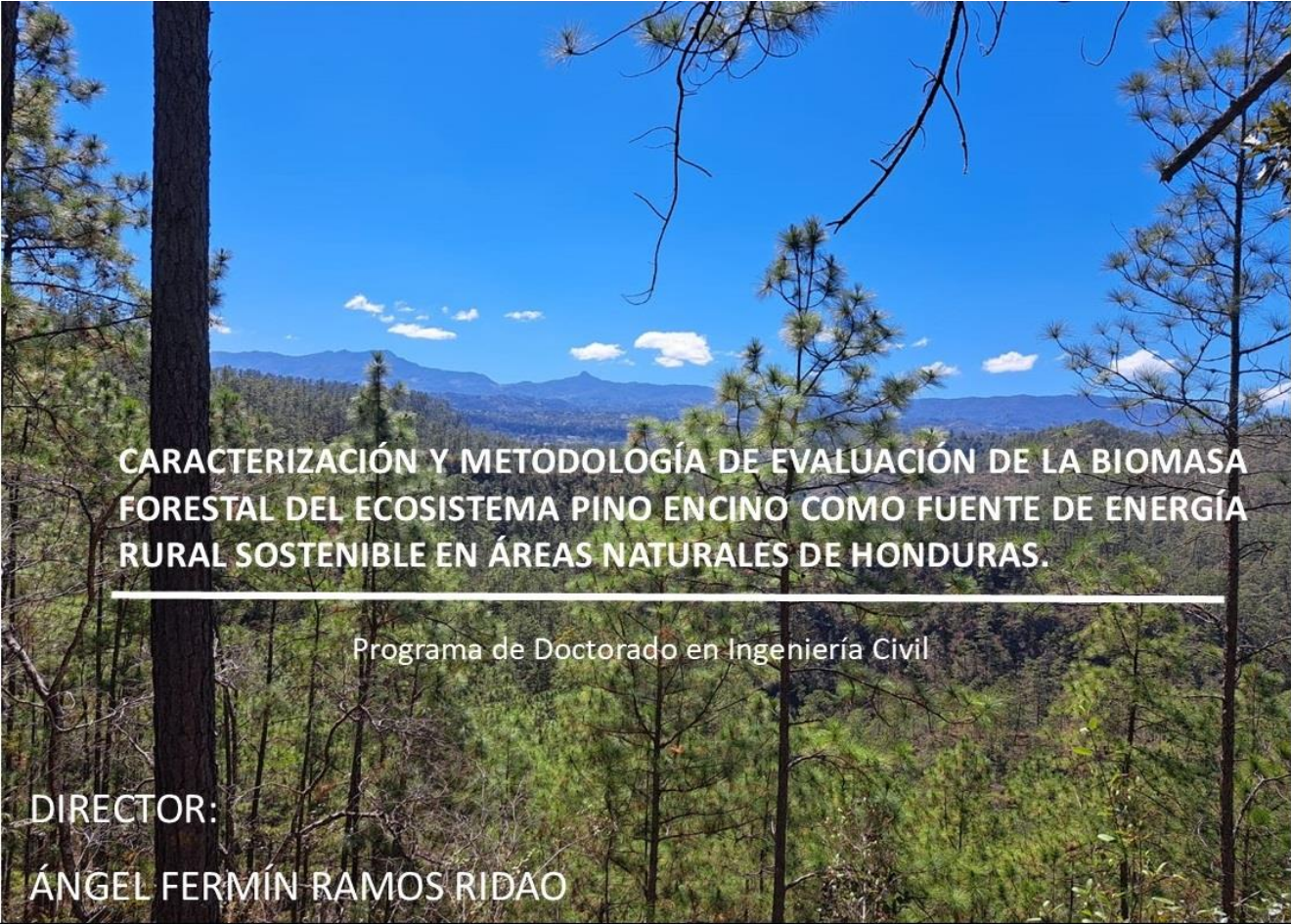


Tesis doctoral

UNIVERSIDAD DE GRANADA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



CARACTERIZACIÓN Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL DEL ECOSISTEMA PINO ENCINO COMO FUENTE DE ENERGÍA RURAL SOSTENIBLE EN ÁREAS NATURALES DE HONDURAS.

Programa de Doctorado en Ingeniería Civil

DIRECTOR:

ÁNGEL FERMÍN RAMOS RIDAO

D. MENELIO BARDALES DOMINGUEZ



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

GRANADA, 2024



UNIVERSIDAD DE GRANADA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

**CARACTERIZACIÓN Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA BIOMASA
FORESTAL DEL ECOSISTEMA PINO-ENCINO COMO FUENTE DE ENERGÍA
RURAL SOSTENIBLE EN ÁREAS NATURALES DE HONDURAS.**

**CHARACTERIZATION AND METHODOLOGY OF EVALUATION OF THE
FOREST BIOMASS OF THE PINE-OAK ECOSYSTEM AS A SOURCE OF
SUSTAINABLE RURAL ENERGY IN NATURAL AREAS OF HONDURAS.**

MENELIO BARDALES DOMÍNGUEZ

TESIS DOCTORAL

Para la obtención del

GRADO DE DOCTOR POR LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

Directores:

ÁNGEL FERMÍN RAMOS RIDAO

GRANADA, 2024

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Menelio Bardales Domínguez
ISBN: 978-84-1195-420-4
URI: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/94721>

RESUMEN

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global han continuado aumentando en la última década. Sin embargo, existen opciones para reducir este impacto en los ecosistemas, los estudios actuales consideran a la biomasa forestal como un importante recurso económico para la bioeconomía. El alto consumo de leña exige la búsqueda de alternativas que reduzcan sus efectos negativos en la salud, la economía y el medio ambiente. En el caso específico de Honduras, el 35% de la población vive en la pobreza, y muchas de estas personas son comunidades indígenas y tribales. En estas localidades el uso excesivo de leña y los incendios forestales son un fenómeno cíclico recurrente. En las zonas urbanas y periurbanas, el 29 % de los hogares utiliza leña, mientras que en las zonas rurales la leña sigue predominando en el 88 % de los hogares. En ese sentido, la presente investigación se enfoca en caracterizar y evaluar el potencial de la biomasa forestal del ecosistema pino-encino como fuente de energía rural sostenible con un enfoque en las áreas naturales de Honduras mediante: a) Creación de una herramienta para la evaluación de la biomasa forestal como fuente de energía rural sostenible en áreas naturales de Honduras; b) la caracterización de al menos 5 fuentes de combustibles de biomasa forestal en el ecosistema Pino-encino ubicado en la región central de Honduras; y c) la evaluación de los parámetros energéticos de los combustibles con potencial de generar bioenergía en la región central de Honduras. Para la evaluación de la biomasa forestal como fuente de energía rural sostenible en áreas naturales de Honduras se usó la metodología de evaluación de la integridad ecológica. Por otro lado, para la caracterización de las fuentes de combustibles de biomasa forestal en el ecosistema Pino-encino ubicado en la región central de Honduras se utilizó un Índice de Valor de Importancia (IVI) recopilando información de campo a través de diversas herramientas como imágenes satelitales, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), entrevistas, encuestas entre otros; y finalmente la evaluación de los parámetros energéticos de los combustibles con potencial de generar bioenergía las muestras recolectadas fueron evaluadas en el laboratorio, donde se determinó el contenido de humedad, el Poder Calorífico (HHV por sus siglas en inglés) y porcentaje de cenizas. Los resultados obtenidos mediante la metodología de la Evaluación de la Integridad Ecológica se encontraron los siguientes resultados.

Área de parche (ÁREA) fue de 2 ha; el Índice de dimensión fractal (FRAC) fue de 1.06 utilizando un Índice de Proximidad de 100 m. En el caso práctico de Honduras se encontró que los resultados de los indicadores se clasifican como “Pobres. En cuanto a la caracterización de las fuentes de combustibles a partir de biomasa forestal se encontró que todas las especies estudiadas tales como *Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*, *Quercus sapotaefolia*, *Byrsonima crassifolia (L.) Kunth*, *Perymenium Nicaragüense S.F. Blake*, *Psidium Guajava L.* que todas las especies se encuentran dentro de los estándares establecidos por las normas internacionales. Respecto a la caracterización energética de las especies los resultados indican que; el Contenido de Humedad de alrededor del 25% lo cual es ideal para quema eficiente. Así mismo, se obtuvo un promedio de 4287 kcal/kg por lo que todas las especies presentan excelentes resultados; y con respecto al Contenido de Cenizas los resultados en promedio fueron de 2.58% lo cual representa también un buen indicador de la calidad de las especies como fuente de energía. Estos resultados ratifican que las actividades antropogénicas, como el manejo forestal no sostenible, están causando el deterioro del ecosistema objeto de estudio. Sin embargo, los resultados también muestran que actualmente se subestima la importancia de las materias primas como la biomasa forestal en el ecosistema de pino-encino, y estos materiales a menudo no se utilizan de manera sostenible como resultado de la mala gestión forestal, la falta de investigación y la ausencia de una adecuada tecnología, especialmente la tecnología relacionada con la bioenergía. Las prácticas de Restauración y Manejo Forestal Sostenible parecen ofrecer los medios más confiables para conservar la Integridad Ecológica del ecosistema. El aprovechamiento de los recursos forestales para la producción de energía constituye una de las principales fuentes de energía ya que tanto las actividades agrícolas como forestales, son grandes productoras de biomasa, la cual es utilizada como combustible en procesos industriales y domésticos, mientras que otra parte es considerada como residuo, el cual no es aprovechado. Por lo que se sugieren estudios posteriores para un mejor manejo forestal de las reservas naturales protegidas incorporando tecnologías apropiadas con la incorporación de las comunidades locales.

Palabras clave: Biomasa forestal, ecosistema, energía renovable, sostenibilidad, áreas naturales, Honduras.

ABSTRACT

Global greenhouse gas (GHG) emissions have continued to rise over the past decade. However, there are options to reduce this impact on ecosystems, current studies consider forest biomass as an important economic resource for the bioeconomy. The high consumption of fuelwood requires the search for alternatives that reduce its negative effects on health, the economy, and the environment. In the specific case of Honduras, 35% of the population lives in poverty, and many of these people are indigenous ethnic communities. In these locations, the excessive use of firewood and forest fires are a recurrent cyclical phenomenon. In urban and peri-urban areas, 29 % of households use firewood, while in rural areas firewood continues to predominate in 88 % of households. In this sense, the present research focuses on characterizing and evaluating the potential of the forest biomass of the pine-oak ecosystem as a source of sustainable rural energy with a focus on the natural areas of Honduras through: a) Creation of a tool for the evaluation of forest biomass as a source of sustainable rural energy in natural areas of Honduras; b) the characterization of at least 5 sources of forest biomass fuels in the pine-oak ecosystem located in the central region of Honduras; and (c) the evaluation of the energy parameters of fuels with the potential to generate bioenergy in the central region of Honduras. For the evaluation of forest biomass as a source of sustainable rural energy in natural areas of Honduras, the ecological integrity assessment methodology was used. On the other hand, for the characterization of forest biomass fuel sources in the Pine-Oak ecosystem located in the central region of Honduras, an Importance Value Index (IVI) was used, collecting field information through various tools such as satellite images, Global Positioning System (GPS), interviews, surveys, among others; and finally the evaluation of the energy parameters of fuels with the potential to generate bioenergy, the samples collected were evaluated in the laboratory, where the moisture content, the Calorific Value (HHV) and percentage of ash were determined. The results obtained through the methodology of the Ecological Integrity Assessment were found in the following results. Patch area (AREA) was 2 ha; Fractal Dimension Index (FRAC) was 1.06 using a Proximity Index of 100 m. In the case study of Honduras, it was found that the results of the indicators are classified as "Poor. Regarding the characterization of fuel sources from forest biomass. It was found that all the species studied, such as *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl, *Quercus sapotaefolia*, *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, *Perymenium Nicaraguense* S.F. Blake, *Psidium Guajava* L.

Regarding the energetic characterization of the species, the results indicate that; Moisture content of around 25% which is ideal for efficient burning. Likewise, an average of 4287 kcal/kg was obtained, so all species present excellent results; and with respect to the Ash Content, the average results were 2.58%, which also represents a good indicator of the quality of the species as a source of energy. These results confirm that anthropogenic activities, such as unsustainable forest management, are causing the deterioration of the ecosystem under study. However, the results also show that the importance of feedstocks such as forest biomass in the pine-oak ecosystem is currently underestimated, and these materials are often not used sustainably as a result of poor forest management, lack of research and the absence of adequate technology, especially technology related to bioenergy. Sustainable Forest Restoration and Management practices seem to offer the most reliable means of conserving the Ecological Integrity of the ecosystem. The use of forest resources for energy production is one of the main sources of energy since both agricultural and forestry activities are large producers of biomass, which is used as fuel in industrial and domestic processes, while another part is considered as waste, which is not used. Therefore, further studies are suggested for better forest management of protected nature reserves, incorporating appropriate technologies with the incorporation of local communities.

Keywords: Forest biomass, ecosystem, renewable energy, sustainability, natural areas, Honduras.

LISTA DE PUBLICACIONES

Bardales, M.; Bukowski, C.; Molina-Moreno, V.; Gálvez-Sánchez, F.J.; Ramos-Ridao, Á.F. A Tool for the Assessment of Forest Biomass as a Source of Rural Sustainable Energy in Natural Areas in Honduras. Sustainability **2022**, 14, 11114.

<https://doi.org/10.3390/su141811114>

TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	EL USO DE LAS ENERGÍAS CONVENCIONALES Y ENERGÍAS RENOVABLES Y SU RELACIÓN CON EL CALENTAMIENTO GLOBAL. CONTEXTO GLOBAL, CENTROAMERICANO Y EN PARTICULAR EN HONDURAS.	10
2.1.	Contexto Global de las energías convencionales	10
2.2.	Contexto Latinoamericano	13
2.3.	Contexto Centroamericano	14
2.4.	Contexto de las Energías Renovables en Honduras.	16
2.5.	Proyectos de energía renovables en Honduras	19
2.6.	Energías convencionales y calentamiento global.	22
III.	LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO ALTERNATIVA A LAS CONVENCIONALES.....	25
3.1.	Las Energías Renovables.....	25
3.2.	Las energías renovables como alternativa a nivel global	28
3.3.	Las energías renovables en Latinoamérica.....	30
3.4.	El uso de la biomasa forestal como fuente de energía renovable.	32
3.4.1.	La biomasa como fuente de energía renovable en el mundo.	32
3.4.2.	La biomasa forestal en Latinoamérica	40
3.4.3.	La biomasa forestal en Centroamérica.....	43
3.4.4.	Consumo de leña para subsistencia en Honduras	46
IV.	PROTECCIÓN DE LOS ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS CONTEXTO GLOBAL, CENTRO AMERICANO Y EN PARTICULAR EN HONDURAS.	48
4.1.	Contexto global de los bosques y espacios naturales protegidos.	48
4.2.	Los Bosques y espacios naturales protegidos en Centroamérica	49
4.3.	Estado de los bosques y espacios naturales protegidos en Honduras.....	50
4.4.	Degradación y sostenibilidad de los espacios naturales protegidos.	56
4.5.	Degradación y sostenibilidad en el mundo.....	56
4.6.	Degradación y sostenibilidad en Centroamérica	59
4.7.	Degradación y sostenibilidad en Honduras.	60
V.	HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS FORESTALES.....	62
5.1.	Manejo forestal sostenible	62
5.2.	Herramientas de evaluación.....	64
5.3.	Criterios e indicadores de manejo de áreas naturales protegidas.	66

5.4.	Participación y mejoramiento de las condiciones y calidad de vida de las comunidades.	70
VI.	OBJETIVOS DEL TRABAJO	73
6.1.	Objetivo principal	73
6.2.	Objetivos secundarios	73
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS	74
7.1.	Área de estudio	76
7.2.	Métodos para la caracterización de las especies seleccionadas	79
7.3.	Parámetros energéticos de las especies seleccionadas	84
7.4.	Contenido de Humedad	85
7.5.	Poder calorífico	86
7.6.	Determinación del contenido de cenizas.	88
VIII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	89
8.1.	Metodología para la evaluación de la biomasa forestal como fuente rural de energía renovable en áreas protegidas.	89
8.2.	Metodología	89
8.3.	Procesamiento de imágenes satelitales	90
8.4.	Evaluación de la Integridad Ecológica.	91
8.5.	Área de parche (ÁREA)	94
8.6.	Índice de dimensión fractal (FRAC)	95
8.7.	Índice de proximidad (PROX)	99
8.8.	Caso práctico en Honduras.	104
8.9.	Selección y gestión de especies forestales como fuentes de biomasa renovable....	110
8.9.1	Selección y caracterización de las especies.	110
8.9.2	Especies dominantes.	112
8.9.3	Especies codominantes	116
8.10.	Parámetros energéticos de las especies seleccionadas	121
8.10.1.	Determinación del contenido de humedad	121
8.10.2.	Determinación del Poder calorífico	122
8.10.3.	Determinación del contenido de cenizas	124
8.11.	Sostenibilidad en el manejo forestal de las especies seleccionas.	125
IX.	CONCLUSIONES	130
X.	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	133
XI.	ANEXOS	134

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: capacidad instalada de energía renovable en Honduras	18
Tabla 2: Proyectos de energía renovable en proceso de implementación.	21
Tabla 3: Tipos de materia prima de biomasa disponible para fines energéticos	36
Tabla 4: Categorías y Cobertura de Áreas Protegidas de Honduras.Fuente: ICF, 2021	55
Tabla 5: Criterios e indicadores de manejo	70
Tabla 6: Calificación de cada indicador y valor asignado.....	93
Tabla 7: Calificación de cada elemento de conservación.....	94
Tabla 8: Objetos de conservación seleccionados.	104
Tabla 9: Resumen de los datos procesados del objeto de conservación “Bosque”	105
Tabla 10: Evaluación de objetos de conservación y sus atributos ecológicos.	107
Tabla 11: Especies seleccionadas por su valor de importancia.....	111
Tabla 12: Parámetros energéticos de las especies.	119
Tabla 13: Comparación de parámetros energéticos de las especies.	121
Tabla 14: Resumen de las características de las especies	130

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tasa de calentamiento actual	2
Figura 2: Objetivos principales del Convenio sobre Diversidad Biológica	7
Figura 3: Meta Estratégica E implementación a través de la planificación participativa.....	8
Figura 4: Crecimiento anual (%) del consumo de energía de diferentes fuentes.	11
Figura 5: Emisiones GEI totales en América Latina y el Caribe	12
Figura 6: Emisiones de CO2 en toneladas métricas per cápita.	12
Figura 7: Proporciones de la población sin acceso a electricidad en Latinoamérica	13
Figura 8: Participación en la expansión anual de energía renovable en Centroamérica	15
Figura 9: Proceso del marco regulatorio	17
Figura 10: Capacidad instalada histórica en Honduras	19
Figura 11: Ubicación de proyectos de energía renovable	20
Figura 12: Temperatura media global en superficie.....	24
Figura 13: Capacidad de generación de energía renovable a nivel mundial	29
Figura 14: Adiciones de capacidad en América Latina por país, 2019-2026.....	31
Figura 15: Previsión del uso de energía biomásica en el mundo	34
Figura 16: Estructura vertical del ecosistema forestal.....	38
Figura 17: Cobertura boscosa de América Latina y el Caribe al 2020.....	41
Figura 18: Cobertura boscosa del territorio, superficie total de bosques	42
Figura 19: (a) Producción potencial de residuos de tala (LR) y procesamiento (PR). (b) Energía contenida en los residuos de tala (LR) y procesamiento (PR).....	43
Figura 20: Consumo de leña en Honduras	46
Figura 21: Porcentaje de área boscosa en países de Centroamérica.....	49
Figura 22: Mapa de la República de Honduras	51
Figura 23: Distribución porcentual del bosque en áreas protegidas.....	53
Figura 24: Mapa de Áreas Protegidas de La Republica de Honduras	54
Figura 25: Mapa Comparativo de incendios reportados versus puntos de calor.	61
Figura 26: Ilustración del Manejo Forestal Sostenible.....	63
Figura 27: Imagen de Tecnología LIDAR	66
Figura 28: Mapa de ubicación del Ecosistema Pino – Encino en Honduras	77
Figura 29: Bosque de Pino-Encino afectado por Dendroctonus spp.	77
Figura 30: Ubicación del área de estudio.	78
Figura 31: Mapa de cobertura forestal en 2023).	80
Figura 32: Parcelas con cobertura forestal (en color verde).....	81
Figura 33: Centros de parcela para el estudio florístico	83
Figura 34: Comunidades aledañas al sujeto de estudio.....	84
Figura 35: Preparación de muestras para análisis de parámetros energéticos.....	87
Figura 36: Efecto de la Fragmentación de los Bosques	95
Figura 37: Índice de Proximidad	102
Figura 38: Métricas de paisaje	108
Figura 39: Especies con un mayor Índice de Valor de Importancia.....	111
Figura 40: Tabla de rendimiento en volumen por hectárea.....	112
Figura 41: Distribución de la biomasa en los componentes aéreos de Pinus oocarpa.....	114
Figura 42: Corte transversal de una bellota de Quercus.....	115
Figura 43: Especies con un menor Índice de Valor de Importancia.....	117
Figura 44: Contenido de Humedad de Las Especies	122
Figura 45: Poder Calorífico de las especies (Kcal / kg)	124
Figura 46: Contenido de cenizas de las especies.....	125
Figura 47: Valor de Importancia de las Especies	127

I. .INTRODUCCIÓN

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) han continuado aumentando en la última década. Se necesitarán reducciones de emisiones sustanciales para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París. No obstante, existen alternativas factibles para lograr estas reducciones de emisiones que, además, contribuyen al desarrollo sostenible y a la adaptación al cambio climático. Las actividades humanas, principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero, han causado inequívocamente calentamiento global, con una temperatura superficial global que alcance 1,1 °C por encima de 1850-1900 en 2011-2020. Las emisiones globales de gases de efecto invernadero han seguido aumentando entre 2010 y 2019, con cifras históricas desiguales y las contribuciones continuas derivadas del uso de energía no sostenible, el uso de la tierra y el cambio de uso de la tierra, estilos de vida y patrones de consumo y producción en todas las regiones, entre y dentro de los países, y entre individuos. El cambio climático causado por el hombre ya está afectando a muchos extremos meteorológicos y climáticos en todas las regiones del mundo. Esto ha llevado a efectos adversos generalizados impactos en la seguridad alimentaria y del agua, la salud humana y en las economías y la sociedad y las pérdidas relacionadas y daños a la naturaleza y a las personas.

Comunidades vulnerables que históricamente han contribuido menos al cambio climático actual se ven afectados de manera desproporcionada ([IPCC, 2022](#)). Como se puede observar en la figura 1, la tasa de calentamiento actual presenta una curva ascendente ocasionado por actividades antropogénicas. El sexto informe del IPCC al igual que el de La Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) junto con el Programa de Las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), señalan que la deforestación y la degradación de los bosques continúan ocurriendo a tasas alarmantes, y esto está contribuyendo significativamente a la situación actual de pérdida de biodiversidad. Así mismo, el Informe de Planeta Protegido [Juffe-Bignoli, et al, \(2014\)](#), asegura que el 15.4% de las áreas terrestres y de aguas continentales del mundo están cubiertas por áreas protegidas.

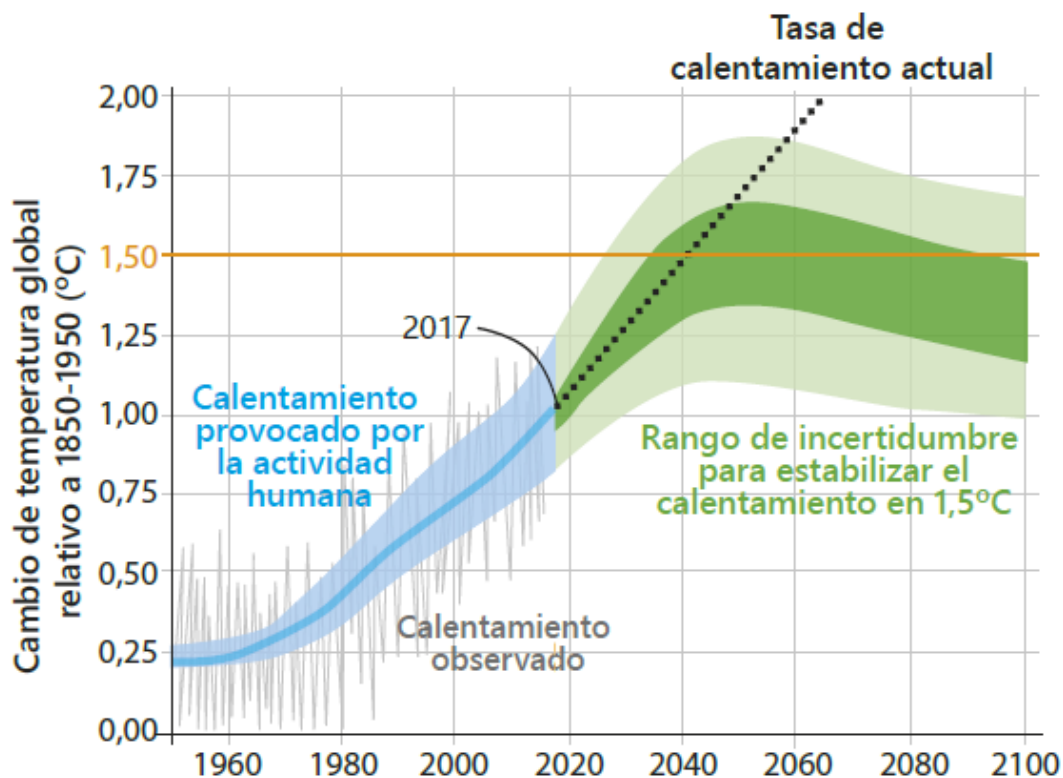


Figura 1. Tasa de calentamiento actual

Fuente IPCC, 2023.

América Central y América del Sur son las dos regiones con mayor porcentaje de áreas protegidas terrestres y de aguas continentales (28,2% y 25%, respectivamente). En estas dos regiones, la mayoría de los países tienen más de una cuarta parte, e incluso hasta la mitad, de su superficie total bajo protección. Se estima que, a nivel mundial, 880 millones de personas dedican parte de su tiempo a recolectar leña o producir carbón, la mayoría de los cuales son mujeres y niños. Las comunidades locales tienden a ser pequeñas en algunas áreas de países de bajos ingresos donde las áreas forestales y la biodiversidad son altas, y también tienen altas tasas de pobreza (FAO, 2020). Según la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2010), la relación entre energía y pobreza ha sido claramente identificada como un aspecto crítico que necesita ser considerado si se quiere lograr un desarrollo sostenible en los países en desarrollo. La región mesoamericana posee el 12% de la riqueza biológica del mundo en apenas el 2% del territorio del planeta.

En estas dos regiones, existe un enorme potencial para el aprovechamiento energético especialmente de la biomasa forestal; no obstante, evaluar la magnitud y la disponibilidad de los recursos biomásicos para uso energético es una tarea compleja debido a su amplia y dispersa distribución en el espacio geográfico, la producción estacional y sus diferentes características fisicoquímicas. Para lograrlo, es conveniente desarrollar sistemas de información capaces de evaluar la disponibilidad de estos recursos, su localización geográfica, su régimen de propiedad y sus limitaciones para uso energético (por accesibilidad, competencia por otros usos, condiciones legales o económicas).

Sin embargo, la degradación y pérdida de los bosques es uno de esos factores que contribuyen a perturbar el equilibrio de la naturaleza y a aumentar el riesgo y la exposición de las personas a las enfermedades zoonóticas. Nunca ha sido tan importante comprender el estado de los bosques del mundo y mantener su seguimiento.

El año 2020 marca el final del Decenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica y de la aplicación del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020. Todos los países están uniendo sus esfuerzos a fin de analizar el avance hacia los cinco objetivos estratégicos del Plan y las 20 Metas de Aichi para la Biodiversidad con objeto de conformar el marco de la biodiversidad mundial posterior a 2020. Este marco debe sustentarse en datos: datos de la situación actual de la biodiversidad mundial y las tendencias recientes; datos de los vínculos entre la biodiversidad y el desarrollo sostenible, y datos de las medidas satisfactorias adoptadas para conservar y utilizar de forma sostenible los numerosos productos y servicios que ofrece la biodiversidad mundial en apoyo de la seguridad alimentaria y el bienestar humano (PNUMA, 2020). La inmensa mayoría de la biodiversidad terrestre se encuentra en los bosques del mundo, desde los bosques boreales del extremo norte hasta las pluviselvas tropicales. En conjunto, contienen más de 60,000 especies arbóreas diferentes y proporcionan hábitats para el 80% de las especies de anfibios, el 75% de las especies de aves y el 68% de las especies de mamíferos. Alrededor del 60% de todas las plantas vasculares se encuentran en los bosques tropicales (FAO, 2020).

Los manglares ofrecen lugares de reproducción y de cría para numerosas especies de peces y crustáceos y contribuyen a retener los sedimentos que de otro modo afectarían negativamente a los fondos de algas y los arrecifes de coral, que son hábitats para la vida en el mar. Por consiguiente, la conservación de la mayor parte de la biodiversidad del mundo depende enormemente de la forma en que interactuamos con los bosques del mundo y los utilizamos. La FAO, ha examinado las contribuciones de los bosques, y de las personas que los utilizan y gestionan, así como a la conservación y la utilización sostenible de la biodiversidad.

También ha evaluado los progresos realizados hasta la fecha en cuanto al logro de metas y objetivos mundiales correspondientes a la biodiversidad forestal exponiendo de esa manera la efectividad de las políticas, medidas y enfoques para la conservación y el desarrollo sostenible, explicadas mediante una serie de estudios de casos de tecnologías innovadoras y soluciones ventajosas para todos ([FAO, 2020](#)). Esto aplica tanto en países en desarrollo como desarrollados, y en todas las zonas climáticas, las comunidades que habitan en los bosques son las que dependen más directamente de la biodiversidad forestal para sus vidas y medios de subsistencia, al destinar productos obtenidos de los recursos forestales a alimento, forraje, abrigo, energía, medicinas y generación de ingresos. Otras poblaciones rurales, que en su mayoría viven en territorios que combinan praderas, tierras agrícolas y cubierta arbórea, participan frecuentemente en las cadenas de valor de la biodiversidad forestal, por ejemplo, recolectando productos madereros y no madereros de bosques cercanos para uso personal o para su venta, o tomando parte en las industrias o la adición de valor de los productos forestales ([PNUMA, 2020](#)). La madera y los productos forestales no madereros (PFNM) proporcionan en torno al 20% de los ingresos de los hogares rurales en países en desarrollo que tienen un acceso entre moderado y bueno a los recursos forestales teniendo en cuenta el empleo directo, indirecto e inducido, el sector forestal formal da empleo a aproximadamente 45 millones de personas a nivel mundial y proporciona ingresos laborales a las comunidades locales ([FAO, 2020](#)). Sin embargo, los bosques se encuentran sujetos a numerosas perturbaciones naturales (por ejemplo, incendios forestales, plagas, enfermedades, fenómenos meteorológicos adversos) que pueden afectar negativamente la salud humana y la vitalidad al causar la mortalidad de los árboles o reducir su capacidad de proporcionar toda la variedad de bienes y servicios.

Los efectos a nivel nacional y local o para especies forestales concretas pueden ser devastadores (PNUMA, 2020). Por ello, se reconoce en general, que el desarrollo de metodologías capaces de estimar las existencias de recursos y el potencial de producción de bioenergía es prioritario para promover el aprovechamiento sostenible, especialmente de la biomasa forestal (Tauro, Caballero, Salinas, Ghilardi, & Arroyo, 2021).

El aprovechamiento sostenible debe orientarse a lograr el máximo rendimiento del bosque en madera para el aserrío y bienes complementarios tales como agua, vida silvestre, entre otros. En este proceso se espera lograr la regeneración y recuperación de cada área tratada, en el menor tiempo posible, minimizando los impactos ambientales que pueda generar el aprovechamiento (ICF, 2011).

Previo a la utilización forestal sostenible se debe realizar un análisis técnico y detallado del área que se programa intervenir, evaluando las condiciones de: tipos de suelos, distribución de canales de drenaje de carácter temporal, distribución de pendientes, tipos de bosque, volumen de corta anual, uso actual del suelo, situación social y poblacional, áreas de protección de cuencas, vida silvestre y cursos de agua permanente. Con base a esta evaluación y el conocimiento pormenorizado de las condiciones encontradas en el bosque se debe elaborar una prescripción técnica basada en criterios científicos de manejo de los recursos forestales, de manera tal que se logre el rendimiento sostenido del bosque actual, en función de los parámetros de volumen, área a intervenir por año y las características socio ambientales de la zona.

La prescripción técnica permitirá orientar con lineamientos claros, los planes de acción y la intensidad de actividades que deberán ser consideradas en la preparación y ejecución de cada plan operativo anual (ICF, 2011). Por otro lado, es importante asegurar la conservación de los ecosistemas.

Tradicionalmente, la creación de áreas protegidas ha sido el instrumento de gobernanza forestal más utilizado para lograr los objetivos de biodiversidad. Muchas áreas forestales protegidas se gestionan para compatibilizar los medios de vida locales con la conservación de la biodiversidad.

La creación de áreas protegidas ha dado resultados positivos en cuanto al establecimiento de barreras al avance de la deforestación y a la conservación de las especies, aunque los datos relativos a las especies más raras no son conclusivos. Sin embargo, desde una perspectiva biofísica, los datos han puesto de manifiesto que las reservas naturales no bastan por sí solas para conservar la biodiversidad. Por lo general, son demasiado pequeñas, lo que obstaculiza la migración de las especies, y son vulnerables a factores exógenos como el cambio climático. Asimismo, las áreas protegidas solo contienen una parte de la biodiversidad forestal existente. En consecuencia, es necesario ir más allá de las áreas protegidas e incorporar la conservación de la biodiversidad en las prácticas de ordenación forestal, incluidos los bosques productores, se reconoce mediante la inclusión de otras medidas de conservación eficaces basadas en áreas (esto es, áreas conservadas fuera de las áreas protegidas) y la mención de la utilización sostenible en los objetivos mundiales de conservación ([Watson, Dudley, & Segan, 2014](#)). En ese sentido es necesario un abordaje holístico que incorpore lineamientos globales y locales. A nivel global, en 1992, La Organización de Las Naciones Unidas adoptó El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) con la finalidad de promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible en todos los niveles: ecosistemas, especies y recursos genéticos.

Este tratado internacional tiene tres objetivos principales (Ver figura 2): la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos ([ONU, 1992](#)). En 2010, El órgano rector del CDB, La Conferencia de las Partes (COP), autoridad suprema de todos los Gobiernos (o Partes) en su decisión X / 2, la décima reunión de la Conferencia de las Partes celebrada del 18 al 29 de octubre de 2010 en Nagoya, Prefectura de Aichi, Japón, adoptaron un Plan Estratégico revisado y actualizado para la diversidad biológica, Objetivos de Biodiversidad, para el período 2011-2020 ([PNUMA, 2010](#)).

CONVENIO SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA

NACIONES UNIDAS 1992



Figura 2: Objetivos principales del Convenio sobre Diversidad Biológica

Fuente: Adaptado de Naciones Unidas, CDB, 1992

A nivel local, Honduras como miembro de la COP es responsable de la correcta implementación del Plan Estratégico para la Biodiversidad. Por lo tanto, será crucial atraer la atención y comprometer a las partes interesadas, facilitando así la incorporación de la biodiversidad en las agendas nacionales más amplias (PNUMA, 2010). En ese sentido, este estudio pretende abordar el mandato de la Decisión X / 2 Meta Estratégica E relacionada con la mejora de la implementación a través de la planificación participativa, la gestión del conocimiento y el fortalecimiento de capacidades locales enfocándose en el Ecosistema de Pino-Encino en Honduras. El estudio se centrará en los objetivos 18 y 19 que básicamente están orientados a trabajar en los "conocimientos tradicionales, innovaciones y prácticas de las comunidades indígenas y locales relevantes para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad y su uso habitual de los recursos biológicos, con sujeción a la legislación nacional y a las obligaciones internacionales pertinentes, y plenamente integrados y reflejados en la aplicación de la Convención con la participación plena y efectiva de las comunidades indígenas y locales en todos los niveles pertinentes" (PNUMA, 2010).

Además, el estudio pretende que "este conocimiento, la base científica y las tecnologías relacionadas con la biodiversidad, sus valores, funcionamiento, estado y tendencias, y las consecuencias de su pérdida, sean mejorados, ampliamente compartidos, transferidos y aplicados" (COP, 2010). En la figura 3 se muestran los objetivos del Plan Estratégico en mención.



Figura 3: Meta Estratégica E implementación a través de la planificación participativa.

Fuente: Adaptado de Plan Estratégico para La Diversidad Biológica, 2010

La entidad rectora de la Conservación y Manejo forestal sostenible de los bosques hondureños ha incorporado lineamientos para Implementación y Seguimiento de la Asignación de Áreas Forestales con Fines de Aplicación de la Forestería Comunitaria en los Bosques Públicos incorporando así a las comunidades locales. Estas normas tienen como objetivos generales: Incorporar a las comunidades que habitan en o alrededor de áreas nacionales de vocación forestal en las actividades de protección, manejo, forestación y aprovechamiento integral y sostenible del bosque; incluyendo la transformación, industrialización y comercialización de sus productos y lograr y perpetuar los máximos beneficios directos e indirectos que puedan derivarse para la población, de la flora, fauna, las aguas y los suelos existentes en las áreas forestales que se asignen mediante Contrato de manejo forestal a comunidades.

El Sistema Social Forestal Hondureño, tiene como función promover el desarrollo socioeconómico de las comunidades que viven dentro o aledañas a los bosques, incorporándolas al manejo forestal, el uso sostenible y diversificado del recurso, con la participación plena de la población en los beneficios que lo deriva. La Participación Comunitaria, como política de desarrollo del sector forestal demanda de la aplicación de enfoques participativos a todos los niveles, tales como la regularización de poblaciones asentadas en los bosques o cerca de ellos y de la Forestería Comunitaria con sus opciones productivas para asegurar los máximos beneficios directos a las comunidades locales. En este sentido, el área propuesta para el manejo comunitario debe incluir las previsiones necesarias para salvaguardar los usos tradicionales y demás beneficios que correspondan a las familias, comunidades u organizaciones agroforestales asentadas en áreas forestales públicas.

El alcance de la investigación está enfocado en obtener resultados para resolver problemas concretos identificando oportunidades de intervención tales como:

- a) Monitorear el contexto para identificar áreas problemáticas con potencial de mejora.
- b) Investigar y monitorear el desarrollo y la aplicación de la teoría y la práctica de sistemas que ofrezcan mejoras potenciales.
- c) En consulta con actores claves, identificar las áreas problemáticas que ofrecen oportunidades de intervención.

El problema a resolver o propósito del estudio consiste en caracterizar y evaluar el potencial de la biomasa forestal del ecosistema pino-encino como fuente de energía rural sostenible en áreas naturales de Honduras a través de la creación de una herramienta para la evaluación de la biomasa forestal como fuente de energía rural sostenible; así mismo se han caracterizado cinco (5) fuentes de combustibles de biomasa forestal en el ecosistema Pino-encino ubicado en la región central de Honduras para determinar los parámetros energéticos de los combustibles con potencial de generar bioenergía en la región central de Honduras.

II. EL USO DE LAS ENERGÍAS CONVENCIONALES Y ENERGÍAS RENOVABLES Y SU RELACIÓN CON EL CALENTAMIENTO GLOBAL. CONTEXTO GLOBAL, CENTROAMERICANO Y EN PARTICULAR EN HONDURAS.

A continuación, se describe el uso de energías convencionales y energías renovables y su relación con el Calentamiento global. Contexto global, centroamericano y en particular en Honduras.

2.1. Contexto Global de las energías convencionales

El calentamiento global está directamente relacionado con el consumo de combustibles fósiles y la correspondiente emisión de CO₂ a la atmósfera. Según estudios realizados por Gkosh y Swapan ([Swapan K & Bablu K, 2020](#)) sobre el consumo de energía, las emisiones de CO₂ y la temperatura atmosférica promedio de la Tierra durante el período 1970 a 2018 y la proyección de datos de consumo de energía durante 2018 a 2050; se ha encontrado que las actividades industriales humanas entre 1970 y 2018 han consumido 385 gigatonnes oil equivalent (Gtoe) de combustible fósil y emitido 1143 gigatonnes (Gt) de CO₂ a la atmósfera terrestre.

Como resultado, la temperatura atmosférica promedio de la Tierra ha aumentado 0,90 °C entre 1970 y 2018. Así mismo, se encontró que el consumo mundial total de combustibles fósiles proyectado durante 2018 a 2050 será de 378 Gtoe. Por lo que se estima que este consumo de combustible fósil de 378 Gtoe emite 1122 Gt de CO₂ a la atmósfera terrestre, lo que resulta en aproximadamente otro 1°C de aumento de la temperatura atmosférica media de la Tierra. Por lo tanto, el calentamiento global está avanzando más rápidamente, y la comunidad Internacional, los científicos y los ingenieros deben tomar medidas rápidas y apropiadas para salvar la Tierra de las consecuencias devastadoras causadas por estas emisiones (ver figura 4).

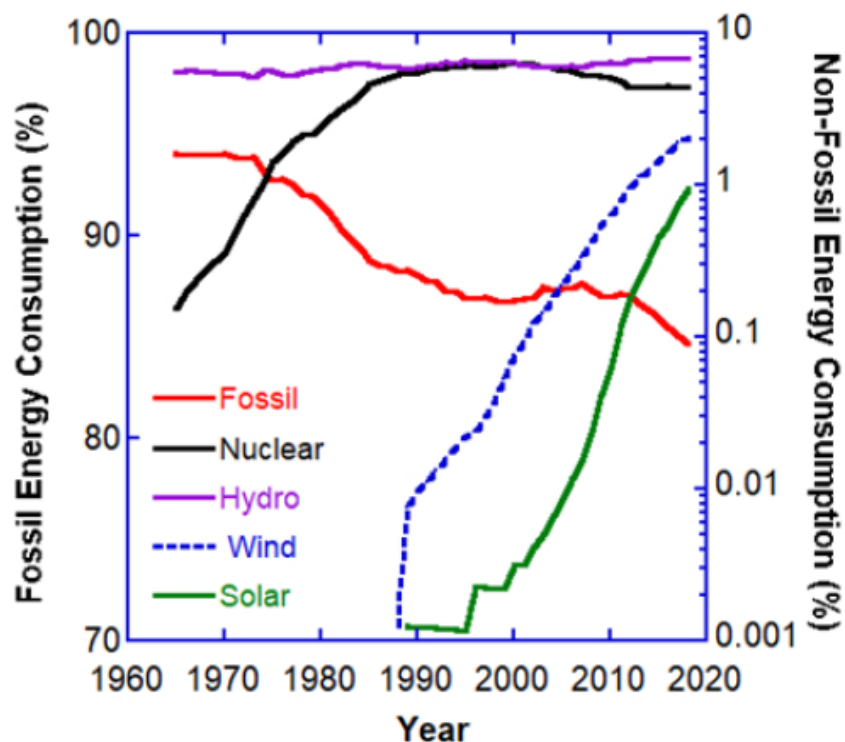


Figura 4: Crecimiento anual (%) del consumo de energía de diferentes fuentes.

Fuente: Ghosh, 2020

El cambio climático es consecuencia de una externalidad negativa global originada por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, sin un costo económico explícito en la gran mayoría de los países (ver figura 5). De acuerdo con información del World Resources Institute (WRI) los países de la región de América Latina y el Caribe contribuyeron en 2010 con 3.257 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂e), representando el 8% de las emisiones totales de GEI globales (WRI, 2015).

La Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en su informe “La transición del carbón”, reportó en 2017 que América Latina es la segunda región del mundo que más produce y consume carbón; esto tiene un enorme impacto en la atmósfera y el calentamiento global. Se trata de la segunda región del mundo con mayor producción y uso de carbón vegetal por persona, después de África, que genera 32 millones de toneladas (FAO, 2017).

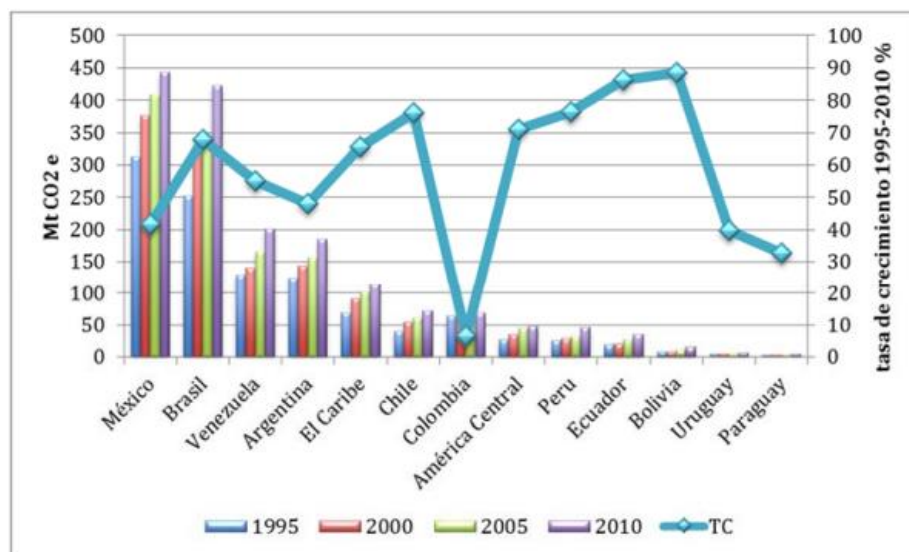


Figura 5: Emisiones GEI totales en América Latina y el Caribe

Fuente WRI, 2015

Según el Banco Mundial (ver figura 6), en 2019, esta región fue responsable de arrojar a la atmósfera 371 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono por el consumo de madera y el uso de carbón, lo que contribuye al calentamiento global ([Banco Mundial, 2019](#)).

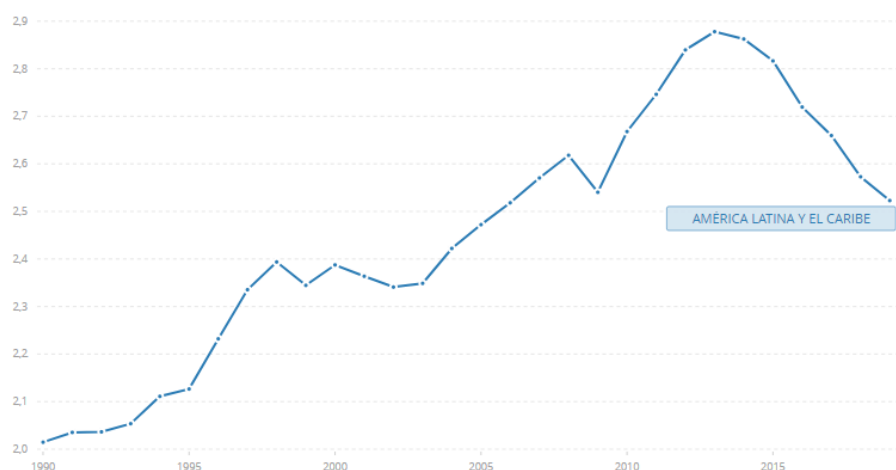


Figura 6: Emisiones de CO2 en toneladas métricas per cápita.

Fuente: Banco Mundial, 2019

2.2. Contexto Latinoamericano

La energía es central para abordar casi todos los desafíos y oportunidades importantes en la región, ya sea reduciendo la pobreza, produciendo y cocinando alimentos, impulsando empleo, mejorar la seguridad, utilizar servicios digitales o aumentar los ingresos. Sin embargo, el modelo energético actual con su uso intensivo de combustibles fósiles pone en peligro el medio ambiente equilibrio, ya que es uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 busca garantizar el acceso a servicios asequibles, seguros y energía sostenible y moderna. Para ello fija tres objetivos, el primero relativo a acceso a la energía, el segundo a las energías renovables y el tercero a la eficiencia energética. Sin embargo, a pesar de las importantes mejoras en las últimas décadas, ciertos grupos sociales y ciertas zonas aún carecen de acceso a la electricidad en la región. Según La Comisión Económica para América Latina (CEPAL) se ha observado mejoras sustanciales en el acceso a la electricidad desde el año 2000, con la proporción de hogares que tienen acceso a la electricidad aumentó del 87% en 2001 al 95,1% en 2019. El progreso ha sido particularmente significativo para los hogares en áreas rurales, donde la proporción con acceso aumentó en más de 20 puntos porcentuales (del 65,3% al 87,5%). Sin embargo, como muestra en la figura 7, a continuación, estas cifras tan positivas pueden esconder diferencias de acceso muy significativas entre subregiones, países y grupos sociales (CEPAL, 2022).

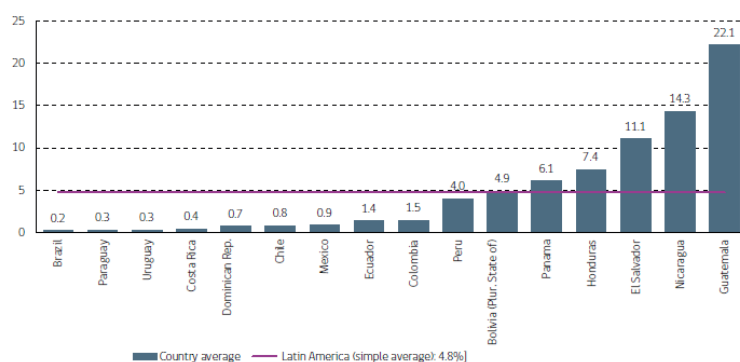


Figura 7: Proporciones de la población sin acceso a electricidad en Latinoamérica

Fuente: CELAC, 2020

2.3. Contexto Centroamericano

La región centroamericana comprende una superficie de 522.760 km² que incluye seis países: Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. En 2020 alcanzó un Producto Interno Bruto (PIB) agregado de USD 254,9 mil millones y su población llegó a 50,6 millones de habitantes para el mismo año. Actualmente, existen dos tipos de mercados de electricidad en Centroamérica: los mercados nacionales y el mercado regional. Este último es frecuentemente llamado MER (Mercado Eléctrico Regional). Al comparar el volumen total de transacciones internacionales contra el total de generación regional en el mismo año, el MER solo representa un mero 4.11% del total, altamente concentrado entre Guatemala y El Salvador. Existen varios cuellos de botella técnicos para una mayor utilización del MER; pero la barrera más importante es la imposibilidad de utilizarlo para contratos de mediano y largo plazo, dada la normativa vigente. Esto ha provocado la decisión de Guatemala de salir del MER para el 2031. En 2020, había 18.508 MW de capacidad de generación instalada en la región, mientras que la generación eléctrica alcanzó los 51.521 GWh. Panamá es el país con mayor capacidad instalada de generación (4.132 MW) de la región, de los cuales el 56,8% es renovable, seguido de Guatemala (4.110 MW instalados, 69,5% renovable). Costa Rica tiene la tercera mayor capacidad instalada (3.537 MW), pero muestra la mayor participación de energías renovables (86,6% de la capacidad total). Honduras tiene instalados 2.817 MW (65,4% renovables), seguido de El Salvador con 2.312 MW instalados (66,6% renovables), y finalmente Nicaragua con 1.600 MW instalados es decir 45,6% renovables. El mercado eléctrico nacional más grande es Costa Rica (11.534 GWh en 2020), seguido de Guatemala (11.122 GWh), Panamá (10.721 GWh), Honduras (9.000 GWh), El Salvador (5.811 GWh) y Nicaragua (3.333 GWh). ([CRIE, 2020](#))

La demanda máxima varía desde 689 MW en Nicaragua y hasta 1.969 MW en Panamá. La cobertura de la red eléctrica de la población va del 83,1% en Honduras al 99,4% en Costa Rica ([AESAs, 2021](#)). La figura 8 muestra la Participación en la expansión anual de energía renovable en Centroamérica.

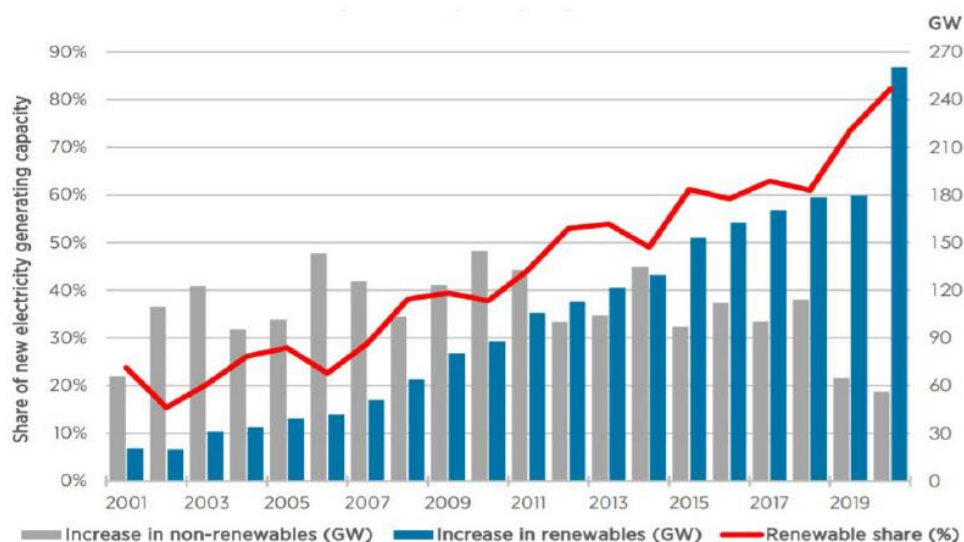


Figura 8: Participación en la expansión anual de energía renovable en Centroamérica

Fuente: Jeong, J. and H. Ko (2021)

Centroamérica tiene una de las proporciones más altas del mundo de energía renovable, debido a la abundancia de recursos naturales y al gran desarrollo histórico de la energía hidroeléctrica, que se destaca como características distintivas de la región. Sin embargo, desde 2014 no se han lanzado licitaciones importantes para la instalación de proyectos de ER en Centroamérica, solo se han licitado pequeños proyectos individuales en Honduras y El Salvador en los últimos años. Durante los últimos cinco años, el mercado energético en Centroamérica ha mostrado tendencias atípicas (CRIE, 2020).

Uno de los más significativos es el desacoplamiento entre el comportamiento del PIB y la demanda energética. Si bien la región ha experimentado un crecimiento moderado del PIB, la demanda de electricidad crece en menor medida. Durante la actual pandemia, la demanda del sector residencial experimentó un crecimiento mientras que el PIB resultó significativamente menor. Centroamérica tiene una de las proporciones más altas del mundo de energía renovable, debido a la abundancia de recursos naturales y al gran desarrollo histórico de la energía hidroeléctrica, que se destaca como características distintivas de la región.

Sin embargo, desde 2014 no se han lanzado licitaciones importantes para la instalación de proyectos de ER en Centroamérica, solo se han licitado pequeños proyectos individuales en Honduras y El Salvador en los últimos años ([SICA, 2018](#)).

Durante los últimos cinco años, el mercado energético en Centroamérica ha mostrado tendencias atípicas. Uno de los más significativos es el desacoplamiento entre el comportamiento del PIB y la demanda energética. Si bien la región ha experimentado un crecimiento moderado del PIB, la demanda de electricidad crece en menor medida. Durante la pandemia, la demanda del sector residencial experimentó un crecimiento mientras que el PIB resultó significativamente más bajo ([Banco Mundial, 2019](#)).

2.4. Contexto de las Energías Renovables en Honduras.

Honduras se ubica como una de las economías más pequeñas, pero ocupa el segundo lugar en número de habitantes en la región centroamericana. Honduras había registrado las segundas tasas de crecimiento económico más altas de América Central, solo detrás de Panamá.

El país tiene múltiples fortalezas con potencial para un crecimiento más rápido y una mayor prosperidad compartida debido a su ubicación estratégica, una base industrial en crecimiento, esfuerzos continuos para diversificar sus exportaciones y una población joven y en crecimiento. Desde 2014, la Ley General de la Industria Eléctrica indicó que la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) debe separar en tres segmentos, generación, transmisión y distribución; sin embargo, esto aún no ha sucedido, y la ENEE continúa acumulando pérdidas financieras constantemente. Estas pérdidas representan una tremenda carga para el país, financiadas con un endeudamiento que actualmente alcanza el 27% del PIB nacional. Se estima que las pérdidas técnicas y no técnicas de energía alcanzan el 30% de la generación anual, y que la ENEE acumula con frecuencia cuentas por pagar a generadores privados de hasta un año de antigüedad. Según [Bertam \(2022\)](#) “Dado que las pérdidas de la ENEE son soportadas directamente por el presupuesto del Estado, el punto de partida de la nueva administración debe enfocarse en hacerla funcional y rentable.

Sin embargo, su verdadero desafío es encontrar formas de reconstruir el sector en su conjunto. En la figura 9, se presenta el proceso del marco regulatorio para incentivar las energías renovables.

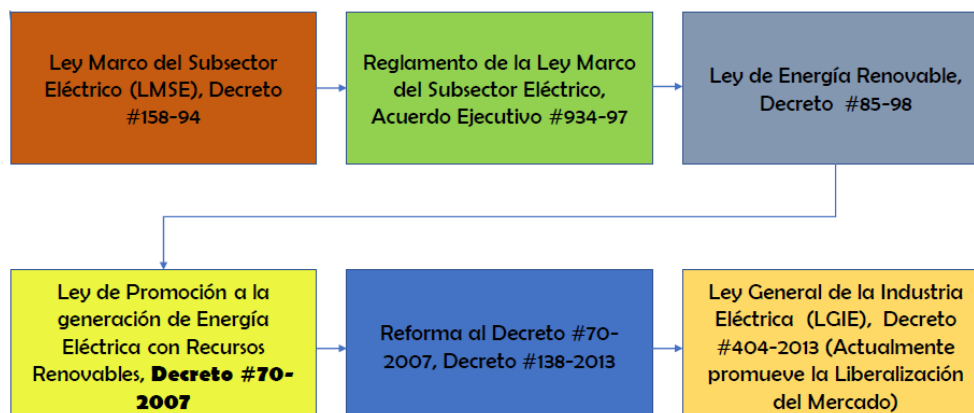


Figura 9: Proceso del marco regulatorio

Fuente: ENEE, 2019

El gobierno necesita invertir en infraestructura muy necesaria que conecte las áreas rurales a la red. Por lo tanto, también es importante ganar el apoyo de los donantes internacionales”. En mayo de 2022, el Congreso de Honduras aprobó en tiempo récord una iniciativa legislativa que busca habilitar al Gobierno para renegociar las tarifas eléctricas con generadores de energía renovable ("Nueva Ley de Energía"). Aunque la Nueva Ley de Energía no se hizo pública en el diario oficial “La Gaceta”, se estima que, bajo este nuevo marco legal, si un generador se niega a renegociar, entonces el Gobierno puede hacerse cargo de los activos previo pago de una "justa compensación" con bonos del gobierno (AES, 2021).

Como parte de la reforma energética en Honduras, en mayo de 2022 se iniciaron los procesos de renegociación de los Contratos de Suministro Eléctrico que la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) tiene suscritos con los diferentes generadores del país. Dicho proceso se realizó de la mano con el sector privado, contó con la participación de los titulares de la Secretaría de Energía, la Secretaría de Hacienda y un representante del Consejo Hondureño de la Empresa Privada (COHEP). La tabla 1 muestra la capacidad instalada de energía renovable en Honduras de acuerdo la Empresa Nacional de Energía Eléctrica en 2020 (ENEE, 2020).

Capacidad Instalada (MW) 2020	Honduras
Hidroeléctrica	833.8
Térmica	974.9
Geotérmica	39
Eólica	235
Solar	510.8
Biomásica	223.1
Biogás	-
TOTAL	2,816.60
Capacidad Pública Instalada (MW)	566.5
Capacidad Privada Instalada (MW)	2,250.10
Energía Renovable Instalada (MW)	1,841.70
No-renovable Instalada (MW)	974.9
Demanda Máxima (MW)	1,617.60
Generación bruta anual (GWh)	9,000.80

Tabla 1: capacidad instalada de energía renovable en Honduras

Fuente: ENEE, 2021

La iniciativa de renegociación de los contratos es resultado de la facultad otorgada a la ENEE a través de la “Ley Especial para Garantizar el Servicio de Energía Eléctrica como Bien Público de Seguridad Nacional y Derecho Humano de Carácter Económico y Social” aprobada y publicada en el diario oficial La Gaceta mediante Decreto 46-2022 del 16 de mayo de 2022.

Esta Ley, en su Artículo 1, establece que el Estado de Honduras declara que el servicio de energía eléctrica es un bien público de seguridad nacional y también un derecho humano de carácter económico y social, por lo que debe ser salvaguardado como tal. El Estado garantiza la prestación del servicio de energía eléctrica a toda la población y ejerce su control a través de la ENEE y operando como ente regulador la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica (CREE) (Congreso Nacional, 2022).

La figura 10 muestra la capacidad instalada en Honduras, es importante resaltar que la ENEE tiene la facultad de renegociar los contratos y precios a los que el Estado, a través de la ENEE, adquiere todos los suministros de centrales hidroeléctricas, solares y térmicas.

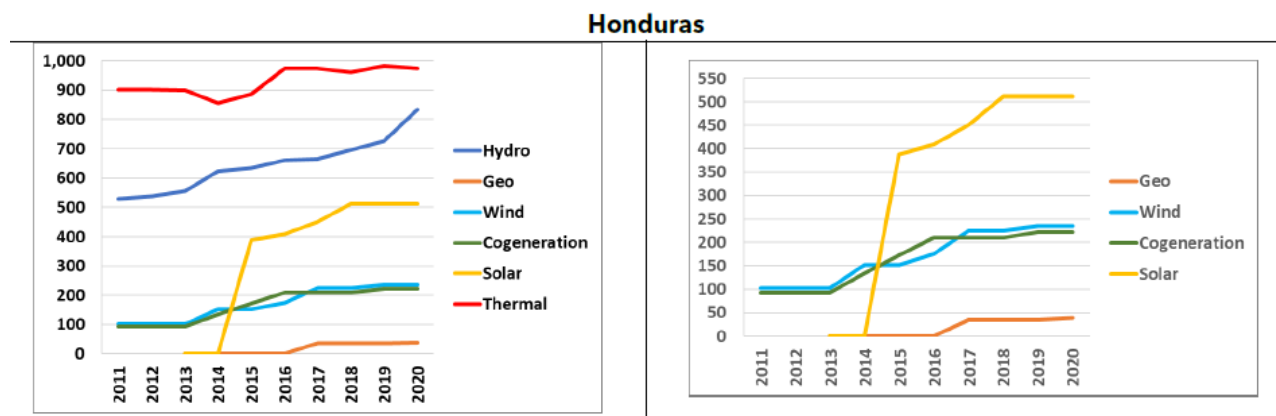


Figura 10: Capacidad instalada histórica en Honduras

Fuente: AESA, 2021

Durante el proceso de renegociación se verificó que las empresas generadoras contaran con una provisión integrada e ininterrumpida de ventas de energía a la ENEE. Como resultado, a la fecha se han renegociado 16 contratos de energía con 14 empresas, se consideró que el 55% de los contratos tenían precios más altos, lo que representa un ahorro de aproximadamente mil millones de lempiras anuales para el país (ENEE, 2020).

2.5. Proyectos de energía renovables en Honduras

De acuerdo con la ENEE (CREE, 2022), en el año 2021, el Operador del Sistema de Honduras se encuentra con la responsabilidad de elaborar el Plan Indicativo de Expansión de la Generación según mandato de la Ley General de la Industria Eléctrica.

El Plan Indicativo de Expansión de la Generación tiene como principales propósitos servir de uso para la elaboración del Plan de Expansión de la Red de Transmisión y orientar a los agentes compradores del mercado eléctrico nacional. Según la Ley, dicho Plan de Expansión de la Red de Transmisión debe entregarse a la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica para su aprobación.

El suministro de la creciente demanda eléctrica es el principal motor que motiva la planificación del sistema considerando que la electricidad es un pilar del desarrollo de cualquier país. A pesar de la pandemia Covid-19 y los fenómenos meteorológicos Eta y Iota, los cuales redujeron el consumo en el año 2020, la demanda eléctrica del país ha aumentado a valores incluso mayores que los esperables para el año 2021. Esto mantiene la presión en el sistema eléctrico de lidiar con dicho crecimiento. Por otro lado, la matriz eléctrica ha evolucionado a lo largo de los años incorporando diferentes tecnologías de generación a medida que las condiciones regulatorias y económicas lo han facilitado y la tecnología misma se ha desarrollado. La figura 11 muestra los proyectos de energía renovable actualmente en implementación.



Figura 11: Ubicación de proyectos de energía renovable

Fuente: AHPER, 2021

La matriz se ha diversificado pasando de contar con generación hidroeléctrica y térmica, principalmente, con cierto porcentaje de generación con biomasa, a incorporar generadores eólicos y solares fotovoltaicos, así como también generación. El sistema eléctrico nacional se complementa con las importaciones de electricidad provenientes del Mercado Eléctrico Regional siendo actualmente un sistema importador neto.

La planificación de la expansión permite visualizar requerimientos de inversión en infraestructura y, por ende, realizar las acciones pertinentes con el tiempo de antelación correspondiente. Entre los años 2007 y 2019, el consumo de electricidad pasó de 6,271 GWh a 10,664 GWh, representando un crecimiento anual de 4.52%. Durante todo el período mencionado, el consumo aumentó sin excepción en todos los años. Solamente en el año 2020 el país ha manifestado una reducción de su consumo de electricidad, en comparación al año anterior, en el período con información histórica disponible. Sin embargo, en el año 2021, la demanda de potencia máxima alcanzó 1,757.7 MW, sucedida durante el mes de mayo, demostrando un incremento de la demanda en comparación al año 2019, la cual fue de 1,639.4 MW, traduciéndose en un aumento de 118.3 MW en dos años.

La Empresa Nacional de Energía Eléctrica como agente generador del mercado y con facultades para seguir incrementando su parque de generación hidroeléctrica, en la tabla 12 se puede observar que Honduras posee una cartera de proyectos con algún grado de estudios, los cuales espera poder desarrollar en el futuro:

Proyecto	Año probable de entrada en operación	Tipo de Central	Capacidad en MW	Número de Unidades	Energía Anual Promedio en GWh
Patuca 3	2020	Embalse	104	2	340
Llanitos	2025	Embalse	98	2	370
Jicatuyo	2026	Embalse	173	4	667
Patuca 2	2028	Embalse	270	3	1337
Patuca 2A	2030	Embalse	150	3	691 a 800

Tabla 2: Proyectos de energía renovable en proceso de implementación.

Fuente: ENEE, 2022

2.6. Energías convencionales y calentamiento global.

Encontrar suministros de energía sostenible se ha convertido en un tema importante para los tomadores de decisiones en todo el mundo (UN, 2021). Fuentes de energía convencionales como gas natural, petróleo, carbón o nuclear provocan niveles elevados de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que aumentan el calentamiento global.

El último informe publicado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) afirma que la influencia humana en el clima es clara; las recientes emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero se encuentran en sus niveles más altos jamás registrados (IPCC, 2021). Una consecuencia de esta situación es que los modelos lineales tradicionales de economía y producción se han vuelto insostenibles (Frosch & Gallopoulos, 1989) (Ness, 2008); por lo tanto, Markard *et al*, 2012 (Markard, Raven, & Truffer, 2012) sugirió que es necesario diseñar nuevas tecnologías más renovables para la transición a sistemas sociotécnicos más sostenibles. Estos sistemas deberían basarse en un mayor uso de energías renovables que utilicen menos materias primas naturales, como la biomasa forestal (Wang, Dai, Yang, & Luo, 2017) (Dhyani & Bhaskar, 2018). Este ejemplo específico se está volviendo más prominente como una alternativa a las fuentes de energía de combustibles fósiles Picchio, *et al*, (2020). Los estudios actuales consideran a la biomasa forestal como un importante recurso económico para la bioeconomía Bell, *et al*, (2018) (Lainez, González, Aguilar, & Vela, 2018).

En consecuencia, su adecuado uso y gestión puede traer importantes beneficios económicos y ambientales ya que el uso de la biomasa favorece la reducción de gases de dióxido de carbono producido por el excesivo uso de las energías convencionales. Usar una materia prima renovable para generar energía sostenible es más barato que usar combustibles fósiles, y también es más barato de producir de Jesus Eufrade-Junior, *et al*, (2020). Estos combustibles fósiles provienen de las plantas y otros organismos en descomposición, enterrados bajo capas de sedimentos y rocas, han tardado milenios en convertirse en los depósitos ricos en carbono que son utilizados para la generación de energías convencionales.

Estos combustibles no renovables, que incluyen el carbón, el petróleo y el gas natural, suministran alrededor del 80 % de la energía mundial; proporcionan electricidad, calor y transporte y alimentan los procesos de fabricación de una enorme variedad de productos, desde el acero hasta los plásticos.

Sin embargo, cuando estos combustibles fósiles se queman, liberan dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero que, a su vez, atrapan el calor en la atmósfera, lo que los convierte en los principales responsables del calentamiento global y del cambio climático (Nuñez, 2023).

Estos Gases de Efecto Invernadero, según el *Informe sobre la brecha en las emisiones* del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) llega en un año en el que la crisis de la COVID-19 ha provocado enormes sufrimientos y graves perturbaciones económicas y sociales en todo el mundo, además de acaparar los medios de comunicación y la formulación de políticas. Dichas perturbaciones económicas han aminorado de forma pasajera —lo que dista mucho de ser una supresión— la histórica presión en constante aumento que ejercen las actividades humanas sobre el clima del planeta.

La carga que esto supone se aprecia en el incremento sostenido de los fenómenos meteorológicos extremos, como los incendios forestales y los huracanes, y en el derretimiento de los glaciares y el hielo de los dos polos. En el año 2020 se han batido diversos récords, pero no será la última vez que ocurra (PNUMA, 2020). Al igual que otros años, el informe evalúa la brecha entre las emisiones futuras estimadas de gases de efecto invernadero (GEI) si los países llevan a la práctica sus compromisos en cuanto a la mitigación del cambio climático y los niveles de emisiones mundiales de las trayectorias de menor costo que se ajustan al logro de los objetivos del Acuerdo de París relativos a la temperatura. Esa diferencia entre “dónde es probable que nos encontremos” y “adónde necesitamos llegar” se conoce como “brecha en las emisiones”.

El informe estudia también dos esferas de suma importancia a la hora de reducir tal brecha y que a raíz de la pandemia de COVID-19 han cobrado aún más relevancia: los sectores del transporte marítimo y la aviación —cuyas emisiones a escala internacional no están cubiertas por las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN)— y los cambios en nuestra forma de vivir. Si bien las emisiones del 2020 serán más bajas que las del 2019 a causa de la crisis de la COVID-19 y las respuestas conexas, la concentración de GEI en la atmósfera sigue al alza y se prevé que la caída inmediata de las emisiones va a tener un efecto prácticamente nulo a largo plazo en el cambio climático. No obstante, las medidas encaminadas a la recuperación económica tras la pandemia han adquirido una magnitud sin precedentes, lo que brinda la ocasión de emprender la transición a una economía con bajas emisiones de carbono que genere los cambios estructurales indispensables para que las emisiones disminuyan de forma continua. Aprovechar esta apertura resultará crucial para reducir la brecha en las emisiones (FMI, 2023). Como se puede observar en la figura 12, los cambios de temperatura hasta la fecha han sido más pronunciados en las latitudes del norte y sobre las masas de tierra (NASA, 2020).

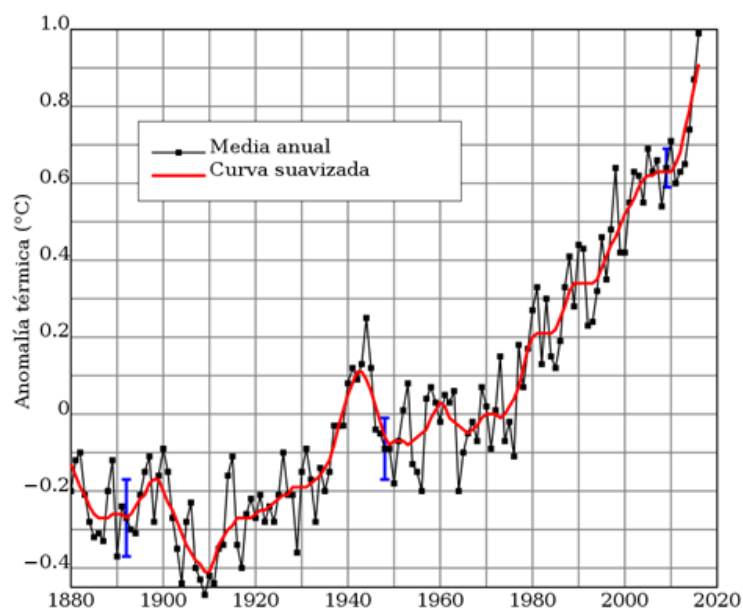


Figura 12: Temperatura media global en superficie

Fuente: NASA, 2020

De acuerdo con el Instituto Internacional de Investigación para Clima y Sociedad (IRI por sus siglas en inglés) en su informe del 18 de agosto de 2023 explicó que, a mediados de dicho mes, las condiciones moderadas de El Niño en el Pacífico ecuatorial centro-oriental se han fortalecido aún más. Las variables oceánicas y atmosféricas clave son consistentes con mencionada fase del ENOS (El Niño); sin embargo, puntualiza que la atmósfera aún no está completamente acoplada con las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar presentes en la cuenca centro-oriental del Océano Pacífico ecuatorial. Por lo anterior, el CPC mantiene el aviso de El Niño para agosto de 2023 ([IRI, 2023](#)).

III. LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO ALTERNATIVA A LAS CONVENCIONALES.

A continuación, se describen las energías renovables como alternativa a las energías convencionales. La energía renovable es cualquier recurso energético que se genera a partir de procesos naturales y se repone continuamente o se regenera de forma natural en una escala de tiempo breve. Esto incluye: Luz solar, calor geotérmico, viento, mareas, agua, y diversas formas de biomasa.

3.1. Las Energías Renovables

Esta transición de energía convencional a energía renovable es crucial para mejorar los beneficios sociales, económicos y ambientales de las energías renovables, entre las principales ER podemos mencionar: La Energía solar, la energía eólica, la energía geotérmica, la energía hidroeléctrica, la energía mareomotriz, la energía de fusión y especialmente la energía de biomasa en la cual se enfoca este estudio por su fuerte vínculo con las comunidades locales y su utilización especialmente para la calefacción y la cocina. A continuación, se describen cada una de ellas:

La Energía solar, es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol. La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce, como también a través de la absorción de la radiación.

Por ejemplo, en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es una de las llamadas energías renovables particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde.

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 vatios por metro cuadrado (W/m^2) en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia. La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar. Sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de los elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones. La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1354 W/m^2 (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1395 W/m^2 y un valor mínimo en el afelio de 1308 W/m^2 ([Perpiñan_Lamingueiro, 2023](#)).

Entre las denominadas energías renovables, la energía eólica es una de las más utilizadas en el transcurso de la historia. Desde hace siglos, el hombre ha sabido aprovechar la energía del viento para desplazarse por el mar, moler maíz o bombear agua. En cambio, hasta el siglo XX, no empieza el aprovechamiento comercial de la energía eólica para la producción de electricidad ([Iñesta-Burgos & García-Fernandez, 2002](#)). En el aprovechamiento energético del viento, las máquinas eólicas permiten resolver, desde aplicaciones de pequeña potencia para bombeo de agua o electrificación rural (máquinas de pequeña potencia), hasta parques eólicos (instalaciones de gran potencia).

En todos los casos, estas máquinas están constituidas por los mismos elementos básicos: un elemento móvil de captación de energía cinética del viento, denominado rotor, que se acopla a un eje que se conecta a una bomba o a un generador eléctrico, según el uso que se haga del aparato ([Iñesta-Burgos & García-Fernandez, 2002](#)).

Se llama energía geotérmica a la energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El término «geotérmico» viene del griego geo (Tierra), y thermos (calor); literalmente “calor de la Tierra”. El interior de la Tierra está caliente y la temperatura aumenta con la profundidad.

Las capas profundas, pues, están a temperaturas elevadas y, a menudo, a esa profundidad hay capas freáticas en las que se calienta el agua: al ascender, el agua caliente o el vapor producen manifestaciones en la superficie, como los géiseres o las fuentes termales, utilizadas para baños desde la época de los romanos. Actualmente, el progreso en los métodos de perforación y bombeo permiten explotar la energía geotérmica en numerosos lugares del mundo ([Sauders-Vasquez, 2019](#)).

La energía hidroeléctrica es impulsada por el agua cuando se mueve a través de un cauce o cuando se encuentra embalsada (energía potencial) a cierta altura y se dejar caer para producir energía eléctrica. Esta fuente de energía renovable se encuentra disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua; la utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas, y para su desarrollo requiere construcciones que varían de acuerdo con las condiciones del entorno ([EPEC, 2022](#)).

La energía mareomotriz se debe a las fuerzas gravitatorias entre la Luna, la Tierra y el Sol, que originan las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa entre estos tres astros. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse en lugares estratégicos como golfos, bahías o estuarios utilizando turbinas hidráulicas que se interponen en el movimiento natural de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. La energía mareomotriz tiene la cualidad de ser renovable en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes durante la fase de explotación. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el costo económico y el impacto ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una proliferación notable de este tipo de energía ([Gonsalez-Zamora, 2021](#)).

La energía de fusión es una de las pocas opciones energéticas verdaderamente a largo plazo. Desde sus inicios en el 1950, la visión del programa de investigación de energía de fusión ha sido desarrollar un medio viable de aprovechar la energía virtualmente ilimitada almacenada en los núcleos de los átomos ligeros. El combustible principal el deuterio está presente como una parte en 6.500 de todo el hidrógeno.

Esta visión surgió del reconocimiento que el inmenso poder que irradia el sol es alimentado por fusión nuclear en su núcleo caliente tan alto las temperaturas son un requisito previo para impulsar reacciones de fusión significativas. El fascinante cuarto estado de la materia a altas temperaturas se conoce como plasma es solo en este cuarto estado de la materia que los núcleos de dos átomos ligeros pueden fusionar, liberando el exceso de energía que era necesario unir por separado cada uno de los dos núcleos originales ([IAEA, 2021](#)).

Debido a que los núcleos de los átomos llevan una carga eléctrica neta positiva, se repelen entre sí. Los núcleos hidrogénicos, como el deuterio y tritio, debe calentarse a aproximadamente 100 millones de grados centígrados para superar esta eléctrica repulsión y fusible ([Wayne, Farokh, John, & John, 2002](#)).

La energía de biomasa es el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. Esta, presenta una enorme versatilidad, permitiendo obtener mediante diferentes procedimientos tanto combustibles sólidos como líquidos o gaseosos. De origen vegetal o animal, que incluye los materiales que proceden de la transformación natural o artificial. Proviene de la reacción de la fotosíntesis vegetal, que sintetiza sustancias orgánicas a partir del CO₂ del aire y de otras sustancias simples, aprovechando la energía del sol ([SE, 2008](#)).

3.2. Las energías renovables como alternativa a nivel global

La Sostenibilidad Ambiental (ES) se refiere al impacto mínimo sobre el medio ambiente en comparación con las tecnologías tradicionales y los combustibles fósiles de los sistemas de energía renovable. A este respecto, la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA) en el reporte global presentado en el 2017, muestra que el 19.3% de la energía primaria del mundo fue producida a partir de energías renovables (ER).

De este porcentaje, el 9.1% corresponde a la biomasa tradicional, mientras que el 10.2% concierne a las denominadas energías renovables modernas. Se destacan las hidroeléctricas con el 3.6% y el porcentaje restante está distribuido entre las energías geotérmica, eólica, biogás y energía solar (IRENA, 2017). El potencial de las ER está creciendo aceleradamente debido a la constante disminución de los precios, las variadas aplicaciones en sectores como la agricultura, educación y salud.

En el caso particular de las zonas rurales, se destacan las aplicaciones domesticas para iluminación, radio, televisión, la incursión en sistemas de agua potable, centros de salud y educación (REN21, 2017). Este concepto está ligado a la sostenibilidad técnica, ya que al maximizar la vida útil de los equipos se reduce el número de piezas de repuesto necesarias, lo que en consecuencia reduce la generación de residuos que pueden impactar negativamente en el medio ambiente (Lillo, Ferrer-Martí, & Juanpera, 2021).

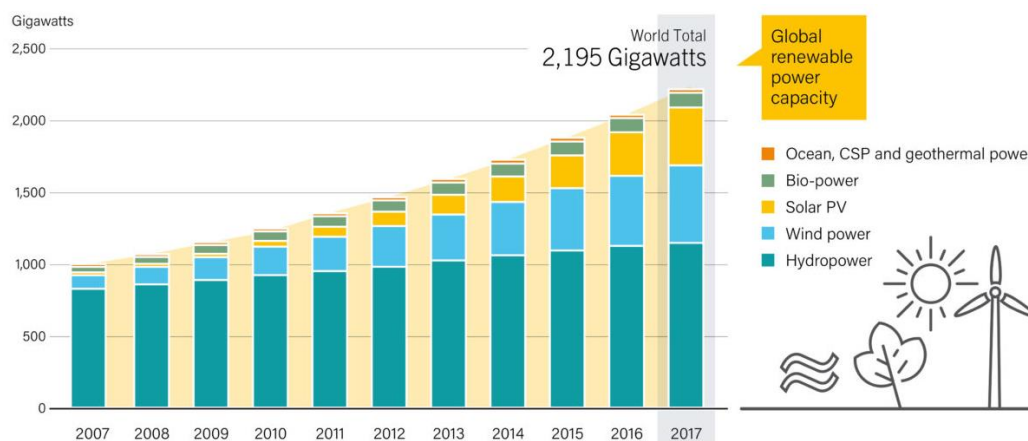


Figura 13: Capacidad de generación de energía renovable a nivel mundial

Fuente: REN21, 2017.

Según Syahputra *et al* 2021, la energía renovable es un tipo de energía que se puede reponer y su uso se centra en la eficiencia energética, la conservación de la energía, la diversificación ambiental y la integración comunitaria (Syahputra & Soesanti, 2021).

Por tanto, este concepto está vinculado a la Energía Rural Sostenible, que según Romero, Piñeiro y Pérez ([Romero-Castro, Piñeiro-Chousa, & Pérez-Pico, 2021](#)), es un concepto central de las agendas políticas actuales encaminadas a impulsar una transición energética sostenible que pueda vincularse al desarrollo de las zonas rurales. La figura 13 muestra el potencial de generación de energía renovable a nivel mundial.

En el caso de las comunidades locales, la materia prima que se ha considerado con mayor frecuencia para cocción de alimentos y calefacción es la biomasa forestal, que es un elemento biodegradable que se genera en forma de residuos durante la producción y procesamiento de la madera, así como durante el corte sanitario o tratamientos que silviculturales los cuales son manipulaciones al bosque para favorecer ciertas especies, con el propósito de lograr el desarrollo o incremento de la vegetación deseable remanente, a través de la reducción de la competencia entre árboles no comerciales con los de importancia comercial, como ser podas, raleos, tala rasa, corta con semilleros ([Schmidt, Byrd, Curl, Brinkman, & Heeringa, 2021](#)).

3.3. Las energías renovables en Latinoamérica

En la actualidad, Latinoamérica es una región de rápido crecimiento para las ER con un interés creciente para el desarrollo de este tipo de recursos.

Los altos precios de la electricidad en la mayor parte de las regiones, la creciente demanda, y en algunos casos, el potencial de exportación, proporcionan un terreno fértil para el despliegue de tecnologías de energías renovables. Además, en la región existe una larga trayectoria de producción de energía hidroeléctrica lo cual se ha traducido en políticas y legislaciones que fomentan el uso de las ER ([Robles-Algarin & Rodríguez-Álvarez, 2018](#)). La generación de electricidad es el sector que ha atraído la mayor parte de las políticas de ER y la evolución legislativa en América Latina, lo cual abarca la promulgación de leyes de ER, establecimiento de objetivos para generar electricidad renovable, políticas de disminución de aranceles, incentivos fiscales, disposiciones para acceso a la red y servicios de financiación.

Actualmente la mayoría de los países de esta región tienen leyes para el campo de las ER, a excepción de Bolivia, Guyana y Surinam que no tienen leyes o programas en este campo. El establecimiento de objetivos nacionales de ER ofrece una clara indicación sobre el nivel de desarrollo de la ER y la línea de tiempo prevista por los gobiernos. En la figura 8 se muestran las proyecciones de ER para los principales países de América Latina con mayor aplicación en el sector eléctrico. Los objetivos se presentan en diferentes formas como en la capacidad en MW o MWh, términos de generación o en términos relativos.

Los tipos de objetivos (por ejemplo, el alcance o la tecnología) a menudo coexisten y se superponen (REN21, 2017). Se espera que la capacidad renovable en América Latina aumente un 34%, o 96 GW, durante 2021-2026 en el caso principal, a medida que el crecimiento cambia de la energía hidroeléctrica a gran escala a la energía solar fotovoltaica.

Las ER variables suman en conjunto el 84% de la autonómica expansión. Brasil sigue siendo el mercado más grande de América Latina; sin embargo, la reducción de la remuneración propuesta por el país para la energía fotovoltaica distribuida en 2023 ralentiza adiciones anuales generales de la región. Aunque las subastas competitivas siguen siendo un impulso importante para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica y eólica a gran escala, su ritmo ha desacelerado desde 2018. La figura 14 muestra las adiciones de capacidad en América Latina por país, 2019-2026.

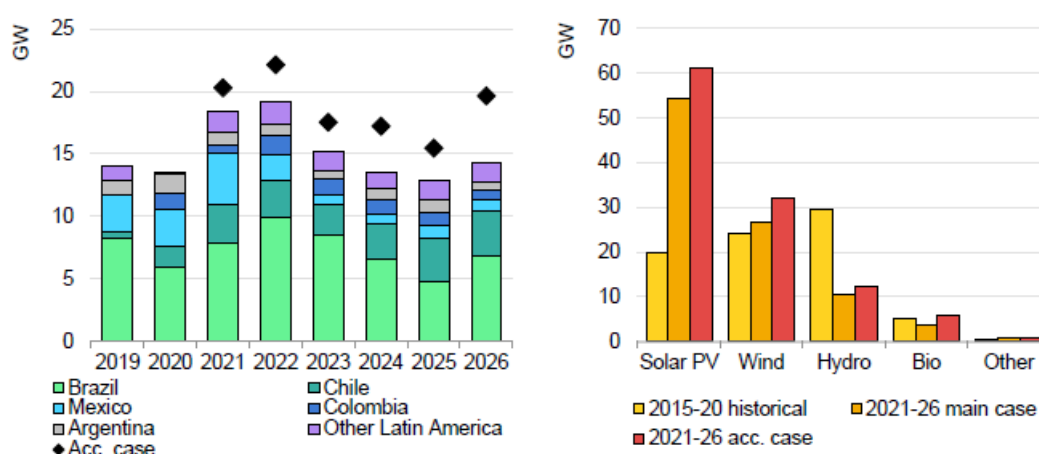


Figura 14: Adiciones de capacidad en América Latina por país, 2019-2026.

Fuente: International Energy Agency (IEA), 2021

A medida que caen los precios de los equipos, el despliegue fuera del gobierno esquemas de políticas está aumentando, especialmente en Brasil, Chile y México. Política e incertidumbres regulatorias siguen siendo desafíos críticos para el crecimiento en la región, mientras que también será necesaria una mayor inversión en transmisión para evitar retrasos en los proyectos causado por restricciones del sistema ([REN21, 2021](#)).

3.4. El uso de la biomasa forestal como fuente de energía renovable.

3.4.1. La biomasa como fuente de energía renovable en el mundo.

La biomasa es el progenitor de los combustibles fósiles en el sentido de que el gas natural, el petróleo y el carbón son biomasa que se ha convertido en formas de energía concentrada mediante procesos geológicos. Estos procesos son similares al pirólisis (calentamiento en ausencia de oxígeno) bajo presión.

Esto significa que, con el procesamiento industrial adecuado, la biomasa recién cosechada se puede convertir en homólogos de los recursos de combustibles fósiles sólidos, líquidos y gaseosos actuales ([García-Maraver, 2013](#)).

La materia prima que se ha considerado para esta transición es la biomasa forestal, que es un elemento biodegradable que se genera en forma de residuos durante la producción y procesamiento de la madera, así como durante el corte sanitario ([Schmidt, Byrd, Curl, Brinkman, & Heeringa, 2021](#)).

Sin embargo, las fuentes de energía convencionales como el gas natural, el petróleo, el carbón o la energía nuclear provocan niveles elevados de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que aumenta el calentamiento global ([IPCC, 2021](#)). Según [Yu, \(2021\)](#); el efecto invernadero es la emisión de combustible fósil como resultado de la incineración lo cual provoca el calentamiento global y el cambio climático. El combustible fósil, que consiste en material de hidrocarburo en la corteza terrestre, generalmente se usa como fuente de energía. Aunque existen otros tipos de energía explorados y utilizados a nivel mundial, el combustible fósil sigue siendo desempeñando un papel importante en la industria, la producción de electricidad y calor más del 60% de la producción de energía proviene de combustibles fósiles.

Si bien es cierto que estos combustibles favorecen el desarrollo económico, esto conlleva una serie de impactos negativos para el medio ambiente y la salud humana. Una consecuencia de esta situación es que los modelos lineales tradicionales de economía y producción se han vuelto insostenibles (Frosch & Gallopoulos, 1989) (Ness, 2008); por lo tanto, Markard *et al*, 2012 (Markard, Raven, & Truffer, 2012) sugieren que es necesario diseñar nuevas tecnologías más renovables para el diseño de sistemas sociotécnicos más sostenibles.

Estos sistemas deberían basarse en un mayor uso de energías renovables que utilicen menos materias primas naturales, como la biomasa forestal (Wang, Dai, Yang, & Luo, 2017) (Dhyani & Bhaskar, 2018). Este ejemplo específico se está volviendo más prominente como una alternativa a las fuentes de energía de combustibles fósiles Picchio, *et al*, (2020). Estudios actuales consideran la biomasa forestal como un importante recurso económico para la bioeconomía Bell, *et al*, (2018) (Lainez, González, Aguilar, & Vela, 2018).

En consecuencia, su adecuado uso y manejo puede traer importantes beneficios económicos y ambientales ya que el uso de la biomasa favorece la reducción de los gases de dióxido de carbono. Usar una materia prima renovable para generar energía sostenible es más barato que usar combustibles fósiles, y también es más barato de producir de Jesus Eufrade-Junior, *et al*, (2020). La biomasa es toda aquella materia orgánica utilizada para su aprovechamiento energético, convirtiéndose en una fuente de energía sostenible y libre de emisiones; los recursos de biomasa incluyen materiales naturales y derivados clasificados principalmente según su origen de Lucas, *et al*, (2012). Según Tumuluru *et. all* (Tumuluru, Sokhansanj, Wright, Boardman, & Yancey, 2011), los tipos de materia prima de biomasa disponibles con fines energéticos incluyen residuos agrícolas, cultivos energéticos dedicados, silvicultura, industria, parques y jardines, residuos y otros las fuentes de biomasa. La biomasa producida de manera sustentable, incluyendo plantaciones y cultivos energéticos, los residuos agropecuarios, los residuos agroindustriales y forestales, puede contribuir a aumentar la participación de las energías renovables en la matriz energética de los países y contribuir a la disminución del uso de combustibles fósiles (Tauro, Caballero, Salinas, Ghilardi, & Arroyo, 2021). La biomasa podría representar el 60% de uso de energía renovable para 2030 (ITC, 2022).

Sin embargo, Aparte del acceso a la electricidad, otro aspecto importante de la desigualdad energética se refiere al tipo de combustible utilizado para cocinar. El uso de ciertos combustibles, como madera, carbón vegetal, parafina y aceite, puede tener impactos negativos no solo en la salud de las personas (especialmente de las mujeres) debido en particular a las emisiones de humo, pero también en el medio ambiente debido a la presión sobre los recursos naturales, incluidos los bosques (CELAC, 2021).

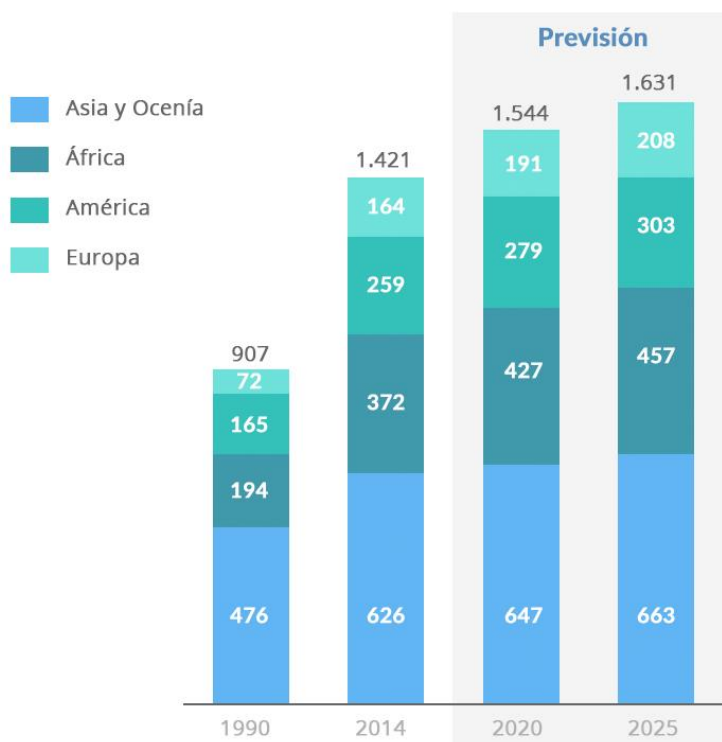


Figura 15: Previsión del uso de energía biomásica en el mundo

Fuente: IEA International Energy Agency “World Energy Outlook 2016”

Este impacto podría ser mitigado mediante el uso de plantaciones dendroenergéticas. La Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define plantaciones forestales como bosques compuestos predominantemente de árboles establecidos mediante plantación o siembra, en la que se espera que los árboles plantados/ sembrados constituyan más de 50% del material en pie en la madurez.

Por su parte la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) especifica que una plantación forestal comercial es el establecimiento y manejo de especies forestales en terrenos de uso agropecuario o terrenos que han perdido su vegetación forestal natural (CONAFOR, 2017). Desde 1980 la FAO a través de las Evaluaciones de los Recursos Forestales (ERF), ha recopilado datos sobre las zonas forestales para dos categorías principales de bosques:

- a. bosques naturales o primarios
- b. plantaciones forestales.

Los bosques primarios están compuestos por especies nativas de árboles. No presentan huellas evidentes de la actividad del hombre y sus procesos ecológicos no se han visto alterados de una forma apreciable. Los bosques secundarios se regeneran en bosques autóctonos que han sido despejados por causas naturales o artificiales, como la agricultura o la ganadería. Representan una importante diferencia en la estructura forestal y/o en la composición de las especies respecto a los bosques primarios. La vegetación secundaria suele ser inestable y representa estados de sucesión.

Los bosques naturales modificados están formados por especies nativas de árboles que han reaparecido de forma natural en lugares en los que la actividad humana ha dejado huella. Los bosques seminaturales están formados por especies nativas de árboles que han sido plantadas, sembradas o han reaparecido de forma natural con la ayuda del hombre.

Las plantaciones forestales son superficies arboladas que se han obtenido de forma artificial, mediante plantación o siembra.

Los árboles pertenecen en general a una misma especie (ya sea nativa o introducida), tienen los mismos años de vida y presentan una separación homogénea. Las plantaciones forestales pueden tener como objetivo la producción de productos madereros o no madereros (plantaciones forestales productivas) o el suministro de servicios de los ecosistemas (plantaciones forestales protectoras). El término otras tierras con cubierta arbórea hace referencia a tierras que, a pesar de reunir los requisitos de superficie, altura y cubierta arbórea, quedan fuera de la categoría de bosques porque su uso principal es agrícola o urbano.

TIPO DE BIOMASA	SECTOR DE SUMINISTRO	TIPO DE MATERIA PRIMA	EJEMPLOS
BIOMASA FORESTAL	Residuos agrícolas	Residuos agrícolas lignocelulósicos secos	Residuos (maíz, cereal, arroz, etc)
			Hojas de remolacha azucarera
		Residuos ganaderos	Flujos de residuos del sector eléctrico
			Estiércol sólido (estiércol de gallina)
			Estiércol líquido (estiércol bovino, porcino, ovino)
	Silvicultura	Subproductos forestales	Corteza; madera en rollo; astillas de raleos, leña.
			Trozas de raleo
	Industria	Residuos de la industria de la madera	Residuos industriales de madera de aserraderos y molinos de madera (corteza, aserrín, virutas de madera, astillas, recortes).
			Residuos vegetales fibrosos de pulpa virgen producción de papel a partir de pulpa, incluido el licor negro de madera.
		Residuos de la industria alimentaria	Material celulósico húmedo (colas de raíz de remolacha); Grasas (aceites de cocina usados); sebo, grasa amarilla; Proteínas (residuos de mataderos)
		Productos industriales	Pellets y briquetas de aserrín y virutas; Bio-aceite (aceite de pirólisis); Etanol; biodiésel
	parques y jardines	Herbáceos	Césped
		Leñoso	Poda
	Residuos sólidos	Residuos contaminados	Madera de demolición; Biodegradable; Residuos municipales; desperdicios residuales; gas de vertedero; gas de aguas residuales.
	Otros	heno en la carretera	Hierba/Heno
		cáscaras/conchas	Almendra; Aceituna; Nuez; Hojas de palma; Cacao

Tabla 3: Tipos de materia prima de biomasa disponible para fines energéticos

Fuente: Adaptada de Tumuluru *et. all* (Tumuluru, Sokhansanj, Wright, Boardman, & Yancey, 2011)

En este apartado se incluye grupos de árboles o árboles dispersos en paisajes agrícolas, parques, jardines y alrededor de construcciones, así como plantaciones de árboles cuyo propósito principal no es obtener madera, como por ejemplo los huertos de frutales. A continuación, muestra la división de los 3 principales grupos de materia prima de biomasa disponible para fines energéticos (Tumuluru, Sokhansanj, Wright, Boardman, & Yancey, 2011).

- a. Biomasa natural, directamente disponible en los ecosistemas naturales;
- b. Biomasa residual, proveniente del desarrollo de diferentes actividades silviculturales
- c. Cultivos energéticos, con el único objetivo de producir biomasa con fines energéticos.

El término otras tierras boscosas hace referencia a tierras con árboles de más de 5 metros de altura, pero con una cubierta forestal de entre el 5 y el 10% solamente. También incluye tierras con una mezcla de arbustos, matorral y árboles que en conjunto superan el 10%. No incluye tierras cuyo uso principal sea agrícola o urbano. El tipo de materia prima objeto de este estudio son los subproductos forestales como ser corteza; madera en rollo; astillas de raleos, leña; procedentes directamente de los ecosistemas forestales naturales los cuales han sido estratificados de manera vertical de la siguiente manera:

- a) Dosel,
- b) sotobosque,
- c) estrato arbustivo,
- d) estrato herbáceo;
- e) y estrato radicular.

La estructura vertical del bosque según figura 16, está determinada por la distribución de distintas especies arbóreas que componen un ecosistema y ocupan sitios definidos en respuesta a los factores micro climáticos, gradientes ambientales o al disturbio natural o al provocado por el hombre (Ramos-Reyes, Treviño-Garza, Buendía-Rodríguez, Aguirre-Calderón, & López-Martínez, 2017).

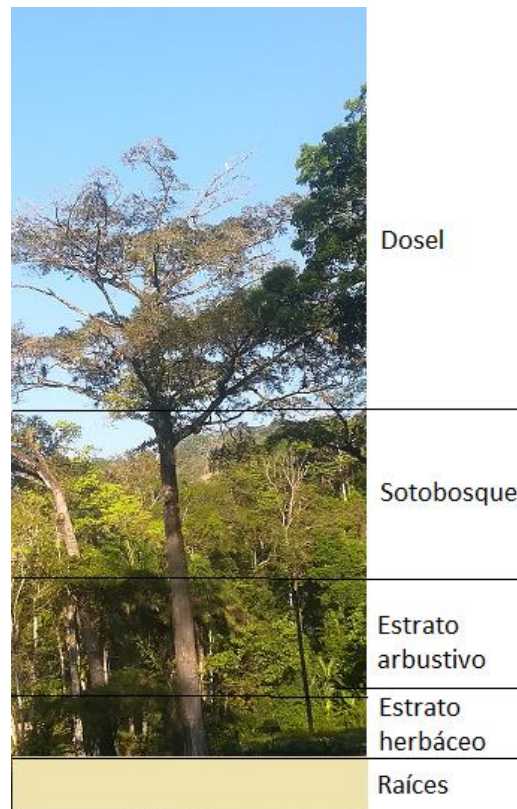


Figura 16: Estructura vertical del ecosistema forestal

Fuente: Elaboración propia

La estructura vertical se describió tomando en consideración los estratos principales por los que están formados estos bosques: arbóreo, arbustivo y herbáceo y los helechos. A continuación, se describen los diferentes estratos considerados para la clasificación de los tipos de biomasa.

a. Estrato arbóreo

El estrato arbóreo es la zona dominada por la copa de los árboles que comprende ramas grandes y pequeñas, así como hojas, flores y frutos que para efectos de esta investigación en adelante se describirá como el estrato dominante, registrando los individuos con más de 10 cm de Diámetro a la Altura del Pecho (dap) se midió a 1.30 m para árboles mayores de 5 m de altura incluyendo árboles jóvenes de la misma especie.

Los bosques de coníferas, tan frecuentes en las zonas de clima templado y frío del hemisferio boreal, también caracterizan en corredor central de Honduras, donde presentan amplia diversidad florística y ecológica. Se les encuentra prácticamente desde el nivel del mar hasta el límite de la vegetación arbórea; prosperan en regiones de clima semiárido, semihúmedo y francamente húmedo y varios existen sólo en condiciones edáficas especiales. Si bien algunos parecen representar comunidades secundarias, que se mantienen como tales debido al disturbio causado por el hombre, otros corresponden a la fase clímax y al parecer han existido en Honduras desde hace muchos millones de años. Según el ICF (ICF, 2019), el conjunto de los bosques de coníferas ocupa cerca de 31 % de la cobertura corresponde a los bosques de *Pinus* o de *Pinus* y *Quercus*.

b. Estrato arbustivo y herbáceo

El estrato arbustivo y herbáceo corresponde a especies que se adaptan a la sombra; son Arbustos y arbolitos entre 1 m y 5 m de altura. El sotobosque es poco denso y compuesto por la regeneración de las especies arbóreas del ecosistema. Se observan en la misma estructura del bosque diferentes palmeras, las lianas son poco frecuente, las epifitas son abundantes en las partes altas de los árboles. El sotobosque presenta regeneración de las especies arbóreas y arbustos leñosos.

c. Los helechos.

Los helechos pertenecen a los pteridófitos, que es un grupo de plantas vasculares caracterizado porque su dispersión se produce por esporas (criptógamas). Los helechos son plantas que no producen flores ni semillas y son en su gran mayoría herbáceas, aunque existen unas pocas especies arborescentes. Los tallos se conocen como rizomas, pues crecen horizontalmente sobre y bajo la superficie del suelo, sin embargo, también los hay erectos y trepadores; la mayoría están cubierto por escamas, pero algunos están cubiertos por pelos. Las escamas son generalmente lanceoladas y algunas veces orbiculares. Los pelos pueden ser unicelulares o pluricelulares, suelen ser simples, aunque se encuentran algunas especies con pelos estrellados.

Las hojas de los helechos se conocen como frondas, son monomórficas en la mayoría de las especies, no obstante, pueden ser dimórficas en determinadas especies. Las láminas se describen como simples o pinnadas, pero generalmente son varias veces divididas con un patrón de división pinnado.

El esporangio se caracteriza por presentar un pedúnculo que sostiene una cápsula generalmente uniestratificada, que es recorrida por una fila de células con paredes más gruesas y que se conoce como anillo, el cual es importante para la dispersión de las esporas. Generalmente los esporangios son libres y están unidos a soros. Un soro es una agrupación de esporangios localizado en los bordes o envases de una fronda fértil en helechos verdaderos y en la superficie de hongos y líquenes. Los soros casi siempre se localizan en el lado abaxial, pueden ser redondeados o alargados que se pueden disponer paralelos a la vena media u oblicuos ([Rodríguez-Salazar, 2018](#)).

3.4.2. La biomasa forestal en Latinoamérica

Según los resultados de la Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 ([FRA, 2020](#)) de la FAO, la superficie forestal en la región de ALC es de 940 millones de hectáreas (ha), lo que representa el 23 por ciento de los bosques del mundo y el 47 por ciento de la superficie terrestre total de la región.

Esta superficie equivale a aproximadamente 1,4 ha por persona a nivel de ALC. Además, la región reporta 173 millones hectáreas (8,6 por ciento de la superficie total de la región) que otras tierras boscosas. Para 2020, de estos casi mil millones de hectáreas de bosque, el 83 por ciento (779 millones de hectáreas) se encuentran en la subregión de la Amazonía, 9 por ciento (88 millones de ha) en Mesoamérica, el 7 por ciento (65 millones de ha) en el Cono Sur y el 1 por ciento (65 millones de ha) en el Cono Sur por ciento (8 millones de hectáreas) en el Caribe. Según la LACFC, 2021 ([LACFC, 2021](#)), en términos de objetivos de gestión del área forestal, la región de ALC informó que para 2020, el 12 por ciento de sus bosques se dedicaban principalmente a la producción, el 11 por ciento a la conservación de la biodiversidad, el 4 por ciento por ciento a la protección del suelo y el agua y el 24 por ciento a usos múltiples con servicios sociales y otras designaciones que representan el área restante.

En términos de plantaciones forestales, para el año 2020, ALC reportó un total de 21 millones de hectáreas, siendo la subregión de la Amazonía la mayor superficie (66,5 por ciento del área total), seguida por el Cono Sur (28 por ciento). La región ha aumentado la superficie forestal dentro de áreas protegidas. De 1990 a 2020, un 70 por ciento se informó un aumento, de 161 millones de hectáreas a 275 millones de hectáreas, equivalente al 29 por ciento del total de la superficie forestal de la región. Los países de la región de ALC han logrado mejoras sustanciales en la recopilación de datos forestales, pero aún es necesario mejorar algunos procesos nacionales.

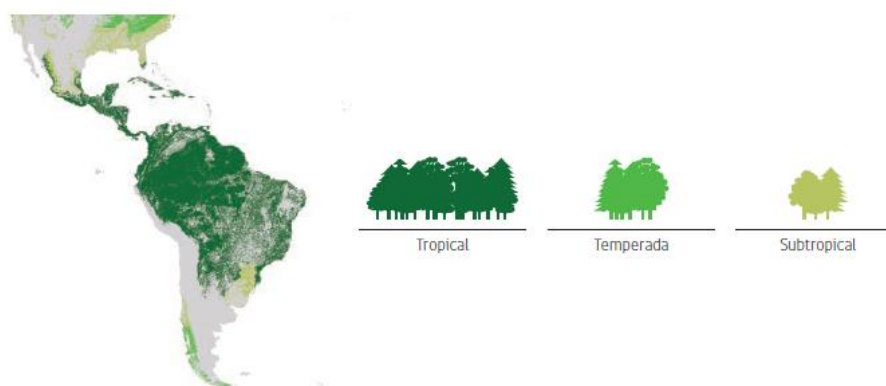


Figura 17: Cobertura boscosa de América Latina y el Caribe al 2020.

Fuente: FAO, 2020

La FAO sigue apoyando países miembros para mejorar la información forestal a través de dos programas complementarios, uno a nivel mundial (la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales), y el otro a nivel nacional.

Por otro lado, la [FAO \(2020\)](#) argumenta que los bosques juegan un importante rol como proveedores de sustento y medio de vida para las poblaciones asentadas en las áreas boscosas, además, son el repositorio de diversidad biológica terrestre más grande del planeta y desempeñan un papel fundamental en la mitigación y adaptación del cambio climático por su capacidad de absorber el dióxido de carbono (CO₂) y fijarlo en forma de biomasa.

Adicionalmente, los bosques proveen servicios ambientales regulando el ciclo de agua, protegiendo los suelos, y suministrando recursos como madera, medicinas, alimentos, fibras, entre otros. Además del importante rol como proveedores de sustento y medio de vida para las poblaciones asentadas en las áreas boscosas, los bosques son el repositorio de diversidad biológica terrestre más grande del planeta.

Los bosques desempeñan un papel fundamental en la mitigación y adaptación del cambio climático por su capacidad de capturar carbono atmosférico. Además, proveen servicios ambientales regulando los ciclos hidrológicos y estabilizando los paisajes, contribuyen a la conservación del suelo y el agua en los ecosistemas frágiles y proporcionan oportunidades para la recreación y el turismo. La figura 17 muestra la Cobertura boscosa de América Latina y el Caribe al 2020.

La región de América Latina y el Caribe alberga 23% de los bosques del mundo. Sin embargo, en los últimos 30 años la región ha visto disminuir su superficie boscosa y en particular ha perdido bosques naturales, tanto en términos absolutos como en relación con la superficie terrestre (CEPAL, 2021). La figura 18 muestra la Cobertura boscosa del territorio, superficie total de bosques.

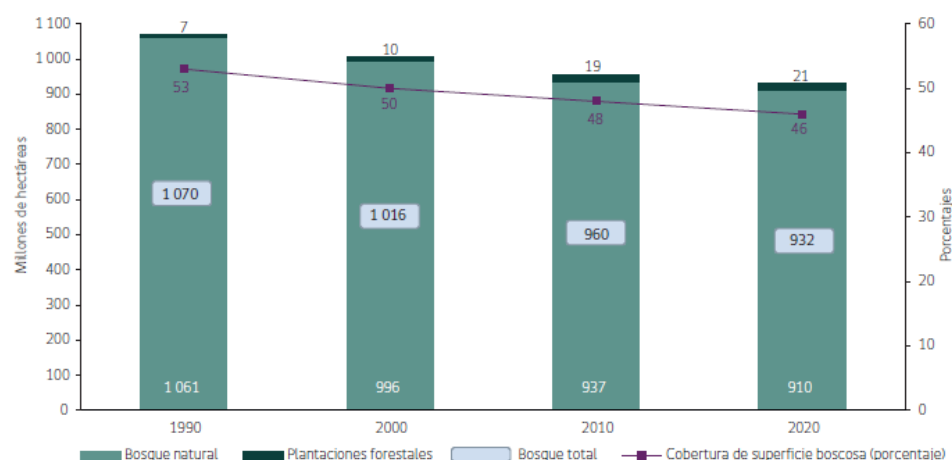


Figura 18: Cobertura boscosa del territorio, superficie total de bosques

Fuente: CEPAL, 2020

Entre 1990 y 2020, la proporción de cobertura boscosa regional disminuyó sistemáticamente desde un 53% a un 46% del territorio. Si bien a inicios de la década de los años noventa el área boscosa de la región alcanzaba unos 1.070 millones de hectáreas, para 2010 se había reducido hasta 960 millones y al 2020 disminuyó hasta 932 millones. Por lo tanto, la pérdida total de superficie cubierta por bosques en toda la región entre 1990 y 2020 alcanzó la magnitud de 138 millones de hectáreas (FAO, 2020).

3.4.3. La biomasa forestal en Centroamérica

Desde la antigüedad, la biomasa ha desempeñado un papel importante en la sociedad centroamericana (CA), y hoy en día se utiliza como combustible una amplia gama de aplicaciones, como cocina, calefacción y energía generación. Sin embargo, debido a la creciente demanda de energía, la tierra limitaciones de área y pocas inversiones en nuevas tecnologías de biomasa energías fósiles, con su alto valor calorífico se han vuelto ampliamente utilizado (Cutz, Haro, Santana, & F., 2016).

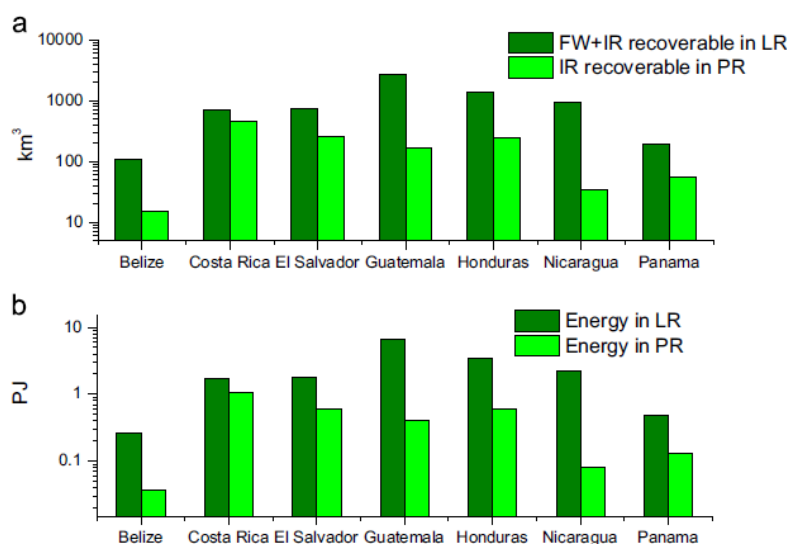


Figura 19: (a) Producción potencial de residuos de tala (LR) y procesamiento (PR). (b) Energía contenida en los residuos de tala (LR) y procesamiento (PR).

Fuente: L. Cutz, 2016

En la medida de lo posible, los datos estadísticos regionales más recientes han sido recopilados de fuentes disponibles para evaluar la biomasa potencial para los países de Centroamérica. La figura 19 muestra la (a) Producción potencial de residuos de tala (LR) y procesamiento (PR). (b) Energía contenida en los residuos de tala (LR) y procesamiento (PR).

Los tipos de materia prima de biomasa estudio se han clasificado en tres categorías: animal, bosque y agrícola. La base de datos de la FAO sobre ganadería y silvicultura de productos y cultivos procesados se utilizan como punto de partida para cálculo del potencial de biomasa. Es importante mencionar que no se propone utilizar bosques primarios como fuente energía, sin embargo, se sugiere utilizar residuos forestales de la silvicultura y de la industria forestal (FAO, 2020).

Con respecto a la biomasa de origen forestal, ésta es esencialmente proveniente de dos productos forestales: leña y residuos industriales de madera en rollo. Estos residuos generados por la industria forestal con respecto pueden ser divididos en dos grupos: (1) residuos de la tala como resultado los tratamientos silviculturales, y (2) residuos del procesamiento de la madera en rollo en la industria forestal tales como madera aserrada, madera contrachapada, y papel, entre otros (FAO, 2018).

La cantidad de residuos de la tala de madera es calculada multiplicando la producción de leña y de leña industrial de madera en rollo por la proporción de generación de residuos de tala, que es 0.60; lo que significa que el 60% del total del árbol cosechado queda en el bosque. La cantidad de residuos del procesamiento de la madera se calcula mediante la multiplicación de la producción de madera en rollo industrial por la madera en relación con la generación de residuos del procesamiento, que es de 0.50 (FAO, 2018).

Como todos estos residuos no se pueden recuperar en su totalidad debido a su dispersión naturaleza (lo que hace que el proceso de recolección sea desafiante e incluso no factibles), son fracción de recuperabilidad para residuos de tala y madera, residuos de procesamiento debían ser del 25% y el 75%, respectivamente. El parámetro también tiene en cuenta los usos alternativos de estos residuos para lechos de animales y protección contra el agotamiento del suelo.

La inclusión de todos estos parámetros (es decir, proporciones de generación de residuos y fracciones de recuperabilidad) en el cálculo evitan estimación del potencial de producción de bioenergía. Generalmente, la leña constituye el principal combustible en las zonas urbanas y hogares rurales en CA. Según la CEPAL ([CEPAL, 2022](#)), existen 18 millones de personas que dependen de la leña en Guatemala, Honduras y Nicaragua. Basado en datos reportados por CEPAL [6], en 2011, En Guatemala se consumieron alrededor de 5295 y 1674 Mteo de leña en Guatemala y Honduras, respectivamente, representan en conjunto el 60% del consumo regional de biomasa. Los principales desafíos cambiar de leña a portadores de energía modernos, por ejemplo, (urbanidad) en los países en desarrollo son altos los costos iniciales de la tecnología. Por lo tanto, incentivos económicos como los microcréditos y los subsidios a la inversión son cruciales para el éxito del despliegue de estas nuevas tecnologías.

Además, la geografía La distribución gráfica de los hogares en las regiones rurales lo hace diferente difícil y costoso conectar los hogares a la red que para los sistemas alimentados con biomasa el costo de producción de la energía portador (por ejemplo, electricidad) depende en gran medida del costo de la biomasa combustible masivo y que el recurso de combustible dominante en la región CA es biomasa derivada de bosques, la implementación de proyectos de pequeña y mediana escala.

Los sistemas energéticos basados en el uso de recursos locales podrían ser buenos oportunidad de satisfacer la demanda energética de los hogares, evitando costosos la tecnología, la distribución geográfica de los hogares y la infraestructura de la logística del suministro de biomasa. Incluso tecnología proporciona beneficios económicos y de salud claros, no es sencillo pabellón para determinar qué se requiere para que los hogares adopten tecnología en el corto plazo. El alto costo inicial de las tecnologías es uno de los mayores obstáculos en la difusión de energías renovables tecnologías, especialmente en los países en desarrollo donde las personas de bajos ingresos dominan los hogares.

3.4.4. Consumo de leña para subsistencia en Honduras

El alto consumo de leña en Honduras exige la búsqueda de alternativas que reduzcan sus efectos negativos en la salud, la economía y el medio ambiente. Una de estas alternativas ha sido la promoción de cocinas mejoradas, que logran una gran reducción en el consumo de leña. Este documento muestra un análisis de costo-beneficio para una estrategia mejorada de adopción de estufas para cocinar en Honduras. La metodología utiliza el Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Alcance, LEAP, una herramienta utilizada a nivel mundial en el análisis y formulación de políticas y estrategias energéticas (Blanco-Rodríguez, 2013). El modelo energético considera la demanda de leña, así como la introducción paulatina de cocinas mejoradas, según premisas de una Estrategia Nacional. Por lo tanto, se demuestra que los costos de implementar esta estrategia de adopción son menores que los costos de no implementarla, considerando varios escenarios hasta el año 2030 inclusive.

El alto consumo de leña en Honduras exige la búsqueda de alternativas que reduzcan sus efectos negativos en la salud, la economía y el medio ambiente. Una de estas alternativas ha sido la promoción de estufas mejoradas, que logran una gran reducción en el consumo de leña. En muchos hogares con acceso a la electricidad todavía utilizan la leña como principal fuente de energía para cocinar los alimentos.



Figura 20: Consumo de leña en Honduras

La leña también se utiliza en micro y medianas empresas dedicadas a la venta de alimentos, extracción de sal, producción de ladrillos, panaderías, elaboración de tortillas y beneficios de café, entre otros. En las zonas urbanas y periurbanas, el 29% de los hogares utilizan leña, mientras que en las zonas rurales sigue predominando la leña en el 88% de los hogares ([INE, 2019](#)).

Aproximadamente la mitad de los hogares hondureños cocinan con estufas tradicionales de leña ([INE, 2019](#)), ([Flores, Bustamante, Pino, Al-Sumaiti, & Rivera, 2019](#)). Estas estufas no solo son ineficientes, sino que también tienen efectos altamente perjudiciales para la salud de los usuarios y el costo de recolectar o comprar leña también tienen un gran impacto en la economía y el bienestar social de las familias. Además, para obtener la leña, la gente debe colectarla o comprarla.

En consecuencia, el alto consumo de leña en Honduras exige la búsqueda de alternativas que reduzcan sus efectos negativos. En el país, una de estas alternativas ha sido la promoción de cocinas mejoradas. Esta adopción logra una gran reducción en el consumo de leña, ya que la estufa mejorada gasta un 71,2% menos de leña que la estufa tradicional ([Flores, Bustamante, Pino, Al-Sumaiti, & Rivera, 2019](#)).

Adicionalmente, las familias que cocinan con fogón tradicional en zonas donde es difícil encontrar leña (áreas periurbanas) gastan alrededor de US\$ 20.00 por mes en la compra de leña. Asimismo, también existe un costo de oportunidad para las familias que dedican tiempo a su recolección. Además, es necesario tener en cuenta los gastos sanitarios por enfermedades respiratorias asociadas a las estufas tradicionales ([Flores, Bustamante, Pino, Al-Sumaiti, & Rivera, 2019](#)).

IV. PROTECCIÓN DE LOS ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS CONTEXTO GLOBAL, CENTRO AMERICANO Y EN PARTICULAR EN HONDURAS.

A continuación, se presenta una descripción de la protección de los espacios naturales protegidos a nivel global, centroamericano y en particular en Honduras.

4.1. Contexto global de los bosques y espacios naturales protegidos.

Los ecosistemas forestales son un componente crítico de la biodiversidad mundial, ya que muchos bosques son más biodiversos que otros ecosistemas. La superficie cubierta por bosques es, por tanto, uno de los indicadores del Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 “Vida de ecosistemas terrestres”. Según La Evaluación de FAO, en 2020 los bosques ocupaban el 30,8% de la superficie terrestre mundial. La superficie forestal total es de 4 060 millones de hectáreas, o aproximadamente 0,5 ha por persona, pero los bosques no están distribuidos de manera equitativa en todo el mundo. Más de la mitad de los bosques del mundo se encuentran en solo cinco países (la Federación de Rusia, Brasil, Canadá, Los Estados Unidos de América y China), y dos tercios (el 66%) de los bosques están situados en 10 países (FRA, 2020). Sin embargo, la superficie forestal como proporción de la superficie total, que sirve como indicador 15.1.1 de los ODS disminuyó del 32,5% al 30,8% en los tres decenios comprendidos entre 1990 y 2020.

Esto representa una pérdida neta de 178 millones de hectáreas de bosques, una superficie semejante a la de Libia. Así mismo, la tasa media de pérdida neta de bosques ha descendido aproximadamente un 40% entre 1990-2000 y 2010-2020 (de 7,84 millones de hectáreas al año a 4,74 millones de hectáreas al año), como resultado de la reducción de la pérdida de superficie forestal en algunos países y de aumentos de bosques en otros (FAO, 2020). La pérdida de bosques se debe principalmente a la expansión agrícola, mientras que el aumento de la superficie forestal puede producirse mediante la expansión natural de los bosques, por ejemplo, en tierras agrícolas abandonadas, o por medio de la reforestación (incluso a través de la regeneración natural asistida) o la forestación. Estos cambios naturales inducidos por el hombre tienen diferentes efectos en la biodiversidad de los bosques (FAO, 2020).

4.2. Los Bosques y espacios naturales protegidos en Centroamérica

Además del importante rol como proveedores de sustento y medio de vida para las poblaciones asentadas en las áreas boscosas, los bosques de Centroamérica forman parte del repositorio de diversidad biológica terrestre más grande del planeta. Estos bosques desempeñan un papel fundamental en la mitigación y adaptación del cambio climático por su capacidad de capturar carbono atmosférico. Además, proveen servicios ambientales regulando los ciclos hidrológicos y estabilizando los paisajes, contribuyen a la conservación del suelo y el agua en los ecosistemas frágiles y proporcionan oportunidades para la recreación y el turismo. Sin embargo, en los últimos 30 años la región ha visto disminuir su superficie boscosa y en particular ha perdido bosques naturales, tanto en términos absolutos como en relación con la superficie terrestre. La figura 20 muestra Porcentaje de área boscosa en países de Centroamérica.

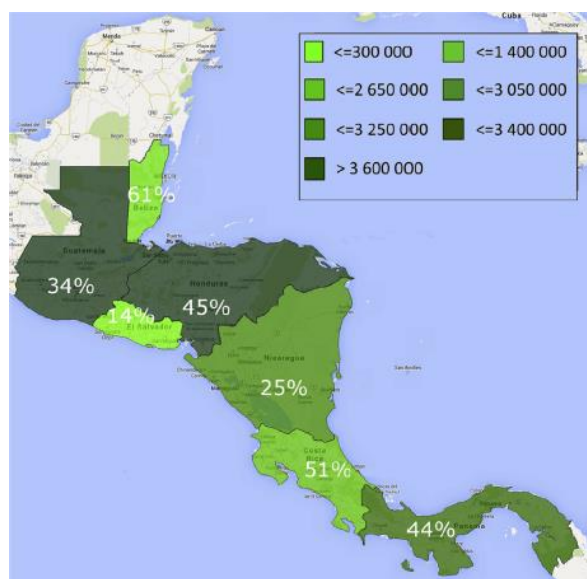


Figura 21: Porcentaje de área boscosa en países de Centroamérica

Fuente: L. Cutz, 2016

Entre 1990 y 2020, la proporción de cobertura boscosa regional disminuyó sistemáticamente desde un 53% a un 46% del territorio (CEPAL, 2021). Esta reducción de los bosques de coníferas se debe principalmente debido al uso excesivo de biomasa forestal para la calefacción y cocción de alimentos.

El Bosque de Pino-encino de América Central se encuentra en esta ecorregión, que es una de las 17 regiones que conforman el bioma Neotropical Tropical and Subtropical de los bosques de coníferas.

El área territorial que comprende el Bosque de Pino-Encino alberga al menos 18 millones de habitantes, según los últimos censos de población de cada país. Aproximadamente el 47% y el 28% de la población total reside en Guatemala y Honduras, respectivamente. En el caso de Honduras, el 35% de la población dentro de la ecorregión vive en la pobreza, y muchas de estas personas son grupos étnicos indígenas (Solano, Martínez, Sánchez, & Corral, 2017). El clima en las áreas que sostienen un bosque de pino-encino es típicamente más frío y seco que el que se encuentra en las tierras bajas y, por lo tanto, los habitantes humanos han favorecido estas áreas desde la época precolombina.

En consecuencia, estos bosques probablemente han sufrido la degradación más constante y a largo plazo causada por los humanos de cualquier área boscosa en la región (Wilson & Townsend, 2007). Estas perturbaciones antropogénicas son los principales factores de estrés que afectan el equilibrio ambiental al crear fragmentación, causar el deterioro de la conectividad del paisaje y alterar la integridad ecológica (Hasan-Rezaa & Abdullaha, 2011). Kohl *et al.* sugieren que el uso de la biomasa forestal como fuente de energía renovable está asociado a la pérdida de bosques o espacios naturales protegidos, y más profundamente a la pérdida de la funcionalidad ecológica. Adicionalmente, afirman que el aprovechamiento de la biomasa forestal requiere una gestión sostenible basada en herramientas que permitan evaluar y facilitar la toma de decisiones Kohl, *et al.*, (2015).

4.3. Estado de los bosques y espacios naturales protegidos en Honduras

La superficie total de Honduras es de 112.492 km² e incluye fronteras con Guatemala (256 km), Nicaragua (922 km) y El Salvador (342 km). Las tierras altas del interior son en su mayoría montañosas y cubren el 82% del terreno del país. Esta región está formada por las Cordilleras Central, Norte y Sur.



Figura 22: Mapa de la República de Honduras

Fuente: Elaboración propia

Las tierras bajas del Caribe norte cubren el 16% del territorio del país y consisten en valles fluviales y llanuras costeras. Esta región es cálida y húmeda, recibe alrededor de 2000 mm/año de lluvia con temperaturas que alcanzan los 24°C. Al este y al oeste, las tierras bajas del Caribe contienen amplios valles fluviales.

El medio ambiente de Honduras está sufriendo la presión de la expansión de las poblaciones urbanas sobre los recursos ambientales. La expansión urbana y el crecimiento de la población están cambiando los patrones de uso de la tierra, provocando el deterioro debido a la deforestación. Otros impactos incluyen la caza furtiva de especies silvestres, la promoción de la producción de biocombustibles, el uso masivo de pesticidas y fertilizantes sintéticos, la eliminación de desechos sólidos orgánicos e inorgánicos sin tratar (estimados en 0,5 millones de toneladas por año de las ciudades), y la descarga de aguas residuales sin tratar en los sistemas naturales. Las debilidades administrativas en el marco ambiental de Honduras, como comprensión limitada del funcionamiento de los ecosistemas, brechas y ambigüedades regulatorias, falta de voluntad política y prioridad para la conservación de la biodiversidad y la silvicultura sostenible, controles ambientales débiles, pobreza dominante generalizada y falta de alternativas energéticas económicamente accesibles todos contribuyen a la falta de avances sustanciales en la mejora de la conservación de la biodiversidad.

Además, la expansión agrícola también ha impactado la salud del medio ambiente en Honduras. Las tierras agrícolas se limpian tradicionalmente mediante técnicas de tala y quema que conducen a la erosión del suelo y a la pérdida de la fertilidad del suelo.

El uso de la tierra a menudo es inadecuado para fines agrícolas en estas áreas, lo que resulta en un consumo insostenible de recursos hídricos y la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes y pesticidas. Honduras ha experimentado uno de los mayores aumentos en el uso de fertilizantes en América Latina ([Brouwer & McCarl, 2006](#)). Honduras es altamente vulnerable a los desastres naturales y los efectos del cambio climático. El país está catalogado como ambientalmente “Vulnerable” por la Comisión de Geociencias Aplicadas del Pacífico Sur (SOPAC), entidad que forma parte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Esta clasificación implica que el país está altamente expuesto a fenómenos naturales recurrentes, especialmente huracanes, tormentas tropicales y sequías cíclicas (El Niño), entre otros. Como en el resto de Centroamérica, estos problemas son creados por la rápida urbanización que ha ocurrido en los últimos años, además de la deforestación, la degradación de los bosques y la contaminación del aire. El Índice de Desempeño Ambiental de la Universidad de Yale calificó a Honduras con un puntaje general de 69.64 y una mejora del 19.78% durante la última década ([BCIE, 2016](#)).

Los ecosistemas marinos y de agua dulce también están amenazados debido a la sobrepesca, el cambio climático, la pérdida de hábitat debido al desarrollo turístico y agrícola mal planificado, las descargas agrícolas y domésticas no tratadas, las cuencas hidrográficas degradadas y los flujos de agua dulce alterados, el desarrollo costero no planificado y no regulado, las especies invasoras y la infraestructura inadecuada para manejar las aguas residuales, los desechos sólidos y el drenaje de la tierra.

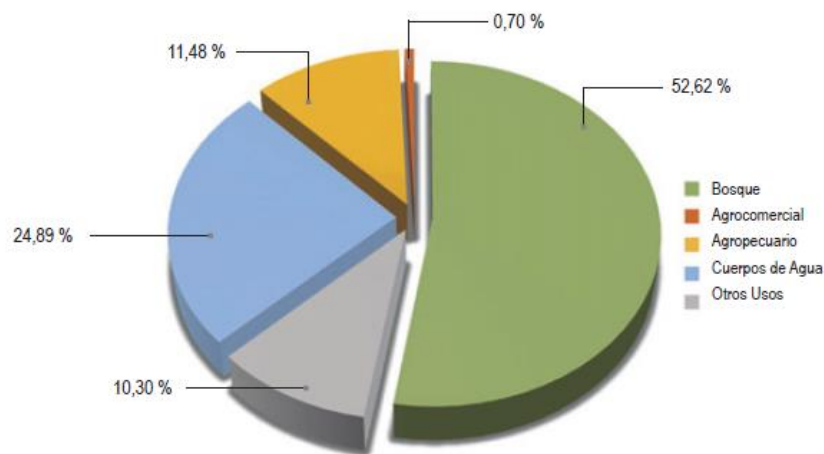


Figura 23: Distribución porcentual del bosque en áreas protegidas

Fuente: ICF, 2021

Del mismo modo, una gobernanza débil, incluido el apoyo político/legal/normativo, la capacidad institucional, la voluntad política, la participación de las partes interesadas y la capacidad científica/técnica, representa la principal limitación para el uso sostenible y la conservación de los recursos acuáticos (Myton, et al., 2014).

Sin embargo, Honduras ha intentado combatir la pérdida de recursos naturales estableciendo una meta de conservación del 12% para los 59 ecosistemas terrestres del país (House & Mejia, 2002). La biodiversidad es manejada y conservada a través del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAPH) dependiente del Instituto de Conservación Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF). La figura 24 muestra la distribución porcentual del bosque en áreas protegidas de Honduras. El SINAPH comprende 14 categorías de manejo y ha crecido desde 2002 de 1.200.000 hectáreas (ha) de áreas protegidas terrestres a las actuales 1.875.745 ha, con un total de 91 áreas. El ochenta y siete por ciento (87%) del territorio de Honduras se considera de vocación forestal, pero solo el 56.06% se encuentra bajo cobertura forestal según el Servicio Forestal Hondureño (ICF, 2020). Honduras cuenta con 7,524 especies de plantas vasculares, 244 de las cuales son endémicas.

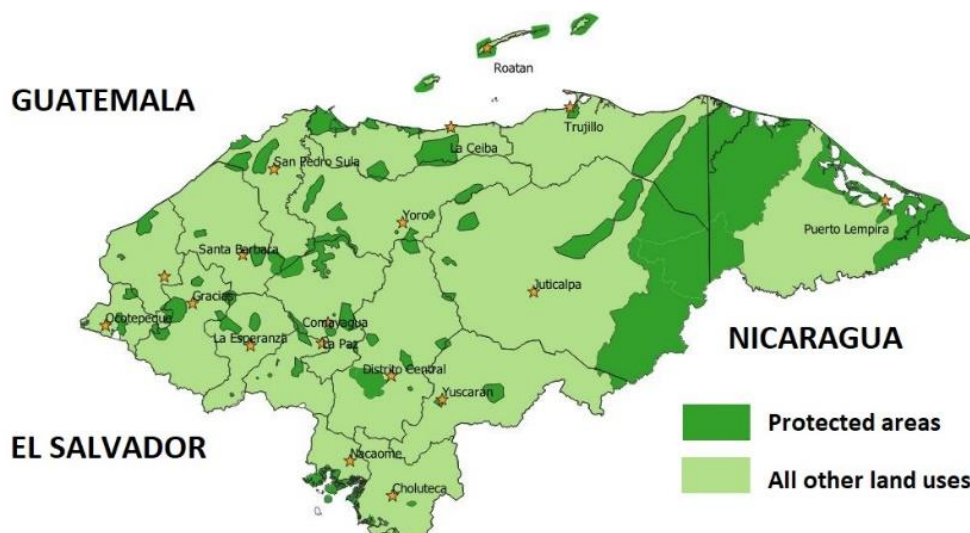


Figura 24: Mapa de Áreas Protegidas de La Republica de Honduras

Fuente: Elaboración propia a partir de shapefiles de ICF, 2023.

El país también tiene 718 especies de aves, incluido el colibrí Catracho (*Amazilia luciae*), la única especie de ave endémica del país. Cinco especies de aves están catalogadas como en peligro de extinción en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). También hay 228 especies de mamíferos, seis de las cuales son endémicas y 19 amenazadas; 211 especies de reptiles y 111 anfibios, incluidas 36 especies endémicas; 2.500 especies de insectos, 14 de las cuales son endémicas; y finalmente un total de 672 especies de peces (PNUD, 2020).

De acuerdo con el ICF (ICF, 2021), Honduras cuenta con 91 áreas protegidas diferentes, que cubren un área de 3.9 millones de hectáreas o casi un tercio de la superficie terrestre del país. En 1992, La Ley General del Ambiente, creó bajo Decreto No. 104-93 el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Honduras (SINAPH) con el fin primordial de facilitar la conservación y protección de los recursos naturales del país. Sin embargo, de las 91 áreas protegidas de Honduras solo 71 tienen declaratoria oficial y las demás están propuestas. La siguiente tabla proporciona una descripción general de estas áreas, y el mapa indica dónde se encuentran las áreas protegidas y los corredores biológicos en Honduras.

No	Categoría	Cantidad	Área (ha)	Porcentaje
1	Área de manejo de Habitat de Vida Silvestre	7	75 033.87	1.90%
2	Zona de producción de agua	3	99 898.72	2.50%
3	Área de Usos Múltiples	5	52 241.16	1.30%
4	Jardín Botánico	1	2 255.31	0.10%
5	Monumento Cultural y Monumento Cultural y Natural	5	3 958.07	0.10%
6	Monumento Natural	4	127 596.99	3.20%
7	Parque Nacional	24	1 220 963.08	30.30%
8	Parque Nacional Marino	4	680 465.14	16.90%
9	Refugio de Vida Silvestre	14	139 030.60	3.50%
10	Reserva de Biosfera	16	365 090.95	9.10%
11	Reserva de Biosfera	2	1 083 280.94	26.90%
12	Reserva de Biosfera	1	48 055.20	1.20%
13	Reserva Forestal	2	70 870.09	1.80%
14	Reserva Forestal y Antropológica	2	39 034.98	1.00%
15	Zona de Reserva Ecológica	1	15 621.27	0.40%
Total		91	4 023 396.37	100.00%

Tabla 4: Categorías y Cobertura de Áreas Protegidas de Honduras.Fuente: ICF, 2021

La política ambiental hondureña está compuesta por varias estrategias y marcos nacionales administrados por la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (MIAMBIENTE) (Decreto No. 218-96) bajo la Ley General del Medio Ambiente (1993), que es la principal ley que regula los impactos permisibles. sobre el medio ambiente por las operaciones comerciales. El mandato de la Secretaría es desarrollar, coordinar, implementar y evaluar políticas para la protección y uso de los recursos hídricos; fuentes de energía nuevas y renovables; generación y transmisión de energía hidroeléctrica y geotérmica; la minería y la exploración y explotación de hidrocarburos; y el medio ambiente, los ecosistemas, las áreas protegidas y la protección de la flora y la fauna, incluidos los servicios de investigación y control y reducción de la contaminación.

La Dirección de Calidad Ambiental (DECA) dependencia del Ministerio de Ambiente (MIAMBIENTE) concentra sus recursos en revisar los estudios de impacto ambiental de las nuevas actividades propuestas (Cordero & Carabaguías, 2004). A continuación, se presenta un resumen detallado de leyes y reglamentos ambientales de Honduras.

- Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SINEIA) - creado por la Ley Nacional del Medio Ambiente (Decreto 104-93), proporciona el marco para la evaluación de impacto y las licencias ambientales en función del impacto ambiental.
- Política Nacional de Medio Ambiente (2005) - fomenta el establecimiento de normas para promover la sostenibilidad de los pagos por servicios ambientales.
- Estrategia Nacional de Biodiversidad (2001) - establece un marco para desarrollar un inventario de recursos naturales como “los bienes y servicios” de las áreas protegidas para generar fondos para la conservación de la diversidad biológica.
- Ley Forestal, de Vida Silvestre y de Biodiversidad (2007), que reconoce el pago por servicios ambientales y establece un mecanismo de pago a través de los Fondos Forestales y de Áreas Protegidas; y
- Ley Marco del Sector de Agua Potable y Saneamiento.
- Ley General de la Industria Eléctrica de Honduras. Comisión Reguladora de La Energía Eléctrica, 2019.
- Ley de promoción a la generación de energía eléctrica con recursos renovables. Decreto ley 70 – 2007.

4.4. Degradación y sostenibilidad de los espacios naturales protegidos.

A continuación, se degradación y sostenibilidad de los espacios naturales protegidos.

4.5. Degradación y sostenibilidad en el mundo

El crecimiento de la población humana, las tendencias demográficas y el desarrollo económico vienen reconociéndose desde hace tiempo como los principales factores que determinan el cambio ambiental. En los últimos 50 años, la población humana se ha duplicado y la economía mundial se ha multiplicado casi por cuatro.

El desarrollo económico ha liberado de la pobreza a miles de millones de personas en muchos países. Sin embargo, en gran parte del planeta la naturaleza se ha visto considerablemente alterada en el proceso, cuyas consecuencias han sido principalmente negativas para la biodiversidad y, en muchas ocasiones, también para los más vulnerables de la sociedad, en particular los pueblos indígenas. Las presiones determinantes son de sobra conocidas: el cambio, pérdida y degradación de hábitats; las prácticas agrícolas insostenibles; las especies invasivas; la escasa eficiencia en el uso de los recursos y la sobreexplotación, en particular la explotación ilegal de madera y el comercio de especies silvestres. El cambio climático y la fluctuación del clima agravan cada vez más los efectos de estas presiones (FAO, 2020).

Las presiones de los mercados mundiales, las preferencias en la alimentación y la pérdida y el desperdicio a lo largo de las cadenas de valor agrícolas impulsan la demanda de productos agrícolas y forestales, lo que, a su vez, da lugar a la deforestación y la degradación del bosque. La necesidad de suministrar alimentos y energía a una población mundial que va en aumento es, en términos generales, la principal causa de la pérdida de bosques y biodiversidad forestal. La presión demográfica y la pobreza constituyen las principales amenazas para la conservación forestal, al empujar a los agricultores pobres a convertir los bosques en pastos y recolectar combustibles vegetales de forma insostenible.

En diversos lugares, la deforestación se debe a cambios en los hábitos de consumo de poblaciones con mayor poder adquisitivo. Sin embargo, la deforestación y la degradación del bosque vienen realmente determinadas por muchas fuerzas políticas y socioeconómicas que interactúan desde el plano mundial hasta el local (IPCC, 2021).

Según Quiroga, 2007 (Quiroga-Martínez, 2007), el uso de un recurso por parte de las personas viene determinado en gran medida por los beneficios que se considera que aporta, sopesados frente a los costos originados por el acceso a este o los obstáculos institucionales; adicionalmente está influenciado por factores locales e históricos a diferentes escalas tales como el reconocimiento de los sistemas tradicionales de tenencia de los bosques y las prácticas consuetudinarias de gestión y uso, la aplicación local de acuerdos para el uso de zonas protegidas, el acceso por carreteras locales, los precios de los productos y las preferencias culturales.

Conocer los contextos locales en los que los factores determinantes interactúan a diferentes escalas, incluidos los procesos políticos y económicos mundiales y nacionales, los marcos institucionales que rigen el acceso a los recursos, los valores de las partes interesadas y las características ecológicas de los recursos.

Las medidas de lucha contra la deforestación se han intensificado en el último decenio, sobre todo gracias a la concienciación de que la pérdida de bosques y la utilización del fuego para el desbroce de terrenos están teniendo efectos negativos en el ciclo global del carbono.

La reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal y la función de la conservación, la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo (REDD+) figura actualmente como una medida ([Programa ONU-REDD, 2015](#)).

La REDD+ posibilita que los países en desarrollo accedan a financiación por la obtención de resultados comprobados en cuanto a la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal, y la gestión sostenible de los bosques, así como por la conservación y el aumento de las existencias de carbono. El marco para la REDD+ de la CMNUCC incluye la identificación de factores impulsores de la deforestación y el desarrollo de estrategias y planes de acción para la REDD+. También comprende un conjunto de salvaguardas ambientales y sociales dirigidas, por ejemplo, a asegurar que las medidas adoptadas sean coherentes con la conservación de los bosques naturales y la biodiversidad y que respeten los conocimientos y derechos de los pueblos indígenas y las comunidades locales. Hasta la fecha, 50 países han presentado un nivel de referencia de emisiones que sirve de base para hacer el seguimiento de sus progresos en cuanto a la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal. Estos países representan más del 30% de la superficie forestal mundial y más del 70% de la pérdida mundial de bosques. Más de 30 países han desarrollado estrategias nacionales para la REDD+ y 54 países han incluido la REDD+ en sus contribuciones determinadas a nivel nacional. En enero de 2020, nueve países han notificado una reducción de las emisiones de 8 820 millones de toneladas gracias a la disminución de las tasas de deforestación y degradación forestal ([FAO, 2020](#)).

4.6. Degradación y sostenibilidad en Centroamérica

En la región centroamericana, el patrón energético muestra que existe una tendencia pronunciada hacia el uso de fuentes de energía tradicionales en los países más pobres de la región. En 2020, OLADE estimó que 20 millones de personas de la población centroamericana dependían de la leña. Según Rodríguez ([Rodríguez Blanco, 2012](#)), solo en Honduras, el consumo de leña representa el 47% del consumo total de energía primaria.

Este comportamiento antropogénico ejerce mucha presión sobre los bosques naturales y también tiene un papel importante en el deterioro de los ecosistemas, ya que muchas prácticas de gestión forestal son insostenibles. Otros países centroamericanos, como Guatemala, Nicaragua y El Salvador, tienen niveles de consumo de leña que promedian el 39%. Este uso excesivo de la biomasa forestal crea un impacto humano en los procesos de los ecosistemas que podría alterar la organización de estos procesos en múltiples escalas espaciales ([Mattson & Angermeier, 2007](#)).

El Bosque de Pino-encino de América Central se encuentra en esta ecorregión, que es una de las 17 regiones que conforman el bioma Neotropical Tropical y Subtropical de bosques de coníferas.

El área territorial que comprende este ecosistema alberga al menos 18 millones de habitantes, según los últimos censos de población de cada país. Aproximadamente el 47% y el 28% de la población total reside en Guatemala y Honduras, respectivamente. En el caso de Honduras, el 35% de la población dentro de la ecorregión vive en la pobreza, y muchas de estas personas son grupos étnicos indígenas ([Solano, Martínez, Sánchez, & Corral, 2017](#)). El clima en las áreas que sostienen un bosque de pino-encino es típicamente más frío y seco que el que se encuentra en las tierras bajas y, por lo tanto, los habitantes humanos han favorecido estas áreas desde la época precolombina. En consecuencia, estos bosques probablemente han sufrido la degradación más constante y a largo plazo causada por los humanos de cualquier área boscosa en Honduras ([Wilson & Townsend, 2007](#)).

Estas perturbaciones antropogénicas son los principales factores de estrés que afectan el equilibrio ambiental al crear fragmentación, causar el deterioro de la conectividad del paisaje y alterar la integridad ecológica. Kohl *et al.* sugieren que el uso de la biomasa forestal como fuente de energía renovable está asociado a la pérdida de bosques o espacios naturales protegidos, y más profundamente a la pérdida de la funcionalidad ecológica. Afirman que el aprovechamiento de la biomasa forestal requiere una gestión sostenible basada en herramientas que permitan evaluar y facilitar la toma de decisiones [22].

Estas perturbaciones antropogénicas son los principales factores de estrés que afectan el equilibrio ambiental al crear fragmentación, causar el deterioro de la conectividad del paisaje y alterar la integridad ecológica (Hasan Reza & Abdullah, 2011). Kohl *et al* 2015 sugieren que el uso de biomasa forestal como fuente de energía renovable está asociado con la pérdida de bosques o espacios naturales protegidos, y más profundamente con la pérdida de la funcionalidad ecológica. Afirman que el aprovechamiento de la biomasa forestal requiere una gestión sostenible basada en herramientas que permitan evaluar y facilitar la toma de decisiones Kohl, *et al*, (2015). Estas herramientas incluyen un proceso de catastro y regularización de tierras forestales con un fuerte enfoque en las áreas afectadas considerando los conflictos de tierras, con especial atención a las cuestiones étnicas y de género (ver anexo 2).

4.7. Degradación y sostenibilidad en Honduras.

Según el ICF, de las diferentes amenazas a las que se encuentran expuestos los bosques, los incendios forestales son una de las principales que se presentan cada año. Estos siniestros ocurren principalmente en bosques de pino y bosques mixtos (pino y roble) que representan el 34.70 % de la cobertura boscosa del país (2.19 millones de hectáreas). Para el año 2021 se reportaron 817 incendios, con una superficie afectada de 90,546.9 hectáreas. En Honduras, el gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis*, es la principal plaga de los bosques de pinar. Las pérdidas generadas en condiciones epidémicas ocasionadas por este insecto son de alarmante magnitud.

De acuerdo con el registro histórico del ICF, desde 1962 al 2021 un total de 1,114,675.25 hectáreas de bosque de pino se han perdido por causa de afectaciones de plagas forestales en condiciones endémicas y condiciones epidémicas en períodos cíclicos cada vez de menor escala en tiempo. Desde el 2001 hasta el 2021, se han afectado 513,057.05 hectáreas y 45,439 brotes detectados (ICF, 2022).

Además, según Nelo *et al.* (Nelo , Raes, Wong, Chacón, & Sanchún, 2019), afirman que la deforestación en Honduras alcanzó 43,588 ha por año entre 2012 y 2016, un aumento del 70 % en comparación con la tasa de deforestación del período 2000–2012.

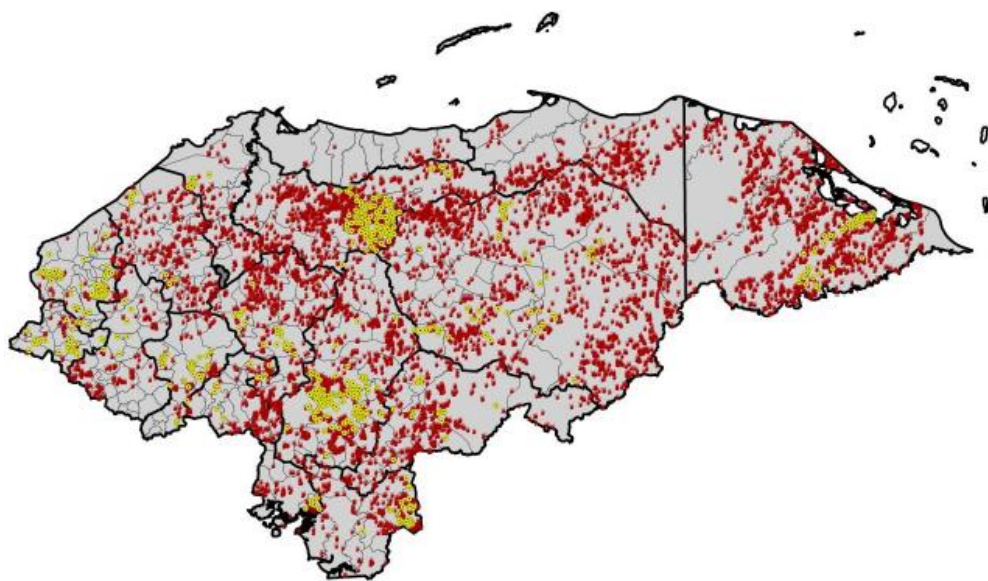


Figura 25: Mapa Comparativo de incendios reportados versus puntos de calor.

Fuente: ICF, 2021

Según el Comisionado de Los Derechos Humanos de Honduras (CONADEH), la degradación del ambiente en Honduras ha alcanzado índices alarmantes. El efecto negativo más importante es principalmente la deforestación, que es producida por tala ilegal del bosque y los incendios forestales, producto de la falta de control, supervisión y aplicación de la Ley.

Los incendios forestales, constituyen un fenómeno cíclico recurrente, generador de mucha preocupación porque además de sus implicaciones económicas, igualmente repercute también en la salud humana y en las condiciones ambientales en que vive la población, impactando de esta manera en su derecho a un ambiente sano y, por consiguiente, en la calidad de vida de los habitantes (CONADEH, 2021).

Los incendios forestales producen un daño incalculable al ambiente debido a la afectación de los bosques y ecosistemas, las fuentes de agua (recurso hídrico), la biodiversidad y muchas actividades económicas, con repercusiones económicas y en los derechos humanos de la población (vida, salud, ambiente sano, agua, entre otros).

Los incendios forestales son considerados como disturbios naturales que permiten la renovación de los ecosistemas. Sin embargo, en Honduras, por su frecuencia, sucede todo lo contrario, ya que los incendios forestales son provocados por el hombre y debido a que son frecuentes, contribuyen a la degradación del suelo y de los bosques y, en algunos casos, se hace imposible la recuperación de estos (CONADEH, 2021).

V. HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS FORESTALES.

A continuación, se describen las Herramientas para la evaluación sostenible de los recursos forestales.

5.1. Manejo forestal sostenible

El manejo forestal sostenible es un enfoque que busca gestionar los bosques de manera responsable y equilibrada, asegurando la conservación a largo plazo de los recursos forestales y su biodiversidad, al mismo tiempo que se busca obtener beneficios económicos, sociales y ambientales para las comunidades locales. El objetivo principal del manejo forestal sostenible es el uso responsable y racional de los recursos forestales, de manera que se satisfagan las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. La figura 26 ilustra la visión general del Manejo Forestal Sostenible.

El manejo forestal sostenible implica la planificación cuidadosa y la implementación de prácticas de gestión forestal que tengan en cuenta la conservación de la biodiversidad, la protección del suelo y del agua, la mitigación del cambio climático, la seguridad de los trabajadores forestales y la mejora de la calidad de vida de las comunidades locales. Además, se busca promover la participación de estas comunidades en la toma de decisiones y la gestión de los recursos forestales. Como estrategia busca equilibrar los aspectos ambientales, sociales y económicos del uso de los bosques, con el objetivo de asegurar su conservación y aprovechamiento de manera sostenible a largo plazo ([Kometter, 2023](#)).



Figura 26: Ilustración del Manejo Forestal Sostenible.

En ese sentido, es necesario promover el manejo forestal sostenible. Los bosques bien manejados pueden mantener una comunidad de organismos con una organización funcional como la que se encuentra en las áreas naturales ([Rempela, et al, \(2016\)](#)). Sin embargo, debido a la influencia de las actividades antropogénicas es necesario la incorporación de las comunidades en el manejo integral de los bosques. Según GIZ ([GIZ, 2013](#)), el fundamento de la Forestería Comunitaria contempla tres ejes estratégicos: 1) Manejo Integral del Bosque:

El manejo del bosque debe garantizar su conservación y un aprovechamiento de todo su potencial, considerando que no solo es un productor de madera, sino que es fuente de diversos bienes y servicios de los cuales se obtienen beneficios económicos (madera, leña, productos no maderables), ecológicos (agua, suelo, clima, fauna) y sociales (belleza escénica, ámbito de vida, condiciones de salud, educación, integración comunitaria). 2) Desarrollo Humano Integral: Considerando que el fin último de la Forestería Comunitaria es mejorar las condiciones de vida de la población, se busca el fortalecimiento de las capacidades humanas para conducir sus procesos de desarrollo en forma autónoma.

Esto permite valorar la organización comunitaria, estimular la participación efectiva y equitativa de hombres y mujeres. 3) Manejo Integral de Fincas: Asociado al manejo responsable del bosque, se impulsa la diversificación y el mejoramiento de la unidad de producción agrícola a fin de aumentar la disponibilidad de alimentos y generar excedentes para incrementar el ingreso familiar. El mejoramiento de la unidad productiva se logra mediante un cambio en la cultura de la agricultura de subsistencia.

Como resultado de la Forestería Comunitaria, se generan iniciativas para el desarrollo de infraestructura social y productiva que beneficie a las comunidades involucradas. Estas pueden ser financiadas con los ingresos generados por la venta de productos forestales y por fuentes externas a la organización comunitaria. Dichos proyectos responden a las necesidades identificadas por la comunidad: saneamiento básico, centros de salud, escuelas, energía renovable, caminos, entre otros.

5.2. Herramientas de evaluación.

Hay muchas herramientas utilizadas para evaluar la pérdida de recursos forestales y ecosistemas naturales. Sin embargo, el uso de Light Detection and Ranging (LiDAR) y fotografías aéreas digitales permite obtener información espacial y tridimensional detallada sobre la estructura del bosque (White, *et al*, 2016).

La información espacialmente explícita es particularmente valiosa para los administradores, ya que ayuda a monitorear la degradación forestal (Mitchell, Rosenqvist, & Mora, 2017).

Adicionalmente, se ha utilizado el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para evaluar los impactos potenciales generados por la pérdida de disponibilidad de los recursos forestales maderables (Bulle, Lie-Ugaya, & Frankiewicz-Odppes, 2021).

Se adoptó el Proceso de Jerarquía Analítica Fuzzy (AHP), un enfoque híbrido de lógica difusa y toma de decisiones multicriterio, para investigar y revelar los niveles de importancia de la sostenibilidad en la gestión forestal (Bahadır-Çağrı, 2021). La evaluación de la integridad ecológica es una de las herramientas utilizadas no solo para medir los objetivos de conservación, sino también para establecerlos. También evalúa las amenazas a la biodiversidad, identifica las necesidades de seguimiento e investigación y comunica la información de gestión a los no especialistas (Brown & Williams, 2016).

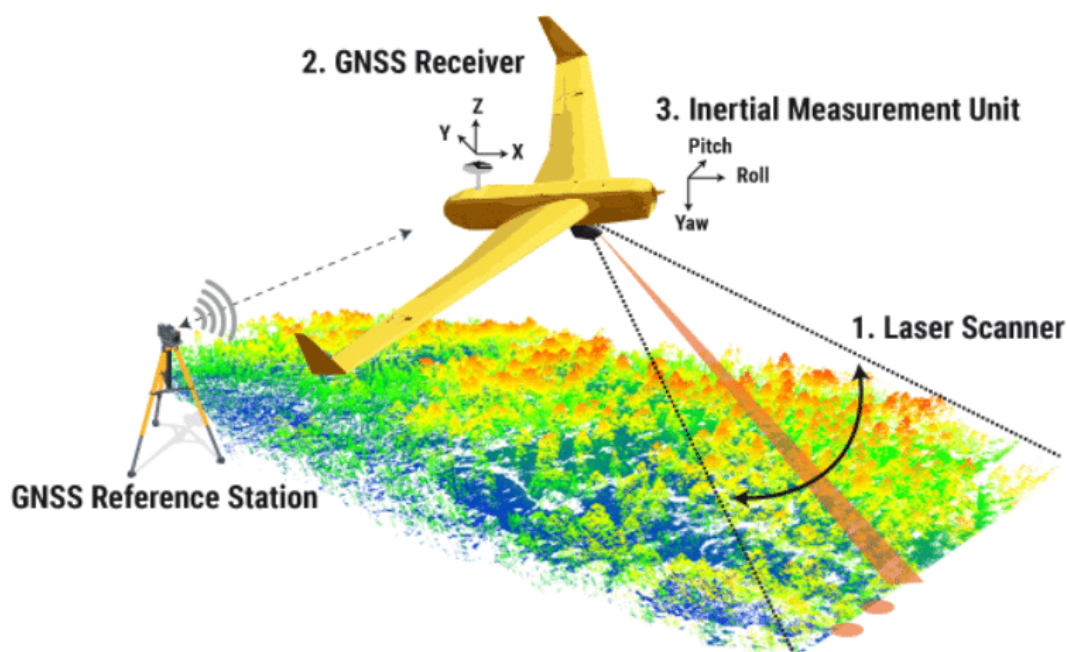


Figura 27: Imagen de Tecnología LIDAR

Fuente: Yellowscan, 2023

Ante los crecientes niveles de degradación de los ecosistemas, los científicos y profesionales buscan preservar la integridad ecológica mediante la restauración de las funciones del hábitat.

Estas funciones se definen como la capacidad de un ecosistema para proporcionar refugio y espacios de reproducción a especies silvestres de plantas y animales ([Capmourteres & Anand, 2016](#)).

5.3. Criterios e indicadores de manejo de áreas naturales protegidas.

Además, las tradiciones ancestrales deben examinarse mediante el uso de estrategias científicas para explorar el papel que tienen estas tradiciones y su compatibilidad con las condiciones del bosque. Estas estrategias deben utilizar marcos de criterios e indicadores (C&I) como plataformas para incluir las necesidades y los objetivos de la comunidad en las decisiones de gestión que ofrecen un enfoque holístico ([Adam & Kneeshaw, 2008](#)).

Por lo tanto, los esfuerzos de conservación deben centrarse con frecuencia en minimizar las amenazas reales a los bosques que podrían afectar estas estrategias, pero esto a menudo se lleva a cabo de tal manera que no hay una comprensión clara de los factores específicos del sitio que afectan la composición y estructura de los bosques locales. bosques, o de la magnitud de la amenaza a los bosques ([Burke D. , Knisely, Watson, Carrino-Kyker, & Mauk, 2016](#)). En este trabajo se presenta una metodología sencilla que permite obtener un indicador basado en criterios relacionados con la Integridad Ecológica. Esta metodología, entre otras, se utiliza para evaluar el estado actual y la sostenibilidad de los ecosistemas naturales que están siendo presionados por la generación de energía en las zonas rurales de Honduras. El estudio se realizó en los bosques de Honduras que conforman la ecorregión mesoamericana conocida como Bosque de Pino-Encino, el cual es un espacio natural de gran riqueza ecológica.

A pesar de la importancia de este tipo de bosque, es un ecosistema que tiene uno de los niveles más bajos de representación legal en los mecanismos de conservación de la región; se ha investigado muy poco sobre este ecosistema, y no se valora tanto como se debería ([Solano, Martínez, Sánchez, & Corral, 2017](#)). Los indicadores de conservación de las áreas naturales protegidas en Honduras son implementados por el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF).

El ente que coordina la implementación El Plan Estratégico del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y Vida Silvestre de Honduras (SINAPH) es la Subdirección de Áreas Protegidas y Vida Silvestre (SDAPVS) y del Departamento de Áreas Protegidas (DAP). Este plan, en una de sus Líneas Estratégicas (3), establece que “Las áreas protegidas son efectivamente manejadas mediante una administración eficiente y descentralizada, desarrollo continuo de capacidades, aplicación de la política de co-manejo y de conformidad a la normativa legal y técnica instituida”. Partiendo de esta prioridad, el ICF y los demás socios del co-manejo de las áreas protegidas, plantearon la necesidad de actualizar el Manual para la Aplicación del Monitoreo de la Efectividad de Manejo (MEM), versión 2007; ya que las áreas protegidas en su mayoría han alcanzado un nivel de gestión diferente al que se encontraba en el período entre los años 2000 al 2007. A la fecha hay áreas protegidas con planes de manejo aprobados; proceso que se obtuvo hasta que se desarrolló el co-manejo para la implementación respectiva de este instrumento ([DAPVS, 2014](#)).

Actualmente en los procesos de aprobación e implementación de los Planes de Manejo para las áreas protegidas, se están definiendo Programas de Manejo, relacionados con los diferentes cambios que promueve la Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (LFAPVS) (Decreto Legislativo N° 98-2007) y su respectivo Reglamento General (Acuerdo N° 031-2010). Igualmente existen los cambios globales que se promueven partiendo del cumplimiento al Plan de Trabajo del Convenio de Diversidad Biológica, entre éstos: 1los asociados con los efectos del cambio climático, acciones de valoración y respectivas negociaciones de los bienes y servicios ecosistémicos que estas áreas protegidas generan, 3acciones de planificación financiera que permitan las reinversiones en el manejo de las áreas protegidas y aspectos asociados al manejo de residuos. Por ello, es prioridad definir como identificar y como se puede saber que está pasando en cada área protegida y en el sistema nacional, para así proponer acciones de manejo que ayuden a superar las amenazas y presiones crecientes. En el año 2012 y 2013, nuevamente se actualiza la herramienta y se han definido y agrupado un total de 4 Ámbitos de Gestión: Social, Administrativo, Recursos Naturales y Culturales, y el Económico-Financiero.

Estos también contienen un total de 21 indicadores relacionados directamente con la aplicación de la efectividad de manejo en el marco de la implementación del plan de manejo del área protegida, y que a su vez incluyen 6 indicadores asociados al aspecto de la implementación de los Convenios de Co-manejo de cada área protegida. Según el ICF, 2011 (ICF, 2011), al considerar los nuevos aspectos y evoluciones a nivel global relativos a la gestión de áreas protegidas los nuevos indicadores presentan las siguientes características:

1. Parte de la premisa de que existe un Plan de Manejo con base al Artículo 201 y 1132 de la Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre que establece la obligatoriedad de este instrumento administrativo.
2. Se adecua la herramienta al Ciclo de Manejo propuesto por la Comisión Mundial de Áreas Protegidas (CMAP) de la UICN.
3. Se parte del concepto de que los Planes Específicos (o de acción) deben tener una estructura que contribuyan a poder implementar el concepto de manejo adaptativo basado en el artículo 377 del Reglamento a la Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre.
4. Se fusionan indicadores fortaleciendo su capacidad para medir aspectos de manera integral.
5. Se proponen nuevos indicadores basados en el estado actual del conocimiento de la gestión de áreas protegidas.
6. Se propone cambiar la escala de evaluación de un nivel máximo de 5 escalas a un total de 4 escalas, para hacerla más objetiva.
7. La aplicación de indicadores depende de los objetivos y estrategias propuestas en el plan de manejo.
8. La aplicación de algunos indicadores dependen de la categoría y el modelo de gestión que se propone para el manejo del área protegida.
9. Se integran los conceptos de evaluación de efectividad de manejo administrativo y el cumplimiento de los objetivos del área protegida.

El SINAPH ha venido siendo evaluado desde hace 13 años, aplicando la Metodología del Monitoreo de la Efectividad de Manejo propuesta a nivel de Centro América, con la versión del año 2000 y 2007; la cual contenía un total de 44 y 35 indicadores, respectivamente, mismos que se agrupaban en 5 Ámbitos.

Estos incluyen: Social, Administrativo, Manejo de Recursos Naturales y Culturales, Político-Legal y Económico-Financiero.

Los **elementos** de evaluación y su explicación dentro del marco conceptual de la Comisión Mundial de Áreas Protegidas (CMAP) ([DAPVS-ICF, 2014](#)). Existen diferentes manuales para el manejo adaptativo, pero en la mayoría de los ciclos de gestión adaptativa, los siguientes seis pasos son los que se enumeran a continuación:

1. Determinar los objetivos de conservación y evaluar los problemas existentes
2. Diseñar soluciones
3. Implementar medidas
4. Monitorear
5. Evaluar el efecto de las medidas
6. Adaptar soluciones y medidas.

En la tabla 70 se muestran los criterios evaluados e indicadores en los cuales se destacan Significancia (Cultural, Biológico, Económico) Amenazas (internas, externas, extracción recursos). Vulnerabilidad (estatua legal, demarcación, fragilidad, cambio climático). Legislación y políticas. Diseño del área (viabilidad, conectividad, tenencia, uso tradicional, escala, zona buffer). Planificación (objetivos claros y planes de manejo, identificación de recursos). Así como los procesos de manejo, los resultados, los impactos y las evaluaciones de las acciones en las áreas protegidas.

Elemento Evaluación	Explicación	Criterios evaluados e Indicadores
Contexto	¿Dónde estamos ahora? Evaluación de la importancia amenazas y ambiente de políticas	Significancia (Cultural, Biológico, Económico) Amenazas (internas, externas, extracción recursos). Vulnerabilidad (estatua legal, demarcación, fragilidad, cambio climático).
Planificación	¿Dónde queremos estar? Evaluación del diseño y planificación de las áreas protegidas.	Legislación y políticas Diseño del área (viabilidad, conectividad, tenencia, uso tradicional, escala, zona buffer). Planificación (objetivos claros y planes de manejo, identificación de recursos).
Sostenibilidad	¿Qué es lo que necesitamos? Evaluación de los recursos necesarios para implementar el manejo.	Recursos para el área (staff, fondos, equipo, infraestructura) Socios, Voluntarios.
Procesos	¿Cómo lo hacemos? Evaluación de las prácticas de manejo	Procesos de manejo apropiado (planeamiento, mantenimiento, control y protección, entrenamiento, educación, investigación, monitoreo y evaluación, manejo de visitantes, manejo de recursos naturales y culturales, participación, resolución conflictos, manejo personal, control de presupuesto y financiero).
Resultados	¿Cuáles fueron los resultados? Evaluación de la implementación de los programas de manejo y acciones, entrega de bienes y servicios.	¿Resultados de las acciones de manejo? Evaluación de implementación de planes de manejo, planes anuales, de presupuesto anual) Servicios y bienes (cuantificación de servicios y productos generados de los procesos de manejo).
Impactos	¿Cuáles fueron los impactos? Evaluación de las prácticas de manejo.	Impactos: los efectos de manejo en relación con los objetivos (evaluación cualitativa y cuantitativa de los logros con base a los objetivos; Planes de manejo; amenazas específicas, conservación biodiversidad; relevancia a los objetivos de la categoría de manejo).

Tabla 5: Criterios e indicadores de manejo

Adaptado de ICF, 2014

5.4. Participación y mejoramiento de las condiciones y calidad de vida de las comunidades.

De acuerdo con Eizaguirre y Zabala ([Eizaguirre & Zabala, 2019](#)), La Investigación Acción Participativa es un método de investigación y aprendizaje colectivo de la realidad, basado en un análisis crítico con la participación activa de los grupos implicados, que se orienta a estimular la práctica transformadora y el cambio social. La Participación y mejoramiento de las condiciones y calidad de vida de la sociedad es crucial para el desarrollo sostenible de las comunidades locales. Sin embargo, en ciertas partes del mundo, los problemas económicos y técnicos, la falta de información y las condiciones de vida locales dificultan el uso de estas herramientas de gestión. Gareau ([Gareau, 2007](#)), argumenta fuertemente que la falta de conservación de los recursos naturales en el área natural protegida del Cerro Guanacaure, Honduras, es una consecuencia de que las regulaciones del parque han sido diseñadas de manera exógena, con una falta de comprensión de las condiciones locales socialmente diferenciadas y sin proporcionar una solución factible para reducir la degradación de los recursos.

En ese sentido es de suma importancia tomar en cuenta las Tecnologías de Energía Renovable a pequeña escala a través de la integración sistémica de métodos y técnicas de investigación cualitativa y cuantitativa (Hernández, Baptista, & Fernández, 2014). Una de las herramientas sugeridas para el manejo sostenible de los bosques es la Investigación Acción Participativa con la incorporación de comunidades locales para generar datos sobre algunos métodos para el uso sostenible y óptimo de la biomasa forestal como fuente de energía renovable para mejorar la integridad ecológica de los ecosistemas ([Del Rio & Burguillo, 2009](#)).

El método de la investigación-acción participación (IAP) combina dos procesos, el de conocer y el de actuar, implicando en ambos a la población cuya realidad se aborda. Al igual que otros enfoques participativos, la IAP proporciona a las comunidades y a las agencias de desarrollo un método para analizar y comprender mejor la realidad de la población (sus problemas, necesidades, capacidades, recursos), y les permite planificar acciones y medidas para transformarla y mejorarla.

Este es un proceso que combina la teoría y la praxis, y que posibilita el aprendizaje, la toma de conciencia crítica de la población sobre su realidad, su empoderamiento, el refuerzo y ampliación de sus redes sociales, su movilización colectiva y su acción transformadora.

En cada proyecto de IAP, sus tres componentes se combinan en proporciones variables. a) La investigación consiste en un procedimiento reflexivo, sistemático, controlado y crítico que tiene por finalidad estudiar algún aspecto de la realidad con una expresa finalidad práctica. b) La acción no sólo es la finalidad última de la investigación, sino que ella misma representa una fuente de conocimiento, al tiempo que la propia realización del estudio es en sí una forma de intervención. c) La participación significa que en el proceso están involucrados no sólo los investigadores profesionales, sino la comunidad destinataria del proyecto, que no son considerados como simples objetos de investigación sino como sujetos activos que contribuyen a conocer y transformar su propia realidad.

La finalidad de la IAP es cambiar la realidad y afrontar los problemas de una población a partir de sus recursos y participación, lo cual se plasma en los siguientes objetivos concretos: a) Generar un conocimiento liberador a partir del propio conocimiento popular, que va explicitándose, creciendo y estructurándose mediante el proceso de investigación llevado por la propia población y que los investigadores simplemente facilitan aportando herramientas metodológicas. b) Como consecuencia de ese conocimiento, dar lugar a un proceso de empoderamiento o incremento del poder político (en un sentido amplio) y al inicio o consolidación de una estrategia de acción para el cambio. c) Conectar todo este proceso de conocimiento, empoderamiento y acción a nivel local con otros similares en otros lugares, de tal forma que se genere un entramado horizontal y vertical que permita la ampliación del proceso y la transformación de la realidad social. El primer paso en esta herramienta es identificar comunidades usuarias los recursos; luego se estudian a través de una integración sistémica de métodos y técnicas de investigación cualitativa y cuantitativa a través de un enfoque mixto de investigación ([Hernández, Baptista, & Fernández, 2014](#)); a través de:

a) Encuestas – Las encuestas fueron desarrolladas para hacer preguntas específicas e incluyeron respuestas cortas, respuestas múltiples y escalas de preguntas-respuestas realizadas de manera presencial; b) Entrevistas: las entrevistas son conversaciones guiadas sobre las especies y tecnologías seleccionadas, por lo general uno a uno, y se usaban preguntas abiertas para obtener respuestas más detalladas; c) Grupos Focales – sesiones con grupos (7-12 personas) que eran dirigidas por moderadores para obtener información del grupo de expertos en base a alguna pregunta de investigación. De acuerdo con Del Rio & Burguillo ([Del Rio & Burguillo, 2009](#)), las energías renovables tienen un gran potencial para contribuir al desarrollo sostenible de territorios específicos al proporcionarles una amplia variedad de beneficios socioeconómicos, incluida la diversificación del suministro de energía, mejores oportunidades de desarrollo regional y rural, creación de una industria nacional y empleo.

VI. OBJETIVOS DEL TRABAJO

A continuación, se describen los objetivos del proyecto de investigación.

6.1. Objetivo principal

El objetivo de la presente investigación es caracterizar y evaluar el potencial de la biomasa forestal del ecosistema pino-encino como fuente de energía rural sostenible con un enfoque particular en las áreas naturales de Honduras.

6.2. Objetivos secundarios

- a) Crear una herramienta para la evaluación de la biomasa forestal como fuente de energía rural sostenible en áreas naturales de Honduras.
- b) Caracterizar al menos 5 fuentes de combustibles de biomasa forestal en el ecosistema Pino-encino ubicado en la región central de Honduras;
- c) Determinar los parámetros energéticos de los combustibles con potencial de generar bioenergía en la región central de Honduras.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se describe el desarrollo de la metodología empleada, la cual fue dividida en tres componentes:

- a) Trabajo de oficina
- b) Trabajo de campo
- c) Trabajo de laboratorio.

La siguiente metodología es de carácter mixto la cual describe cómo se logró cada objetivo específico, con suficiente detalle para permitir una evaluación independiente e informada de la investigación. Esta sección incluye:

- a) Creación de tareas de investigación: hipótesis o preguntas de investigación;
- b) Población de estudio y muestreo: descripción de las áreas de estudio, poblaciones y los procedimientos para su selección;
- c) Recopilación de datos: descripción de las herramientas y métodos utilizados para recopilar información, e identificación de variables;
- d) Análisis de datos: descripción de los procedimientos de procesamiento y análisis de datos;
- e) Procedimientos de laboratorio: descripciones de procedimientos y protocolos estandarizados y procedimientos nuevos o únicos; y
- f) Las herramientas específicas que se utilizaron para estudiar cada objetivo de la investigación.

La investigación mixta no pretende reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar ambos tipos de indagación combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales.

Este proceso implica la recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema examinando las características, posibilidades y ventajas de los métodos mixtos, se consideraron los métodos mixtos en función del planteamiento del problema, el muestreo, la recolección y análisis de los datos y el establecimiento de inferencias ([Sampieri, 2014](#)). La estructura del proyecto es la siguiente:

- a) Monitorear el contexto para identificar áreas problemáticas con potencial de mejora.
- b) Investigar y monitorear el desarrollo y la aplicación de la teoría y la práctica de sistemas que ofrezcan mejoras potenciales.
- c) En consulta con actores claves, identificar las áreas problemáticas que ofrecen oportunidades de intervención.

Para cada área problemática seleccionada: se aplicó la creatividad, la elección, la implementación y la reflexión. Así mismo, se desarrolló un conjunto de directrices prácticas que fueron implementados en situaciones problemáticas relevantes con múltiples partes interesadas. Posteriormente se interpretaron los hallazgos generales de la investigación en relación con los objetivos específicos de la investigación y cualquier perfeccionamiento subsiguiente. Una revisión detallada de los siguientes documentos será esencial para el estudio de investigación:

- a) Estudios abiertos de literatura, principalmente revisión de estado del arte. También se estudiará la literatura sobre el modelado de empresas bioenergéticas en diferentes áreas de investigación y práctica.
- b) Estudios enfocados de la literatura, relativos a áreas y conceptos emergentes como dominantes de los estudios empíricos, por ejemplo, teoría de la organización o uso de técnicas creativas. Una comprensión más amplia del modelado empresarial como producto de la comprensión de la literatura previamente leída.
- c) Formulación de una serie de principios que resumen las lecciones aprendidas de los estudios empíricos.

- d) Desarrollo de un marco metodológico para el modelado de empresas de bioenergía, consistente con los principios desarrollados anteriormente.
- e) Evaluación tanto del resultado como de la realización del proyecto de investigación en un intento de validar el marco propuesto para el modelado de las mejores prácticas de conservación y utilización de los recursos del ecosistema.

7.1. Área de estudio

El área del Bosque de Pino-Roble de América Central se encuentra en esta ecorregión, que es una de las 17 regiones que conforman el bioma Bosques Neotropicales Tropicales y Subtropicales de Coníferas. El área territorial que comprende la zona del Bosque de Pino-Encino alberga al menos 18 millones de habitantes, según los últimos censos de población de cada país. Aproximadamente el 47% y el 28% de la población total reside en Guatemala y Honduras, respectivamente. En el caso de Honduras, el 35% de la población dentro de la ecorregión vive en la pobreza, y muchas de estas personas son grupos étnicos indígenas (Solano, Martínez, Sánchez, & Corral, 2017). El clima en las áreas que sustentan los bosques de pino y encino es típicamente más fresco y seco que el que se encuentra en las tierras bajas y, por lo tanto, los habitantes humanos han favorecido estas áreas desde la época precolombina. En consecuencia, estos bosques probablemente han sufrido la degradación más constante y prolongada causada por humanos de cualquier área boscosa en Honduras (Wilson & Townsend, 2007).

El ecosistema de pino-encino, también conocido como bosque de coníferas, se distribuye principalmente en las tierras altas de la Sierra de Madre de Chiapas, México/Guatemala; a través de la Sierra del Merendón, Guatemala/Honduras; y al sur en el norte de Nicaragua. La figura 28 muestra la ubicación del Ecosistema Pino – Encino en Honduras (Color verde).

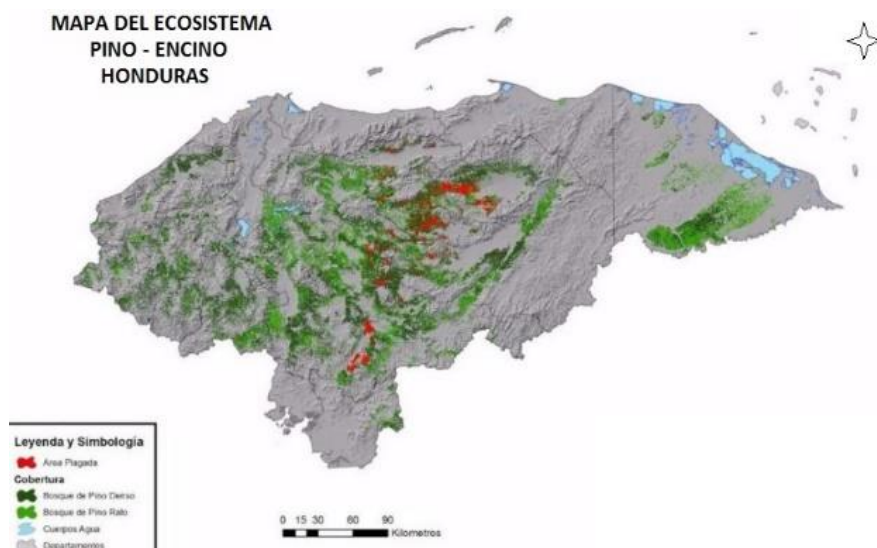


Figura 28: Mapa de ubicación del Ecosistema Pino – Encino en Honduras

Fuente: Instituto de Conservación, Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre - ICF

Según (ICF, 2021); El área del ecosistema Pino-Encino representa el 17.4% del área total de Honduras (19.573.700 hectáreas) y en diciembre de 2021 había 953.349,48 hectáreas afectadas por el Gorgojo descortezador de pino (*Dendroctonus spp*). Los departamentos con mayor área afectada por el gorgojo son (ver figura 10): Olancho (37.41%), Yoro (34.12%), Francisco Morazán (14.78%), Comayagua (14.58%) y El Paraíso (10.12%).

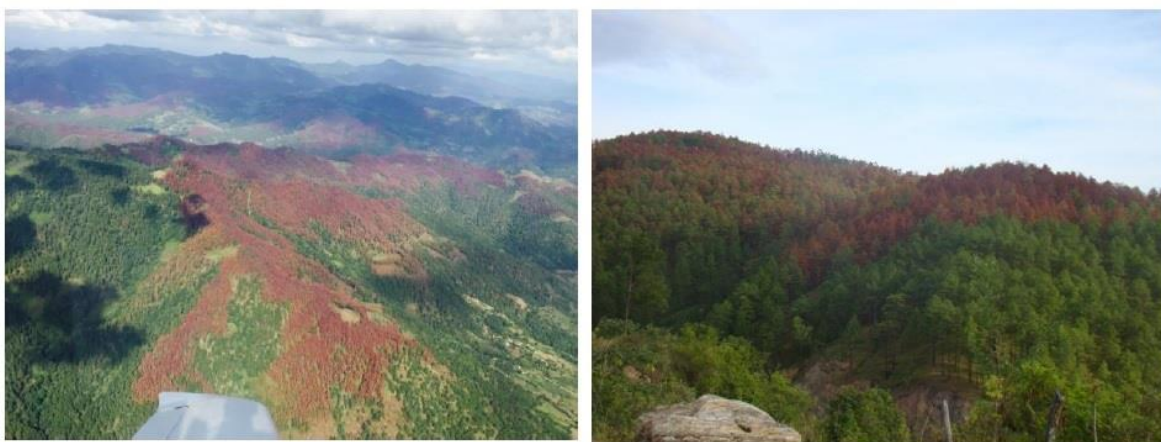


Figura 29: Bosque de Pino-Encino afectado por *Dendroctonus spp*.

Fuente: Instituto de Conservación, Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre – ICF

La característica más destacada de este bioma es la diversidad de especies de pino (>100 *Pinus* spp.) y roble (>150 *Quercus* spp.), que según Muller (Muller, 1942), adaptarse bien a condiciones climáticas variables e incendios naturales (Corrales, Bouroncle, & Zamora, 2015). Estas formaciones de bosques de pinos y robles a menudo forman mosaicos intrincados e interacciones de sucesión complejas que se extienden hacia los bosques nubosos de hoja ancha en altitudes más altas. Este bioma actualmente se encuentra amenazado por la expansión agrícola, la tala, la extracción de leña, los incendios forestales y las plagas. Según el ICF (Programa Regional REDD/CCAD-GIZ), Honduras tiene una superficie de 112.492 km², con una superficie de cubierta forestal de 53.981,37 km², que representa el 48% de la superficie total. El país cuenta con 91 reservas naturales protegidas con una superficie total de cobertura forestal de 21.270,4 km², que se distribuye de la siguiente manera: 17.717,4 km² de bosque húmedo latifoliado, 1.487,6 km² de bosque denso de coníferas, 544,7 km² de bosque mixto, 410,6 km² de manglar 859 km² de bosque ralo de coníferas, 213,8 km² de bosque caducifolio latifoliado y 37,3 km² de bosque inundable húmedo latifoliado.



Figura 30: Ubicación del área de estudio.

Fuente: Creación propia

El área de estudio considerada en esta investigación es una reserva natural conformada por el ecosistema de pino-encino representativo de este país con una superficie de 4.552 ha que es administrada por la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR).

Se consideraron tres aspectos importantes del área de estudio: (1) Tiene una tasa de crecimiento económico muy baja de 2.65%, según el Banco Mundial ([The World Bank, 2021](#)) y los niveles de ingresos han sido muy bajos en la última década, por lo que se ha convertido en una región cada vez más periférica y económicamente marginada; (2) tiene una variedad de Recursos Energéticos Sostenibles; y (3), la mayoría de las comunidades están ubicadas en la periferia de la reserva natural de donde se obtiene el recurso energético.

La metodología utilizada en este estudio consistió principalmente en 1) La caracterización de especies forestales con potencial de producción de biomasa forestal a través del uso de imágenes satelitales utilizando un software especializado para medir la cobertura forestal y estimar la abundancia a mediante el método de Índice de Valor de Importancia (IVI) ; y 2) La Evaluación de la Integridad Ecológica del Ecosistema Pino-encino utilizando Métricas de Paisaje con indicadores clave: Área de Parche (AREA), Índice de Dimensión Fractal (FRAC) e Índice de Proximidad (PROX); 3) La Determinación de los parámetros energéticos de las especies mediante un método cuantitativo para la medir las propiedades energéticas de la leña para las variables, poder calorífico, contenido de humedad y contenido de cenizas, aplicando procedimientos de campo y laboratorio.

7.2. Métodos para la caracterización de las especies seleccionadas.

El estudio florístico se realizó en el en el área sujeto de estudio sobre la base de 12 parcelas circulares con un radio (R) de 12.62 m para un área por parcela de 500 m², siendo la muestra total de 0.60 ha. Este valor se obtuvo de la aplicación del área mínima o curva de área-especie que es una gráfica que permite visualizar la representatividad de un muestreo y se utiliza cuando el muestreo se realiza con el método de intercepción de líneas ([Mostacedo, Bonifacio; Fredericksen, Todd S., 2000](#)). En el relevamiento de los datos de campo se tuvieron en cuenta las formas vitales de Raunkiaer, dentro de los aspectos relativos a la fisionomía de la vegetación así; formas vitales o de crecimiento, (biotipos), formas funcionales, estratificación, fenología, formaciones ([Alcaraz-Ariza, 2013](#)).

El primer paso de la investigación consistió en procesar imágenes satelitales (ver figura 12), utilizando un Sistema de Información Geográfica (GIS) con el software QGIS para medir la cobertura forestal ([Rüdiger, Tim, Horst, & Marcelle, 2021](#)).

Los datos utilizados provienen de imágenes del satélite Landsat 8 de marzo de 2023, con una resolución de 30 x 30 metros por píxel con una clasificación supervisada ([Raina & Shafi, 2015](#)), utilizando el complemento de clasificación semiautomática de QGIS ([Congedo, 2016](#)).

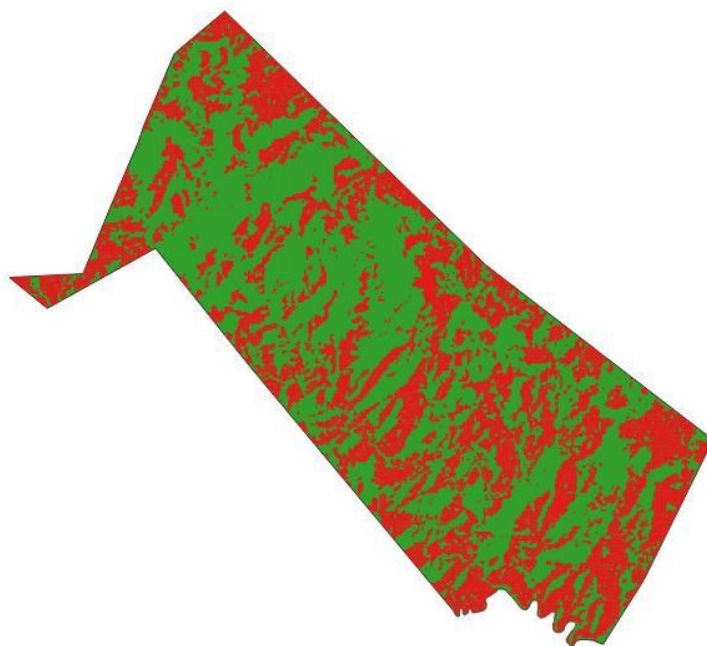


Figura 31: Mapa de cobertura forestal en 2023).

Fuente: Creación propia a partir de imágenes del satélite Landsat 8

Posteriormente se realizó un cuadrícula de muestreo sistemático utilizando el software QGIS y las Hojas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional. Las parcelas se ubicaron de manera selectiva distribuidas por toda el área con cobertura vegetal, sin considerar áreas agrícolas o algún otro tipo de influencia antropogénica, así como también cambios en el uso del suelo por plagas e incendios forestales.

La separación de la cuadrícula de muestreo fue de 1000 m, considerando la intersección de la cuadrícula como el centro de la parcela (ver figura 32).

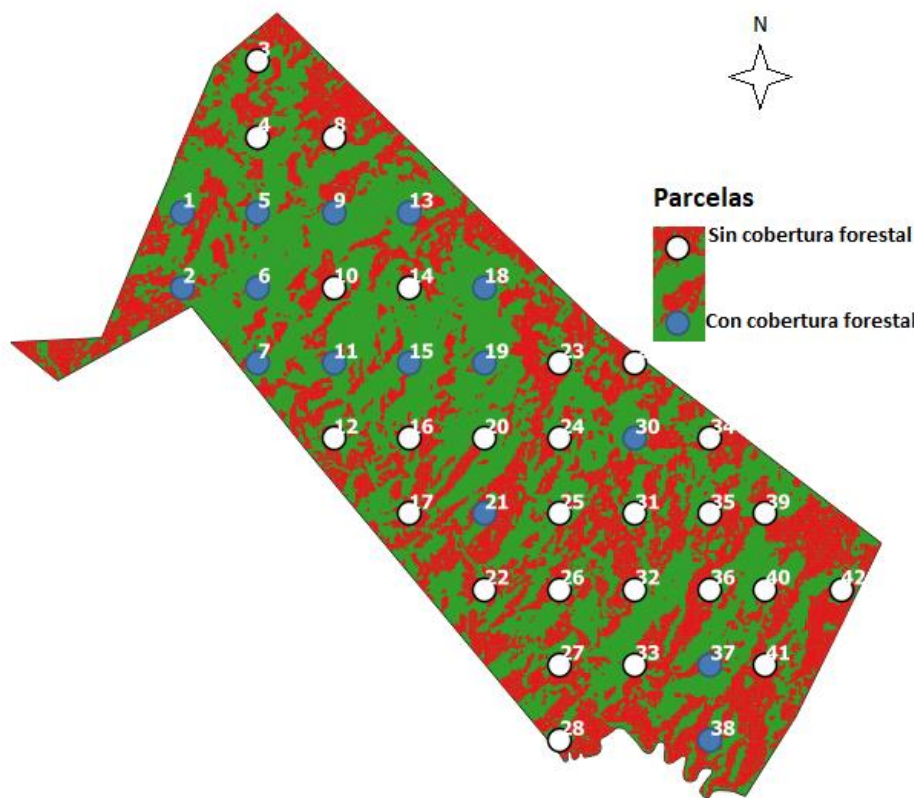


Figura 32: Parcelas con cobertura forestal (en color verde)

Fuente: Creación propia a partir de imágenes del satélite Landsat 8

El dosel está formado por la capa superior de vegetación del bosque y se compone básicamente de las copas de los árboles (follaje y ramas) y sus tallos leñosos (troncos). Se incluyen también los árboles muertos en pie y los combustibles de escalera que producen una condición de continuidad vertical del piso del bosque al dosel (por ejemplo, troncos que al caer quedan inclinados y recargados sobre árboles vivos, la corteza de los árboles y los líquenes, musgos y epífitas que cubren los troncos y ramas).

El estrato arbustivo son especies que se adaptan a la sombra, son plantas perennes y leñosas, generalmente de más de 0,5 metros y menos de 10 metros de altura en la madurez sin un solo tallo principal y copa definida (FAO, 2018). En este estrato interviene en la propagación superficial de los incendios y puede favorecer la formación de antorchas o el fuego de copa cuando hay continuidad vertical con el estrato arbóreo. Para el procesamiento de datos se utilizó en el Índice de Valor de Importancia (IVI) el cual define, cuáles de las especies presentes contribuyen en el carácter y estructura de un ecosistema. Este valor se obtuvo mediante la sumatoria de la frecuencia relativa, la densidad y la dominancia relativas (Campo & Duval, 2014) utilizando las siguientes fórmulas:

- a. Frecuencia relativa =
$$\frac{\text{Frecuencia de la sp} \times 100}{\text{Frecuencia de todas las spp}}$$
- b. Densidad relativa =
$$\frac{\text{Núm. de individuos de la especie} \times 100}{\text{Núm. total de individuos}}$$
- c. Dominancia relativa =
$$\frac{\text{Dominancia de la sp} \times 100}{\text{Dominancia de todas las spp}}$$

En cada una de las parcelas se registró:

- a) el número de especies,
- b) el número de individuos
- c) y la cobertura.

Luego se calcularon:

- a) la densidad,
- b) la dominancia
- c) y la frecuencia, tanto absoluta como relativa.

Un experimento no se puede salvar si el muestreo no tiene un buen diseño; esto quiere decir que los diseños de muestreo deben ser anteriores y no posteriores. Además, el tipo de muestreo y diseño determina el tipo de análisis estadístico. Sin embargo, antes de pensar en el diseño y forma de muestreo, es importante hacer una diferenciación entre muestras y poblaciones. En cambio, una muestra es una parte elegida que representa un determinado porcentaje de la población y que es la que se utiliza para inferir a la población en general (ver figura 32).



Fuente: Elaboración propia

7.3. Parámetros energéticos de las especies seleccionadas

Los parámetros energéticos de las especies seleccionadas fueron estudiados mediante la integración sistémica de los métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas de investigación, por tanto, se realizó mediante un enfoque mixto de investigación (Hernández, Baptista, & Fernández, 2014).

El universo de este estudio lo constituyen 5 especies forestales seleccionadas, utilizadas en las actividades diarias de 16 comunidades ubicadas dentro del área de estudio o en un radio (buffer) de 2 km alrededor del Bosque universitario (Figura 33).

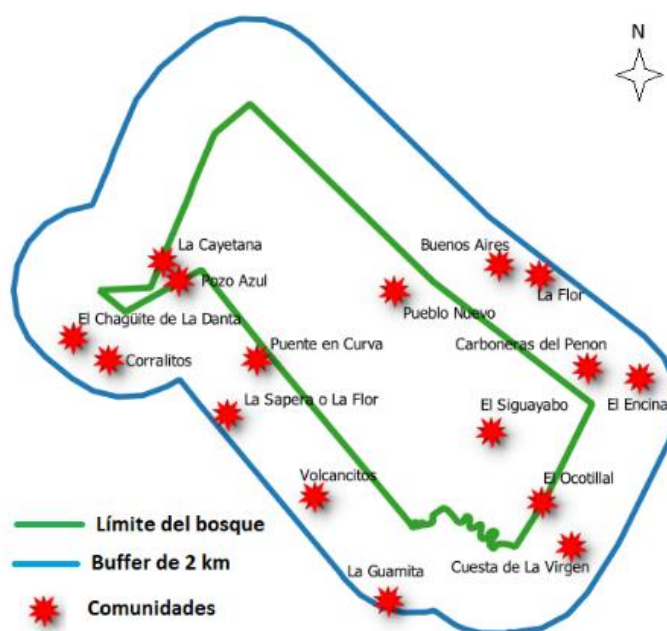


Figura 34: Comunidades aledañas al sujeto de estudio

Fuente: Creación propia a partir de QGIS.

Las muestras, se sometieron a pruebas y análisis en el laboratorio analítico de dendroenergía de Compañía Azucarera Tres Valles para determinar el Poder Calorífico y el Contenido de Humedad, y Materia Volátil se utilizó El Laboratorio de Energía Ambiente y Desarrollo de La Universidad Zamorano. Para llevar a cabo cada una de las pruebas, se realizó la preparación de las muestras según lo requería para cada tipo de análisis.

7.4. Contenido de Humedad

Las muestras recolectadas fueron evaluadas en el Laboratorio, donde se determinó el contenido de humedad, mediante el método de deshidratación de la Norma ASTM 3172; prueba que determina el contenido de humedad (CM) de madera, chapa y otros materiales a base de madera, incluidos aquellos que contienen adhesivos y aditivos químicos (ASTM International, 2023). Una vez preparadas las muestras, se pesaron cada una de ellas, las cuales se introdujeron a un horno a una temperatura de 105°C durante 24 horas. El porcentaje de humedad se determinó mediante la Ecuación N° 1.

$$\text{Ecuación 1: } \mathbf{Mb = Mh + Ms}$$

Donde, **Mb** es la masa bruta o total, **Mh** la masa húmeda y **Ms** masa seca. El secado a 105 °C durante 24 horas se realiza para asegurar la evaporación del agua contenida en el material. Para determinar los porcentajes contenidos de masa húmeda, que se pierde por evaporación tras el secado y de masa seca, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Para Masa Seca: } \mathbf{Mrs\% = \frac{Ms}{Mb} * 100}$$

$$\text{Para Masa Húmeda: } \mathbf{Mrh\% = \frac{Mh}{Mb} * 100}$$

Así mismo, se establecieron parámetros comparativos tales como “ISO 17225 Part 5 Graded firewood” en donde se establece que la mayoría de la leña tiene un contenido energético similar en masa seca especificando que la leña con un contenido de humedad de alrededor del 25% es ideal para quema eficiente (Solid Biofuels Bulletin, 2020).

7.5. Poder calorífico

La biomasa está siendo aprovechada y en principio podrá tener su aprovechamiento incrementado en diferentes procesos químicos debido a su bajo costo, disponibilidad, y potencial para reducir las emisiones de CO₂; el uso de los procesos termoquímicos de la biomasa puede ser una de las opciones para proporcionar electricidad, energía, calor y/o nuevos combustibles; el diseño y simulación de procesos térmicos se basan principalmente en caracterizaciones de biomasa o carbón a través del análisis final, mayor poder calorífico (HHV) y análisis aproximado de estos parámetros energéticos ([Camacho-Ardila, Jaimes-Figueroa, & Wolf-Maciel, 2024](#)).

El mayor poder calorífico (HHV por sus siglas en inglés) y la composición elemental son propiedades importantes de la biomasa y es necesario realizar simulaciones de los procesos de conversión térmica de la biomasa ([Camacho-Ardila, Jaimes-Figueroa, & Wolf-Maciel, 2024](#)). Ambas propiedades requieren equipo especializado lo cual puede ser costoso, mientras que el análisis aproximado de este estudio requirió equipo que normalmente es encontrado en un laboratorio dendroenergético.

La medida directa de los poderes caloríficos se realiza, comúnmente mediante calorímetros adiabáticos ([Márquez-Montesino, Cordero Alcántara, Rodríguez-Mirasol, & Rodríguez-Jiménez, 2001](#)).

Para la preparación de la muestra utilizada en las pruebas de poder calorífico, se recolectaron residuos las especies forestales obtenidas como tallos, ramas, raíces, cáscaras y hojas los cuales fueron almacenados según las tradiciones locales. Las muestras preparadas en una mezcla homogénea anteriormente fueron llevadas a un Laboratorio, donde se sometieron a un proceso de secado dentro de un disecador, hasta obtener un contenido de humedad del 0%, para realizar una serie de pruebas en un Laboratorio, por medio de una bomba calorimétrica o calorímetro, la cual consiste en un dispositivo utilizado para estimar el poder calorífico de un combustible, cuando éste se quema a volumen constante (ver figura 35).



Figura 35: Preparación de muestras para análisis de parámetros energéticos

Fuente: Creación Propia

Adicionalmente, se establecieron estándares para el poder calorífico que normalmente anda alrededor de 3800-4600kcal/kg ([GEMCO Energy, 2021](#)).

En el proceso de la combustión se libera la energía térmica del combustible que se transforma en calor; esta energía es la que medimos y denominamos poder calorífico ([Agüero, Pisa, Agüero, & Torres Bugeau, 2004](#)).

Según Bustamante *et al*, 2016 ([Bustamante, Carrillo, Prieto, Corral, & Hernández, 2016](#)), los productos sólidos, líquidos y gases obtenidos durante el proceso de torrefacción de biomasa vegetal se emplean para generar energía calorífica.

Los sólidos tienen menor contenido de oxígeno y humedad; lo que aumenta el poder calorífico, comentan que a nivel global a través de varios estudios se ha corroborado que las especies coníferas presentan mayor poder calorífico con respecto a especies frondosas, esto se atribuye a la presencia de carbono, lignina y sustancias extractivas en un mayor contenido ([Carrillo, Foroughbakhch, Maginot, & Salas, 2016](#)). Para el caso de la leña, el poderío está en función de la especie a utilizar. Según García, 2014 ([García Alama, 2014](#)), el carbón resultante de la leña su poder calorífico será igual al tipo de madera que se utilice.

7.6. Determinación del contenido de cenizas.

El vapor condensable y gases incondensables, liberados en la descomposición térmica de la biomasa constituyen la materia volátil (excluyendo el vapor de agua). En la medida en que el contenido de materia volátil en la biomasa es mayor, se debe esperar un mayor rendimiento de bio-aceite en procesos de pirolisis de biomasa. El carbono fijo es el residuo combustible sólido que queda después de calentar la biomasa y eliminada la materia volátil (Pérez-Vinent, Serret-Guasch, & Penedo-Medina, 2022).

Después de introducir las muestras al horno, se introdujeron nuevamente 100 gramos en crisoles de porcelana dentro de un horno a una temperatura de 550 °C, por 6 horas. Una vez frías, se procedió a la extracción de las muestras para volverlas a pesar y determinar el contenido de materia volátil y porcentaje de cenizas.

Durante la gasificación de la materia las cenizas quedan, y los sólidos volátiles se escapan en forma de gas. Una vez finalizada la combustión del material se procedió a medir la masa de la ceniza. La diferencia a la masa seca menos la de cenizas es la masa de sólidos volátiles, según la ecuación No.2.

$$\text{Ecuación 2: } M_{mv} = M_s - M_c$$

Donde, **M_{mv}** es la masa de materia volátil, **M_s** la masa seca y **M_c** la masa de las cenizas. Una vez encontrado el contenido de la masa, se calculan los porcentajes para los sólidos volátiles y las cenizas en base seca por medio de las ecuaciones:

$$\text{Para Materia Volátil: } M_{rmv}\% = (M_{mv}/M_s)*100$$

$$\text{Para Porcentaje de Cenizas: } M_{rc}\% = (M_c/M_s)*100$$

El comportamiento de las cenizas en el sistema es altamente dependiente del combustible, en particular cuando se trata de desechos industriales o cultivos energéticos.

Estos combustibles tienen mayor contenido de minerales, en particular Sodio, Potasio, Fósforo y Cloro, alto contenido de cenizas con bajo punto de fusión y alto potencial corrosivo (Melissari, 2012). Por otra parte, con los contenidos elevados de cenizas (mayores de 0.7 %) se requiere limpieza constante de los equipos de combustión con un mayor riesgo de escorificación (Oberberger & Thek, 2010). Según Márquez, 2018 (Díaz Márquez, 2018), El contenido de ceniza y su proporción determinan las emisiones y tipo de cenizas que se obtendrán en el proceso de combustión. Esto, también determina en cierta medida la calidad de la biomasa ya que corresponde a los componentes minerales del combustible que reducen el poder calorífico, además afectan el rendimiento térmico de un horno por interferir en la transferencia de calor (Burgos & Oporto, 2010).

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Metodología para la evaluación de la biomasa forestal como fuente rural de energía renovable en áreas protegidas.

Los bosques son medios de vida importantes para millones de personas y contribuir al desarrollo económico de muchos países. Los ecosistemas forestales cubren aproximadamente el 30% de la superficie mundial superficie terrestre, pero desde 1990, las áreas boscosas del mundo ido disminuyendo, lo que compromete la continuación de diversas funciones realizadas por estos ecosistemas (FAO, 2020). A continuación, se describe la metodología para la evaluación de la biomasa forestal como fuente rural de energía renovable en áreas protegidas.

8.2. Metodología.

La metodología utilizada en este estudio consistió principalmente en 1) Procesamiento de imágenes satelitales utilizando un software especializado para medir la degradación de la cobertura forestal (pérdida de cobertura forestal en un período de tiempo determinado); y 2) la evaluación de la Integridad Ecológica del Ecosistema Pino-Encino utilizando Métricas de Paisaje con indicadores clave: Área de Parche (AREA), Índice de Dimensión Fractal (FRAC) e Índice de Proximidad (PROX).

8.3. Procesamiento de imágenes satelitales

La interpretación es el proceso de extracción de información cualitativa y cuantitativa de objetos a partir de fotografías aéreas o imágenes de satélite. La interpretación se denomina generalmente interpretación de imágenes excepto en el caso cuando la interpretación se realiza sobre fotografías aéreas el cual se conoce como interpretación de fotografías aéreas. Basado en el modo de la interpretación, ésta se puede categorizar en visual e interpretación digital. La interpretación visual implica el análisis de las imágenes aéreas, fotografías e imágenes satelitales de manera visual.

La interpretación visual de imágenes satelitales es un proceso de identificación de características que se ven en las imágenes por un analista/intérprete y que comunica la información obtenida de estas imágenes a otras personas para evaluar su significado. Este proceso, sin embargo, no se limita a tomar decisiones sobre qué objetos aparecen en las imágenes, sino que también incluye la determinación de sus ubicaciones relativas y extensiones. El éxito en la interpretación de imágenes visuales varía con el entrenamiento y experiencia en el análisis de los datos. Si el intérprete tiene un sentido artístico y sentido fotográfico luego la información derivada del proceso de interpretación puede ser más auténtico y confiable. La interpretación visual de imágenes satelitales se aplica con éxito en muchos campos incluyendo geología, geografía, agricultura, recursos hídricos y silvicultura (IGNOU, 2021). Este método fue utilizado para realizar la comprobación de campo de la del ecosistema objeto de estudio. Por otro lado, cuando la interpretación se realiza con la ayuda de programas informáticos, se conoce como interpretación digital.

En la presente investigación se utilizó la interpretación digital a través del procesamiento de imágenes del satélite Landsat 8 TM (Landsat 8, 2021), y luego se comparó la pérdida de cobertura forestal en un periodo de 10 años entre marzo de 2014 a marzo de 2024. El porcentaje de pérdida de cobertura forestal se obtuvo mediante un análisis multitemporal propuesto por Sanhouse-Garcia *et al.* (Sanhouse-Garcia, Bustos-Terrones, Rangel-Peraza, Quevedo-Castro, & Pacheco, 2016) que utiliza múltiples fuentes de datos. Los datos de 2014 provienen del sensor RapidEye (Corporation, Satellite Imaging, 2019) con una resolución espacial de 5 x 5 metros por píxel.

Esta información fue obtenida del Mapa de Uso de Suelo y Cobertura Forestal de Honduras elaborado por la Unidad de Monitoreo Forestal del Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF, 2014). Para 2024, los datos utilizados provienen de imágenes Landsat 8 con una resolución de 30 x 30 metros por píxel mediante una Clasificación Supervisada (Raina & Shafi, 2015) utilizando el complemento de clasificación semiautomática de QGIS (Congedo, 2016). Estas herramientas se utilizaron para evaluar la pérdida de recursos forestales y ecosistemas naturales y para obtener información espacial y tridimensional detallada sobre la estructura del bosque (White, y otros, 2016). Esta metodología se utilizó para adquirir información espacialmente explícita, que es particularmente valiosa para los administradores de áreas naturales cuando monitorean la degradación forestal (Mitchell, Rosenqvist, & Mora, 2017).

8.4. Evaluación de la Integridad Ecológica.

Según De Juan *et al* (De Juan, Hewitt, Subida, & Thrush, 2018), la Integridad Ecológica (EI) es una metodología que busca capturar la naturaleza compleja de los ecosistemas y su interacción con las comunidades locales. Este proceso ayuda a traducir la terminología científica al lenguaje operativo para educar a la sociedad. Esto se logra con un enfoque que simplifica la complejidad mediante el uso de conocimientos científicos para identificar qué componentes reflejan el estado o estado cambiante de un ecosistema. En este caso, la metodología consistió principalmente en revisar la información científica del área de estudio considerando cuatro elementos fundamentales adaptados de Parrish, Braun y Unnasch (Parrish, Braun, & Unnasch, 2003). Estos elementos son: (a) identificación de un número limitado de objetos de conservación; (b) identificación de Atributos Ecológicos Clave (KEA) para cada uno de estos objetivos; (c) identificación de rangos aceptables de variación para cada atributo medido con indicadores; (d) calificación del estado de conservación de cada objetivo, con base en el análisis, para ver si los rangos de variación son aceptables. Los componentes centrales de la evaluación incluyeron los atributos ecológicos clave y el rango aceptable de variación de los indicadores, que según Herrera y Corrales (Herrera & Corrales, 2004), debe tener al menos un atributo e indicador clave con una escala cuantificable que se haya desarrollado para cada objeto de conservación.

“Hoy en día, se han introducido e implementado numerosas estrategias de gestión forestal en todo el mundo durante mucho tiempo. Sin embargo, el conocimiento sobre los impactos de las estrategias alternativas de manejo en las prácticas de manejo forestal multipropósito es aún insuficiente” (De Juan, Hewitt, Subida, & Thrush, 2018). En este caso, no había suficiente información disponible para el resto de la KEA, por lo que se realizó un análisis empírico preliminar. Los expertos consideraron que el análisis preliminar fue suficiente para revisar y hacer las sugerencias respectivas.

Este procedimiento consistió en dos tareas básicas: (a) recolectar y analizar los datos para el monitoreo; y (b) usar los resultados de este análisis para determinar la categoría apropiada para cada indicador. Los indicadores fueron calificados utilizando la escala: “Excelente”, “Muy bueno”, “Bueno”, “Regular” y “Deficiente”, tal como se define en la Tabla 6 abajo.

<i>Calificación</i>	<i>Valor</i>	<i>Descripción</i>
Excelente	5	El ecosistema está intacto o en su estado natural.
Muy bueno	4	Estado deseado, sin embargo, requiere alguna intervención humana para mantener los rangos naturales de variación.
Bueno	3	El ecosistema requiere intervención para mantenerlo.
Regular	2	Las actividades antropogénicas tienen un impacto considerable en las condiciones naturales del ecosistema, y es vulnerable a una degradación severa.
Malo	1	El ecosistema está severamente afectado por actividades antropogénicas.

Tabla 6: Calificación de cada indicador y valor asignado.

Fuente: Creación propia

Una vez calificados los indicadores, se estimó el promedio simple de los indicadores para cada elemento de conservación, utilizando los valores numéricos asignados en el procedimiento anterior. Este valor se comparó con los valores de la tabla 7 abajo.

<i>Valor</i>	<i>Categoría</i>
≥ 4.0	Excelente
3.0 – 3.99	Muy bueno
2.0 – 2.99	Bueno
1.0 – 1.99	Regular
< 1.0	Malo

Tabla 7: Calificación de cada elemento de conservación

Fuente: Creación propia

Después de encontrar la calificación de cada elemento de conservación, se designó la categoría respectiva asignando el valor deseado de cada indicador (“Excelente”, “Muy bueno”, “Bueno”, “Regular” y “Malo”). Como se mencionó anteriormente, Parrish *et al.* (Parrish, Braun, & Unnasch, 2003) proponen una metodología con un indicador que permita medir y monitorear la integridad ecológica del Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas (SICAP) el cual no es lo suficientemente específico para ser replicado en áreas naturales de Honduras. Roberto *et al.*, 2016 Rempela, *et al.*, 2016) Hasan-Rezaa & Abdullaha (Hasan-Rezaa & Abdullaha, 2011), y Burke *et al.* 2016 (Burke D. , Knisely, Watson, Carrino-Kyker, & Mauk, 2016) son algunos de los expertos que presentan indicadores relacionados con la integridad ecológica para evaluar el manejo forestal; sin embargo, se debe tener en cuenta que las limitaciones técnicas y económicas y la falta de información dificultan la implementación de estos indicadores. Según Gareau (Gareau, 2007), la falta de conservación de los recursos naturales en Honduras es consecuencia de que las regulaciones de los parques han sido diseñadas exógenamente con una falta de comprensión de las condiciones locales socialmente diferenciadas y sin proporcionar una solución factible a la degradación de los recursos.

Por lo tanto, la metodología presentada en este estudio tiene como objetivo utilizar la información específica del sitio como una herramienta para la evaluación de la biomasa forestal como fuente de energía rural sostenible en áreas naturales en Honduras.

La metodología considera las tradiciones ancestrales mediante el uso de estrategias científicas para explorar el papel de estas tradiciones y su compatibilidad con las condiciones del bosque. También utiliza marcos de criterios e indicadores (C&I) como plataforma para incluir las necesidades y objetivos de la comunidad en las decisiones de gestión que ofrecen un enfoque holístico de la sostenibilidad de los contextos ambientales locales ([Adam & Kneeshaw, 2008](#)). Los factores específicos del sitio determinaron los esfuerzos de conservación que afectan la composición y estructura de los bosques locales para reducir la magnitud de la amenaza para ellos ([Burke D. , Knisely, Watson, Carrino-Kyker, & Mauk, 2016](#)). Los resultados de C&I se basaron en Métricas de Paisaje: Área del Parche (AREA), Índice de Dimensión Fractal (FRAC), Índice de Proximidad (PROX).

8.5. Área de parche (ÁREA)

Según Slattery y Fenner ([Slattery & Fenner, 2021](#)), las áreas de diferentes tipos de clases de tierra en un paisaje determinado tienen un impacto significativo en los tipos de especies que un paisaje puede sustentar. La fragmentación puede afectar un paisaje de varias maneras, como una reducción en el área total de bosque y una reducción en el tamaño promedio de parche de bosque. Un parche de datos categóricos de ráster es un grupo de celdas contiguas de la misma clase. Por lo tanto, un parche es la unidad semántica básica en datos categóricos ráster y generalmente corresponde a una entidad o un área discernible del mundo real ([Zhang & Xu, 2021](#)). Este indicador fue considerado por su importancia en las actividades de conservación en paisajes fragmentados, que es, en parte, la situación en Honduras. Los esfuerzos de conservación en Honduras se han centrado en gran medida en mantener intactos los parches grandes restantes y, a menudo, ignoran el papel cada vez más importante de los parches más pequeños en la conservación de la vegetación restante.

A medida que aumenta la pérdida de hábitat en paisajes fragmentados, existe una necesidad cada vez mayor de medir la contribución relativa de todos los parches (grandes y pequeños) a la persistencia general del ecosistema. Esto debe hacerse de una manera que ayude a generar estrategias de conservación efectivas destinadas a prevenir la muerte de los ecosistemas. Para algunas comunidades animales, las acciones enfocadas en proteger grandes parches son críticas, pero para muchas otras (Tulloch, Barnes, Ringma, Fuller, & Watson, 2016). La mayoría de las áreas naturales protegidas en Honduras son básicamente pequeños parches conectados por bosque.

8.6. Índice de dimensión fractal (FRAC)

La fragmentación del bosque conlleva la alteración de la configuración del hábitat, la pérdida de superficie forestal y conectividad, el mayor aislamiento de los fragmentos forestales y el aumento de la exposición a los usos humanos de la tierra a lo largo de los límites de los fragmentos (véase la Figura 36).

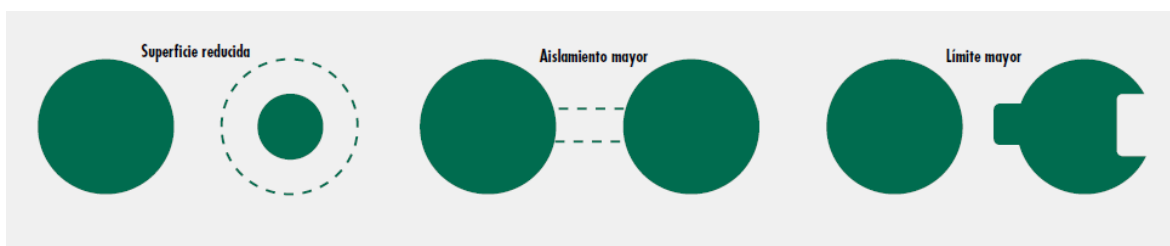


Figura 36: Efecto de la Fragmentación de los Bosques

Fuente: Obtenida a partir de Haddad *et al.*, 2015

Las perforaciones, o la introducción de orificios en los fragmentos forestales intactos, es uno de los principales componentes de la fragmentación. Las perforaciones suelen ir acompañadas de la introducción de carreteras, lo que da lugar a una fuerte disminución en la superficie de hábitat forestal básico no alterado. La fragmentación forestal origina cambios a largo plazo en la estructura y las funciones de los fragmentos forestales remanentes, lo que repercute en los hábitats y los servicios ecosistémicos de los bosques (Kogut, 2023).

La fragmentación de los bosques puede ser inducida por perturbaciones y cambios ambientales naturales (el clima, procesos geológicos, desastres naturales, incendios forestales, plagas y enfermedades) que pueden causar la segmentación de un bosque en fragmentos más pequeños, o por factores antropógenos, como la explotación forestal (extracción de madera o leña sin gestionar) o la conversión del uso de la tierra resultante de la expansión agrícola, la conversión a plantaciones de árboles, la conversión a pastizales para la ganadería, nuevos asentamientos provocados por la migración humana, la urbanización y el desarrollo de infraestructura. La fragmentación de los bosques a menudo se produce en la primera fase de la conversión de los bosques a otros usos de la tierra. El proceso de fragmentación transforma la composición, la configuración y las funciones del paisaje. Normalmente conlleva la destrucción de hábitat o el aislamiento, y numerosos estudios demuestran que la fragmentación de los hábitats a largo plazo, y en particular los hábitats boscosos, afecta notablemente a la biodiversidad y los procesos ecosistémicos ([Bird-Jackson & Fahrig, 2013](#)), sin embargo, las respuestas pueden variar de forma considerable entre las especies y los tipos de bosques.

La fragmentación tiene efectos en casi todos los procesos ecológicos, desde el plano de los genes hasta el de los ecosistemas, y afecta a la composición y dinámica de las poblaciones de plantas y animales. Asimismo, puede incrementar la interacción entre el ganado y la flora y fauna silvestres y, por consiguiente, aumentar el riesgo de transmisión de enfermedades. Aunque el número de especies genéricas, invasivas, de múltiples hábitats o de los límites puede aumentar la fragmentación de los bosques reduce en gran medida la riqueza de especies. Disminuye la retención de nutrientes, afecta a la dinámica trófica y, en fragmentos más aislados, altera el movimiento de animales. Se ha demostrado que la reducción del tamaño del fragmento forestal y el aumento del aislamiento disminuyen la abundancia de aves, mamíferos, insectos y plantas entre un 20% y un 75%, lo que afecta a funciones ecológicas tales como la dispersión de semillas y, por tanto, la estructura de los bosques y, al mismo tiempo, puede reducir los servicios ecosistémicos, tales como la captación de carbono, el control de la erosión, la polinización y el ciclo de nutrientes ([Peh, Lin, Luke, Foster, & Turner, 2015](#)).

La destrucción y degradación de los ecosistemas naturales son las principales causas de la disminución de la biodiversidad mundial (FAO, 2020). La destrucción del hábitat suele conducir a la fragmentación, la división del hábitat en pequeños y Fragmentos más aislados separados por una matriz de transformados por humanos cobertura terrestre La pérdida de superficie, el aumento del aislamiento y la mayor exposición a los usos humanos de la tierra a lo largo de los bordes de los fragmentos inician cambios a largo plazo a la estructura y función de los fragmentos restantes. Los ecólogos coinciden en que la destrucción del hábitat va en detrimento del mantenimiento de la biodiversidad, pero no están de acuerdo (a menudo fuertemente) sobre el grado de lo cual la culpa es de la propia fragmentación.

Las primeras hipótesis basadas en la biogeografía de las islas oceánicas proporcionó una base teórica marco para comprender el efecto de la fragmentación en la extinción en paisajes terrestres compuestos por “islas” de hábitat natural dispersos a través de un “mar” de hábitat transformado por el hombre es el foco de la controversia; sin embargo, ha habido una incertidumbre persistente sobre el papel de la disminución tamaño de fragmento y mayor aislamiento en relación con el generalizado y Efectos generalizados de la pérdida de hábitat para explicar la disminución de la biodiversidad y la degradación de los ecosistemas (Peh, Lin, Luke, Foster, & Turner, 2015).

Los estudios observacionales de los efectos de la fragmentación a menudo han magnificado la controversia porque La inferencia de estudios no manipulativos se limita a la correlación y porque a menudo han considerado individualmente sólo aspectos aislados de fragmentación (por ejemplo, borde, aislamiento y área). Sin embargo, Junto con estas observaciones correlativas, los estudios experimentales revelan que la fragmentación tiene múltiples efectos simultáneos que se entrelazan de maneras complejas y que operan durante un tiempo potencialmente prolongado escalas tamaño de fragmento y mayor aislamiento en relación con el generalizado y Efectos generalizados de la pérdida de hábitat para explicar la disminución de la biodiversidad. y la degradación de los ecosistemas (Bird-Jackson & Fahrig, 2013).

Los estudios observacionales de los efectos de la fragmentación a menudo han magnificado la controversia debido a la inferencia de estudios no manipulativos se limita a la correlación y porque a menudo han considerado individualmente sólo aspectos aislados de fragmentación (por ejemplo, borde, aislamiento y área).

Sin embargo, junto con estas observaciones correlativas, los estudios experimentales revelan que la fragmentación tiene múltiples efectos simultáneos que se entrelazan de maneras complejas y que operan durante un tiempo potencialmente prolongado escalas ([Bird-Jackson & Fahrig, 2013](#)). Aquí nos basamos en los hallazgos de la mayor y más antigua investigación del mundo experimentos de fragmentación que abarcan 35 años y dispares biomas en los cinco continentes. Sus diseños rigurosos y su implementación a largo plazo superar muchas limitaciones de los estudios observacionales. En particular, manipulando y aislando aspectos individuales de la fragmentación mientras controlas por los demás, y al hacerlo en todo ecosistema, proporcionan una manera poderosa de desenredar causa y efecto en paisajes fragmentados. Esto presenta evidencia experimental de cambios ecológicos inesperados a largo plazo causados por el hábitat fragmentación. Destacando un tipo de ecosistema como ejemplo, se presenta primero un análisis global de la fragmentación de los ecosistemas forestales, cuantificando por primera vez los focos globales de intensa fragmentación histórica. Luego se sintetizan los resultados del conjunto de experimentos a largo plazo. llevado a cabo en una amplia variedad de ecosistemas para demostrar consistencia impactos de la fragmentación, cómo esos impactos cambian con el tiempo, y cómo se alinean con las predicciones de la teoría y la observación.

El Índice de Dimensión Fractal (FRAC) describe los patrones irregulares y fragmentados que se encuentran en la naturaleza ([Mandelbrot, 1983](#)). Este índice también estima una agrupación continua de celdas de cuadrícula que representan las mismas características del paisaje, cómo se relaciona esta medida con su borde y cómo se puede modificar para abordar la diversidad ([Olsen, Douglas Ramsey, & Winn, 1993](#)).

Se seleccionó este índice porque los cambios en los ecosistemas son muy complejos, heterogéneos y extremadamente difíciles de medir con una sola escala. Esta dificultad se origina por la presencia de comunidades humanas en las zonas de amortiguamiento de las áreas naturales protegidas en Honduras donde existen patrones irregulares y fragmentados.

La geometría fractal se ha utilizado para estimar cuantitativamente el grado de irregularidad en los cambios del ecosistema. También se están utilizando otras métricas para estudiar los cambios en los ecosistemas forestales. Sin embargo, la geometría fractal ha sido eficaz para medir los componentes de los ecosistemas en una variedad de condiciones ecológicas (Tripathi, Kushwaha, Roy, & Basu, 2015). Esto con la finalidad de evaluar el efecto de la fragmentación de los bosques.

8.7. Índice de proximidad (PROX)

Los Atributos Clave de la estructura del paisaje y la arquitectura comprenden un subconjunto especial de limitaciones ambientales, que incluyen Conectividad y proximidad entre bióticos y abióticos características del paisaje en diferentes escalas espaciales (por ejemplo, Holling 1992). Tales restricciones, por ejemplo, pueden afectar la capacidad de ese paisaje para sustentar requisitos cruciales de hábitat de especies individuales, sostienen procesos que transportan la formación de hábitats materia (nutrientes, sedimentos, desechos vegetales) en todo el paisaje y permitir la recolonización de lugares perturbados y sumideros demográficos (Parrish, Braun, & Unnasch, 2003). La identificación de atributos ecológicos clave también requiere la identificación de los tipos específicos de información, o indicadores, que se puede medir para informar a los gerentes sobre los cambios en el estado de esos atributos. Gestores de áreas protegidas seleccionar para cada atributo uno o más indicadores que cumplir varios criterios bien establecidos. El marco de puntuación propuesto define un objetivo de conservación se considera conservado cuando se conservan todos sus atributos ecológicos clave mantenido o restaurado dentro de algunos límites explícitamente delineados rango de variación en el espacio y el tiempo, cuyos límites constituyen las condiciones mínimas para la persistencia del objetivo (Parrish, Braun, & Unnasch, 2003).

Especies, comunidades naturales y sistemas ecológicos evolucionan con el tiempo dentro de entornos dinámicos, y la mayoría de sus atributos ecológicos tienen alguna variación temporal. Por ejemplo, existe una variación natural en la edad y composición de especies del dosel forestal y en la frecuencia e intensidad de los incendios o los regímenes de inundaciones. Esta variación no es aleatoria; más bien, se limita a un particular rango que se reconoce como (a) natural y consistente con la persistencia a largo plazo de cada Objeto de Conservación o (b) fuera el rango natural debido a influencias humanas (por ejemplo, extinción del fuego en sistemas mantenidos con quemadas prescritas) u otros cambios ambientales drásticos.

Según [Parrish, Braun, & Unnasch \(2003\)](#), un objeto de conservación se considera conservado cuando se conservan todos sus atributos ecológicos clave mantenido o restaurado dentro de algunos límites explícitamente delineados rango de variación en el espacio y el tiempo, cuyos límites constituyen las condiciones mínimas para la persistencia del objeto de conservación; se sugiere llamar a este rango de condiciones aceptables rango de variación para los atributos ecológicos clave de un objeto de conservación. Además, la variación natural del ambiente físico e interacciones bióticas dentro de ese ambiente crean una plantilla dinámica que da forma a cómo las especies evolucionan y qué especies pueden (o no) ser capaces de persistir en cualquier área determinada. Gestionar los objetivos de conservación basándose en el concepto de un rango aceptable de variación es importante tanto para garantizar la persistencia como la integridad de la diversidad biológica del área protegida y para salvaguardar potencial evolutivo de las especies ([De Juan, Hewitt, Subida, & Thrush, 2018](#)).

La distinción entre un rango aceptable y uno natural de variación es importante. Aunque ha habido algunos debates teórico y práctico sobre el concepto de naturaleza natural rango de variación, ha demostrado ser una construcción útil para establecer puntos de referencia para las prácticas de conservación. Sin embargo, ¿qué es "natural" es difícil de definir, dado el conocimiento limitado de muchas especies y sistemas y el grado de participación humana y alteración de la biodiversidad en todo el mundo.

De hecho, en algunas zonas los sistemas ecológicos actuales no tienen contrapartes históricas, porque los sistemas ecológicos en estas áreas han sido transformados tan profundamente por alteraciones humanas directas, como sustancias químicas antropogénicas y especies introducidas. Además, el conocimiento científico de la mayoría Los sistemas y especies ecológicos tienen una historia relativamente corta al igual que el registro conservado de la mayoría de los regímenes ambientales (por ejemplo, clima, incendios, hidrología). A medida que los investigadores comienzan a comprender Las formas en que los ecosistemas pueden ser naturalmente dinámicos en escalas de tiempo no sólo de años y décadas sino también de siglos y milenios, se hace evidente que el conocimiento humano de la naturaleza rango de variación en poblaciones, comunidades y los sistemas ecológicos surgen sólo de una pequeña muestra de tiempo. Sin embargo, La fragmentación afecta a los ecosistemas al alterar las condiciones dentro de un parche y el flujo de recursos (organismos, propágulos, nutrientes) entre parches. Como discutido anteriormente, la fragmentación ocurre junto con la pérdida de área e incluye cambios en la composición, forma y configuración de los parches resultantes.

En ese sentido es necesario utilizar los índices de paisaje los cuales se dividen en términos generales en una de dos categorías: no espaciales y espaciales. Los índices no espaciales describen la composición del paisaje e incluyen mediciones del número de clases de parches o proporciones del total Serie interna de ciencias del área. Los índices espaciales describen los atributos de los parches y contienen información relevante para medir la fragmentación. Los índices espaciales se pueden dividir en aquellos que describen la composición, forma y configuración del parche en lo más estricto sentido, sólo la composición de parches se relaciona con la fragmentación, pero la visión tradicional El concepto de fragmentación de los ecosistemas abarca los tres; así como la pérdida de superficie ([Slattery & Fenner, 2021](#)).

Los índices de configuración de parches basados en la distancia entre parches varían en el grado en que consideran todos los demás parches en relación con un parche focal de interés. La medida de configuración más simple es la distancia del vecino más cercano. Este es el más corto, normalmente de borde a borde, distancia entre un parche y el parche vecino de la misma clase.

Este índice, tiene la ventaja de ser relativamente sencillo de calcular e interpretar pero la desventaja de no transmitir más información sobre la complejidad general. Está relacionado con la noción de dispersión y colonización, con una distancia cada vez mayor, lo que indica una menor probabilidad de dispersión y colonización exitosas. Significar La distancia del vecino más cercano proporciona una mejor indicación del paisaje general, pero sufre, al igual que muchas medidas similares, en que son muy diferentes (Slattery & Fenner, 2021).

Los paisajes pueden tener el mismo valor medio del vecino más cercano. Las mediciones de distancia del vecino más cercano se pueden ampliar para incluir más parches vecinos, incluyendo todos los parches del paisaje. Los índices de proximidad o índices de amortiguamiento miden la configuración como la suma del área de una clase de parche similar dentro de una distancia determinada (Ver figura 36). La idea subyacente es que todos los parches circundantes pueden ser fuentes potenciales de colonización, con el área indicando algo de su calidad como fuente (Parker & Gustafson, 1994).

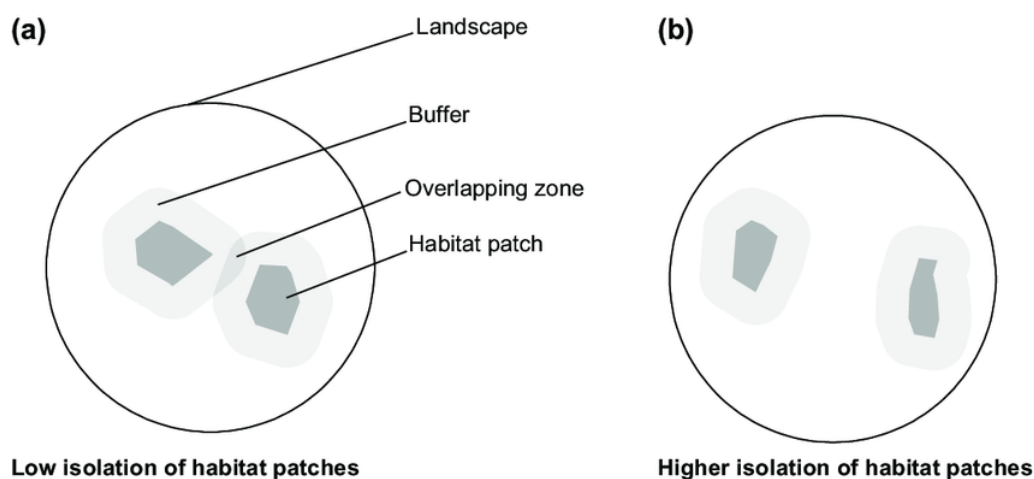


Figura 37: Índice de Proximidad

Fuente: Carrié *et al*, 2017.

Las medidas de conectividad extienden el concepto a todo el paisaje. En vez de Al prohibir una distancia fija, el índice mide la influencia de todos los parches, dentro del paisaje en función de su área y distancia del foco parche, generalmente como una función exponencial inversa; a diferencia de los cálculos de proximidad o buffer, la conectividad permite por la posibilidad de dispersión incluso desde parches pequeños y relativamente distantes, aunque tales acontecimientos son muy poco probables ([Parker & Gustafson, 1994](#)).

A diferencia de las distancias del vecino más cercano, Las medidas de amortiguación y conectividad utilizan funciones específicas de especies o procesos y debe interpretarse desde esa perspectiva.

Un índice de proximidad (PROX) cuantifica el contexto espacial de un parche de hábitat en relación con sus vecinos. El índice distingue la distribución de pequeños parches de hábitat de grupos de grandes parches ([Parker & Gustafson, 1994](#)). Una evaluación de la relación entre PROX y variaciones en las características espaciales de grupos de parches mostró que una reducción en el aislamiento de parches dentro de un grupo produjo incrementos exponenciales en PROX, y que un aumento en el tamaño de estos parches produjo un incremento lineal más modesto. aumento de PROX. Basado en la investigación realizada por Slattery y Fenner ([Slattery & Fenner, 2021](#)), el radio de búsqueda utilizado en este estudio para el índice medio de proximidad fue de 100 m. Se mostró un patrón similar en los radios de búsqueda de 20, 50, 100, 500, 1000 y 10 000 m, pero se eligió 100 m como la distancia más adecuada para representar un cruce de especies entre dos parches.

Este índice mide el movimiento de individuos entre parches de recursos en un paisaje determinado, razón por la cual este índice es importante como determinante de la persistencia de la población, el tamaño de la población y la herencia genética. Por lo tanto, los investigadores están sumamente interesados en medir la conectividad, que se define como el grado en que un paisaje facilita o impide el movimiento entre parches de recursos ([Winfree, et al, 2005](#)).

8.8. Caso práctico en Honduras.

Los resultados presentados aquí son la evaluación de la integridad ecológica basada en el objetivo de conservación Sistemas ecológicos: “Bosques” y se proporcionan a continuación describiendo los resultados para cada uno de los cuatro indicadores ecológicos clave seguidos de un resumen de los hallazgos. Aunque se identificaron algunos KEA e indicadores para otros objetos de conservación, como los sistemas hidrológicos (ecosistemas de ríos lénticos y lóticos), las culturas étnicas y la vida silvestre, el estudio actual solo se centró en el objeto de conservación “Sistemas ecológicos” (ecosistema de pino-roble) para identificar fuentes potenciales de energía sostenible en forma de biomasa forestal (Caputo, 2019). La tabla 6, muestra uno de los resultados obtenidos de la experiencia del grupo de expertos sobre los tipos de indicadores a evaluar, que son (a) Indicador 1—el porcentaje de pérdida de cobertura forestal, que se define como la pérdida de cobertura arbórea por año y se mide como un porcentaje del área total, (b) Indicador 2: el área del parche, que determina el área cubierta por bosques y es algo diferente del área que lo rodea, (c) Indicador 3: el índice de dimensión fractal que es un índice de paisaje (Csorba & Szabó, 2012) que proporciona una medida de la complejidad del patrón espacial que permite paisajes simulados y reales (Mas, Pérez_Vega, & Clarke, 2010) para compararse observando la geometría de diferentes patrones, y (d) Indicador 4: el índice de proximidad, que considera el tamaño y la proximidad de todos los parches dentro de un radio de búsqueda específico (ver tabla 8).

<i>Objeto de Conservación</i>	<i>Categoría</i>	<i>Atributo Ecológico Clave</i>	<i>Indicador</i>
	Tamaño	Cobertura Forestal	% Cobertura Forestal (CF)
Sistema Ecológico	Condición	Tamaño del hábitat	Área del Parche (AREA)
Bosques			Índice de Dimensión Fractal (FRAC)
	Contexto	Fragmentación Conectividad	Índice de Proximidad (PROX)

Tabla 8: Objetos de conservación seleccionados.

Fuente: Creación propia

Estos cuatro (4) indicadores ayudaron a evaluar el estado actual de los objetivos de conservación del “bosque” para que puedan ser utilizados con fines de generación de energía sostenible; asimismo, según Bendek, Sebestyén y Bartók (Bendek, Sebestyén, & Bartók, 2018), será necesario establecer un programa de monitoreo para la conservación de especies en comunidades rurales periféricas que basen su desarrollo en energías sustentables. Los resultados del análisis de cada indicador se obtuvieron estableciendo rangos de variación según el resumen que aparece en la tabla 9 a continuación:

Para el Indicador 1, es decir, el porcentaje de pérdida de cobertura forestal (deforestación en 6 años), se establecieron los siguientes rangos de variación así: Malo (25%), Regular (11,0–24,99%), Bueno (5,0–10,99%), Muy bueno (4,99–0%) y Excelente (0%). Con este indicador se encontró que el 40% de la superficie total del ecosistema está deforestada.

Como se mencionó anteriormente esto se debe en gran medida a las actividades antropogénicas que entre las principales se encuentran la extracción de leña, la agricultura migratoria y los incendios forestales (ver tabla 9).

Pérdida de cobertura	AREA (Ha)		Pérdida de cobertura (ha)	%
	2014	2020		
Bosque	3,752	2,601.82	1,833	40
No bosque	800	1,950.18		
Métricas de paisaje			Promedio simple	
Área del parche (AREA)			2.0 ha	
Índice de Dimensión Fractal (FRAC)			1.06	
Índice de Proximidad (PROX)			100 mt	

Tabla 9: Resumen de los datos procesados del objeto de conservación “Bosque”

Fuente: Creación propia

Este hallazgo indica que, si no se toman medidas a corto plazo, el objeto de conservación “Bosque” será vulnerable a una degradación severa. En otras palabras, a la Integridad Ecológica de la Cobertura Forestal se le da un resultado de categoría “Pobre”, que está fuera de la variación aceptable; por lo tanto, será necesaria la intervención humana para mantener los rangos naturales en un nivel aceptable.

Para el Indicador 2, denominado Área Parche (AREA), se establecieron los siguientes rangos de variación: Malo (9,99 ha), Regular (10–50 ha), Bueno (49,99–100 ha), Muy Bueno (99,99–150 ha), y Excelente (>150 ha). Según McGarigal y Marks ([McGarigal, K; Marks, B, 1994](#)), con este indicador, cuanto menor es el tamaño del parche, mayor es la influencia de factores externos. En otras palabras, las especies son más vulnerables a amenazas como enfermedades e incendios. Los parches más grandes y heterogéneos tienen más probabilidades de sustentar una mayor riqueza y diversidad de especies dentro de sus ecosistemas. En promedio, se encontró que el Área del Parche es de 2,0 hectáreas y, al igual que el indicador anterior, se encuentra en la categoría “Pobre”, lo que significa que se requieren acciones inmediatas para restaurar el ecosistema.

Según McGarigal ([McGarigal, K, 2015](#)) el Indicador 3, el Índice de Dimensión Fractal, tiene un rango entre 1 FRAC 2. Los fragmentos con formas muy irregulares tienen longitudes de borde más largas; cuanto mayor sea el fragmento, mayor será la posibilidad de encontrar más heterogeneidad en la topografía, alteraciones en los bordes y diferencias de altura en la vegetación.

Los bordes naturales de la vegetación tienen formas más complejas. En este estudio, el rango de variación se estableció de la siguiente manera: Malo (1,75–2,0), Regular (1,49,9–1,75), Bueno (1,24,9–1,50), Muy bueno (1,24,9–1,00) y Excelente (<1.0). El promedio simple obtenido para el Índice de Dimensión Fractal fue de 1,06, resultado que entra en la categoría de “Muy bueno”. En otras palabras, aunque el bosque está fragmentado, se asemeja a las formas complejas del ecosistema en su estado prístino; sin embargo, se requiere la intervención humana para mantener los rangos en un nivel aceptable.

El último indicador analizado fue el Índice de Proximidad (PROX), que según McGarigal y Marks (McGarigal, K; Marks, B, 1994), considera el tamaño y la proximidad de todos los parches dentro de un radio de búsqueda específico, que, en este caso, fue de 100 m. PROX aumenta a medida que el área dentro de un cierto radio de búsqueda está ocupada por parches de la misma clase; sus efectos sobre las especies animales y vegetales están en función de las capacidades de dispersión de cada especie y de la naturaleza de la matriz circundante. Los rangos de variación establecidos para este indicador fueron: Malo (75,0 m), Regular (50–74,99 m), Bueno (25–49,99 m), Muy bueno (0–49,99 m) y Excelente (0 m). Se obtuvo un resultado de 100 m, por lo que los resultados de este indicador se clasifican como “Pobres”, lo que significa que se requerirán programas de restauración para mejorar el estado actual del ecosistema.

Objeto de Conservación	Atributo Ecológico Clave	Categoría	Indicador	Rango de viabilidad permitido					Calificación actual según tabla 1	
				Pobre	Regular	Bueno	Muy bueno	Excelente		
Bosques	Cobertura Forestal	Tamaño	% pérdida de cobertura Indicador 1	25%	11-24.9%	5-10.9%	4.9-0%	0%	Resultado 1	Meta 5.0
	Tamaño del hábitat	Tamaño	Área del Parche (AREA) - ha Indicador 2:	≤ 10	10-49.9	50-99.9	100 – 149.9	≥ 150	1	5.0
	Fragmentación	Condición	Índice de Fragmentación (FRAG) Indicador 3:	1.75 -2.0	1.49.9-1.75	1.24.9-1.50	1.25- 1.00	<1.0	4	5.0
	Conectividad del ecosistema	Conectividad	Índice de Proximidad (PROX) - m Indicador 4:	≥ 100	75 - 99.9	50 – 74.9	0 – 49.9	≥ 0	1	5.0
Promedio simple.									1.75	

Tabla 10: Evaluación de objetos de conservación y sus atributos ecológicos.

Fuente: Creación propia

La tabla 10, presenta un resumen de los resultados obtenidos luego de realizar el análisis de los indicadores de pérdida de cobertura forestal y la métrica de paisaje utilizando un método cuantitativo con datos de imágenes satelitales. La tabla 10, es un resumen de la evaluación de los objetos de conservación, sus atributos ecológicos clave, indicadores e integridad ecológica del ecosistema.

La evaluación de los Objetos de Conservación muestra que la calificación de la Integridad Ecológica del ecosistema, usando un promedio simple de los indicadores de Cobertura Forestal, Área de Parche (AREA), Índice de Dimensión Fractal (FRAC) e Índice de Proximidad (PROX), es 1.75 (“Pobre”), están fuera del rango de variación aceptable.

Este resultado está lejos de la meta de cinco (5), que según Brown *et al* (Brown & Williams, 2016), indica que se requiere una intervención inmediata para mantener el ecosistema. Por lo tanto, si no se toman acciones de manejo apropiadas y oportunas, el objeto de conservación “Bosque” será vulnerable a una degradación severa.

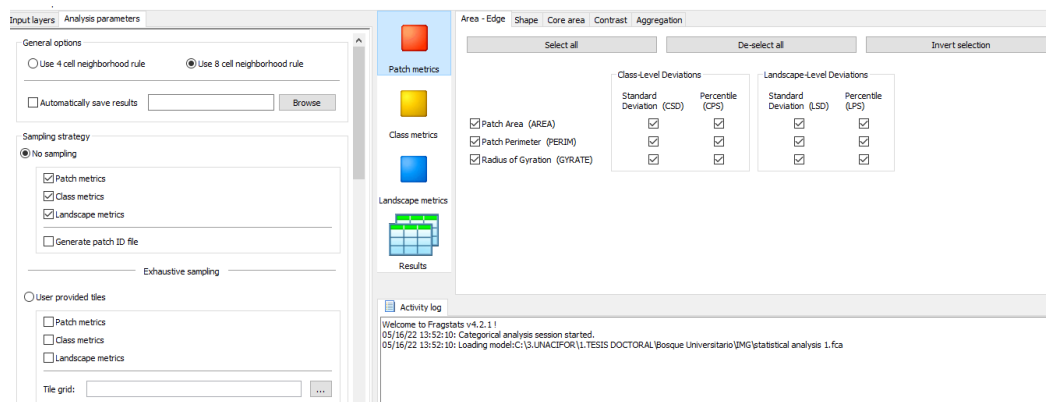


Figura 38: Métricas de paisaje

Fuente: Creación Propia

Por lo tanto, en casos como este, Theau, Trottier y Graillon (Theau, Trottier, & Graillon, 2018) sugieren que se necesita un programa de monitoreo y restauración que involucre a las comunidades locales en el manejo sostenible de la biomasa forestal.

Los resultados fueron validados con visitas de campo. Para el análisis de la heterogeneidad de los ecosistemas ([Cadenasso, Pickett, & Grove, 2006](#)), se usó y procesó una red Landsat 8 de 7 bandas usando el software FRAGSTATS como se muestra en la Figura 37. Las métricas consideradas fueron área del Parche, Índice de Dimensión Fractal e Índice de Proximidad.

Para el Indicador 2, denominado Área Parche (AREA), se establecieron los siguientes rangos de variación: Malo (9,99 ha), Regular (10-50 ha), Bueno (49,99-100 ha), Muy Bueno (99,99 - 150 ha), Excelente (> 150 ha). Para el Indicador 2, denominado Área Parche (AREA), se establecieron los siguientes rangos de variación: Malo (9,99 ha), Regular (10-50 ha), Bueno (49,99-100 ha), Muy Bueno (99,99 - 150 ha), Excelente (> 150 ha). Según McGarigal y Marks ([McGarigal, K; Marks, B, 1994](#)), con este indicador, cuanto menor sea el tamaño del parche, mayor será la influencia de factores externos.

En otras palabras, las especies son más vulnerables a amenazas como enfermedades e incendios. Los parches más grandes y heterogéneos tienen más probabilidades de sustentar una mayor riqueza y diversidad de especies dentro del ecosistema. En promedio, se encontró que el Área de Parche es de 2.0 hectáreas y, al igual que el indicador anterior, se encuentra en una categoría de “Pobre”, lo que significa que se requieren acciones inmediatas para restaurar el ecosistema.

Según McGarigal ([McGarigal, K, 2015](#)), el Índice de Dimensión Fractal para el indicador 3 tiene un rango entre $1 \leq \text{FRAC} \leq 2$. Los fragmentos con formas muy irregulares tienen longitudes de borde más largas; cuanto mayor sea el fragmento, mayor será la posibilidad de encontrar más heterogeneidad en la topografía, alteraciones en los bordes y diferencias de altura en la vegetación. Los bordes naturales de la vegetación tienen formas más complejas, en este caso el rango de variación se estableció de la siguiente manera: Malo (1.75-2.0), Regular (1.49-1.75), Bueno (1.24-1.50), Muy bueno (1.24-1.00) y Excelente (<1.0). El promedio simple obtenido para el Índice de Dimensión Fractal fue de 1,06, resultado que entra en la categoría de “Muy bueno”. En otras palabras, aunque el bosque está fragmentado, se asemeja a las formas complejas del ecosistema en su estado prístino; sin embargo, se requiere la intervención humana para mantener los rangos en un nivel aceptable.

El último indicador analizado fue el Índice de Proximidad (PROX), que según McGarigal y Marks (McGarigal, K; Marks, B, 1994), considera el tamaño y la proximidad de todos los parches dentro de un radio de búsqueda específico, que en este caso fue de 100 metros. PROX aumenta a medida que el área dentro de un radio de búsqueda específico está ocupada por parches de la misma clase; sus efectos sobre las especies animales y vegetales están en función de las capacidades de dispersión de cada especie y de la naturaleza de la matriz circundante.

Los rangos de variación establecidos para este indicador fueron: Malo ($\geq 75,0$ m), Regular (50 - 74,99 m), Bueno (25 - 49,99 m), Muy bueno (0 - 49,99 m), Excelente (≥ 0 m). Se obtuvo un resultado de 100 metros, por lo que se clasifica como “Pobre”, lo que significa que se requerirán programas de restauración para mejorar el estado actual del ecosistema.

8.9. Selección, uso y gestión de especies forestales como fuentes de biomasa renovable.

Los resultados presentados aquí consisten en 1) La Caracterización de las fuentes potenciales de combustibles de biomasa forestal; 2) La elaboración de una herramienta para la evaluación del potencial de la biomasa forestal; y 3) La identificación de los parámetros energéticos de las especies con potencial de generación de bioenergía en el ecosistema Pino-encino ubicado en la región central de Honduras.

8.9.1 Selección y caracterización de las especies.

La selección de las especies se realizó mediante un Índice de Valor de Importancia (IVI). Como se explicó anteriormente en la metodología, el estudio se realizó en el en el área sujeto de estudio sobre la base de 12 parcelas circulares con un radio (R) de 12.62 m para un área por parcela de 500 m², siendo la muestra total de 0.60 ha. Este valor se obtuvo de la aplicación del área mínima o curva de área-especie que es una gráfica que permite visualizar la representatividad de un muestreo y se utiliza cuando el muestreo se realiza con el método de intercepción de líneas (Mostacedo, Bonifacio; Fredericksen, Todd S., 2000). En la tabla 11 se puede observar las especies seleccionadas por su valor de importancia.

No	Nombre científico	Nombre común	Frecuencia	Densidad	Dominancia	IVI
1	<i>Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl.</i>	Pino ocote	36	60	90	186
2	<i>Quercus sapotaefolia</i>	Encino	20	15	4	39
3	<i>Byrsonima crassifolia (L.) Kunth</i>	Nance	19	8	3	30
4	<i>Perymenium Nicaragüense S.F. Blake</i>	Tatascansillo	13	11	2	26
5	<i>Psidium Guajava L.</i>	Guayabo	12	6	1	19
	TOTAL		100	100	100	300

Tabla 11: Especies seleccionadas por su valor de importancia

Fuente: Creación Propia

Es importante resaltar que el alcance de la investigación en este objetivo específico es a nivel de profundidad con las especies más relevantes del ecosistema tal como se describe en la metodología, es decir las especies arbóreas de *Pinus* y *Quercus*. Estas especies son las más dominantes y relevantes según su Índice de Valor de Importancia (ver figura 39).



Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl



Foto de *Quercus sp*

Figura 39: Especies con un mayor Índice de Valor de Importancia

8.9.2 Especies dominantes.

A continuación, se describen las especies dominantes del ecosistema:

a. Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl.

Según Cano (Cano-Morales, 2016), este es un árbol que puede llegar a medir entre 30 y 35 m de altura. El fuste puede alcanzar entre 40 y 70 cm de diámetro a la altura del pecho (dap). La copa es amplia, se reduce y se vuelve cónica a medida que posee competencia, las ramas se insertan en el tronco en ángulo de 45° (la mayoría), sin ningún tipo de arreglo en específico. La corteza de los árboles maduros es gruesa y de color grisáceo a café, forma placas o planchas definidas de forma rectangular por fisuras en el plano longitudinal y horizontal. Existen 5 hojas (acículas) o agujas por fascículo, se caracterizan por ser gruesas en comparación a otras especies del género *Pinus* presentes en Honduras y de forma triangular; de 20 a 28 centímetros de largo. Posee vaina en la base del fascículo, de color verde a café, de 10 a 30 mm de largo.

Edad(años)	Volumen(m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)	ICA (m ³ /ha)
12	62.7	4.6	5.2
14	111.6	4.6	5.2
16	76.0	4.7	3.6
18	135.2	4.8	6.3
20	92.1	4.6	4.3
32	163.9	5.1	7.7
36	198.7	5.5	9.3
40	240.8	6.0	11.3
Promedio	135.12	4.98	6.61

Figura 40: Tabla de rendimiento en volumen por hectárea

Fuente: Zamora, 2006

Los conos o “frutos”, botánicamente llamados estróbilos, se diferencian de las demás especies por tener forma de una manzana achatada cuando están abiertos, de escamas duras, se abren únicamente en el ápice; de tamaño variable, entre 5 a 8 cm de largo y 4 a 7.5 cm de ancho. Es característico de la especie encontrar estróbilos de dos o tres años anteriores aún sujetos a las ramas.

Tasa de crecimiento

La especie *Pinus oocarpa* es la más importante entre las 7 especies de pino presentes en Honduras, pues provee el 98% de la madera de aserrío cortada anualmente datos estimados a través de modelos de crecimiento y rendimiento para dar un mejor manejo a los bosques de esta especie.

En su hábitat natural, se desarrolla entre los 600 a los 1600 m de altitud, siendo la especie de los bosques de conífera más común en Honduras ([Zamora-López, Groothousen, & Pérez-Núñez, 2006](#)). Los cálculos de la tabla de rendimiento se hicieron con los modelos de mejor ajuste, y corresponden al volumen por cada clase de sitio. La figura 39 muestra los Incrementos Medios (IMA) y Corrientes Anuales (ICA).

Producción de biomasa

De acuerdo con el Anuario Estadístico Forestal de Honduras 2019, el total de cobertura forestal en el 2019 era de 5,384,425 hectáreas. Dentro de esta extensión forestal se identifican cuatro tipos de bosque, donde el 57.0% corresponde a los bosques latifoliados, el 36.6 % concierne al bosque coníferas, el 5.3% para el bosque Mixtos y el 1.0% al bosque mangle ([ICF, 2019](#)), lo cual representa un excelente potencial para generación de biomasa forestal a partir de los bosques de coníferas. De acuerdo con Gudiel, 2015 la distribución de la biomasa de los componentes aéreos en la especie *Pinus oocarpa*, el fuste con corteza presentó el mayor porcentaje de la biomasa aérea con el 79.8%, seguido de las ramas con 12.4%, las acículas con un 7% y los conos con 0.794% ([Gudiel-Corona, 2015](#)).

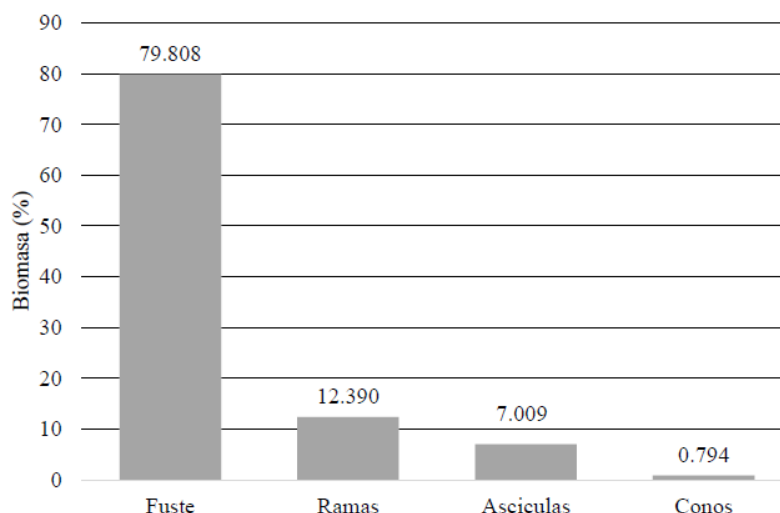


Figura 41: Distribución de la biomasa en los componentes aéreos de *Pinus oocarpa*

Fuente: Gudiel, 2015

b. Quercus ssp.

Quercus es un género de árboles de gran porte, aunque también se incluyen arbustos. Los hay de follaje permanente, caducifolio y marcescente. Las flores masculinas se presentan en amentos, inflorescencias complejas colgantes, habitualmente cada flor con entre cuatro y diez estambres, lo más a menudo seis, de largos filamentos. Las flores femeninas aparecen aisladas u organizadas en espigas o cabezuelas.

El fruto se denomina bellota, es solitario y de origen axil, con cotiledones planos. La corteza suele ser lisa en los ejemplares jóvenes, pero se va agrietando con la madurez de la edad (FAO I. , 2016).

Crecimiento

Las especies del género *Quercus* suelen presentar tasas de crecimiento relativamente bajas (14.6 ± 2.0 mg g⁻¹ día⁻¹), frente a otras especies leñosas. Una vez trasplantadas al contenedor seleccionado, se trasladan al vivero, cubierto con una malla 50% sombra, en donde se cuidarán por 1 año, y después pasarán a la sección descubierta para continuar su crecimiento. Lo más importante en esta etapa es incrementar la masa rizomatosa para permitir posteriormente el crecimiento de la parte aérea.

Las diferencias en talla que los pequeños árboles alcancen variará mucho tal como ocurrió en la germinación de las semillas. Un ejemplo muy claro se ha observado en *Quercus*, donde tres plantas crecieron hasta 90 cm en un año, mientras que el resto se dejó crecer otro año más para alcanzar la misma talla y plantarlo.

Cuando se trata de miles de bellotas que se desean germinar y crecer, se utiliza una forma muy económica de hacerlo a gran volumen, para ello se utilizan almácigos de tabique, con grava en la base que se cubre con plástico perforado sobre el cual se coloca el sustrato para permitir el drenaje y evitar el crecimiento excesivo de las raíces.

Este almácigo permite sembrar las bellotas al igual que en charolas de germinación y visualizar las bellotas que están listas, y sacarlas rápidamente. Aquí se debe buscar diferir el tiempo de siembra para tener diferentes tiempos de trasplante y disminuir la cantidad de plántulas que se deben trasladar a sus contenedores. Se avanza mucho en la germinación de los encinos y se optimiza el espacio y el recurso económico, pero se incrementa el trabajo en el trasplante, debido a que este último requiere de muchas manos para hacerlo rápidamente y tener éxito. Lo más importante a considerar es que la plántula de encino tiene una proporción de 1:10 o hasta 1:20 entre la parte aérea y la raíz en algunas especies de zonas áridas, lo cual debe considerarse cuando se colocan.

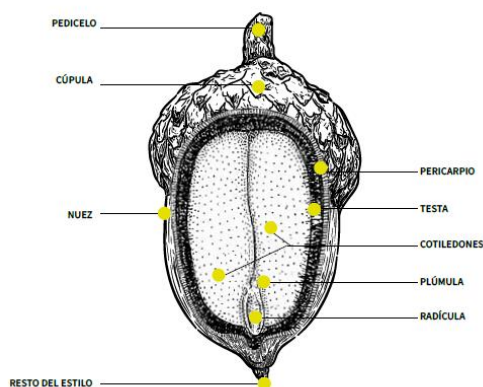


Figura 42: Corte transversal de una bellota de *Quercus*

Fuente: Rodríguez-Acosta, 2020

Producción de biomasa

El principal uso de todos los encinos es leña y carbón. En particular, son una de las principales fuentes de energía doméstica, preferida por su poder calorífico y la duración de sus brasas.

La madera de estas especies se utiliza por su fuerza, durabilidad y belleza, y es usada para la construcción de durmientes de ferrocarril, barcos, acabados de interiores, pisos y todo tipo de muebles de calidad. Las bellotas son comestibles, siendo apetecidas por los cerdos. Sus hojas son utilizadas para fertilizar los campos estériles de pendientes y faldas de montañas. Dichas hojas se amontonan y se dejan pudrir, para ser enterradas en el mes de febrero para enriquecer los sembrados. La corteza es rica en taninos y es excelente para curtir cueros o para teñir textiles. Para aprovechamientos periódicos con fines energéticos, debido a su excelente capacidad de rebrote. Las bellotas están listas para su recolección cuando comienzan a caer del árbol. Cada kg contiene entre 100 y 1,500 semillas.

Generalmente no conservan su poder germinativo más de tres meses, por lo que es preferible sembrarlas inmediatamente o mantenerlas refrigeradas a 4 °C. Se siembra en camas germinadoras o bolsas y germinan al cabo de 4 - 8 semanas. Otro método es hacerlas germinar en agua primero y luego se siembran en suelo o en bolsa. Para leña y forraje se aprovechan bajo turnos de rotación cortos, alrededor de los 10 años.

8.9.3 Especies codominantes

Para las especies de arbustos solamente se evaluó su Valor de Importancia y su potencial energético. Para realizar estudios de crecimiento y generación de biomasa se proponen estudios a profundidad por cada una de las siguientes especies:

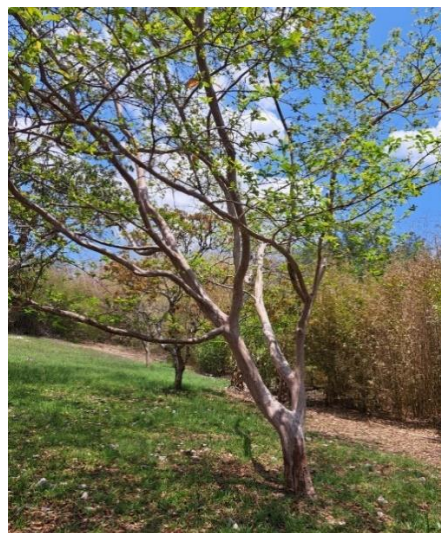
- *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth
- *Perymenium Nicaragüense* S.F. Blake
- *Psidium Guajava* L.



Byrsonima crassifolia (L.) Kunth



Perymenium nicaraquense S.F. Blake



Psidium guajava L.

Figura 43: Especies con un menor Índice de Valor de Importancia

Fuente: Creación propia

Byrsonima crassifolia (L.) Kunth

Byrsonima crassifolia (nance) se denomina árbol pequeño o arbustivo, perteneciente de la familia Malpighiaceae. Árbol originario de Mesoamérica, se extiende desde el sur de México, hasta Perú, Bolivia, Paraguay y Brasil, (SNIF).

El nance, ha sido plantado en el sur de Florida, USA. Prospera en laderas abiertas y pedregosas del bosque tropical caducifolio, también en laderas de cerros a menudo formados por rocas metamórficas y terrenos planos.

Este árbol es muy importante en la reproducción de muchas especies del bosque seco de acuerdo con (Barrance, et al., 2013). Tiene gran importancia silvícola y ecológica. La especie restaura la capacidad regenerativa del bosque ya que crece a pleno sol y produce fruto rápidamente después de haber sido plantada. Los frutos atraen animales que contribuyen a la dispersión de semillas.

Respecto a su propagación y manejo que es un factor importante a considerar para su aprovechamiento ([INAB, FAO/FFF, 2016](#)) declaran que pesar de ser *B. crassifolia* una especie tolerante a suelos infértiles, ensayos muestran un rápido crecimiento en plantaciones establecidas en áreas con suelos sueltos, ricos en materia orgánica y libre de malezas.

Para propagar árboles seleccionados sugieren usar el injerto de púa lateral o de parche, que presentan porcentajes de pegue mayor del 85%. También es posible su propagación por enraizamientos de acodos aéreos.

Perymenium Nicaragüense S.F. Blake

Esta especie también conocida como Tatascansillo, pertenece a la familia Asteraceae, son arbustos o árboles pequeños, hasta 5 m de alto, tallos canaliculados, estrigulosos. Hojas ovaladas a lanceoladas, 2–10 cm de largo y 1–4 cm de ancho, indistintamente serradas, escasamente estrigosas, pecíolos 0.5–1.5 cm de largo, estrigosos capitulescencias de pocos a muchos capítulos en cimas compuestas. Flor y fruto casi todo el año. Común, en bosques de pinos y pino-encinos, se establece a una altura sobre el nivel del mar de 700–1150 m ([UN, 1924](#)). El incremento de esta especie todavía no ha sido estudiado en su estado natural; sin embargo, de acuerdo a Cordero, 2003 esta especie en plantaciones puras con un espaciamiento de 2 m x 2 m mostró una sobrevivencia muy baja de 13% y un crecimiento promedio de 1.7 m; estos ensayos indican una pobre adaptabilidad de esta especie la cual es endémica del ecosistema pino-encino ([Cordero B. J., 2003](#)). La figura 43 muestra las especies de arbustos con menor Índice de Valor de Importancia.

Psidium Guajava L.

Según, ([Cordero B. J., 2003](#)), el árbol o arbusto perennifolio o caducifolio, de 3 a 10 m (hasta 20 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de hasta 60 cm. Copa / Hojas. Copa irregular. Las hojas decusadas simples; láminas de 3 a 13.5 cm de largo por 1.5 a 6 cm de ancho, oblanceoladas, oblongas o elípticas, margen entero; verde brillantes a verde parduscas; abundantes puntos glandulosos transparentes en la lámina; hojas fragantes cuando se estrujan. Tronco / Ramas. Tronco generalmente torcido y muy ramificado.

Las ramas son gruesas, ascendentes y retorcidas. Corteza. Externa escamosa en piezas lisas, delgadas e irregulares, pardo rojizo, las escamas grisáceas. Interna fibrosa, ligeramente amarga, de color crema rosado o pardo rosado, cambiando a pardo oscuro. Grosor total: 5 a 8 mm. **Flor(es)**. Solitarias o en cimas hasta de 8 cm, axilares; flores dulcemente perfumadas, actinomorfas; sépalos 4 a 5, verdes en el exterior y blancos en el interior; pétalos 4 a 5, blancos. **Fruto(s)**. Bayas hasta de 8 cm de diámetro, globosas a ovoides, con el cáliz persistente en el ápice, carnosas, de color crema amarillento a rosado, de olor fragante y sabor agri dulce. Cáscara exterior fina de color amarillo; fruto conteniendo numerosas semillas. **Semilla(s)**. Semillas redondas de 3 a 5 mm, rodeadas de una pulpa amarillenta a rosada de sabor muy agradable. **Raíz**. Sistema radical superficial. Además de la producción de frutos se reporta un volumen de producción de leña de 65 m³/ha y un incremento de 4.3 m³/ha. Caracterización energética de las especies

El aprovechamiento de los recursos forestales para la producción de energía constituye una de las principales fuentes, ya que tanto las actividades agrícolas como forestales, son grandes productoras de biomasa, la cual es utilizada como combustible en procesos industriales y domésticos, mientras que otra parte es considerada como residuo, el cual no es aprovechado ([López-Poveda, Talavera-Godoy, & Moreno-Ledesma, 2018](#)). Sin embargo, muchos países europeos han desarrollado estándares para la calidad, el almacenamiento, el transporte y la combustión de combustibles de biomasa densificada. A continuación, en la tabla 12, se muestran los parámetros energéticos.

No	Nombre científico	Contenido de ceniza (%)	Contenido de Humedad (%)	Poder Calorífico MJ/Kg
1	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl	2.23 ±0.32	10.27 ± 0.50	18.57 ±0.16
2	<i>Quercus sapotaefolia</i>	2.57 ±0.34	9.17 ±0.35	17.01 ±0.12
3	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	1.4 ±0.84	7.41 ±2.35	17.35 ±0.22
4	<i>Perymenium Nicaragüense</i> S.F. Blake	3.43 ±0.21	8.74 ±0.58	17.81 ±0.16
5	<i>Psidium Guajava</i> L.	2.51 ±0.28	5.93±0.71	18.01 ±0.10

Tabla 12: Parámetros energéticos de las especies.

A continuación, se muestran los parámetros energéticos con su respectiva desviación estándar (s) y su Coeficiente de Variación (CV) en porcentaje.

Estas mediciones han sido basadas en el Sistema Internacional de Unidades el cual es un lenguaje universal que permite el intercambio de información relacionada con las operaciones de medición, es decir con la metrología (CIPM, 2008). Las medidas utilizadas fueron la Varianza y Desviación estándar las cuales son medidas de dispersión de observaciones individuales con respecto a la media.

$$s = \frac{\sqrt{\sum x^2 - (\sum x)^2 / n}}{n - 1}$$

Coeficiente de Variación: es una medida de dispersión que permite el análisis de las desviaciones de los datos con respecto a la media y al mismo tiempo las dispersiones que tienen los datos dispersos entre sí utilizando la siguiente fórmula:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} (100)$$

Estas mediciones han sido basadas en el Sistema Internacional de Unidades el cual es un lenguaje universal que permite el intercambio de información relacionada con las operaciones de medición, es decir con la metrología (CIPM, 2008).

Estos incluyen parámetros y pautas relacionadas con lo siguiente: densidad aparente y de partículas, contenido de humedad, resistencia al aplastamiento o dureza, número de partículas, tamaño de partículas (longitud y diámetro), composición química, contenido de cenizas y poder calorífico. A medida que el comercio entre países se generaliza, también es necesario crear estándares internacionales para facilitar la compra y venta de combustibles de biomasa. Por lo tanto, el Comité Europeo de Normalización, CEN, recibió un mandato de la Comisión Europea para desarrollar estándares para biocombustibles sólidos dentro del Comité Técnico (CT) 335 Biocombustibles Sólidos.

En ese sentido, dada la naturaleza heterogénea de los estándares de calidad de la biomasa, la especificación técnica experimental EN 14961-1 (2011) para biocombustibles sólidos creó un conjunto de pautas para la calidad y el uso de estos combustibles.

También consideró una categorización muy específica de pellets la cual fue adoptada por la norma ISO 17225 parte 5 que establece como máximo un 25% de contenido de humedad. A continuación, se presentan los resultados de los parámetros energéticos (ver tabla 13) de especies similares en diferentes países para producción de energía para cocción de alimentos o calefacción en el hogar.

biomass materials name		proximate analysis			ultimate analysis				HHV MJ/kg
		ash	FC	VM	C	H	O	N	
Pine wood	Canada	1.60	10.93	87.47	48.23	6.50	43.70	0.14	19.60
Pine wood	Singapore	1.40	13.15	85.45	47.49	6.61	43.00	1.33	19.83
Pine wood	U.S.	0.32	15.80	83.88	52.40	6.02	41.00	0.10	20.52
rape stalks	Germany	7.80	-	-	44.80	6.20	41.70	1.00	17.20
softwood	Germany	0.50	-	-	48.80	5.60	45.60	0.00	20.50
softwood	Turkey	1.70	28.10	70.00	51.23	6.00	40.31	0.20	20.00

Tabla 13: Comparación de parámetros energéticos de las especies.

Fuente: Adaptada de (Camacho-Ardila, Jaimes-Figueroa, & Wolf-Maciel, 2024)

Como se puede observar en las tables 12 y 13 el PC de las especies estudiadas muestran una gran similitud en los datos obtenidos en comparación con especies similares procedentes de diferentes regiones del mundo. Por ejemplo, la especie *Pinus oocarpa* presenta un PC de 18.54 MJ/kg mientras que otras regiones del mundo el valor promedio de 19.98 MJ/kg. Así mismo, las especies latifoliadas muestran valores del 18 MJ/kg.

8.10. Parámetros energéticos de las especies seleccionadas.

A continuación, se describen los parámetros energéticos de las especies seleccionadas.

8.10.1. Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad fue expresado en la cantidad de agua encontrado en el un material sólido y representado en términos de una base de masa seca o de una base de masa húmeda (Martines & Lira, 2010), este parámetro fue importante para el almacenamiento del material producido, debido a que existía la posibilidad de crecimiento bacteriano a altos niveles de humedad, que causan degradación química y física.

En general el contenido de humedad debe ser menor al 20 % para evitar este problema (Vallejos Cifuentes, 2018). Según Castelis (Castells, 2005), la humedad es el factor más crítico en los combustibles de biomasa, porque determina la energía que se puede obtener durante la combustión. Cuando se quema la biomasa, primero se necesita evaporar el agua para tener disponible el calor; por eso, cuanto más alto es el contenido de humedad, menor es el valor calorífico. Para Carrillo (Carrillo-Parra, 2014), el contenido alto de humedad (mayor de 25 %) de subproductos de la madera provoca la reducción del poder calorífico neto, de la eficiencia en la combustión y de la temperatura generada.

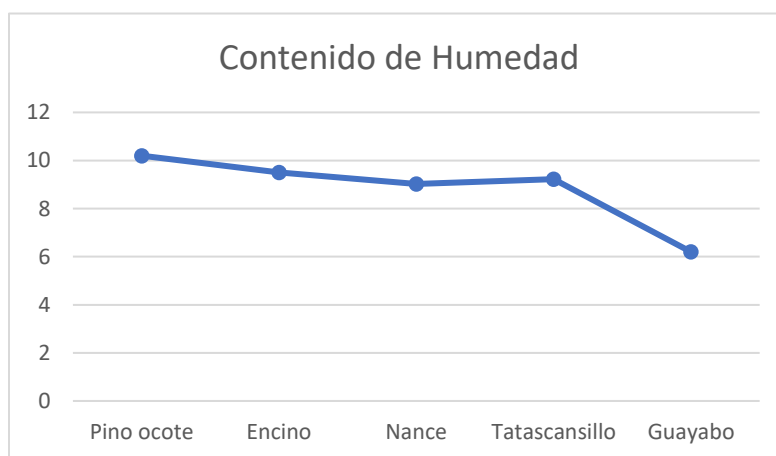


Figura 44: Contenido de Humedad de Las Especies

Fuente: Creación propia

La figura 43 muestra que en promedio las especies tienen un contenido de humedad de alrededor del 9 % el cual es ideal para la quema eficiente de acuerdo con la norma ISO 17225 parte 5 que establece como máximo un 25%.

8.10.2. Determinación del Poder calorífico

De acuerdo con (Camacho-Ardila, Jaimes-Figueroa, & Wolf-Maciel, 2024), el poder calorífico es uno de los parámetros más importantes para cálculos de diseño y simulaciones numéricas del sistema térmico del proceso de biomasa o carbón porque define el contenido de energía de combustibles. Se encuentran pocas correlaciones en la literatura para determinar el análisis final de la biomasa de las proximidades análisis.

Estas correlaciones generalmente se centran en unos determinados combustibles sólidos que, en la mayoría de los casos, proceden de el mismo país de origen. Así mismo, la caracterización de la biomasa depende de la ubicación geográfica y no sólo de la especie vegetal de origen y/o clima. Los programas de simulación necesitan el Poder Calorífico (PC) para realizar cálculos de equilibrio de energía para sustancias como el carbón o la biomasa suele determinarse con la ayuda de correlaciones empíricas que dependen de resultados finales o análisis próximos.

Respecto al poder calorífico se obtuvo un promedio de 17.94 MJ/kg que normalmente anda alrededor de 18 - 19 MJ/kg después de la carbonización, esto es un alto poder calorífico según la norma ASTM D 5865-13 ([Anggono, Sutrisno, Suprianto3, & Evander, 2017](#)). Adicionalmente, de acuerdo con García ([García-Maraver, 2013](#)), existen diversas normas especialmente de origen europeo tales como: La norma australiana M 7135, la norma sueca SS 187120, las normas alemanas: DIN 51731 y DIN EN 15270 entre otras.

Se determinó el poder calorífico para promediar el valor. El procedimiento se hizo con 1 Kg de cada material pulverizado. El poder calorífico de un combustible expresa la cantidad de energía liberada durante la combustión completa de una unidad de masa del combustible. Sin embargo, el contenido en humedad de la madera cambia el poder calorífico de esta última reduciéndolo.

Efectivamente, una parte de la energía liberada durante el proceso de combustión se gasta en la evaporación del agua y en consecuencia no está disponible para ningún uso térmico. Según Valter Francescato y Bergomi ([Valter-Francescato & Bergomi, 2008](#)), podemos distinguir entonces entre:

Poder calorífico inferior (PCI): El agua liberada se trata como vapor, es decir, se ha restado la energía térmica necesaria para vaporizar el agua (calor latente de vaporización del agua a 25 °C).

Poder calorífico superior (PCS): El agua en los productos de combustión se trata como un líquido (ver figura 45).

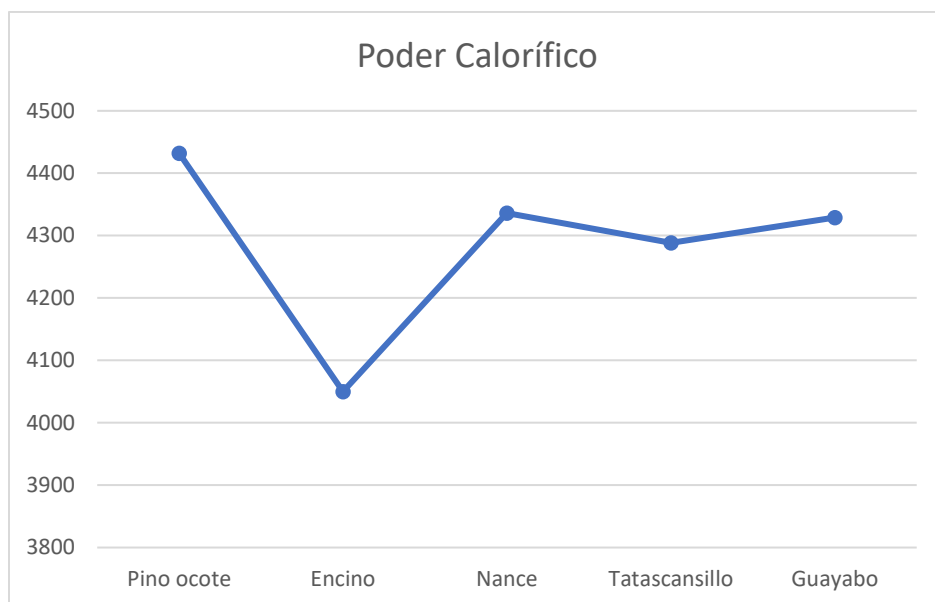


Figura 45: Poder Calorífico de las especies (Kcal / kg)

Fuente: Creación propia

Como se puede observar en la figura 44 los valores del Poder Calorífico de las especies resultaron en valores estimados bien cercanos entre sí. En el estudio realizado por [Camacho-Ardila, Jaimes-Figueroa, & Wolf-Maciel \(2024\)](#) se demostró que, aunque la correlación resultó en valores estimados más cercanos a los verdaderos en comparación con los experimentales de biomasa, todavía se produjeron desviaciones considerables. En consecuencia, estudiar correlaciones que son globales para la biomasa y/o el carbón es fundamental para reducir tales desviaciones en los cálculos de energía. La aplicación de métodos de tipo regresión equivale a la introducción o eliminación de una variable en una aproximación lineal función que se busca como solución a un problema de análisis de datos, sin embargo, en cada etapa se examina si todas las variables introducidas en el modelo permanecen constantes.

8.10.3. Determinación del contenido de cenizas

Los resultados del contenido de cenizas en promedio resultaron ser de 2.58% lo cual representa también un buen indicador de la calidad de las especies como fuente de energía. El contenido de cenizas se determinó siguiendo el procedimiento de la norma ISO 17225-3, la cual establece un máximo de un 3%.

De acuerdo con los resultados promedios obtenidos de un 2.8% se puede afirmar que todas las especies estudiadas tienen un potencial energético aceptable (ver figura 46).

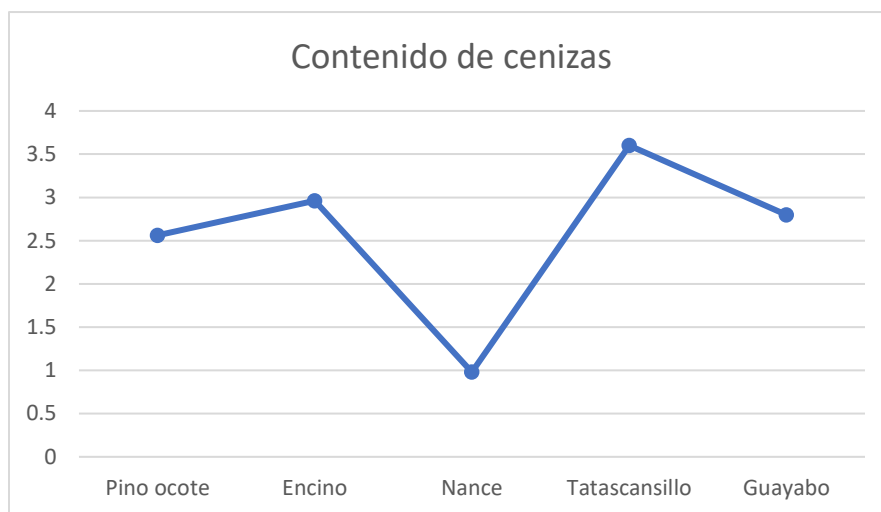


Figura 46: Contenido de cenizas de las especies

Fuente: Creación propia

8.11. Sostenibilidad en el manejo forestal de las especies seleccionadas.

En la región centroamericana, el patrón energético muestra que existe una tendencia pronunciada hacia el uso de fuentes de energía tradicionales en los países más pobres de la región. OLADE (OLADE, 2010) estimó que para el 2020, 20 millones la población dependiente de leña era de 20 millones Centroamérica. Esto es especialmente cierto para la biomasa que se requiere para cocinar, calentar y generar energía.

Según Blanco-Rodríguez (Blanco-Rodríguez, 2013), la interacción entre energía y pobreza se ha identificado claramente como un aspecto crítico para lograr un desarrollo sustentable en los países en vías de desarrollo.

La demanda de fuentes comerciales de energía, principalmente de los hidrocarburos importados y la electricidad, aumenta considerablemente en el contexto socioeconómico centroamericano, a una tasa que compromete los márgenes de confiabilidad de la oferta disponible y aumenta la vulnerabilidad de los patrones de consumo energético.

La provisión, desarrollo y consolidación de tecnologías apropiadas disponibles a escala comercial y el uso eficiente de la energía para atender las necesidades de las poblaciones rurales marginales -donde se manifiestan los mayores índices de pobreza- son aspectos que históricamente no han tenido la debida atención en la política pública regional.

Centroamérica tiene un potencial importante para la generación de energía con diversas tecnologías: pequeñas centrales hidroeléctricas para energizar a núcleos de la población rural que aún no tienen acceso al sistema nacional interconectado y para usos productivos; sistemas solares fotovoltaicos para energizar centros comunitarios con fines de iluminación, acceso a internet y comunicación, y energía biomásica para cocción de alimentos y calefacción.

Estas tecnologías pueden aumentar el acceso a formas de energía más limpias, a fin de incrementar la calidad de vida de los pobres. Por otra parte, la vida cotidiana de las personas de menores ingresos es la más afectada por el cambio climático: núcleos poblacionales altamente dependientes de recursos energéticos primarios utilizados ineficientemente contribuyen al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero y en consecuencia al calentamiento global.

En Honduras, por ejemplo, algunas poblaciones rurales con niveles de pobreza extrema llegan al punto de derribar un árbol a fin de vender la leña a intermediarios para su comercialización en los centros urbanos, como su única fuente de ingresos. Se ha documentado que los habitantes más pobres tienen mayores dificultades para conseguir financiamiento y apropiarse de tecnologías energéticamente más eficientes, dadas las condiciones poco favorables de mercado para acceder al crédito comercial disponible en Centroamérica.

Según Rodríguez (Rodríguez Blanco, 2012), solo en Honduras, el consumo de leña representa el 47% del consumo total de energía primaria. Este comportamiento antropogénico ejerce mucha presión sobre los bosques naturales y también tiene un papel importante en el deterioro de los ecosistemas, ya que muchas prácticas de gestión forestal son insostenibles. Otros países centroamericanos, como Guatemala, Nicaragua y El Salvador, tienen niveles de consumo de leña que promedian el 39%. Este uso excesivo de la biomasa forestal crea un impacto humano en los procesos de los ecosistemas que podría alterar la organización de estos procesos en múltiples escalas espaciales (Mattson & Angermeier, 2007). Además, según Nelo *et al* (Nelo , Raes, Wong, Chacón, & Sanchún, 2019), La deforestación en Honduras alcanzó 43,588 ha por año entre 2012 y 2016, un aumento del 70% en comparación con la tasa de deforestación del período 2000-2012.

Es importante resaltar que esta sección del ecosistema sujeto de estudio fue seleccionada por los problemas que enfrenta, incluyendo: a) Ausencia de un Manejo forestal adecuado, b) extracción de leña de manera acelerada para cocción de alimentos y calefacción, c) Incendios forestales sistemáticos, d) Incidencia de plagas y enfermedades como dendroctonus sp. e) Tráfico de especies en peligro de extinción; f) Fragmentación del ecosistema debido a la agricultura migratoria, deforestación, invasión por pobladores sin ninguna regularización. Sin embargo, cuentan con una gran variedad de especies con potencial de generación de energías renovables (ver figura 47).

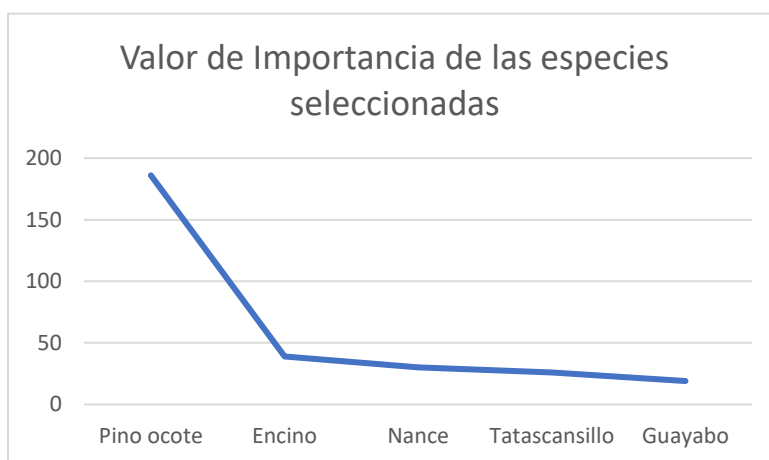


Figura 47: Valor de Importancia de las Especies

Fuente: Creación propia

Como se puede observar las especies más abundantes son el Pino y el encino. Por lo tanto, este ecosistema es un espacio natural de gran riqueza ecológica. A pesar de la importancia de este tipo de bosque, es un ecosistema que tiene uno de los niveles más bajos de representación legal en los mecanismos de conservación de la región; se ha investigado muy poco sobre este ecosistema, y no se valora tanto como se debería.

El panorama general que surge de este estudio es que todos los factores considerados aquí podrían estar involucrados en el deterioro del ecosistema. Un conjunto de actividades, prácticas y circunstancias antropogénicas interrelacionadas parecen ser la base de la pérdida de la cubierta forestal, según lo declarado por el IPCC, que sugiere que las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero se encuentran en sus niveles más altos.³]. Los hallazgos confirman lo que la FAO y el PNUMA afirmaron sobre la deforestación y la degradación de los bosques: continúan ocurriendo a tasas alarmantes (IPCC, 2021). De igual forma, existe preocupación por la cantidad de consumo de leña, que solo en Honduras asciende al 47% del consumo total de energía primaria. Esto indica la gran presión que las actividades antropogénicas ejercen sobre los bosques naturales (FAO, 2020). En Honduras, el 35% de la población dentro de la ecorregión vive en la pobreza, y muchas de estas personas son de etnias indígenas [19]. Es importante enfatizar que estas perturbaciones antropogénicas son los principales factores de estrés que crean fragmentación, provocan el deterioro de la conectividad del paisaje y alteran la integridad ecológica en la ecorregión (Hasan Reza & Abdullah, 2011). Sin embargo, como se discutió anteriormente, la metodología propuesta por Parrish *et al* (Parrish, Braun, & Unnasch, 2003) permite monitorear y medir la integridad ecológica de las áreas protegidas del Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas (SICAP).

El argumento de Gareau permite monitorear y medir la integridad ecológica de las áreas protegidas del Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas (SICAP). Gareau (Gareau, 2007), establece que la falta de conservación de los recursos naturales en las áreas naturales protegidas de Honduras se determina como consecuencia de la normativa del parque, que evidencia una falta de comprensión de las condiciones locales socialmente diferenciadas, y que no brindan una solución factible a la degradación de los recursos.

Esto demuestra por qué esta transición es crucial para la mejora de los beneficios sociales, económicos y ambientales de las fuentes de energía renovables, especialmente las relacionadas con la calefacción y la cocina, como la leña. En este sentido, los esfuerzos de conservación deberían centrarse en minimizar las amenazas reales a los bosques que podrían afectar estos servicios a nivel local, pero a menudo lo hacen sin una comprensión clara de los factores específicos del sitio que afectan la composición y estructura de los bosques locales, y la magnitud de la amenaza para ellos también se subestima (Burke D. , Knisely, Watson, Carrino-Kyker, & Mauk, 2016). Por lo tanto, la metodología presentada en este estudio tuvo como objetivo utilizar la información específica del sitio como una herramienta para la evaluación de la biomasa forestal como fuente de energía rural sostenible en áreas naturales en Honduras. Esta metodología consideró las tradiciones ancestrales y utilizó estrategias científicas para explorar el papel de estas tradiciones y su compatibilidad con las condiciones del bosque. También utilizó marcos de criterios e indicadores (C&I) como plataforma para incluir las necesidades y objetivos de la comunidad en las decisiones de gestión que ofrecen un enfoque holístico de la sostenibilidad de los contextos ambientales locales (Adam & Kneeshaw, 2008). A continuación, se presenta un resumen de las características de las especies la cual permite una rápida decisión y comparación de estas.

No	Nombre científico	Incremento Medio (m ³ /ha)	Producción de biomasa (m ³ /ha)	Contenido de Humedad (%)	Poder Calorífico MJ/Kg	Contenido de ceniza (%)
1	<i>Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl</i>	4.98	135.12	10.27	18.57	2.23
2	<i>Quercus sapotaefolia</i>	3.14	89.23	9.17	17.01	2.57
3	<i>Byrsonima crassifolia (L.) Kunth</i>	3.74	72.00	7.41	17.35	1.4
4	<i>Perymenium Nicaragüense S.F. Blake</i>	1.7	38.38	8.74	17.81	3.43
5	<i>Psidium Guajava L.</i>	4.3	65.00	5.93	18.01	2.51

Tabla 14: Resumen de las características de las especies

Este estudio de investigación es una metodología adaptada al contexto local de las reservas naturales de Honduras en base a los procedimientos propuestos por Parrish *et al* (Parrish, Braun, & Unnasch, 2003), que permite evaluar y gestionar localmente la pérdida de biomasa forestal. A diferencia de las otras propuestas que se han mencionado en la introducción, esta metodología es más fácil de aplicar y comprender para las comunidades locales y los técnicos con dificultades económicas y técnicas. La gestión de los recursos naturales muestra que las estrategias globales a menudo entran en conflicto con la visión ambiental de los grupos gubernamentales involucrados en la declaración y gestión de áreas protegidas. La falta de conservación de los recursos naturales es una señal de que las regulaciones del parque diseñadas exógenamente, junto con la falta de comprensión de las condiciones locales socialmente diferenciadas, no brindan una solución factible a la degradación de los recursos. Las personas que viven en áreas protegidas están interesadas en sobrevivir, pero a menudo se les imponen valores ecológicos del primer mundo (Gareau, 2007).

IX. CONCLUSIONES

Según los objetivos propuestos, se ha creado una herramienta para la evaluación de la biomasa forestal como fuente de energía rural sostenible en áreas naturales de Honduras. La herramienta puede ser utilizada en áreas naturales protegidas con mucha facilidad. Adicionalmente, permite dar información para la toma de decisiones, convirtiéndose así en una herramienta válida para el manejo forestal sostenible. Adicionalmente, es importante resaltar que la presente investigación proporciona evidencia para demostrar que la biomasa forestal es una fuente importante de energía sostenible para las comunidades rurales de Honduras, sin embargo, las actividades antropogénicas, como el manejo forestal no sostenible, están causando su deterioro. Por lo tanto, los resultados muestran que actualmente se subestima la importancia de las materias primas como la biomasa forestal en el ecosistema de pino-encino, y estos materiales a menudo no se utilizan de manera sostenible como resultado de la mala gestión forestal, la falta de investigación y la ausencia de una adecuada tecnología, especialmente la tecnología relacionada con la bioenergía.

Se debe promover una mayor conciencia sobre el manejo forestal en los programas de suministro de biomasa de la comunidad local, especialmente en relación con la leña, los gránulos y las briquetas. Las prácticas de Restauración y Manejo Forestal Sostenible parecen ofrecer los medios más confiables para conservar la Integridad Ecológica del ecosistema.

En general, la Evaluación de la Integridad Ecológica del ecosistema de pino-encino se ve afectada por actividades antropogénicas con un rango de variación aceptable con un promedio simple de 1.75, que es muy inferior a la meta de cinco (5), lo que indica una intervención inmediata. se requiere para mantener el ecosistema utilizado como ejemplo para validar el modelo objeto de este estudio. Por lo tanto, si las acciones de Manejo Forestal Sustentable no se realizan de manera adecuada y oportuna, el objetivo de conservación “Bosque” será vulnerable a una degradación severa. Por lo tanto, se recomienda implementar esta metodología, así como utilizar marcos de criterios e indicadores (C&I) como plataforma para incluir las necesidades y objetivos de la comunidad. Adicionalmente, se han caracterizado al menos 5 fuentes de combustibles de biomasa forestal en el ecosistema Pino-encino ubicado en la región central de Honduras y se ha encontrado que el aprovechamiento de los recursos forestales para la producción de energía constituye una de las principales fuentes de energía para el país, ya que tanto las actividades agrícolas como forestales, son grandes productoras de biomasa, la cual es utilizada como combustible en procesos industriales y domésticos, mientras que otra parte es considerada como residuo, el cual no es aprovechado. Mediante la aplicación de un Índice de Valor de Importancia se encontró que las especies de *Pinus* y *Quercus* son de gran importancia para la producción de biomasa como fuente de energía en áreas naturales de Honduras; sin embargo, será necesario la implementación de un Manejo Forestal Sostenible con integración de las comunidades locales a través de: (a) Una visión ecosistémica, paisajista, integral y de uso múltiple; (b) Un rendimiento sostenible de los diversos productos, bienes y servicios que ofrece el bosque; (c) con un sistema de toma de decisiones multiobjetivo que atienda los factores ecológicos, económicos y sociales; (d) para lograr un manejo forestal participativo y con el fin de mejorar las condiciones y calidad de vida de la sociedad.

Finalmente, se determinaron los parámetros energéticos de los combustibles con potencial de generar bioenergía en la región central de Honduras. Los principales parámetros utilizados incluyen el Contenido de Humedad, Poder Calorífico y el Contenido de Cenizas para los cuales se han desarrollado estándares de la calidad, el almacenamiento, el transporte y la combustión de combustibles de biomasa densificada. Por lo tanto, se utilizaron diversas normativas tales como las normas ISO 17225 y las del Comité Europeo de Normalización, CEN de la Comisión Europea para desarrollar estándares para biocombustibles sólidos dentro del Comité Técnico (CT) 335 Biocombustibles Sólidos. Para el contenido de humedad se consideró una categorización muy específica la cual fue adoptada por la norma ISO 17225 parte 5 que establece como máximo un 25% encontrándose que todas las especies se encuentran por debajo del estándar. Así mismo, se determinó que todos los combustibles procedentes de la biomasa de las especies estudiadas expresaron una cantidad de energía liberada durante la combustión completa de una unidad de masa del combustible.

El Poder Calorífico representó un excelente indicador de calidad. El contenido de cenizas se determinó siguiendo el procedimiento de la norma ISO 17225-3, la cual establece un máximo de un 3% encontrándose que todas las especies estudiadas tales como *Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*, *Quercus sapotaefolia*, *Byrsonima crassifolia (L.) Kunth*, *Perymenium Nicaragüense S.F. Blake*, *Psidium Guajava L.* Este hallazgo es muy importante en vista de que todas las especies se encuentran dentro de los estándares establecidos por las normas internacionales. Sin embargo, para fines de producción de biomasa forestal se ha encontrado que *Pinus sp* y *Quercus sp* representan los mejores indicadores.

X. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Las líneas futuras de investigación deben ser insertadas en la agenda nacional de líneas prioritarios tanto para el Manejo Forestal Sostenible como para proyectos de conservación de la biodiversidad, a continuación, se proponen algunos temas de interés:

Sistemas de Monitoreo y Mitigación: Estudio para la implementación de Tecnologías de la Información Geográfica en tiempo real para monitorear la degradación ambiental en ecosistemas prioritarios de Honduras.

Tecnologías a pequeña escala: Modelo para el fortalecimiento de las capacidades locales a través de tecnologías a pequeña escala en comunidades ubicadas en zonas de amortiguamiento de áreas naturales de Honduras.

Integración de datos socioeconómicos: Caracterización y metodología para integración de datos socioeconómicos y patrones de impacto de generación de Gases de Efecto Invernadero.

Plantaciones forestales: Evaluación de sitios para el establecimiento de plantaciones de especies con potencial de generación de biomasa forestal a nivel comercial en coordinación con comunidades locales.

Microcuencas: Evaluación de los impactos ambientales de actividades antropogénicas en microcuencas ubicadas en áreas naturales de Honduras.

Productos Forestales no Maderables. Evaluación del potencial energético de producción de Productos Forestales no Maderables con fines de generación de energía renovables.

XI. ANEXOS

Propuesta de Catastro y Regularización

Adaptada de proyecto de Modernización del Sector Forestal de Honduras – EUROFOR
MOSEF

ETAPA 1: ACTIVIDADES DE PREPARACIÓN

Fase 1: Estudio de las Zonas de Trabajo seleccionadas en cuanto a la situación de seguridad y los conflictos de tierras, con especial atención a las cuestiones étnicas y de género.

- Recopilación e Investigación Técnico Legal
- Análisis de la Información Técnico Legal
- Tipificación de conflictos de la tierra y vías de resolución

Fase 2

Planificación y Sectorización

- Solicitud ante el Instituto de La Propiedad (IP) de la zona a catastrar y Emisión de la “Declaratoria de Zona a Catastrar”
- Emisión de “Declaratoria de Zona Sujeta a Regularización” y el requerimiento oficial a los propietarios, poseedores y ocupantes del área.

Entregas Etapa1

Entregas:

- Inventario completo de todos los datos disponibles sobre la tenencia y el uso del suelo en el área objeto a Regularización y análisis de la información técnico legal (por municipalidad).
- Planificación de los trabajos y Sectorización
- Solicitud ante al Instituto de la Propiedad / Emisión de la Declaración (por sector o municipio)
- Emisión de la Declaratoria de Zona Sujeta a Regularización
- Manual tipificación de conflictos de la tierra y vías de resolución

ETAPA 2: LEVANTAMIENTO EN CAMPO

Fase 3

Notificaciones, Publicaciones y Divulgación

- Socializaciones Institucionales, Municipales y Comunes
- Socialización y Promoción diferenciada por sector

Fase 4

Barrido Catastral

- Censo (información alfanumérica)
- a) sobre la tenencia, el uso del suelo y otras (ver fichas técnicas de campo)
- Levantamiento de los límites prediales (georeferenciación)
- Saneamiento de la tenencia en sitio y levantamiento de opciones en campo

Levantamiento de macro-áreas y límites administrativos

- Levantamiento de la infraestructura básica

Fase 5

Postprocessing (a través de un Sistema de Posicionamiento Global - GPS, fichas, georeferenciación)

- Tabulación de datos alfanuméricos y espaciales en bases de datos y un Sistema de Información Geográfica (SIG)
- Elaboración de mapas
- Controles al azar y pre-validación por el equipo coordinador junto con el IP y la autoridad forestal correspondiente.

Entregas Etapa 2

Informe de notificación y socialización (por municipio)

- Informe de Control de Calidad (por municipio)
- Copia de la base de datos digital alfanumérico y espacial

ETAPA 3: VISTA PÚBLICA ADMINISTRATIVA

Fase 6.

Preparación de la Vista Publica (por municipio)

- Ejecución de la Vista Pública
- Ajustes según resultados de la Vista Publica
- Correcciones, nuevas mediciones en campo, si es necesario

- Demarcación (límites de Áreas Forestales Nacionales -AFN, Microcuencas, etc)

Entregas Etapa 3

Informe de la Vista Publica (por municipio)

ETAPA 4 Regularización

Fase 7

- Verificación y análisis de los derechos exhibidos
- Clasificación de los expedientes y solución de conflictos
- Declaratoria de Predios Regulares e Irregulares
- Audiencia Pública casos irregulares (Acta de acuerdos alcanzados)
- Emisión de resolución
- Declaratoria de Zona Catastrada

Entregas Etapa 4

Expedientes de casos regulares e irregulares

ETAPA 5 Titulación y Transferencia de datos a los Sistemas y Registros

Fase 8

- Elaboración de Contratos de Usufructo Familiar (CUF) según naturaleza jurídica:
- Declaratoria de Microcuenca.
- Contrato de Manejo Forestal con fines de Forestería Comunitaria.

Fase 9

Enlace de la información levantada

- Vinculación de la información catastral y registral en el Sistema Unificado de Registro (SURE)
- Vinculación de la información forestal con los Departamentos del Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal Áreas Protegidas y Vida Silvestre - ICF (p.ej. forestería comunitaria).
- Vinculación de la información catastral de áreas ejidales, la topografía, datos fiscales en las Municipalidades (Sistema de Información Territorial - SIT Municipal)
- Vinculación en el Instituto Nacional Agrario (INA).

REFERENCIAS

- Adam, M., & Kneeshaw, D. (2008). Local level criteria and indicator frameworks: A tool used to assess aboriginal forest ecosystem values. *Forest Ecology and Management.*, 255(7):2024-2037. Québec, Canadá.
doi: [DOI: 10.1016/j.foreco.2007.12.051](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.051)
- AESA. (2021). EU-CA Association Agreement. *Renewable Energy Sector in Central America*. Guatemala, Guatemala.
- Agüero, A., Pisa, J., Agüero, C., & Torres Bugeau, A. (2004). *Poder Calorífico del Bagazo de Caña de Azúcar*. Revista CET. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Alcaraz-Ariza, F. (2013). Formas vitales, estratificación y fenología. *Geobotánica*. Murcia, España.
- Anggono, W., Sutrisno, Suprianto³, F., & Evander, J. (2017). Biomass Briquette Investigation from Pterocarpus Indicus Leaves Waste as an Alternative Renewable Energy. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 241 012043. Surabaya, Indonesia. [DOI 10.1088/1757-899X/241/1/012043](https://doi.org/10.1088/1757-899X/241/1/012043).
- ASTM International. (2023). *Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials*. West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Bahadır-Çağrı, B. (2021). A sustainable forest management criteria and indicators assessment using fuzzy analytic hierarchy process. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193: 425. [DOI:10.1007/s10661-021-09176-x](https://doi.org/10.1007/s10661-021-09176-x)
- Banco Mundial. (2019). Emisiones de CO₂ (Toneladas per capita - Latin American and Carabean. Tennessee, Estados Unidos: Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge. Tennessee. USA.
- Barrance, A.; Beer, J.; Boshier, D. H.; Chamberlain, J.; Cordero, J.; Detlefsen, G.; Finegan, B.; Galloway, G.; Gómez, M.; Gordon, J.; Hands, M.; Hellin, J.; Hughes, C.; Ibrahin, M.; Kass, D.; Leakey, R.; Mesén, F.; Montero, M.; Rivas, C.; Somarriba, E.; Stewart, J.; Pennington, T. (2013). *Árboles de Centroamérica*. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Bell, J., Paula, L., Dodd, T., Németh, S., Nanou, C., Mega, V., & Campos, P. (2018). EU ambition to build the world's leading bioeconomy—Uncertain times demand innovative and sustainable solutions. *New Biotechnology*, I(40), 25-30. Maryland, USA. [DOI.ORG/10.1016/J.NBT.2017.06.010](https://doi.org/10.1016/J.NBT.2017.06.010)
- Bendek, J., Sebestyén, T., & Bartók, B. (2018). Evaluation of renewable energy sources in peripheral areas and renewable energy-based rural development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 90, Pages 516-535. Belfast, United Kingdom. [DOI.ORG/10.1016/J.RSER.2018.03.020](https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.03.020)
- Bertam, R. (2022). New Honduran President takes over an energy sector in shambles. *Energy Transition*. Brussels, Belgium.
- Bird-Jackson, H., & Fahrig, L. (2013). Habitat Loss and Fragmentation. *Encyclopedia of Biodiversity* (Second Edition), 50-58. ISBN 978-0-12-384720-1
- Blanco-Rodríguez, J.-M. (2013). *Estufas mejoradas de leña en Centroamérica: Biomass Users Network*. San José, Costa Rica.
- Brouwer, F., & McCarl, B. (2006). *Agriculture and Climate Beyond 2015: a New Perspective on Future Land Use Patterns*. Wageningen UR, LS, The Netherlands. [ISBN : 978-1-4020-4063-4](https://doi.org/10.1016/B978-1-4020-4063-4)

- Brown, E. D., & Williams, B. K. (2016). Ecological integrity assessment as a metric of biodiversity: are we measuring what we say we are?. *BioScience*. 53(9):851-860. Oxford, United Kingdom. <https://www.researchgate.net/publication/280778578>.
- Bulle, C., Lie-Ugaya, C.-M., & Frankiewicz-Odppe, G. (2021). Wood forest resource consumption impact assessment based on a scarcity index accounting for wood functionality and substitutability (WoodSI). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1045–1061. Berlin, Germany. [DOI.ORG/10.1007/S11367-021-01880-7](https://doi.org/10.1007/S11367-021-01880-7)
- Burgos, F., & Oporto, C. (2010). La biomasa como fuente de energía sustentable. Universidad Austral de Chile, Santiago, Chile.
- Burke, D., Knisely, C., Watson, M., Carrino-Kyker, S., & Mauk, R. (2016). The effects of agricultural history on forest ecological integrity as determined by a rapid forest assessment method. *Forest Ecology and Management*, 1–13. Kirtland, Ohio, USA
- Bustamante, V., Carrillo, A., Prieto, J., Corral, J., & Hernández, J. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Durango, Mexico.
- Cadenasso, M., Pickett, S., & Grove, J. (2006). Dimensions of ecosystem complexity: Heterogeneity, Connectivity and History. *Ecological Complexity*, 1(3), 1-12. New Haven, United States. [DOI.ORG/10.1016/J.ECOCOM.2005.07.002](https://doi.org/10.1016/J.ECOCOM.2005.07.002)
- Camacho-Ardila, Y., Jaimes-Figueroa, J. E., & Wolf-Maciel, M. R. (2024). Mathematical models for predicting the higher heating value and ultimate analysis of biomass. *Industrial Crops & Products*, 14. Boyacá, Colombia. [DOI.ORG/10.1016/J.INDCROP.2023.117777](https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2023.117777)
- Campo, M. A., & Duval, V. S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. *Anales de Geografía*, 34(2), 25-42. Madrid, España. [DOI: 10.5209/rev AGUC.2014.v34.n2.47071](https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071).
- Cano-Morales, E.-E. (2016). Pino de Ocote Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl. Instituto Nacional de Bosques. Guatemala, Guatemala.
- Capmourteres, V., & Anand, M. (2016). Assessing ecological integrity: A multi-scale structural and functional approach using Structural Equation Modeling. *Ecological Indicators*. Coimbra, Portugal. Pages 258-269. [DOI.ORG/10.1016/J.ECOLIND.2016.07.006](https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2016.07.006)
- Caputo, J. (2019). Sustainable Forest Biomass: Promoting Renewable Energy and Forest Stewardship. Environmental and Energy Study Institute. Washington, DC, USA.
- Carrillo, A., Foroughbakhch, R., Maginot, H., & Salas, L. (2016). Biocombustibles sólidos. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, Mexico.
- Carrillo-Parra, A. (2014). Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su uso en pélets y briquetas. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, Mexico.
- Castells, X. E. (2005). Tratamiento y Valorización Energética de residuos. Ediciones Díaz de Santos. 263 de 1296. Madrid, España. [ISBN: 84-7978-694-9, 978-84-9969-141-1, 978-84-7978-694-6, 84-9969-141-2](https://doi.org/10.1016/B978-84-9969-141-1)
- CELAC. (2021). Statistical BriefingS. Comisión Económica para América Latina. Santiago, Chile.
- CEPAL. (2021). La pérdida de los bosques de América Latina y el Caribe 1990–2020: evidencia estadística. Comisión Económica para América Latina y El Caribe. Santiago, Chile.

- CEPAL. (2022). Energy in Latin America and the Caribbean: access, renewability and efficiency. Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). Santiago, Chile:
- CIPM. (2008). Sistema Internacional de Unidades. Oficina Internacional de Pesas y Medidas Organización Intergubernamental de la Convención del metro. París, Francia.
- Comte, A. (1846). The Positive Philosophy. Batoche Books. London, England.
- CONADEH. (2021). Los incendios forestales en Honduras y su impacto sobre los derechos humanos de los habitantes. Comisionado Nacional de los Derechos Humanos. Tegucigalpa, Honduras.
- CONAFOR. (2017). Plantaciones Forestal. Comisión Nacional Forestal. Mexico, Mexico.
- Congedo, L. (2016). Semi-Automatic Classification Plugin. Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA). Rome, Italy.
- COP. (2010). Convenio sobre la Diversidad Biológica Metas Aichi. Programa de Las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nagoya, Japón.
- Cordero, B. J. (2003). Árboles de Centroamérica; un manual para extensionistas. . Turrialba, Costa Rica,: Centro Agronómica Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE.Turrialba, Costa Rica.
- Cordero, P., & Carabaguías, C. (2004). Environmental Policy Analysis: Report on Honduran Environmental Laws and their Real or Potential Impact on the Intermediate Result “Improved Management and Conservation of Critical Watershed” and the Central America Free Trade Agreement (CAFTA). Tegucigalpa, Honduras.
- Corporation, Satellite Imaging. (2019). RapidEye Satellite Sensors. Report Satellite Imaging Corporation. Houston, Texas, USA.
- Corrales, R., Bouroncle, C., & Zamora, J. (2015). An overview of forest biomes and ecoregions of Central America. In Climate Change Impacts on Tropical Forests in Central America. CATIE. Turrialba, Costa Rica. [ISBN-978-0-415-72080-9](#).
- CREE. (2022). Plan Indicativo de Expansión de la Generación 2022 – 2031. Empresa Nacional de Energía Eléctrica. Tegucigalpa, Honduras.
- CRIE. (2020). Informe del Mercado Eléctrico Regional - MER. Comisión Regional de Interconexión Eléctrica. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Csorba, P., & Szabó, S. (2012). The Application of Landscape Indices in Landscape Ecology. Institute of Geosciences, University of Debrecen, I(5). Debrecen, Hungría. [DOI: 10.5772/36182](#)
- CSUCA. (2021). Redes Centroamericanas de intercambio de innovación y colaboración científica. Consejo Superior Universitario Centroamericano. Guatemala, Guatemala.
- Cutz, L., Haro, P., Santana, D., & F., J. (2016). Assessment of biomass energy sources and technologies: The case. Renewable and Sustainable EnergyReviews, 18, 1411–1431. Belfast, United Kingdom.
- DAPVS. (2014). Manual para la Aplicación del Monitoreo de la Efectividad y Comanejo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y Vida Silvestre de Honduras (SINAPH). Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre. Tegucigalpa, Honduras.
- DAPVS-ICF. (2014). Guía para la Elaboración de Planes de Manejo en las Áreas Protegidas del SINÁPH. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF). Tegucigalpa, Honduras.

- de Jesus Eufrade-Junior, H., Leonello, E., Spadim, E., Rodrigues, S., de Azevedo, G., & Guerra, S. (2020). Stump and coarse root biomass from eucalypt forest plantations in a commercial-scale operation for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 142, 105-784. Washington, USA. [DOI.ORG/10.1016/J.BIOMBIOE.2020.105784](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105784)
- De Juan, S., Hewitt, J., Subida, D., & Thrush, S. (2018). Translating Ecological Integrity terms into operational language to inform societies. *Journal of Environmental Management*. Heverlee, Belgium.
- de Lucas, A. I., Rodríguez, E., Prieto, P., Sanz, E., Sánchez, M., & del Peso, C. (2012). *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad*. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario, 216. Palencia, España.
- Del Rio, P., & Burguillo, M. (2009). An empirical analysis of the impact of renewable energy on local sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1314-1325. Belfast, Belfast, United Kingdom. [DOI.ORG/10.1016/J.RSER.2008.08.001](https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.001)
- Dhyani, V., & Bhaskar, T. (2018). A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. *Renewable Energy*, 129, 695-716. Lemesos, Cyprus. [DOI.ORG/10.1016/J.RENENE.2017.04.035](https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.035)
- Díaz Márquez, P. T. (2018). *Mezclas de biomasa y aglutinantes orgánicos para la mejora de las propiedades energéticas en la elaboración de briquetas*. Universidad César Vallejo. Lima, Perú.
- Eizaguirre, M., & Zabala, N. (2019). *Investigación-acción participativa (IAP). Diccionario de Acción Humanitaria y Cooperación al Desarrollo*, 4. Icaria, Grecia. [ISBN: ISBN:84-7426-502-9](https://www.isbn.es/ISBN:84-7426-502-9)
- ENEE. (2020). *Capacidad Instalada de energía renovable en Honduras*. Empresa Nacional de Energía Eléctrica. Tegucigalpa, Honduras.
- EPEC. (2022). *La tecnología hidroeléctrica*. Empresa Provincial de Energía de Córdoba. La Tablada, Argentina.
- FAO. (2017). *Transición del Carbón*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- FAO. (2018). *Global Forest Resources Assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- FAO. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma. Food and Agriculture Organization of the United Nations and United Nations Environmental Programme. [DOI.ORG/10.4060/CA8642ES](https://doi.org/10.4060/CA8642ES).
- FAO, I. (2016). *Guía técnica de las especies forestales más utilizadas para la producción de leña en Guatemala*. Instituto Nacional de Bosques. Guatemala, Guatemala.
- Flores, W., Bustamante, B., Pino, H., Al-Sumaiti, A.-S., & Rivera, S. (2019). *A National Strategy Proposal for Improved Cooking Stove Adoption in Honduras: Energy Consumption and Cost-Benefit Analysis*. 13(4), 921; Basel, Switzerland. [DOI.ORG/10.3390/EN13040921](https://doi.org/10.3390/EN13040921).
- FMI. (2023). *Las economías emergentes requieren de mucho más financiamiento privado para la transición climática*. Fondo Monetario Internacional. Paris, Francia.
- Fonseca, E. G., & Tierra, L. F. (2011). *Desarrollo de un proceso tecnológico para la obtención de briquetas de aserrín de madera y cascarilla de arroz y pruebas de producción de gas pobre*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- FRA. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020 – Main report*. Forest Resources Association. Washington, D.C, USA.

- Frosch, R., & Gallopoulos, N. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American Magazine*, III(261), 144-153. Los Ángeles, California, USA. [DOI:10.1038/SCIENTIFICAMERICAN0989-144](https://doi.org/10.1038/SCIENTIFICAMERICAN0989-144).
- García Alama, M. E. (2014). Diseño de Procesos y de Planta Piloto para fabricación de briquetas de Aserrín. Universidad de Piura. Piura, Perú.
- García-Maraver, Á. (2013). Optimización del proceso de peletización de residuos agrícolas procedentes del olivar para su aplicación en calderas domésticas. Universidad de Granada. Granada, España.
- Gareau, B. (2007). Ecological Values amid Local Interests: Natural Resource Conservation, Social Differentiation, and Human Survival in Honduras. *Rural Sociology Society*, 244–268. Santa Cruz, California, USA. [DOI:10.1526/003601107781169992](https://doi.org/10.1526/003601107781169992).
- GEMCO Energy. (2021). Calorific value of different wood pellets. Gemco Energy. Henan, China.
- GIZ. (2013). *Forestería Comunitaria: Un Modelo de Gestión Forestal Sostenible*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Tegucigalpa, Honduras.
- Gonzalez-Zamora, V. (2021). *Energía Mareomotriz*. Instituto Tecnológico de La Producción. Lima, Perú.
- Gudiel-Corona, D.-J. (2015). Ecuación alométrica para estimar biomasa aérea en *Pinus oocarpa* del bosque natural de la Microcuenca Santa Inés, Honduras. Valle de El Zamorano, Honduras: Universidad Zamorano. El Zamorano, Honduras.
- Hasan-Rezaa, M.-I., & Abdullaha, S.-A. (2011). Regional Index of Ecological Integrity: A need for sustainable management of natural resources. *Ecological Indicators*, 220–229. Coimbra, Portugal. [DOI.ORG/10.1016/J.ECOLIND.2010.08.010](https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2010.08.010).
- Hernández, R., Baptista, P., & Fernández, C. (2014). *Metodología de la Investigación*. MacGraw Hill. Ciudad de Mexico, Mexico. [ISBN 970-10-5753-8](https://doi.org/10.1016/978-0-07-352533-8).
- Herrera, B., & Corrales, R. (2004). *Manual para la Evaluación y Monitoreo de la Integridad Ecológica en Areas Protegidas de Centro América*. Guatemala, Guatemala: National University of Costa Rica. San José, Costa Rica.
- House, P., & Mejia, T. (2002). *Mapa de Ecosistemas de Honduras*. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. Tegucigalpa, Honduras.
- IAEA. (2021). ¿Que es la fusión y por qué es tan difícil de lograr? Organización Internacional de Energía Atómica. Viena, Austria. www.iaea.org/es/bulletin
- ICF. (2011). *Lineamientos y Normas para un mejor manejo forestal*. Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal. Tegucigalpa, Honduras.
- ICF. (2011). *Manual de Normas para la Implementación y Seguimiento de la Asignación de Áreas Forestales con Fines de Aplicación de la Forestería Comunitaria en los Bosques Públicos Hondureños*. Tegucigalpa: Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre. Tegucigalpa, Honduras.
- ICF. (2014). *Mapa de Cobertura Forestal y Uso del Suelo*. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre Tegucigalpa, Honduras.
- ICF. (2019). *Anuario Estadístico Forestal*. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre Tegucigalpa, Honduras.
- ICF. (2020). *Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Forestal de Honduras*. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre Tegucigalpa, Honduras.

- ICF. (2021). Áreas Protegidas de Honduras. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre Tegucigalpa, Honduras.
- ICF. (2022). Boletín Estadístico Forestal. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre Tegucigalpa, Honduras.
- ICONTEC. (2010). Norma Técnica Colombiana NTC-2060, briquetas combustibles para uso doméstico. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. Bogotá, Colombia.
- IGNOU. (2021). Remote Sensing and Image Interpretation. Research Gate, 21. New Delhi, India. [ISBN-978-81-266](#).
- INAB, FAO/FFF. (2016). Guía técnica de las especies forestales más utilizadas para la producción de leña en Guatemala. Guatemala: Serie Técnica GT-009 . Guatemala, Guatemala.
- INE. (2019). Encuesta Nacional de Demografía y Salud. Instituto Nacional de Estadísticas. Tegucigalpa, Honduras.
- Integration, C. A., & BCIE. (2016).
- Iñesta-Burgos, J., & García-Fernandez, P.-A. (2002). Energía Eólica El Recorrido de La Energía. Madrid, España: Dirección General de Industria, Energía y Minas.
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péa. Geneva, Switzerland: Cambridge University Press.
- IPCC. (2022). Synthesis report of the IPCC sixth assessment report. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Interlaken (Suiza).
- IRENA. (2017). Global Status Report. International Renewable Energy Agency . Masdar city, Abu, Dhabi, United Arab Emirates.
- IRI. (2023). Instituto Internacional de Investigación para Clima y Sociedad . Informe de Predicción Climática a corto, mediano y largo plazo en Colombia. Bogotá, Colombia.
- ITC. (2022). Biomasa en Cifras. Instituto Tecnológico de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Juffe-Bignoli, D., Burgess, N., Bingham, H., Belle, E., de Lima, M., Deguignet, Kingston, N. (2014). Protected Planet Report 2014. UNEP-WCMC. Nairobi, Kenia.
- Kogut, P. (2023). Forest Fragmentation: Far-Reaching Effects And Remedies. EOS Data Analytics. Coimbra, Portugal. [DOI: 10.3390/f13040590](#)
- Kohl, M., Lasco, R., Cifuentes, M., Jonsson, O., Korhonen, K., Mundhenk, Stinson, G. (2015). Changes in forest production, biomass and carbon: results from the 2015 FAO Global Forest Resource Assessment. For Ecol Manag. Rome, Italy.
- Kometter, R. (2023). Manejo Forestal Sostenible. Research Gate. Hamburg, Alemania.
- LACFC. (2021). The State of the Forest Sector in the Latin America and Caribbean Region. Latin America and Caribbean Forestry Comission. Rome, Italy.
- Lainez, M., González, J., Aguilar, A., & Vela, C. (2018). Spanish strategy on bioeconomy: Towards a knowledge based sustainable innovation. New Biotechnology, I(40), 87-95. [DOI.ORG/10.1016/J.NBT.2017.05.006](#)
- Landsat 8. (2021). Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. U.S. Geological Survey, Department of the Interior. Sunrise Valley Dr, Reston, Virginia, USA.
- Lascano, R. C., & Morales, L. A. (2006). Proyecto de Implementación del Laboratorio de Energías no convencionales para la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE. Escuela Politécnica del Ejército. Sangloquí, Ecuador.

- Legislativo, P. (2022). Ley especial para garantizar el servicio de la energía eléctrica como un bien público de seguridad nacional y un derecho humano de naturaleza económica y social. Congreso Nacional de Honduras. Tegucigalpa, Honduras.
- Li, Y., & Liu, H. (2000). High-pressure densification of wood reisdues to form an upgraded fuel. *Biomass and Bioenergy*. Washington, D.C. USA. [DOI.ORG/10.1016/S0961-9534\(00\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00026-X)
- Lillo, P., Ferrer-Martí, L., & Juanpera, M. (2021). Strengthening the sustainability of rural electrification projects: Renewable energy, management models and energy transitions in Peru, Ecuador and Bolivia. *Energy Research & Social Science*. Aarhus, Denmark.
- López-Poveda, D.-M., Talavera-Godoy, A.-R., & Moreno-Ledesma, J.-M. (2018). Evaluación del potencial energético de especies forestales utilizadas como combustible para uso doméstico en la comunidad “El Pastoreo”, ubicada en el departamento de Estelí durante el año 2017. Universidad Nacional de Nicaragua, 22. Managua, Nicaragua.
- Mandelbrot, B. (1983). *The Fractal Geomehy of Nuture*. Freeman, 486. Mathematical Association of America. Washington, D.C. USA.
- Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, VI(41), 955-967. [DOI.ORG/10.1016/J.RESPOL.2012.02.013](https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2012.02.013)
- Márquez-Montesino, F., Cordero Alcántara, T., Rodríguez-Mirasol, J., & Rodríguez-Jiménez, J. (2001). Estudio del potencial energético de biomasa *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* (Pc) de La Provincia de Pinar del Río. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*(7(1): 83-89, 2001), 8. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Martines, E., & Lira, L. (2010). Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. Centro Nacional de Metrología. Querétaro, México.
- Mas, J.-F., Pérez_Vega, A., & Clarke, K. (2010). Assessing simulated land use/cover maps using similarity and fragmentation indices. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)*, I(1). Baton Rouge, Los Ángeles, California, USA.
- Mattson, K., & Angermeier, P. (2007). *Integrating Human Impacts and Ecological Integrity into a Risk-Based Protocol for Conservation Planning*. Springer Science + Business Media. National Institutes of Health (NIH). Bethesda, Maryland, USA.
- McGarigal, K. (2015). *Fragstats Help Guide*. University of Massachusetts Newsletter. Massachusetts, USA.
- McGarigal, K; Marks, B. (1994). *FRAGSTATS Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Corvallis, Oregon, USA.
- Melissari, B. (2012). *Comportamiento de Cenizas y su Impacto en Sistemas de Combustión de Biomasa*. Universidad de Montevideo, Uruguay.
- Mitchell, A., Rosenqvist, A., & Mora, B. (2017). Current remote sensing approaches to monitoring forest degradation in support of countries measurement, reporting and verification (MRV) systems for REDD+. *Carbon Balance and Management*. National Institutes of Health (NIH). Bethesda, Maryland, USA.
- Montero, F. (1994). *Mundo y Vida en La Fenomenología de Hesserl*. Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Mostacedo, Bonifacio; Fredericksen, Todd S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Santa Cruz de La Sierra, Bolivia.

- Mostacedo, Bonifacio; Fredericksen, Todd S. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz de La Sierra, Bolivia.
- Muller, C. (1942). The Central American Species of Quercus. US Government Printing Office. US Department of Agriculture. Washington DC, USA.
- Myton, B., Silva, F., McCaffery, F., Betancourt, J., Ponce, C., Solberg, S., & Rogers, E. (2014). USAID/Honduras Tropical Forest and Biodiversity Assessment. Tegucigalpa, Honduras.
- NASA. (2020). Temperatura media anual en superficie. Centro Espacial Kennedy, USA: NASA. Florida, USA.
- Nelo, T., Raes, L., Wong, A., Chacón, O., & Sanchún, A. (2019). Análisis económico de las acciones para la restauración de paisajes productivos en Honduras. UICN. Tegucigalpa, Honduras.
- Ness, D. (2008). Sustainable urban infrastructure in China: Towards a Factor 10 improvement in resource productivity through integrated infrastructure systems. The International Journal of Sustainable Development & World Ecology, IV(15), 288-301. Department of Forestry and Natural Resources Purdue University, USA.
- Núñez, C. (2023). Gases de efecto invernadero: Que son y cómo afectan al cambio climático. National Geographic Society. Washington, D.C. USA.
- Obernberger, I., & Thek, G. (2010). The Pellet Handbook. Earthscan. London-Washington, DC. [DOI.ORG/10.4324/9781849775328](https://doi.org/10.4324/9781849775328).
- OLADE. (2010). Lecciones Aprendidas y Recomendaciones para el Desarrollo de Proyectos de Estufas Eficientes en Centroamérica. OLADE. San Carlos, Ecuador.
- Olsen, E., Douglas Ramsey, R., & Winn, D. (1993). A Modified Fractal Dimension as a Measure of Landscape Diversity. American Society for Photogrammetry. Baton Rouge, Los Angeles, California, USA.
- ONU. (1992). Convenio sobre La Diversidad Biológica. Organización de Las Naciones Unidas. New York, USA.
- Parker, G., & Gustafson, E. (1994). Using an index of habitat patch proximity for landscape design. Landscape and Urban Planning, 117- 130. Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA. [DOI.ORG/10.1016/0169-2046\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0169-2046(94)90022-1)
- Parrish, J., Braun, D., & Unnasch, R. (2003). Are we conserving what we say we are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas. BioScience, IX(53), 851 - 860. Oxford University, United Kingdom. [DOI.ORG/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0851:AWCWWS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0851:AWCWWS]2.0.CO;2)
- Peh, K.-H., Lin, Y., Luke, S., Foster, W., & Turner, E. (2015). Forest Fragmentation and Ecosystem Function. Global Forest Fragmentation, 96-114. Nature, London, United Kingdom.
- Pérez-Vinent, A. R., Serret-Guasch, N., & Penedo-Medina, M. (2022). Caracterización de la biomasa vegetal aserrín de pino. Tecnología Química, Vol.42,(no. 3), 18.
- Perpiñan_Lamingueiro, O. (2023). Energía Solar Fotovoltaica. Creative Commons. Mountain View, California.
- Picchio, R., Latterini, F., Venanzi, R., Stefanoni, W., Suardi, A., Tocci, D., & Pari, L. (2020). Pellet production from woody and non-woody feedstocks: A review on biomass quality evaluation. Energies, XIII(11), 2937. Basel, Switzerland. [DOI.ORG/10.3390/EN13112937](https://doi.org/10.3390/EN13112937)
- PNUD. (2020). Especies amenazadas y en Peligro de Extinción de La República de Honduras. UNDP. Tegucigalpa, Honduras.

- PNUMA. (2010). Protocolo de Nagoya sobre Acceso y Participación en los Beneficios. Montreal, Canadá: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nagoya, Japón.
- PNUMA. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. Roma, Italia.
- PNUMA. (2020). Informe sobre la brecha en las emisiones del 2020. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 16. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. Roma, Italia.
- Programa ONU-REDD. (2015). Reducción de Emisiones de Carbono Causadas por la Deforestación y la Degradación de los Bosques. Proyecto REDD + Honduras. Tegucigalpa, Honduras.
- Programa Regional REDD/CCAD-GIZ. Programa Regional REDD/CCAD-GIZ. (2014). Mapa Forestal y de Cobertura de la Tierra. Programa Regional REDD/CCAD-GIZ. La Libertad, El Salvador.
- Quiñones, J. R. (2015). Manual Diseño y Organización de Viveros. Santo Domingo, República Dominicana.
- Quiroga-Martínez, R. (2007). Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe . Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile.
- Raina, H., & Shafi, O. (2015). Analysis Of Supervised Classification Algorithms. International Journal of Scientific & Technology Research, IV(9). Kerala, India.
- Ramos-Reyes, J.-C., Treviño-Garza, E.-J., Buendía-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O.-A., & López-Martínez, J.-I. (2017). Productividad y estructura vertical de un bosque templado con incidencia de incendios forestales. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 8(43), 25. Mexico, D.F.
- Rempela, R., Naylor, B., Elkiec, P., Bakera, J., Churcher, J., & Gluck, M. (2016). An indicator system to assess ecological integrity of managed forests. Ecological Indicators, 860–869. Coimbra, Portugal.
- REN21. (2017). Global Status Report. Renewables. París, Francia.
- REN21. (2021). Global Status, Francia: Renewables. Report. París, Francia.
- Robles-Algarin, C., & Rodríguez-Álvarez, O. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. 39(34), 16. Revista Espacios. Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. [ISSN 0798 1015](#)
- Rodriguez Blanco, J. (2012). Estufas mejoradas de leña en Centroamérica: Detonando los Mercados. Biomass Users Network. San José, Costa Rica.
- Romero-Castro, N., Piñeiro-Chousa, J., & Pérez-Pico, A. (2021). Dealing with heterogeneity and complexity in the analysis of the willingness to invest in community renewable energy in rural areas. Technological Forecasting & Social Change. Glasgow, United Kingdom.
- Rüdiger, T., Tim, S., Horst, D., & Marcelle, S. (2021). QGIS Training Manual. Cape Peninsula University of Technology. Cape city, South Africa.
- Sampieri, R.-H. (2014). Los Métodos Mixtos. En Metodología de la Investigación (pág. 60). McGraw-Hill. Mexico, D.F.
- Sanhouse-Garcia, A., Bustos-Terrones, Y., Rangel-Peraza, J., Quevedo-Castro, A., & Pacheco, C. (2016). Multi-temporal analysis for land use and land cover changes in an agricultural region using open source tools. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 1(8), 278 - 290. The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, Hong Kong.

- Sauders-Vasquez, A. (2019). La Energía Geotérmica. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de La Energía. La Habana, Cuba.
- Schmidt, J., Byrd, A., Curl, J., Brinkman, T., & Heeringa, K. (2021). Stoking the flame: Subsistence and wood energy in rural Alaska, United States. Energy Research & Social Science. Centre on Innovation and Energy Demand, University of Sussex, Falmer, East Sussex, United Kingdom.
- SE. (2008). Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa. Secretaria de Energía Coordinación de Energías Renovables. Buenos Aires, Argentina.
- SICA. (2018). El 75% de la energía en Centroamérica proviene de fuentes renovables. Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética en Centroamérica. San Salvador, El Salvador, Centroamérica.
- Slattery, Z., & Fenner, R. (2021). Spatial Analysis of the Drivers, Characteristics, and Effects of Forest Fragmentation. Sustainability - MDPI. Basel, Switzerland.
- SNIF. (s.f.). *Byrsonima crassifolia*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema Nacional Forestal, ICF, Tegucigalpa, Honduras.
- Solano, A., Martínez, D., Sánchez, G., & Corral, L. (2017). Tendencias ecológicas y socioeconómicas de los Bosques de Pino-Encino en Centroamérica: aportes para mejorar su manejo. Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático. Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Solid Biofuels Bulletin. (2020). Graded Firedwood. Natural Resources Canada. Ottawa, Canada.
- Swapan K, G., & Bablu K, G. (2020). Fossil Fuel Consumption Trend and Global Warming. Scenario: Energy Overview. Global Journal of Engineering Sciences. National Institute of Technology, Ibaraki College, Hitachinaka, Japan.
[DOI:DOI: 10.33552/GJES.2020.05.000606](https://doi.org/10.33552/GJES.2020.05.000606)
- Syahputra, R., & Soesanti, I. (2021). Renewable energy systems based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas: A case study in Yogyakarta, Indonesia. Energy Reports. Yogyakarta, Indonesia.
- Tauro, R. J., Caballero, J.-L., Salinas, M.-Á., Ghilardi, A., & Arroyo, J.-M. (2021). Evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos en Honduras. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 100. Tegucigalpa, Honduras.
- The World Bank. (2021). Honduras Economic Growth. The World Bank. Washington, DC, USA.
- Theau, J., Trottier, S., & Graillon, P. (2018). Optimization of an ecological integrity monitoring program for protected areas: Case study for a network of national parks. Swedish University of Agricultural Sciences and Swedish Institute for the Marine Environment. Uppsala, Suecia. [DOI: 10.1371/JOURNAL.PONE.0202902](https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0202902)
- Tripathi, S., Kushwaha, C., Roy, A., & Basu, S. (2015). Measuring ecosystem patterns and processes. Reserach Gate. Banaras Hindu University, Varanasi, India.
- Tulloch, A., Barnes, M., Ringma, J., Fuller, R., & Watson, J. (2016). Understanding the importance of small patches of habitat for conservation. Journal of Applied Ecology, 418–429. London, UK.
- Tumuluru, J. S., Sokhansanj, S., Wright, C. T., Boardman, R. D., & Yancey, N. A. (2011). A Review on Biomass Classification and Composition, Co-firing Issues and Pretreatment Methods. Idaho National Laboratory, 32. Idaho, USA.
- UN. (1924). *Perymenium nicaraguense* S.F. Blake. Organización de Las Naciones Unidas, Washington, D.C. USA.

- UN. (2021). Energy Transition: Towards the achievement of SDG 7 and Net-Zero Emissions. The United Nations, 59. Washington, D.C. USA.
- Vallejos Cifuentes, D. F. (2018). Efecto de la peletización de biomasa sobre el desempeño del proceso gasificación en un reactor de lecho fluidizado - Caso de estudio: cascarilla de arroz. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Valter-Francescato, E.-A., & Bergomi, L.-Z. (2008). Manual de Combustibles de madera. Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. Valladolid, España.
- Wang, S., Dai, G., Yang, H., & Luo, Z. (2017). Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: a state-of-the-art review. *Progress in Energy and Combustion Science*, I(62), 33-86. University of Duisburg-Essen Institute for Combustion and Gas Dynamics, Duisburg, Germany. [DOI.ORG/10.1016/J.PECS.2017.05.004](https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.05.004).
- Watson, J., Dudley, N., & Segan, D. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*, 515, 67–73. London, United Kingdom. [DOI.ORG/10.1038/NATURE13947](https://doi.org/10.1038/NATURE13947)
- Wayne, M., Farokh, N., John, S., & John, S. (2002). Role of Fusion Energy in a Sustainable Global Energy Strategy. *Energy & Environment*, 20. University of California, San Diego, California, USA.
- White, J., Coops, N., Wulder, M., Vastaranta, M., Hilker, T., & Tompalski, P. (2016). Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: a review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, XLII(5), 619–641. Québec, Canada. [DOI.ORG/10.1080/07038992.2016.1207484](https://doi.org/10.1080/07038992.2016.1207484)
- Wilson, L., & Townsend, J. (2007). Biodiversidad y conservación de la herpetofauna de los Bosques de Pino-Roble de la Altiplanicie de Honduras. *Biota Neotropical*, VII(1). Tegucigalpa, Honduras.
- Winfree, R., Dushoff, J., Crone, E., Schultz, C., Budny, R., Williams, N., & Kremen, C. (2005). Testing Simple Indices of Habitat Proximity. *The American Naturalist*. Department of Ecology and Evolutionary Biology, Princeton University, Princeton, New Jersey, USA.
- WRI. (2015). El cambio climático y la energía en América Latina . World Resources Institute. Jakarta, Indonesia.
- Yank, A., Ngadi, M., & Kok, R. (2016). Physical properties of rice husk and bran briquettes under low pressure densification for rural applications. *Biomass and Bioenergy*. McGill University, Department of Bioresource Engineering, Québec, Canada. [DOI.ORG/10.1016/J.BIOMBIOE.2015.09.015](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.09.015)
- Yu, M. (2021). Assessment on the Environmental Impact of Conventional Energy Forms. *Earth and Environmental Science*. IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. University of Southampton, Faculty of Environmental and Life Sciences Student Hub, Southampton, United Kingdom. [DOI 10.1088/1755-1315/680/1/012002](https://doi.org/10.1088/1755-1315/680/1/012002).
- Zamora-López, D., Groothusen, C., & Pérez-Núñez, J. (2006). estimación del rendimiento del bosque de Pinus oocarpa Schiede mediante parcelas de muestreo permanente. *Revista Técnico-Científica Tatascan*, Volumen18(Numero 2), 18. Siguatepeque, Comayagua.
- Zhang, Q., & Xu, Z. (2021). Fully Portraying Patch Area Scaling with Resolution: An Analytics and Descriptive Statistics-Combined Approach. *Land*, MDPI Land. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China.