.1}{0.9} \right) \end{aligned}$$

La aplicación de este ajuste permitió estimar la contribución que los bosques hacen a la economía del país para dar valor a la producción de todo el sector forestal. Sin embargo, esta cuantificación presenta algunos desafíos importantes. Así como la producción y el consumo de leña y trozas, existen otros *inputs*¹⁰ –como la madera aserrada y dimensionada y la celulosa–, que son esenciales para fabricar productos derivados, como los muebles y el papel. Sin embargo, la utilidad de los bosques para las actividades humanas va mucho más allá de los bienes maderables, ya que también proveen servicios ecosistémicos (oxígeno, agua, control de la erosión, etc.) y desempeñan funciones culturales como sitios sagrados y tradicionales.¹¹

Ahora bien, dentro de los servicios que proveen los bosques, se incluyen las funciones de aprovisionamiento,¹² las cuales resultan más sencillas de cuantificar en el entorno de los servicios ecosistémicos. Estas tienen que

8 Según Iarna *et al.* (2015), el 21 % del volumen extraído en las producciones no registradas correspondió a troncos de madera y el 79 % a leña en 2010. De esta forma, el escenario aquí propuesto resulta ser conservador en cuanto a la dimensión total del volumen de madera en troza obtenida en producciones no controladas.

9 Datos proporcionados por Conap (2022), Sifgua (2023a) e INAB (2022).

10 *Input*: factor que se utiliza en un proceso productivo (materias primas, mano de obra, etc.), y mediante un proceso transformador se convierte en un *output* (bienes y servicios) (Coll, 2022).

11 Estos aportes de los ecosistemas no fueron incorporados en el presente estudio.

12 Las *funciones de aprovisionamiento* son las que tienen que ver con el suministro directo de materiales y recursos útiles para la economía o el suministro de bienes con beneficio directo para las personas, y a menudo con un claro valor monetario, tales como la madera de los bosques, las plantas medicinales y los peces de los océanos, ríos y lagos (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, s. f.).

ver con la extracción de recursos directamente medibles y que pueden ser atribuidos a un sector particular de la economía (Mengist *et al*, 2020). Así, la mayoría de las aproximaciones que se han hecho a nivel internacional para medir el PIB forestal se limitan a cuantificar las contribuciones que el bosque hace gracias a estas funciones.

De esa cuenta, la economía forestal se define como aquella que tiene que ver directamente con la silvicultura y con la extracción de materiales del bosque, así como con su procesamiento primario y secundario en industrias de aserrío, las fábricas de muebles y de papel (Banco de Guatemala e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar [Banguat e Iarna], 2009).

Sin embargo, existen limitaciones para estimar adecuadamente el total de la madera que circula en la economía (como la falta de registros) y cuestiones adicionales que deben atenderse. En particular, es necesario tomar en cuenta las diferencias en el tejido productivo de cada país, para definir apropiadamente qué sectores puntuales deben considerarse como parte de las actividades forestales. Por ejemplo, en Guatemala generalmente no se incluye la elaboración de papel dentro de dichas actividades porque este sector trabaja esencialmente con materias primas importadas; en otros países, en cambio, este es uno de los sectores que más contribuyen al PIB forestal.¹³

13 Al incorporar la importación de celulosa, papel en la balanza comercial del sector forestal, este resulta ser negativo en USD -4 754 327 850.53 para 2022 (Sistema de Información Forestal de Guatemala, 2024).

Otro reto importante es el abordaje de una realidad propia de este sector: existen niveles considerables de explotaciones forestales que son esencialmente para el autoconsumo y, por lo tanto, no ingresan en las dinámicas de precios de mercado ni dejan registros.

3.1.1. El ajuste del PIB forestal por degradación del bosque. La necesidad de hacer más funcionales y efectivas las políticas forestales es evidente cuando se visibiliza el valor de la biodiversidad, el carbono y los suelos que se pierden con la deforestación del país.

De esta forma, el valor económico que se pierde con la deforestación puede ser calculado según la ecuación 3:

$$\text{depreciación del bosque} = 6(B_{ti} - B_{tf})F$$

En donde la pérdida de cobertura forestal en hectáreas B , entre el periodo inicial ti y final tf , es la base para calcular la depreciación del bosque a partir de los seis pagos anuales de incentivos por hectárea F . Es por ello que el pago por hectárea en los primeros tramos de Probosque (GTQ 2500.00 por hectárea, durante 10 años) puede tomarse como una referencia del valor económico que aporta el bosque en pie a la sociedad.¹⁴

3.1.2. El ajuste del PIB forestal vía la pérdida del servicio de secuestro de carbono. La aproximación del valor de la depreciación

14 La teoría económica clásica dicta que, en un mercado en equilibrio, el valor del excedente aportado por dos bienes –en este caso, el bosque y los usos alternos de la tierra– debe ser el mismo y tendiente a cero. En otras palabras, si el incentivo ha sido bien calibrado en función del valor social del bosque, este debe reflejar el valor marginal del bosque para la sociedad (Sarmiento *et al.*, 2018).

del bosque vía el servicio ecosistémico de secuestro de carbono parte del estudio de la matriz de cambio de uso de suelo por tierras deforestadas y su contraposición con los coeficientes técnicos de liberación de CO₂ eq. La matriz de cambio de uso de suelo está disponible a partir de los mapas de cobertura vegetal y uso de la tierra 2010 y 2020, mientras que los factores de liberación de carbono se basan en un estudio técnico de MAGA *et al.* (2022).

Los datos sobre el cambio de uso del suelo y las respectivas emisiones permiten calcular la depreciación del activo forestal por medio de la ecuación 4 que se describe a continuación:

$$\text{depreciación del bosque} = \beta \sum_{i=1}^N U_i C_i$$

En donde la depreciación corresponde a la sumatoria del total de tierras deforestadas U destinadas a cada i uso alterno de la tierra, multiplicadas por el factor C de liberación de carbono correspondiente y multiplicado por el coeficiente β , que representa el costo social de cada tonelada de carbono liberada a la atmósfera.

3.2. Análisis financiero de los incentivos forestales

Con el objetivo de profundizar el análisis de la pertinencia de los montos concedidos por los incentivos forestales, se consideraron las modalidades de protección de bosque natural y plantaciones con fines industriales.

Para dimensionar la conveniencia de la ejecución del Probosque, se realizaron dos análisis. El primero comparó los pagos otorgados a los

beneficiarios de los incentivos de conservación con el uso alternativo de la tierra. El segundo evaluó la pertinencia de los incentivos forestales considerando tres variables: la tasa de descuento financiera, el índice de sitio¹⁵ y el otorgamiento o no de los incentivos para un ciclo de corta duración (20 años).

En lo referente a las actividades de conservación, el contrato entre el INAB y los participantes de los programas de incentivos (Pinfor, Pinpep y Probosques) no permite la explotación productiva de las tierras,¹⁶ por lo que el monto concedido debe cubrir el costo de oportunidad de los usos alternativos de la tierra.

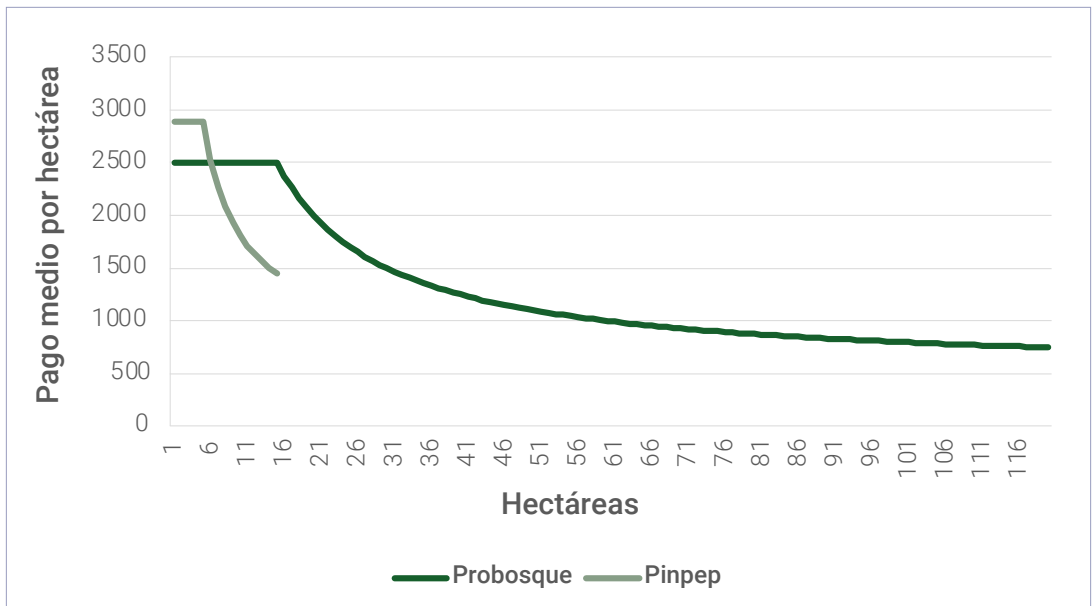
3.2.1. Incentivos para programas de conservación. Los incentivos forestales concedidos mediante la modalidad de protección conllevan el compromiso del beneficiario de mantener el bosque natural, sin realizar ningún tipo de explotación de sus recursos madereros, para lo cual se les concede un beneficio económico por hectárea. El Pinpep está orientado a pequeños productores poseedores de la tierra y Probosque a propietarios. En la figura 2 se muestra que ambos programas tienen un umbral a partir del cual decae significativamente el pago por hectárea, por lo que las mayores erogaciones se concentran en las primeras 15 hectáreas.

15 «El índice de sitio es una representación gráfica de la capacidad productiva de un área forestal, que describe la relación entre la altura dominante y la edad de un rodal (bosquete de características homogéneas), o árbol individual de una especie determinada» (Martínez Zurimendi *et al.*, 2015, p. 1).

16 Dentro de las actividades que lleva a cabo el propietario están las rondas cortafuegos, el control de plagas y enfermedades y la vigilancia contra la tala ilegal.

Figura 2

Pago medio por hectárea en los proyectos de manejo de bosque natural con fines de protección y provisión de servicios ambientales



Fuente: elaboración propia con base en INAB (2023).

3.2.2. Incentivos para programas de plantaciones. Los resultados de este estudio se centran en *Pinus maximinoi* H. E. Moore. Como se indicó anteriormente, la selección de esta especie responde a su alta proyección de siembra, a sus parámetros óptimos

de incremento medio anual, al volumen aceptable de madera que produce y a una buena productividad en la corta final (ver tabla 4), sumado a su posicionamiento como la principal materia prima forestal procesada en la industria del aserrío.

Tabla 4*Productividad de las plantaciones a la corta final (m³)*

Especie	Nombre común	Índice de sitio	Año de corta final	Incremento medio anual (IMA) volumen total m ³ /ha	Volumen en m ³
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	pino caribe o pino de Petén	bueno	25	7.33	183.25
<i>Pinus maximinoi</i>	pino candelillo	bueno	20	19.37	387.4
<i>Pinus oocarpa</i>	pino colorado o pino de ocote	bueno	20	11.79	235.8
<i>Pinus pseudostrobus</i>	pino triste	medio	20	16.28	325.6
<i>Hesperocyparis lusitanica</i>	ciprés	bueno	20	12.38	247.6
<i>Alnus jorulensis</i>	aliso	único	20	5.94	118.8
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Santa María, marío, leche, leche amarilla (Alta Verapaz-GU)	único	25	6.72	168
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	conacaste	único	25	5.8	145
<i>Gmelina arborea</i>	melina	bueno	15	13.28	199.2
<i>Nectandra</i> sp.	canoj	único	20	7.09	141.8

Fuente: INAB (2015).

Para determinar los aspectos técnicos, se utilizaron como base los estudios que realiza el INAB por medio de parcelas permanentes de medición forestal (PPMF), a partir de las cuales se ha proyectado el rendimiento de las plantaciones de distintas especies y se han estimado ecuaciones de crecimiento que reflejan la altura y volumen típicos de una plantación durante cada año transcurrido desde la siembra. Esta información se asocia al índice de sitio a una edad determinada.

Con base en estos indicadores, el INAB ha desarrollado un modelo de crecimiento para

el pino candelillo (*P. maximinoi* H. E. Moore) que descansa en los siguientes supuestos:

- i) siembra original de 1111 árboles/hectárea;
- ii) aplicación de un perfil teórico de raleo, al año cinco se aplica un raleo del 30 %, donde queda una densidad de 777 árboles/hectárea; al año 10, otro raleo de 30 %, donde queda una densidad de 544 árboles/hectárea; por último, al año 15, un último raleo del 30 %, ¹⁷ donde queda

¹⁷ Este porcentaje se modificó a partir del planteamiento original del INAB (2012), que consideraba el 50 % en el tercer raleo.

una densidad de 381 árboles/hectárea al turno de corta;

- iii) una corta final a los 20 años, en donde se completa el ciclo de corta con todos los árboles restantes de la plantación.

El INAB recomienda las ecuaciones 5 a 7 (INAB, 2012)¹⁸ para medir el crecimiento de *Pinus maximinoi* H. E. Moore.

Ecuación 5 (r^2 0.96):

$$\text{área basal } (G) = e^{2.945901 - \frac{8.72776}{T} + 0.057682S - 0.000082N}$$

Ecuación 6 (r^2 0.88):

$$\text{altura } (H) = e^{\ln S - 8.92771(\frac{1}{T} - 0.1)}$$

Ecuación 7 (r^2 0.99):

$$\text{volumen } (\frac{m^3}{ha}) = 0.376369H^{0.902558}G^{1.092625}$$

En las ecuaciones, las variables T corresponden a la edad de la plantación en años, S el índice de sitio y N el número de árboles plantados.

Mientras que la cantidad de árboles plantados N deriva de los supuestos del modelo de INAB, el índice de sitio S ¹⁹ es una de las

variables clave para el planteamiento de las iteraciones del modelo financiero y representa los diferentes escenarios de *calidad de sitio*²⁰ a los que se puede enfrentar una plantación. Las otras variables que definen los escenarios modelados son: la tasa de descuento financiera²¹ y el ser o no beneficiarios de los incentivos forestales.

El cuadro financiero contempla costos fijos y variables, expresados en valores por hectárea (por lo que es posible generalizarlos). Los datos sobre costos operativos fijos fueron tomados a partir de una proyección de costos por hectárea elaborada por el INAB. Por otra parte, los costos variables de extracción de madera se basaron en una modelación financiera que se hizo en 2005 para la plantación forestal de la finca Agua Tibia en San José Pinula,²² Guatemala. Los renglones de gasto se actualizaron siguiendo estas pautas:

- Los costos operativos, tanto los de mano de obra²³ como los insumos de la plan-

18 De acuerdo con el INAB (2012):

Los modelos fueron generados a partir de una serie de 180 mediciones consecutivas en 48 PPMF ubicadas en la Región II, en un rango de 2 a 15 años de edad, densidades de 160 a 1580 árboles por hectárea, diámetros a la altura del pecho (DAP) de 2 a 31 centímetros y alturas dominantes de 2 a 24 metros. Para el caso de la Región III, se utilizó una serie de 68 mediciones consecutivas, correspondientes a 10 PPMF, en un rango de edad de 5 a 12 años, densidades de 620 a 1700 árboles por hectárea, diámetros de 5.7 a 23.7 centímetros y alturas dominantes de 5 a 18.9 metros. (p. 10)

19 De acuerdo con los valores calculados por el INAB para el pino candelillo, se consideraron índices de sitio que van desde ocho hasta 20 –en incrementos de uno–, que reflejan calidades que van desde «malo» hasta «excelente».

20 Se entiende por calidad de sitio a la capacidad productiva de un área y comúnmente se refiere al volumen de madera producido por una masa forestal cuando llega a la edad del turno (Martínez Zurimendi et al., 2015).

21 Para la tasa de descuento financiera se consideró una horquilla que va desde 5 % hasta 25 % (en incrementos de 1 %), que refleja aproximadamente los valores mínimos y máximos de los créditos concedidos al sector agrícola y ganadero. Según la Superintendencia de Bancos de Guatemala, a julio de 2026, los créditos en moneda nacional a este sector oscilaron entre el 7.60 % y el 27.56 % de interés anual (Superintendencia de Bancos, 2026).

22 El disponer de solo una fuente de costos limita las proyecciones hacia otras áreas de la república, por lo que los resultados son valederos para áreas con características similares a la finca tomada para el estudio de caso.

23 Dentro de estos costos se incluye la preparación del terreno, el establecimiento de la plantación, la regencia, la limpia, la fertilización y las rondas cortafuego.

tación o de otra naturaleza,²⁴ fueron proyectados a futuro a partir de 2024, con un incremento del 3 % anual.²⁵

- Los costos de extracción de madera durante los años de raleo son tratados como costos variables en función de los volúmenes de madera extraída que marca la ecuación de volumen para cada S. Una parte de estos costos son de mano de obra²⁶ y fueron actualizados en consideración del incremento que ha tenido el salario mínimo en Guatemala entre 2005 y 2023, de GTQ 38.60 a GTQ 107.11 diarios (un incremento del 177.5 %). Los costos de otra naturaleza²⁷ fueron actualizados empleando como referencia el índice de precios al consumidor (IPC) en Guatemala, que tuvo un incremento acumulado de 138.3 % entre 2005 y 2023. En ambos casos, la ratio sobre m³ de los renglones de costos fue actualizado y proyectado hacia delante según los mismos criterios de los puntos anteriores.

Los precios de la madera que se obtienen por m³ –tanto en el caso de la leña como de los troncos de madera– se basaron en la estimación hecha para la finca Agua Tibia y fueron actualizados empleando el IPC. A futuro, fueron proyectados bajo el mismo supuesto de un incremento anual del 3 %.

24 Dentro de estos costos se cuentan los insumos de plantación como de fertilizantes, biocidas para control de plagas y enfermedades, la documentación legal, la elaboración del plan de manejo y otros gastos.

25 Dato conservador con relación al 3.95 % de inflación comprendida de 2012 a 2025, derivado de que la mayor parte de los costos de producción se destinan al pago de la mano de obra.

26 Dentro de esta categoría se cuentan los costos de hechura de leña.

27 En esta categoría se incluyen los costos de raleo, aserrío, transporte de troza, extracción y aserradero.

Puesto que el precio por m³ muestra una gran variabilidad entre la leña y la troza, fue necesario determinar el reparto del volumen de madera extraída entre ambos productos. Aunque la troza es más rentable, su ciclo de crecimiento es más prolongado, por lo que su obtención es creciente en el tiempo. La tabla 5 muestra la proporción de leña obtenida por raleo.

Tabla 5
Producción de leña, según año raleo de la plantación forestal (valores en porcentaje)

Año de raleo	% de leña
5	100 %
10	50 %
15	50 %
20	20 %

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar los criterios anteriores, es posible realizar una simulación con todas las iteraciones que surgen de las posibles combinaciones de las variables de interés, es decir, la tasa de descuento financiera, el índice de sitio y el otorgamiento o no de incentivos forestales a la producción. En función de ello, se simularon 546 escenarios financieros que puede enfrentar una plantación, los cuales representan cada uno una combinación única de valores para las tres variables. En todos ellos, se ha calculado el valor presente neto del proyecto evaluado para todo el ciclo de corta (20 años). Un valor superior a cero señala que el proyecto es financieramente rentable; por debajo de cero, corre el riesgo de no serlo.

4. Resultados y discusión

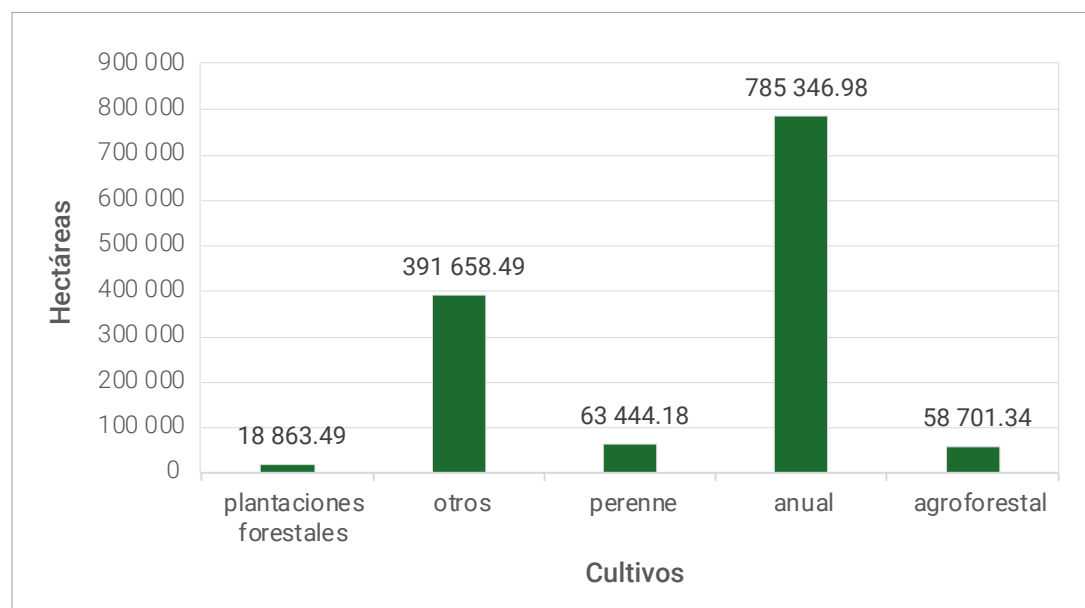
Según se mencionó, en la modalidad de manejo de bosque natural con fines de protección y provisión de servicios ambientales, es crucial que el pago por hectárea cubra sus diferentes usos alternativos. Si bien no todas las tierras de bosque tienen el mismo costo de oportunidad y no todas las tierras se pueden destinar a los mismos usos, una forma de aproximarse a su valor medio es tomar como referencia el uso que se ha dado en años a las tierras deforestadas. La matriz de cambio de uso de la tierra del 2010 (Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [DIGEGR], 2012 y 2020; MAGA, 2021) refleja la cantidad de hec-

táreas de bosque deforestadas que tienen otros usos alternativos (ver representación en figura 3).

El principal cambio de uso de la tierra corresponde a la transición de bosques hacia agricultura. Este hallazgo resulta contrastable con lo reportado en el Sistema de Cuentas Nacionales, que da razón del valor agregado que genera cada una de las actividades económicas del país. La tabla 6 presenta los datos geográficos y económicos relativos al valor agregado por hectárea de las principales actividades del sector primario, así como la proporción que representan de la tierra deforestada entre 2010 y 2020.

Figura 3

Cambio de uso de la tierra de bosques hacia otros usos, periodo 2010-2020 (hectáreas)



Fuente: elaboración propia con datos de DIGEGR (2012) y MAGA (2021).

Tabla 6*Análisis económico del costo de oportunidad del uso de la tierra, periodo 2010-2020*

Actividad	Hectáreas ocupadas	Valor agregado (GTQ)	Valor agregado por ha	% de tierra deforestada que se destina a este uso	Rentabilidad por hectárea (GTQ)	Costo de oportunidad en relación con una hectárea de bosque deforestada (GTQ)
Total				34.61 %		2365.79
cría de ganado bovino excluyendo búfalos	1 642 401	4071	0.003	12.80 %	2478.86	317.29
cultivo de cereales (excepto arroz)	1 373 939	4499	0.003	7.52 %	3274.35	246.08
cultivo de café	1 147 968	3545	0.003	5.20 %	3088.45	160.62
cría de ganado porcino	358 978	465	0.001	2.22 %	1293.86	28.74
cultivo de cardamomo	299 442	4038	0.014	2.44 %	13 485.49	329.27
cultivo de hortalizas y melones, raíces y tubérculos	289 808	10 005	0.035	1.01 %	34 521.25	348.55
silvicultura y extracción de madera, y servicios de apoyo a la silvicultura	114 609	5592	0.049	1.43 %	48 795.21	698.27

Fuente: elaboración propia.

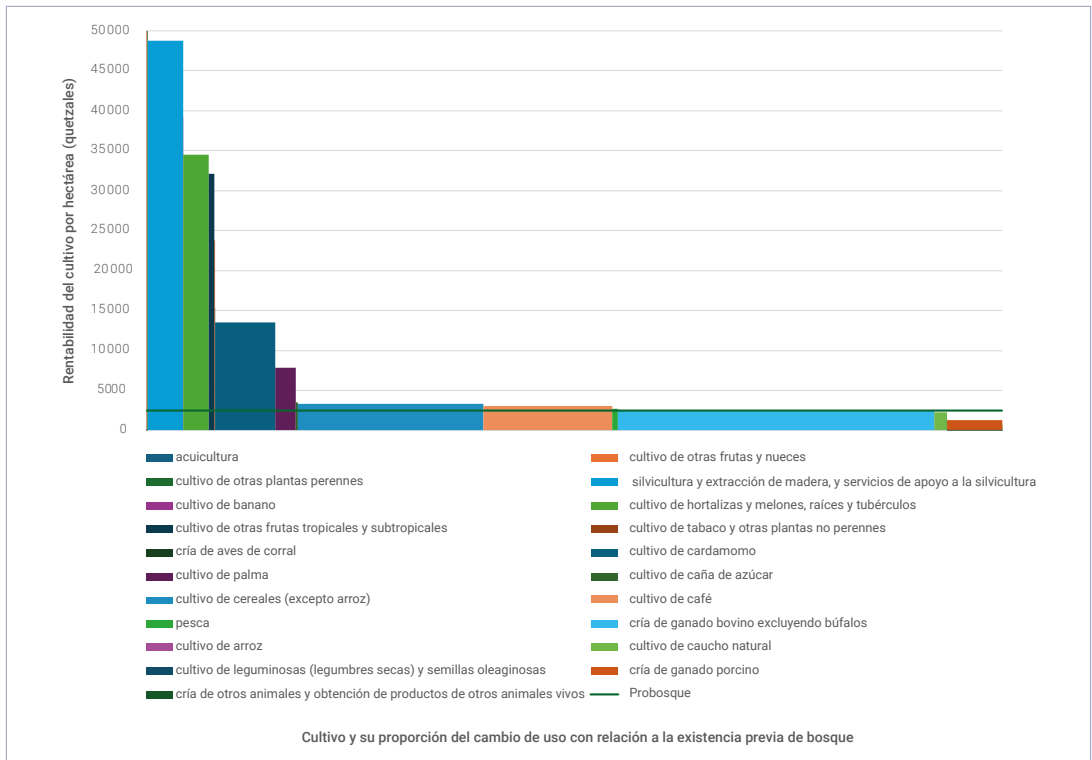
Para 2020, el valor agregado medio que generaba una hectárea deforestada era de GTQ 2365.79 anuales. Al contraponer esta cifra con los montos concedidos por incentivos forestales para protección (GTQ 2500.00 para las primeras 15 hectáreas del programa Probosque), resulta ser una cantidad suficiente para cubrir el costo de oportunidad medio de los usos alternativos de las tierras forestales.

Al examinar detalladamente los usos alternativos de las tierras deforestadas, el pago anual del programa Probosque supera el valor agregado que genera la mayoría de dichas actividades.

En la tabla 6 se observa, además, que los cultivos de hortalizas, café, cereales y cardamomo generan un valor económico mayor por hectárea en comparación con el pago de incentivos por protección del bosque. Sin embargo, estas actividades representan una proporción pequeña del total de usos que se le han dado a las tierras deforestadas, lo que sugiere que hay restricciones que impiden su masificación. Por el contrario, en la figura 4 se puede observar que la mayoría de las tierras deforestadas han sido destinadas a otras actividades cuya capacidad de generar valor se ubica apenas por encima del monto de los incentivos o incluso por debajo de ellos, como en el caso del cultivo de cereales básicos, de café y la ganadería.

Figura 4

Proporción de cambio de uso de la tierra, periodo 2010-2020 y rentabilidad por hectárea (quetzales)



Fuente: elaboración propia con base en INAB y Conap (2023).

En este sentido, los autores consideran que el monto de los incentivos por conservación está debidamente calibrado para desincentivar la transformación de áreas boscosas hacia actividades de agricultura que pueden desarrollarse en esas zonas; sin embargo, resultan insuficientes para cubrir las actividades más rentables. Si bien el costo de oportunidad de la tierra forestal puede mostrar una gran variabilidad en función de las características físicas y de la infraestructura de cada zona, el análisis anterior muestra que los montos concedidos –al menos en las primeras 15 hectáreas– reflejan bien el costo de oportunidad medio de una hectárea típica

de bosque. Más adelante se empleará esta cifra como una de las referencias utilizadas para estimar el valor económico de la depreciación de los bosques del país.

4.1. Incentivos para programas de plantaciones forestales

Por su parte, en la modalidad de plantaciones, el contrato entre el INAB y los beneficiarios (el silvicultor) se rige por el plan de manejo silvicultural, en el cual se programan varios raleos y una corta final al turno de rotación de la plantación.

En la figura 5 se presentan gráficamente los resultados del ejercicio. Se muestra la media de valor presente neto para cada índice de sitio y el rango de valores descontados que surgen en función de la tasa de descuento aplicada, según la disponibilidad o ausencia de incentivos.

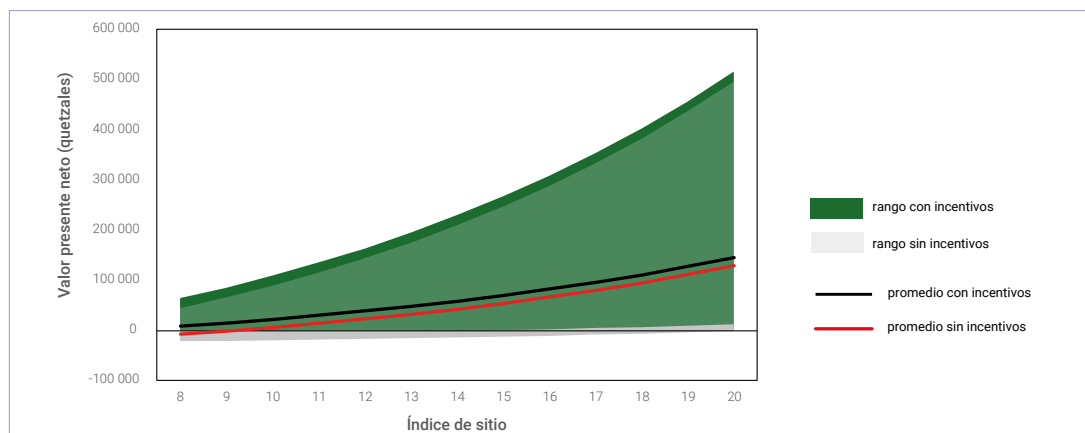
Nótese cómo en un rango estrecho de condiciones, los incentivos forestales son el factor determinante en la rentabilidad del proyecto. En índices de sitio por debajo de 8, los incentivos forestales son *insuficientes* para que la plantación de pino candelillo sea viable; mientras que por encima de 9 son *redundantes*, puesto que la plantación es rentable en la mayoría de los casos, incluso sin este apoyo financiero. Ninguna de las dos situaciones es deseable: en el primer caso, porque la política pública no consigue motivar cambios en la conducta de los agentes sociales; y en el segundo, porque conlleva una dilapidación de recursos públicos que se acumularían en forma de un exceso de rentabilidad de agentes privados.

La modelación llevada a cabo muestra que los proyectos forestales son mucho más sensibles a otras variables –principalmente a la tasa de descuento financiera– que al hecho de ser beneficiarios o no del programa de incentivos.

Estos hallazgos ponen en perspectiva la necesidad de reevaluar el diseño de los incentivos forestales, especialmente ante su disminución en las zonas de producción forestal privadas. La forma de otorgar los incentivos no distingue entre el potencial productivo de las zonas donde se establecen las plantaciones, pese a que el INAB cuenta, gracias al muestreo de las PPMF, con datos precisos y georreferenciados del potencial de distintas regiones. Es posible, entonces, concebir que el programa de incentivos forestales deje de conceder montos globales y que, en cambio, los montos incentivados por hectárea sean determinados en el futuro en función de los índices de sitio. Esto podría aumentar el interés de los productores en el programa (y, por consiguiente, incidir en una mayor implantación de bosques de producción en el país) y reducir el costo de la política pública.

Figura 5

Valor presente neto según el índice de sitio, diferentes tasas de descuento y de su adscripción o no en el programa de incentivos (quetzales)



Fuente: elaboración propia.

4.2. Incentivos para programas de producción de bosque natural

No se pudo efectuar el análisis del incentivo para la modalidad de manejo de bosque natural con fines de producción, ya que el programa no lleva registro de lo que se autoriza ni del método de corta. Sin embargo, se determinó que el programa reconoce a beneficiarios propietarios de la tierra que oscilan entre 0.5 a 165.23 hectáreas por unidad productiva, lo cual refleja una disparidad en cuanto al otorgamiento del incentivo. Esto deberá ser sujeto de evaluación por parte del INAB puesto que, a criterio de los autores, tiene más impacto atender a una mayor cantidad de usuarios que a pocos, de manera que el conocimiento sobre manejo forestal sostenible no quede solo en poder de pocos silvicultores, sino que se amplíe a una mayor cantidad de usuarios.

4.3. Estimación del PIB forestal

La estimación del PIB forestal y sus ajustes por degradación de la cobertura boscosa y consiguiente pérdida de CO₂ eq. parten de la aplicación de la ecuación 1, que estima los productos controlados y no controlados que circulan dentro de la economía.

Al aplicar los parámetros de la ecuación 1 resulta que el factor de ajuste va de 1.19 % a 1.27 % en la producción de leña durante el periodo 2013-2020, lo cual contrasta con lo reportado en las cuentas nacionales.²⁸ No obstante, aún queda por estimar el ajuste necesario en el otro producto primario de

origen forestal: los troncos de madera, que esencialmente corresponden a una materia prima industrial, tanto bajo un esquema controlado como ilegal.

Al aplicar la ecuación 2, se observa un aumento considerable del volumen de troncos de madera en la economía (tabla 7). Estos resultados permiten inferir que, si bien no se tiene el control del total de los aprovechamientos forestales del país, si se está dentro de un 90 % de los volúmenes que se extraen bajo dicha modalidad.

De esa cuenta, si bien el ajuste que se hizo afecta solamente a los productos primarios y no a la industria forestal en su conjunto, el aumento en el volumen estimado del PIB forestal es considerable.

Otro factor considerado es que, aunque la mayoría de estudios estiman y consignan el *valor agregado*²⁹ de los sectores forestales, quizás resulta más útil reportar la *producción neta*. Bajo el enfoque del valor agregado, un producto final que es esencialmente de origen forestal –por ejemplo, un mueble– no aporta todo su valor al PIB forestal, sino solamente el que resulta de restarle todos aquellos *inputs* que no son de origen forestal –por ejemplo, la energía eléctrica consumida por la fábrica de muebles o los productos químicos empleados para el procesamiento de la madera–.

28 Puesto que se trata de producción primaria para el autoconsumo, el alza en la producción corresponde también directamente al alza del valor agregado. Generalmente no se reportan consumos intermedios en la producción para el autoconsumo.

29 Para aislar el monto generado durante la última etapa de la cadena de valor, se excluyen los consumos intermedios del valor de la producción total; de este modo, se identifica el valor agregado específico.

Tabla 7*Total de madera que circula dentro de la economía de Guatemala (2013-2020)*

Año	Leña total (m³)	Troncos no controlados 10 % (m³)	Troncos controlados (m³)	Troncos totales controlados y no controlados (m³)	Factores de ajuste utilizados (leña)	Factor de ajuste utilizados (troncos)	Total aprovechamientos controlados INAB (m³)
2020	30 509 485.27	3 258 715.33	1 231 601.08	4 490 316.42	1.27	3.73	1 869 641.21
2019	29 616 680.20	3 194 347.48	1 118 334.32	4 312 681.80	1.26	3.28	1 812 567.21
2018	29 058 122.05	3 093 289.63	1 740 496.58	4 833 786.21	1.26	3.97	2 845 909.73
2017	28 494 279.20	3 030 004.16	1 405 731.66	4 435 735.82	1.27	3.68	2 399 859.59
2016	26 861 727.17	2 865 257.08	997 979.41	3 863 236.49	1.22	3.31	1 787 115.33
2015	25 221 810.37	2 646 874.02	1 155 281.81	3 802 155.83	1.19	3.33	2 146 238.20
2014	24 753 080.42	2 637 882.15	1 164 395.34	3 802 277.49	1.20	3.35	1 872 260.78
2013	24 242 026.28	2 563 961.09	852 127.59	3 416 088.67	1.21	3.14	1 684 731.08

Fuente: estimaciones propias con datos del MEM (2016), Sifgua (2024) y Conap (2022).

Se considera que el enfoque del valor agregado, aunque es el más generalizado, resulta inapropiado para dimensionar la verdadera importancia económica del bosque. En realidad, los insumos forestales hicieron posible el producto final y, en consecuencia, si se interrumpe el suministro de productos del bosque desaparecería todo el valor del producto. Por tanto, el enfoque de la producción neta³⁰ es

³⁰ La producción neta descuenta los consumos intermedios de productos dentro del propio sector que se está analizando. Por lo tanto, en el caso del sector forestal, refleja el valor total del consumo final de los productos para evitar una doble contabilización, así como el valor completo de los productos finales.

mucho más acertado para reflejar el valor económico en riesgo ante el deterioro de los bosques del país.

En la medida que se aplican todos los criterios anteriores, el panorama que surge es uno donde el sector forestal aporta un valor estimado en 3.9 % del PIB del país,³¹ en contraposición al 1.5 % que típicamente se reporta en la mayoría de países de la región.

³¹ Este valor es previo a realizar los ajustes de la degradación del bosque y la pérdida de los beneficios de CO₂ eq. del Programa de Reducción de Emisiones.

Este hallazgo pone en perspectiva la relevancia del bosque para la economía de Guatemala y, en particular, la necesidad de concebir el manejo sostenible de los recursos forestales del país como una inversión que permite conservar una fuente importante de ingresos para la población. Se dibuja un contraste muy marcado al contraponer, por un lado, las contribuciones directas del bosque a la economía –que

rondan el 1.8 % del PIB– y, por el otro, los montos asignados a la preservación de las áreas forestales del país, que no representan tan siquiera esa misma proporción del presupuesto estatal. Al comparar el PIB forestal con el de otros países de la región de América Latina que han elaborado sus cuentas ambientales, se observa que el aporte del sector forestal de Guatemala al PIB es relevante (ver tabla 8).

Tabla 8
Comparación de estimaciones del PIB forestal primario más industrialización con otros países de la región (valores en porcentaje)

País	Año de cálculo	Sector primario forestal (corte de árboles, silvicultura y viveros)	Sector primario más industrialización	Autor
México	2018	2.42 %	4 %–6.25 %	Moctezuma López, G. (2022)
Perú	2019	1.04 %		Muñoz, J. (2021)
Costa Rica	2013	0.09 %	1.97 %	Banco Central de Costa Rica (2016)
Honduras	2020	0.71 %		Instituto Nacional de Conservación Forestal (2021)
Guatemala	2020	1.8 %	3.9 %	elaboración propia

Fuente: elaboración propia con base en Banco Central de Costa Rica (2016), Instituto Nacional de Conservación Forestal (2021), Moctezuma López (2022) y Muñoz (2021).

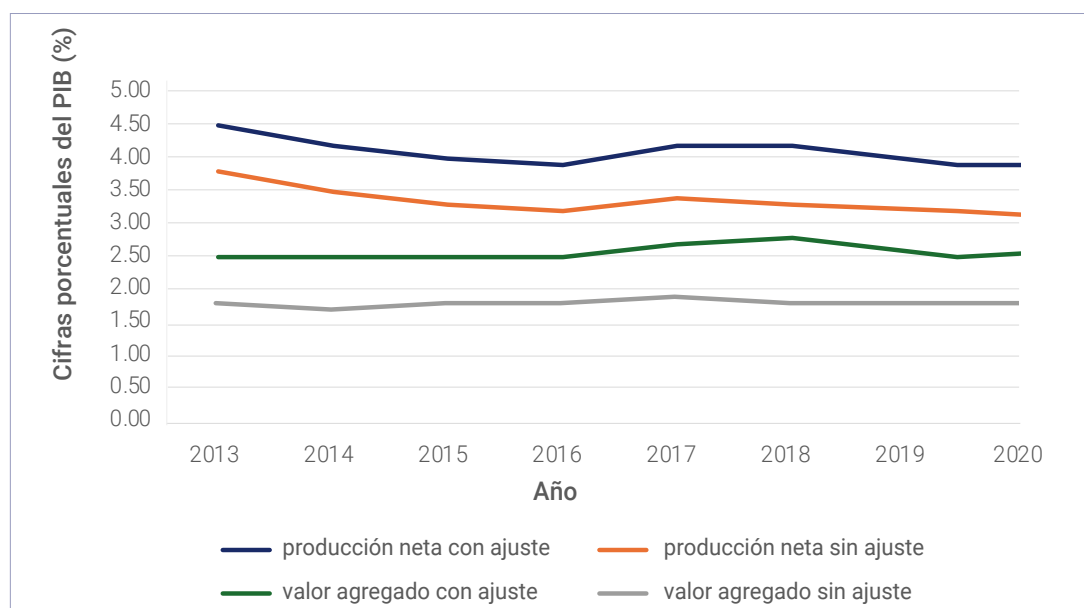
4.4. El PIB forestal ajustado por la depreciación del bosque

La pérdida de los servicios ecosistémicos que proporcionan los bosques conlleva el deterioro de las condiciones productivas presentes o futuras, y puede ser estimada incluso en términos financieros bajo ciertas circunstancias. La cuestión de la valoración de los servicios ecosistémicos es compleja (Mengist et al.,

2020), por lo que este ejercicio se centró en estimar la depreciación del bosque en función de criterios relativamente sencillos: a) el costo de oportunidad de las tierras forestales y b) la pérdida del servicio de secuestro de carbono. Este ajuste parte del PIB forestal, tal y como se representa en la figura 6.

Figura 6

Representación gráfica del PIB forestal, periodo 2013-2020 (porcentaje)



Fuente: elaboración propia.

4.4.1. Ajuste del PIB forestal vía el costo de oportunidad de las tierras forestales.

Como ya se discutió en el apartado sobre los incentivos a la conservación, el pago por hectárea en esta modalidad corresponde a grandes rasgos con el costo de oportunidad

de los usos alternos de la tierra. De esta forma, al utilizar los datos de cobertura forestal de los mapas de cobertura del suelo de 2010 y 2020 y extrapolar linealmente la deforestación neta para cada año, se obtienen los datos mostrados en las tablas 9 y 10.

Tabla 9

Cambios de uso de la tierra, periodo 2010-2020 (hectáreas y GTQ)

Uso de la tierra	Hectáreas deforestadas 2010-2020	Equivalente en incentivos por conservación (GTQ)
plantaciones forestales	18 863.49	471 587 267.75
otros	391 658.49	9 791 462 250.00
perenne	63 444.18	1 586 104 500.00
anual	785 346.98	19 633 674 500.00
agroforestal	58 701.34	1 467 533 500.00
equivalente anual en GTQ		3 295 036 201.78

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10

Depreciación del activo forestal como porcentaje del PIB, periodo 2013-2020 (millones de GTQ)

Año	PIB en GTQ (millones)	Depreciación del activo forestal como % del PIB
2013	392 018.2	0.84
2014	421 228.4	0.78
2015	448 192.3	0.74
2016	472 698.3	0.70
2017	495 313.5	0.67
2018	517 850.3	0.64
2019	557 568.4	0.59
2020	565 098.4	0.58

Fuente: elaboración propia.

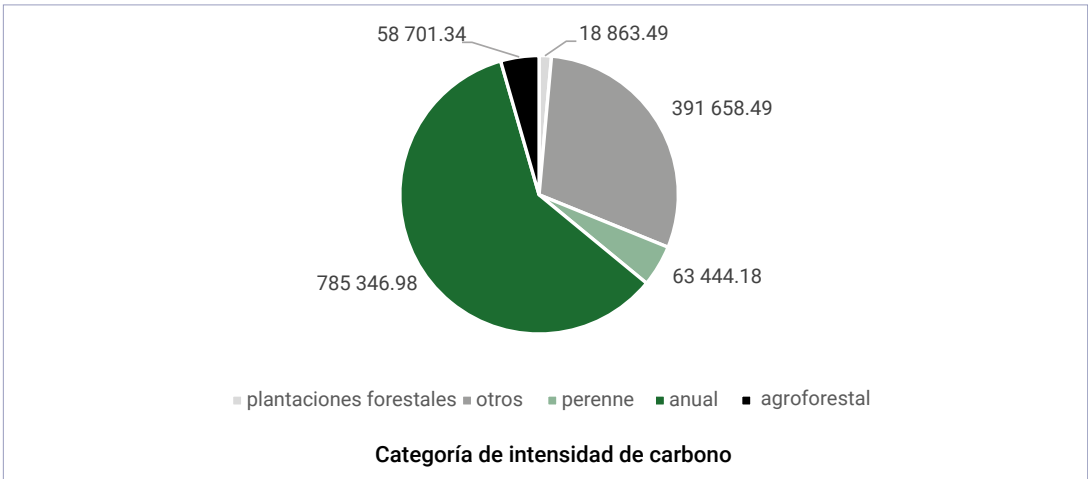
4.4.2. El ajuste vía la pérdida del servicio de secuestro de carbono.

En la figura 7 se pueden observar los cambios de uso de tierras deforestadas a otros usos durante 2010 (DIGEGR, 2012) y 2020 (MAGA,

2021), en tanto que las emisiones de CO₂ eq por tierra deforestada se representan en la figura 8. La tabla 11 muestra las toneladas de CO₂ eq emitidas por cambio de uso de tierra durante el periodo 2010-2020.

Figura 7

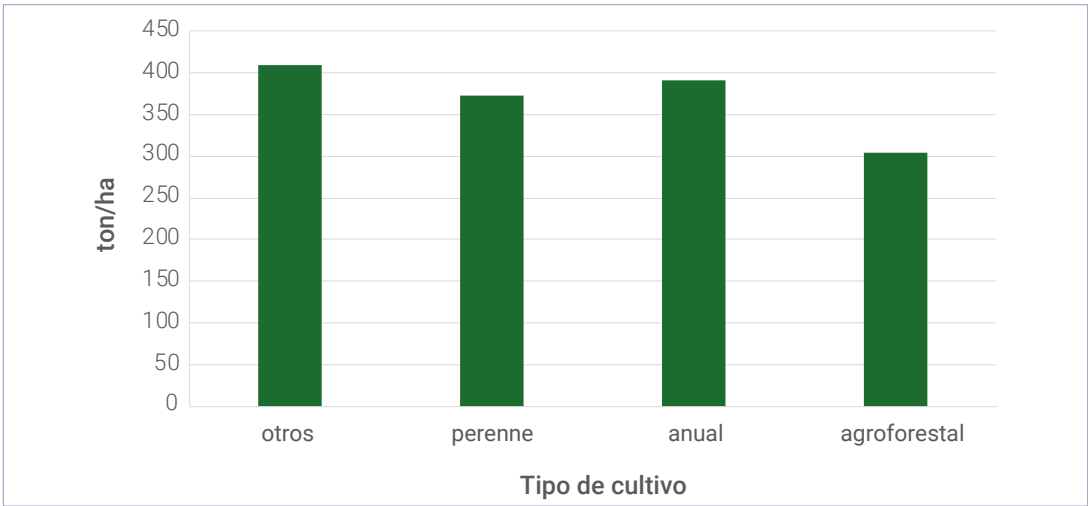
Destino de las tierras deforestadas, periodo 2010-2020 (hectáreas)



Fuente: elaboración propia con datos del MAGA (2021).

Figura 8

Emisiones de CO₂ eq por tierra deforestada según su categoría de uso de la tierra, periodo 2010-2020 (tonelada/hectárea)



Fuente: elaboración propia.

Tabla 11

Toneladas de CO₂ eq emitidas por cambio de uso de la tierra, periodo 2010-2020

Tipo de cultivo	Hectáreas	Pérdida de C/ha	Total de pérdida de C	Precio por tonelada C (USD)	Total de pérdidas (USD)
plantaciones forestales	18 863	0	0	5.00	0
otros cultivos	391 658	409	160 156 990	5.00	800 784 949
cultivos perennes	63 444	372	23 617 096	5.00	118 085 480
cultivos anuales	785 347	391	306 748 677	5.00	1 533 743 385
sistema agroforestal	58 701	305	17 891 581	5.00	89 457 907
equivalente anual en USD					2 542 071 720.36

Nota. C = carbono. Fuente: elaboración propia.

Para la aplicación del coeficiente β de la ecuación 4, se tomó como referencia el pago emitido por tonelada, que corresponde a USD 5.00 por tonelada³² (Zamora Cristales *et al.*, 2020). Sin embargo, este valor puede variar según la fuente de referencia, puesto que estudios recientes calculan el costo social global de las externalidades de una tonelada de carbono equivalente hasta en USD 185; mientras que el Gobierno de Estados Unidos estima un valor de USD 51.00 (Rennert *et al.*, 2022). Los cálculos de la depreciación del activo forestal por pérdida de CO₂ eq se expresan en la tabla 11.

Tabla 12

Depreciación del activo forestal por pérdida de CO₂ como porcentaje del PIB, periodo 2013-2020 (en USD)

Año	PIB (USD)	Depreciación (%)
2013	52 996 447 956	0.48
2014	57 852 150 565	0.44
2015	62 186 064 719	0.41
2016	66 053 402 745	0.38
2017	71 653 756 504	0.35
2018	73 328 369 926	0.35
2019	77 172 313 916	0.33
2020	77 715 183 063	0.33

Fuente: elaboración propia.

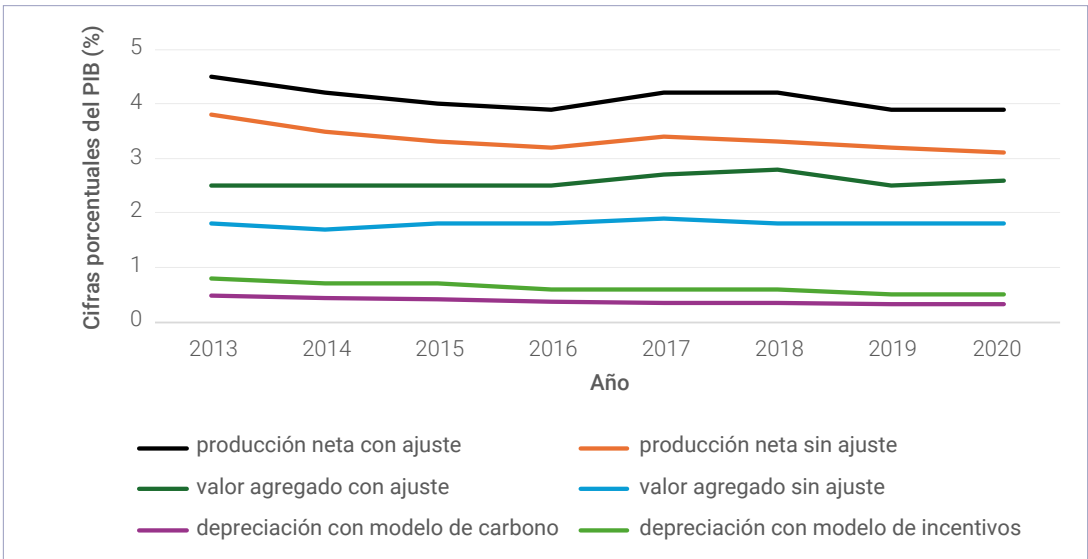
³² Valor por tonelada de emisión reducida firmado dentro del acuerdo Carbon Fund of the Forest Carbon Partnership Facility Emission Reductions Payment Agreement (República de Guatemala e International Bank of Reconstruction and Development, 2021).

Una vez estimado el ajuste del PIB por depreciación del costo de oportunidad de las tierras forestales y la pérdida de carbono no fijado, es posible expresar el resultado del PIB forestal ajustado. En la figura 9 se observa que, para el 2020, se parte de una pro-

ducción neta con ajuste equivalente a 3.9 %. Sin embargo, al descontar 0.50 % por pérdida de depreciación del bosque y 0.33 % por la oportunidad de comercializar carbono, el valor del PIB forestal ajustado es de 3.07.

Figura 9

PIB forestal ajustado por depreciación del bosque, periodo 2013-2020 (porcentaje)



Fuente: elaboración propia con datos de Banguat (s. f.b), Sifgua (2023b), Conap (2022).

Para este caso, el valor generado por el bosque vía los servicios de aprovisionamiento continúa siendo mayor que la depreciación, pero esto solo ocurre porque el factor de costo social del carbono que se utilizó es el más bajo de entre todas las opciones disponibles para el cálculo. Con otro factor β , como el valor de USD 51.00 que utiliza el Gobierno de Estados Unidos para sus propias estimaciones o el de USD 185.00 que estimó Rennert *et al.* (2022), el valor de la depreciación superaría ampliamente el valor agregado de la actividad forestal en el país.

Conclusiones

Para paliar la deforestación en Guatemala, es necesario optimizar los recursos destinados a la conservación del bosque y a la restauración de las tierras forestales degradadas. Los programas de incentivos forestales en Guatemala bajo sus diferentes modalidades no han sido capaces de atraer a un número creciente de aplicantes y de hacer un contrapeso efectivo a las fuerzas impulsoras de la deforestación. Por el contrario, las tierras incorporadas anualmente al esquema de plan-

taciones han disminuido de manera sostenida durante los últimos diez años y representan apenas un 10 % de la deforestación bruta, aun cuando los montos otorgados a los beneficiarios son superiores a los que pagan otros países de Latinoamérica.

El presente estudio muestra que la fijación de una tarifa invariable del incentivo por hectárea a nivel nacional limita la eficacia de estos esquemas. En el caso de los programas de protección, la tarifa por hectárea es apta para cubrir el costo de oportunidad medio de la tierra para algunos cultivos (al menos por los años durante los cuales se recibe el pago), pero no para el de los usos más productivos de la tierra (hortalizas, café, cereales y cardamomo).

En cuanto a los incentivos de plantación, el reconocimiento es insuficiente para hacer rentables los proyectos en los sitios de más difícil implantación forestal (índice de sitio menor

o igual a ocho) y es redundante en aquellos sitios de tierras forestales (índice de sitio a partir de nueve o más). El incentivo es efectivo para motivar la práctica forestal en sustitución de otras actividades en un rango estrecho de sitios. Sin embargo, si se contemplara un pago diferenciado en función de las condiciones de cada sitio, dicho rango podría ampliarse. La aplicación de una política de tal naturaleza requiere de modificaciones a la legislación y los reglamentos vigentes para los incentivos forestales, por lo tanto, su implementación está sujeta a mayores estudios.

Aunque no se pudo desarrollar el análisis del incentivo para el manejo de bosque natural con fines de producción, se logró determinar que el programa reconoce a beneficiarios propietarios de tierras que oscilan entre 0.5 y 165.23 hectáreas por unidad productiva, lo cual refleja una disparidad en cuanto al otorgamiento del incentivo. Esto deberá ser sujeto a evaluación por parte de los ejecutores del Probosque.

Referencias

- Banco Central de Costa Rica. (2016). *Cuentas bosque*. https://www.bccr.fi.cr/indicadores-economicos/DocCuentaBosque/Cuenta_bosque_2011_2013.pdf
- Banco de Guatemala. (s. f.a). *Cuentas nacionales anuales. Resumen de los principales resultados del producto interno bruto por los tres enfoques. Año de referencia 2013*. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fbanguat.gob.gt%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fbanguat%2Fcuentalnac%2FPIB2013%2F1_Cuadros_de_resumen_de_principales_indicadores_.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK
- Banco de Guatemala. (s. f.b). *Pesos por actividad para ambientales 2013-2020*.
- Banco de Guatemala e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar. (2009). *Cuenta integrada del bosque (CIB). Bases teóricas, conceptuales y metodológicas*. Universidad Rafael Landívar.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2022). *Estadísticas del Departamento Forestal*.
- Coll, F. (24 de noviembre de 2022). Input (economía). *Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/input-economia.html>
- Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2012). *Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala. Año 2010. Memoria técnica y descripción de resultados*.
- Gobierno de Costa Rica. (2020). *Resolución N° R-055-2020*. Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Departamento de Gestión de Servicios Ambientales. <https://onfcr.org/wp-content/uploads/R-055-2020-MINAE.-PSA-2020.pdf>
- Gobierno de Guatemala y Congreso de la República de Guatemala. (1996). *Ley Forestal, Decreto 101-96*.
- Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra. (2012). *Mapa de cambios de uso de la tierra, 2001-2010*.
- Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra. (2014). *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012. Mapa de cambios en uso de la tierra 2001-2010 para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero*. [Documento informativo]. [1.CEAB_2014_mapa-bosque-usos-tierra2001-2010.pdf](https://ceab.gub.gt/CEAB_2014_mapa-bosque-usos-tierra2001-2010.pdf)

- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar, Instituto Nacional de Bosques y Consejo Nacional de Estándares de Manejo Forestal Sostenible para Guatemala. (2015). *Diagnóstico y análisis sobre la ilegalidad en el aprovechamiento y comercialización de productos forestales en Guatemala*.
- Instituto Nacional de Bosques. (2012). *Crecimiento y productividad de plantaciones forestales de pino candelillo*.
- Instituto Nacional de Bosques. (2015). *Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies en plantaciones forestales de Guatemala*.
- Instituto Nacional de Bosques. (2019). *Paquete tecnológico forestal para pino candelillo (Pinus maximinoi H. E. Moore) versión 1.0*. Departamento de Investigación Forestal.
- Instituto Nacional de Bosques. (2022). *Base de datos de aprovechamientos forestales bajo licencias y exentos*. Departamento de Manejo Forestal.
- Instituto Nacional de Bosques. (2023). *Resolución de Junta Directiva JD.33.2023*.
- Instituto Nacional de Bosques y Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2023). *Estudio de la cobertura forestal para el año 2020 y dinámica de la cobertura forestal en el periodo 2016-2020, República de Guatemala*.
- Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Estándares de Manejo Forestal Sostenible para Guatemala, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Diagnóstico y análisis sobre la ilegalidad en el aprovechamiento y comercialización de productos forestales en Guatemala*.
- Instituto Nacional de Conservación Forestal. (2021). *Unidad de Estadística Forestal*. Gobierno de la República de Honduras. <https://icf.gob.hn/unidad-de-estadistica-forestal/>
- Instituto Nacional de Estadística. (2014). *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2014*.
- Martínez Zurimendi, P., Domínguez Domínguez, M., Juárez García, A., López López, L., De la Cruz Arias, V. y Álvarez Martínez, J. (2015). Índice de sitio y producción maderable en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 415-425. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000400010&lng=es&tlng=es.

- Mengist, W., Soromessa, T. y Feyisa, G. (2020). A global view of regulatory ecosystem services: existed knowledge, trends, and research gaps. *Ecological Processes*, (9), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00241-w>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2021). *Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra, 2020*. https://apps.maga.gob.gt/sieagro/Normativas? sortOrder=Descripcion_esc&categoriald=38 &clasificacio nld=6&tipold=1
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Instituto Nacional de Bosques y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2022). *NREF. Nivel de referencia de emisiones/absorciones forestales. niveles_referencia_emisiones_forestales_guatemala_070222.pdf*
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Balance energético 2014*. https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/BALANCE_ENERGETICO_2014.pdf
- Moctezuma López, G. (2022). El producto interno bruto (PIB) forestal y su comportamiento en el periodo 2001-2018: tres sexenios anteriores. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 50, 111-125. https://www.redalyc.org/journal/141/1_4173239001/14173239001.pdf
- Muñoz, J. (2021). *La contabilidad del capital natural como una herramienta para medir el aporte de los recursos naturales a la economía: experiencia desde el desarrollo de la primera cuenta de bosques del Perú* [tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/50f85b81-f0a3-433f-8ac0-c25deace1c3a/content>
- Rennert, K., Erickson, F., Prest, B. C., Rennels, L., Newell, R. G., Pizer, W., Kingdon, C., Wingenroth, J., Cooke, R., Parthum, B., Smith, D., Cromar, K., Diaz, D., Moore, F. C., Müller, U. K., Plevin, R. J., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Sheets, H., Stock, J. H., Tan, T., Watson, M., Wong, T. E. y Anthoff, D. (2022). La evidencia exhaustiva implica un mayor coste social del CO2. *Nature*, 610, 687-692. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9>
- República de Guatemala e International Bank of Reconstruction and Development. (2021). *Carbon Fund of the Forest Carbon Partnership Facility Emission Reductions Payment Agreement*. Guatemala Emissions Reduction Program. https://inab.gob.gt/images/pre/documentos/seccion1-descripcion-del-programa/Acuerdos%20de%20Pago%20por%20Reduccion%20de%20Emisiones%20fcpf_erpa_tranche_a-b_-_guatemala.pdf
- Sarmiento, M., Cardona, G., Sánchez, R. y García, J. (2018). *Cátedra de economía y administración forestal: elementos de economía* [apuntes de clase].

- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (s. f.). *Servicios de los ecosistemas*. <https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheet-ecoserv-es.pdf>
- Sistema de Información Forestal de Guatemala. (2023a). *Manejo forestal*. <https://www.sifgua.org.gt/SIFGUADData/PaginasEstadisticas/Recursos-forestales/manejo-forestal.aspx>
- Sistema de Información Forestal de Guatemala. (2023b). *Probosque*. <https://www.sifgua.org.gt/SIFGUADData/PaginasEstadisticas/Recursos-forestales/probosque.aspx>
- Sistema de Información Forestal de Guatemala. (2024). *Cuadros generales de comercio exterior*. <https://www.sifgua.org.gt/SIFGUADData/PaginasEstadisticas/Comercio-exterior/importaciones.aspx>
- Superintendencia de Bancos. (2026). *Tasa promedio ponderada por actividad económica*. [Consulta dinámica realizada el 28 de agosto de 2026]. <https://www.sib.gob.gt/ConsultaDinamica/?cons=491>
- Zamora Cristales, R., Liere, M. A. y Sales Hernández, E. A. (2020). Priorización y optimización económica de los incentivos públicos para la restauración de bosques riparios. *Revista Latinoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático Yu' Am*, 4(2): 23-43. https://www.revistayuam.com/wp-content/uploads/2021/04/Yuam_priorizacion.pdf
- Zamora Cristales, R. Gonzalez, M., Rachmaninoff, V., Anderson, W. y Franco Chuaire, M. (9 de febrero de 2022). *Por qué los gobiernos latinoamericanos le pagan a los agricultores por plantar árboles y proteger a los bosques*. World Resources Institute. <https://es.wri.org/insights/por-que-los-gobiernos-latinoamericanos-le-pagan-los-agricultores-por-plantar-arboles-y>

Declaración de uso de IA

César Sandoval declara que utilizó la herramienta de traducción automática Google Translate para la versión en inglés del resumen (*abstract*). El texto procesado fue revisado y validado íntegramente por él, sin alterar el contenido científico. Siguiendo los estándares del Comité de Ética en la Publicación (COPE, por sus siglas en inglés), el autor asume plena responsabilidad por la integridad y veracidad de la investigación, eximiendo a la revista de cualquier responsabilidad derivada del uso de dicha herramienta.

Declaración editorial

El equipo editorial de la *Revista Académica de Ciencia y Tecnología Clavius* utilizó Gemini en algunos fragmentos del texto aceptado, únicamente para ajustes gramaticales y de estilo, bajo supervisión humana directa y sin modificar el contenido científico. De acuerdo con las directrices del COPE, se garantizó en todo momento la estricta confidencialidad del manuscrito.