

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN MANEJO Y GESTION DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**ESTUDIO PILOTO DE LA RESTAURACIÓN FUNCIONAL DEL PAISAJE RURAL A UN  
DESARROLLO SOSTENIBLE BAJO EN CARBONO EN LA MICROCUENCA COYOLITO,  
MUNICIPIO DE SAN IGNACIO, DEPARTAMENTO DE FRANCISCO MORAZÁN,  
HONDURAS.**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A CONSIDERACIÓN DE LA DIVISIÓN DE  
EDUCACIÓN Y LA ESCUELA DE POSGRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE**

**MÁSTER EN MANEJO Y GESTION DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**DIANA MARISOL REYES**

**TURRIALBA, COSTA RICA**

**AÑO 2023**

Este trabajo de final de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Examinador de la estudiante, como requisito para optar por el grado de

División de Educación

MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

FIRMANTES:



Ramakrishna Bommat, Ph..

Director Principal del Trabajo de Graduación

Danhy Esid Fuentes Aguilar, M.Sc.

Miembro Comité Asesor del Trabajo de Graduación

Mariela Leandro Muñoz, Ph.D.

Decana, a.i., de la Escuela de Posgrado

Diana Marisol Reyes

Candidata

Escuela de Posgrado

## **DEDICATORIA**

Principalmente a Dios, dador de vida y de fuerzas para poder continuar con todo este proceso educativo. De igual manera a mis padres por con su apoyo incondicional en este camino de aprendizaje.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Fondo Educativo CATIE, la Cooperación técnica del BID y EUROCLIMA/GIZ por brindarme los recursos financieros para el desarrollo de la maestría e investigación.

Al comité asesor, PhD Bommat Ramakrishna por su dedicación, paciencia y por brindarme las palabras y correcciones precisas.

Al MSc. Danhy Fuentes por sus revisiones contundentes, los consejos, el apoyo y disposición provenientes de la experiencia y conocimiento del tema. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria de mi futuro profesional.

A los docentes, por transmitir sus conocimientos necesarios para avanzar en mi carrera profesional compartiendo su experiencia con la realidad que puede presentar cada país.

A los compañeros de maestría que a pesar de ser clases virtuales aprendí de su experiencia y dedicación en cada clase.

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
CONTENIDO .....	v
SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS .....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUCCION .....	1
1.1. Justificación.....	2
1.2. Antecedentes .....	3
2. OBJETIVOS .....	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos .....	4
3. REVISION DE LITERATURA .....	5
4. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO .....	8
4.1. Ubicación del área de estudio.....	8
4.2. Características del área de estudio .....	8
5. METODOLOGIA.....	12
5.1. Metodología para generación del Índice de Sustentabilidad.....	13
5.1.1. Índice de calidad de agua.....	13
5.1.2. Índice de Caudal .....	14
5.1.3. Índice de Biodiversidad del Paisaje.....	16
5.1.4. Índice de Carbono Equivalente.....	18
5.1.5. Índice de Calidad de Suelos.....	18
5.1.6. Índice de Jornales Adicionales .....	19
5.1.7. Índice de Reducción de Vulnerabilidad : .....	19
5.1.8. El índice de Gobernanza de Paisajes .....	19
5.2. Metodología para la determinación de los cobeneficios de la restauración funcional del paisaje con la adaptación y mitigación del Cambio Climático. ....	20
5.2.1. Identificación del uso y cobertura de suelo en el área de estudio.....	20
5.2.2. Acciones de adaptación y mitigación en la zona.....	20

5.2.3. Cobeneficios e impactos positivos .....	20
5.3. Metodología para la estimación de las emisiones absorciones de CO <sub>2</sub> del sector AFOLU en la microcuenca Coyolito. ....	21
5.3.1. Identificación de categorías de uso de la tierra.....	21
5.3.2. Criterios para determinar el uso de la tierra .....	21
5.3.3. Afectación de disturbios a las diferentes categorías de uso de la tierra.....	21
5.3.4. Análisis y procesamiento de resultados.....	21
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
6.1. Cálculo del ISP.....	22
6.2. Cobeneficios de la restauración funcional del paisaje con la adaptación y mitigación del Cambio Climático.....	23
6.3. Cobeneficios e impactos positivos.....	26
6.4. Emisiones/absorciones de CO <sub>2</sub> del sector AFOLU en La Microcuenca Coyolito.....	27
7. CONCLUSIONES .....	31
8. RECOMENDACIONES.....	33
9. BIBLIOGRAFIA .....	34
10. ANEXOS.....	37

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Uso y Cobertura del suelo en la microcuenca Coyolito .....	9
Tabla 2. Parámetros y ponderación de los elementos del ICA .....	13
Tabla 3. Datos de caudal de microcuenca Coyolito .....	15
Tabla 4. Indicadores del ISP en la microcuenca Coyolito, Francisco Morazán, Honduras. ....	22
Tabla 5. Acciones de adaptación y mitigación en la zona de estudio de la microcuenca Coyolito .....	24
Tabla 6. Cobeneficios e impactos positivos de las acciones de adaptación y mitigación.....	26
Tabla 7. Transición y cambios de uso de la tierra en la microcuenca Coyolito.....	27
Tabla 8. Afectación de disturbios a las diferentes categorías de uso de la tierra.....	28
Tabla 9. Análisis de uso y cambio de uso de la tierra en la microcuenca Coyolito.....	29
Tabla 10. Cambios en la existencia de Carbono en Tierras Forestales.....	38

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del área de estudio de la microcuenca Coyolito en San Ignacio, Francisco Morazán.....	12
Figura 2. Grafico de captura de CO2 en la microcuenca Coyolito .....	30
Figura 3. Mapa de uso y cobertura del suelo de la microcuenca Coyolito en San Ignacio, Francisco Morazán .....	37

## SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

**AFOLU**-Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

**CATIE**-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

**CCAD**- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo

**CEPAL**-Comisión Económica para América Latina y El Caribe

**COPAMEX**-Cooperativa Agroforestal

**GEI**-Gases de Efecto Invernadero

**GIZ**- Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional

**IBP**- Índice de Biodiversidad del Paisaje

**ICA**-Índice de Calidad de Agua

**ICF**-Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal Áreas Protegidas y Vida Silvestre.

**ICO<sub>2e</sub>**- Índice de Carbono Equivalente

**IGP**- Índice de Gobernanza de Paisaje

**INE**-Instituto Nacional de Estadística

**IPCC**-Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (de sus siglas en inglés)

**ISP**- Índice de Sustentabilidad para la Restauración de Paisajes

**IRV**- Índice de Reducción de Vulnerabilidad

**ITA**- Índice de Jornales Adicionales

**Mi Ambiente+**-secretaría de Recursos Naturales y Ambiente.

**NAMA**- Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada (NAMA por sus siglas en inglés).

**NDC**-por sus siglas en inglés Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional.

**PIB**-Producto Interno Bruto

**PMSB**- Proyecto Manejo Sostenible de Bosques

**REDD+** - Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero debidas a la deforestación y degradación de los bosques, la conservación y aumento de las reservas de carbono y el manejo forestal sostenible.

**RPF**- Restauración del Paisaje Forestal  
**SAG**-Secretaría de Agricultura y Ganadería

**SCASA/SAG/MTCC**- Estrategia Nacional de Adaptación al Cambio Climático para el Sector Agroalimentario de Honduras.

**UTCUTS**- Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Silvicultura

## RESUMEN

La restauración funcional del paisaje es fundamental en la reversión de los impactos negativos de la actividad humana y en la recuperación de los ecosistemas degradados. Una herramienta esencial para monitorear y evaluar el progreso de las acciones de adaptación y mitigación en un área determinada es el índice de sustentabilidad. Esta metodología proporciona una medida cuantitativa del estado y la calidad de los ecosistemas restaurados.

Con el objetivo de estimar los aportes y alcances de la Restauración Funcional del Paisaje Rural a un Desarrollo Sostenible bajo en carbono en el área de influencia de la microcuenca Coyolito, San Ignacio, Francisco Morazán, Honduras, se analizaron ocho indicadores que proporcionaron información sobre los efectos de las acciones de restauración en dicha área.

El análisis de estos ocho indicadores permitió obtener una visión integral de los efectos de las acciones de restauración, evaluando la adaptación y mitigación del cambio climático. Esta información resulta fundamental para comprender el progreso y la efectividad de las medidas implementadas, y para orientar decisiones futuras en términos de gestión y planificación ambiental. Al considerar tanto la adaptación como la mitigación, se garantiza un enfoque holístico que aborda los desafíos actuales y futuros relacionados con el cambio climático y la conservación de los ecosistemas.

En el estudio, se utilizó el nivel de referencia de Emisiones Forestales 2023 establecido por el Instituto de Conservación Forestal (ICF) para evaluar la captura y emisión de CO<sub>2</sub> en un período de cinco años en el área de influencia del estudio. El ICF sigue las referencias internacionales establecidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC-2006). Además, se encontraron oportunidades para mejorar la eficacia y eficiencia en diferentes procesos y actividades, como la protección de los recursos naturales y la biodiversidad, la inclusión y participación de los habitantes en la toma de decisiones y el desarrollo de la comunidad, la mejora de la calidad de vida de los habitantes, y la diversificación y fortalecimiento de la economía local.

La evaluación del Índice de Sustentabilidad en la microcuenca de Coyolito reveló un valor de 0.69 en una escala de 0 a 1. Este resultado demuestra la importancia de adoptar un enfoque integrado y colaborativo para lograr un desarrollo sostenible y equitativo en la zona. Conforme el Índice de Sustentabilidad se acerca a 1, se refuerza la evidencia de que las acciones de restauración están logrando sus objetivos, y se establece una base sólida para fortalecer y ampliar las estrategias de restauración en la microcuenca Coyolito. Por el contrario, si el Índice de Sustentabilidad se acerca a 0, indica que aún existen desafíos y áreas de mejora en las acciones de restauración implementadas. Esto resalta la necesidad de revisar y ajustar las estrategias para mejorar la efectividad y garantizar el logro de los resultados deseados.

Palabras clave: Adaptación al cambio climático, Deterioro ambiental, Gestión forestal, Restauración, Índice de Sustentabilidad.

## **ABSTRACT**

The functional restoration of the landscape is fundamental in the reversal of the negative impacts of human activity and the recovery of degraded ecosystems. A key tool for monitoring and evaluating the progress of adaptation and mitigation actions in a given area is the sustainability index. This methodology provides a quantitative measurement of the state and quality of restored ecosystems.

In objective of estimating the contributions and scope of "Functional Restoration of the Rural Landscape" to a low-carbon sustainable development in the area of influence of the Coyolito micro-watershed, San Ignacio, Francisco Morazán, Honduras, eight indicators were analyzed to provide information on the effects of the restoration actions in that area.

An analysis of these eight indicators provided a comprehensive view of the effects of restoration actions, by evaluating climate change adaptation and mitigation. This information is essential to understand the progress and effectiveness of the measures implemented, and to guide future decisions in terms of environmental management and planning. In considering both adaptation and mitigation, a holistic approach is ensured that addresses current and future challenges related to climate change and ecosystem conservation.

The study used the "Forest Emissions 2023" reference level as established by the Instituto de Conservación Forestal (ICF) to evaluate the capture and emission of CO<sub>2</sub> over a five-year time period in the area of influence of the survey were used. Instituto de Conservación Forestal (ICF) is following the international references established by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-2006). Additionally, opportunities to improve effectiveness and efficiency in different processes and activities were found, such as the protection of natural resources and biodiversity, the inclusion and participation of the inhabitants in decision-making and community development, the improvement of the quality of life of the inhabitants, and the diversification and reinforcement of the local economy.

The assessment of the Sustainability Index in the Coyolito, Francisco Morazán micro-watershed revealed a value of 0.69 on a scale of 0 to 1. This result demonstrates the importance of adopting an integrated and collaborative approach to achieve sustainable and equitable development in the area. The more the Sustainability Index approaches 1, the more evidence is reinforced that restoration actions are achieving their objectives, and a solid foundation is established for further strength and expansion of restoration strategies in the Coyolito, Francisco Morazán micro-watershed. In contrast, if the Sustainability Index is close to 0, it indicates that there are still challenges and areas for improvement in the restoration actions implemented. This emphasizes the need to review and adapt the strategies to improve effectiveness and ensure the achievement of the expected results.

Key words: Climate change adaptation, Environmental degradation, Forest management, Restoration, Sustainability Index.

## 1. INTRODUCCION

La restauración funcional del paisaje es una forma de optimizar el uso del suelo, generalmente para devolver un paisaje a un estado en el que cuente con un conjunto mínimo de características biofísicas, por ejemplo suministro de agua en calidad y cantidad. Este proceso busca restablecer la estructura, composición y función de los bosques, promoviendo la regeneración de la vegetación nativa y recuperando los servicios ambientales que proporcionan según Zamora, 2020.

La restauración en el sector Agricultura, Ganadería, Forestación y Otros Usos del Suelo (AFOLU por sus siglas en inglés) es una herramienta efectiva para mejorar la producción agrícola, la calidad del suelo y el almacenamiento de carbono, así como para reducir la pobreza y mejorar la seguridad alimentaria en países en desarrollo según Mi Ambiente, 2019. Sin embargo, es importante abordar los desafíos significativos que enfrenta la restauración del sector AFOLU para lograr beneficios potenciales a largo plazo (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente [MiAmbiente+], 2019).

Para conocer el proceso de restauración y establecer una base para el monitoreo de las acciones, se identificó la microcuenca Coyolito, ubicada en el municipio de San Ignacio, departamento de Francisco Morazán, Honduras. Esta microcuenca es un área de gran importancia ecológica y socioeconómica. Sin embargo, su ecosistema se ha alterado por la actividad humana, lo que ha degradado el paisaje y disminuido su capacidad productiva.

Según los datos del Anuario Estadístico del Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF, 2020) El área de la microcuenca está conformada por bosque de conífera desafortunadamente, el área de bosque pinar fue afectado por la plaga del gorgojo de pino en el año 2014-2015. En conjunto con el Proyecto Manejo Sostenible de Bosque (PMSB), se apoyó a la planificación y coordinación de diferentes actividades para restaurar el bosque priorizando la fuente abastecedora de agua con líderes comunitarios de juntas de agua y patronatos del municipio (Agencia Estratégica de Proyectos Productivos, Ambientales, Sociales de Honduras [AEPAS-H], 2019).

Para promover un desarrollo sostenible y reducir las emisiones de carbono, se realizó este estudio piloto de restauración funcional del paisaje en la microcuenca Coyolito. Este estudio buscó evaluar la efectividad de diferentes técnicas de restauración ecológica mediante un Índice de Sustentabilidad para la Restauración de Paisajes (ISP) aplicado por Zamora Cristales et al. (2020). Este índice comprende varios indicadores como son: la calidad del suelo, la biodiversidad, la capacidad de retener carbono en la microcuenca, entre otros (ICF, 2020; Sánchez & Reyes, 2015). Se espera que este estudio sirva como un modelo para la implementación de prácticas de restauración ecológica en otras áreas de la región y contribuya a la lucha contra el cambio climático y la promoción de un desarrollo sostenible en Honduras.

## **1.1. Justificación**

En el contexto de Honduras, el estudio sobre el monitoreo de la restauración juega un papel fundamental en el cumplimiento de los compromisos del país en materia de Cambio Climático, especialmente en lo establecido en la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) de Honduras y la Estrategia Nacional de Descarbonización.

Se han llevado a cabo diversas actividades de restauración de áreas degradadas en Honduras, pero es crucial contar con un seguimiento adecuado para evaluar la rentabilidad y efectividad de estas acciones (Zamora Cristales, 2020). La falta de un monitoreo claro puede resultar en una gestión deficiente y el desperdicio de recursos, mientras que un monitoreo adecuado puede brindar nuevos conocimientos y perspectivas importantes (Hall & Howarth, 2000).

El Estudio Piloto de la Restauración Funcional del Paisaje propone un índice de sostenibilidad de la restauración del paisaje para medir el impacto de los esfuerzos de restauración. La restauración del paisaje representa una oportunidad para revertir la degradación de los ecosistemas y fomentar el desarrollo sostenible, por lo que se requiere un sistema de monitoreo, reporte y verificación para evaluar los cambios y mejorar la planificación (Zamora Cristales, 2020).

Además, este estudio puede brindar orientación a los responsables de la formulación de políticas y permitir la evaluación del progreso en la implementación de los instrumentos de la política del paisaje.

El estudio de restauración funcional pretende contribuir a la unificación de criterios técnicos y metodológicos para la restauración sostenible y el monitoreo a largo plazo de las emisiones y absorciones de carbono, y proporcionar directrices generales para implementar planes de restauración en Honduras (Zamora Cristales, 2020). Este enfoque respalda los compromisos de Honduras en términos de mitigación del Cambio Climático y sienta las bases para una gestión efectiva y una evaluación adecuada de los esfuerzos de restauración en el país.

## **1.2. Antecedentes**

Honduras es un país ubicado en Centroamérica con una cobertura forestal del 56,01% del territorio nacional, según datos del mapa forestal realizado en 2018 por el Instituto de Conservación Forestal (ICF, 2020). En 2016-2018, se registró una pérdida anual promedio de 18.455,80 hectáreas de bosque en el país. Esto se traduce en una disminución del almacenamiento de carbono forestal de 636.702 hectáreas entre el año 2000 y el 2018, con un promedio anual de 35.372 hectáreas, lo que genera una emisión de gases de efecto invernadero (GEI) de 2,58 millones de toneladas de dióxido de carbono provenientes de la degradación forestal (ICF, 2020).

En cuanto a la economía del país, Honduras representa el 12,7% del PIB de Centroamérica, siendo las remesas, la industria, los servicios y la agricultura los principales sustentos de la economía. La superficie agrícola de Honduras es de alrededor de 3,26 millones de hectáreas (Mi Ambiente, 2015), con pequeños agricultores cultivando en laderas con suelos pobres y las granjas comerciales, especialmente los monocultivos, beneficiándose de los valles fértiles. En 2013, el valor de las exportaciones de productos agrícolas fue de 3.470 dólares, siendo el café, el aceite de palma y el banano las principales fuentes de ingreso de divisas (SCASA/SAG/MTCC, 2014).

El sector agrícola en Honduras emplea a más de la mitad de los trabajadores y genera ingresos y alimentos para más del 30% de la población total y el 54% de la población rural a través de la producción de maíz, frijol, arroz y sorgo (SCASA/SAG/MTCC, 2014). Sin embargo, existe la necesidad de analizar si estas tierras agrícolas se han establecido bajo un enfoque de mejores prácticas y/o definir qué sistema implementar de acuerdo a la Restauración Funcional del Paisaje. En este sistema de cultivo hay potencial para diversificar cultivos (contra mono cultivo), cubrir la tierra en épocas críticas de erosión y capturar CO<sub>2</sub>, adaptándose al cambio climático.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Estimar los aportes y alcances de la Restauración Funcional del Paisaje Rural a un Desarrollo Sostenible bajo en carbono en la microcuenca Coyolito, municipio de San Ignacio, departamento de Francisco Morazán, Honduras.

### **2.2. Objetivos específicos**

Determinar el índice de sustentabilidad de la restauración de paisajes con el fin de monitorear y establecer controles efectivos, así como medidas de mitigación contra el Cambio Climático para la contribución en el cumplimiento de los compromisos adquiridos en la NDC de Honduras.

Determinar los cobeneficios de la restauración funcional del paisaje con la adaptación y mitigación del Cambio Climático.

Estimar la captura de CO<sub>2</sub> en el sector LULUCF/USCUSS en la microcuenca Coyolito en el Municipio de San Ignacio, Francisco Morazán.

### 3. REVISION DE LITERATURA

La restauración funcional del paisaje es una práctica que busca restablecer la capacidad de los ecosistemas para brindar servicios ecosistémicos y abordar el cambio climático. Para evaluar su efectividad a largo plazo, se han desarrollado metodologías, como el Índice de Sustentabilidad del Paisaje (ISP), que mide la capacidad del paisaje para mantener servicios ecosistémicos, biodiversidad y una alta calidad ambiental según Zamora, 2020.

El ISP se ha utilizado en diferentes contextos, incluyendo la evaluación de sostenibilidad en regiones de Chile y China. Es una herramienta valiosa para la toma de decisiones en políticas públicas, la gestión de recursos naturales y la planificación territorial. La restauración funcional del paisaje tiene el potencial de generar beneficios ambientales, sociales y económicos, y contribuir a los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático establecidos como en las NDC de países como Costa Rica y Colombia en América Latina como ejemplo. Sánchez, L., & Reyes, O. (2015).

La restauración funcional del paisaje busca recuperar la capacidad de un ecosistema de proporcionar servicios ecosistémicos, como purificación del aire y del agua, regulación del clima, protección contra la erosión y conservación de la biodiversidad. Zamora, 2020.

En los últimos años, ha habido un creciente interés en desarrollar metodologías para evaluar la eficacia de la restauración funcional del paisaje y calcular índices de sustentabilidad que permitan medir su impacto a largo plazo.

El Índice de Sustentabilidad (ISP) es una herramienta que permite medir la capacidad del paisaje para mantener su capacidad de proveer servicios ecosistémicos a largo plazo. Este índice evalúa la capacidad del paisaje para mantener una alta calidad ambiental, la biodiversidad y la capacidad de soporte de los sistemas naturales. Además, considera la presencia de infraestructura y actividades humanas en el paisaje y su capacidad para integrarse y coexistir con la naturaleza (Bark et al., 2012).

Hay diferentes enfoques para desarrollar el ISP según la metodología implementada por Zamora Cristales et al. (2020). Sin embargo, muchos de ellos comparten una base común en la que se miden indicadores de sostenibilidad ambiental, social y económica del paisaje.

El Índice reporta una calificación para cada componente, que depende de las acciones planificadas para alcanzar un objetivo a largo plazo según lo establecido en un plan de restauración y puede desglosarse en diferentes componentes biofísicos y socioeconómicos.

El Índice se aplicó en una zona prioritaria de El Salvador, mediante el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y sus resultados son una oportunidad para evaluar estratégicamente las acciones de restauración según Zamora, 2020.

El (ISP), está compuesto por ocho índices que permiten monitorear los impactos de la restauración en distintas dimensiones de la mitigación y adaptación al cambio climático:

El índice de la calidad del agua (ICA), el Índice de caudales (IQ), el índice de calidad de suelos (ICS), el índice de biodiversidad del paisaje (IBP), el índice de carbono equivalente (ICO<sub>2e</sub>), la mejora en los medios de vida de las comunidades rurales medida a través del índice de jornales adicionales (ITA), la reducción de la vulnerabilidad ante el riesgo ambiental medida por el índice de reducción de la vulnerabilidad ante el riesgo ambiental medida por el índice de reducción de vulnerabilidad (IRV), y la gobernanza para la gestión del paisaje que se mide a través del índice de Gobernanza de Paisajes. Los componentes presentados pueden variar de acuerdo a las condiciones y la información disponible en cada país. (Rene Zamora Cristales, 2020)

El ISP se ha utilizado en diversas áreas y contextos, incluyendo la planificación territorial, la gestión de recursos naturales, la evaluación de impacto ambiental y la toma de decisiones en políticas públicas. Un ejemplo de su aplicación es el estudio en el cual se utilizó el ISP para evaluar la sostenibilidad del paisaje en la región de Aysen, Chile (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2015). Los autores concluyeron que la región tiene un alto nivel de sostenibilidad ambiental, pero se requiere mejorar la integración de la actividad humana con la naturaleza para lograr mayor sostenibilidad social y económica.

Otro ejemplo de aplicación del ISP es el estudio realizado por Zhang et al. (2023), en el que se utilizó el ISP para evaluar la sustentabilidad del paisaje en la región de Hainan, China. Los autores concluyeron que la región tiene un alto nivel de sostenibilidad ambiental y social, pero se requiere mejorar la sostenibilidad económica mediante el desarrollo de actividades sostenibles y la promoción del turismo ecológico.

En el Noveno Aumento General de Recursos (BID) en 2010, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) reconoció la importancia de abordar el cambio climático como una prioridad. En este contexto, se establecieron conceptos clave relacionados con la captura y emisión de CO<sub>2</sub>.

La mitigación incluye medidas como el transporte con bajas emisiones de carbono, el uso de energías renovables (incluida la bioenergía), la eficiencia energética en diversos sectores, la reforestación, la protección de bosques, la gestión de residuos sólidos y el tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, el concepto de adaptación abarca el desarrollo tecnológico para una agricultura resistente al cambio climático, la gestión integrada de los recursos hídricos, la prevención de desastres naturales, la atención a enfermedades transmitidas por insectos relacionadas con el cambio climático, y el manejo sostenible de las zonas costeras. Además, se incluyen prácticas sostenibles como la conservación de la biodiversidad, la reducción de la contaminación industrial y el fortalecimiento institucional para la sostenibilidad ambiental y la implementación de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

El BID también publicó informes relevantes en 2012 que respaldan la necesidad de abordar la adaptación al cambio climático de manera urgente, reconociendo que la adaptación tiene un alcance limitado para enfrentar los impactos acumulativos. Estos informes enfatizan la importancia de implementar medidas de mitigación drásticas y adoptar objetivos globales de estabilización para abordar adecuadamente el cambio climático.

En cuanto a los avances en las NDC en América Latina, se pueden mencionar dos ejemplos destacados. Costa Rica ha integrado la descarbonización, la adaptación y la resiliencia en su enfoque de acción climática a nivel sectorial y territorial, implementando políticas públicas para reducir las emisiones y disminuir la vulnerabilidad climática. Por su parte, Colombia ha desarrollado herramientas y lineamientos que brindan flexibilidad a los sectores y territorios para ajustar sus acciones de adaptación según sus condiciones frente al cambio climático, priorizando elementos como las circunstancias nacionales, los riesgos y la vulnerabilidad, las prioridades de adaptación en el marco de la NDC y las necesidades de apoyo requerido.

De acuerdo a la tercera comunicación de Cambio Climático por Mi Ambiente+ (2019) Honduras enfrenta desafíos significativos para superar la pobreza que afecta a una parte significativa de su población, así como para mejorar el desarrollo humano y reducir las vulnerabilidades socioeconómicas frente al cambio climático. En los últimos años, el país ha experimentado numerosos eventos hidrometeorológicos adversos, como prolongadas sequías y fuertes lluvias que resultan en inundaciones. Estos fenómenos climáticos representan una amenaza para la población en general, impactando negativamente en sus medios de vida, como viviendas, cultivos e infraestructuras. El cambio climático afecta de manera directa la economía nacional, generando inseguridad alimentaria, aumento de la pobreza y llevando a muchos hondureños a migrar en busca de seguridad para sus familias.

En Honduras, según esta tercera comunicación, se adopta un enfoque humano para abordar el cambio climático, para mejorar la calidad de vida y generar empleo. Este enfoque también tiene en cuenta la protección de los recursos naturales clave del país, como el agua, los bosques y el suelo, al tiempo que se cumplen los compromisos establecidos en las convenciones de Río (Biodiversidad, Desertificación y Sequía, y Cambio Climático) y en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Honduras ha iniciado un proceso gradual, participativo, programático y sostenido para planificar e implementar acciones contra el cambio climático a través de estrategias, planes nacionales y sectoriales. Estas acciones forman parte de la visión del Estado de abordar el cambio climático de manera inclusiva, reduciendo las vulnerabilidades de las personas más pobres y necesitadas.

## 4. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

### 4.1. Ubicación del área de estudio

Según el plan de manejo del ICF (2016), la microcuenca Coyolito está al sur oeste del Municipio de San Ignacio en el Departamento de Francisco Morazán (Figura 1) a 1.78 Km de la primera obra toma. En esta microcuenca hay cuatro tomas de agua, que para protegerse se unifican en una sola microcuenca haciendo un área total de 875 hectáreas. El uso principal del agua de la microcuenca es para el consumo doméstico, beneficiando a una población de 4,490 habitantes del Casco Urbano del Municipio de San Ignacio. Los límites principales de la microcuenca son:

Norte: Río Malaque

Sur: Sitio Cerro Grande y El Municipio de San Ignacio

Este: Cerro El Jicarito

Oeste: Comunidad de Barrosa.

### 4.2. Características del área de estudio

De acuerdo a los datos presentados en el plan de manejo elaborado por ICF (2016), la microcuenca Coyolito presenta la siguiente información:

#### 4.2.1. Caracterización Biofísica:

##### a. Hidrología

Las fuentes principales de las microcuencas son 9 nacimientos de agua a diferentes alturas, desde los 860 metros sobre el nivel del mar (MSNM), punto más bajo, hasta la toma más alta 927 MSNM, que se une al río Playa y desemboca en la cuenca principal del Ulúa.

##### b. Flora

El ecosistema de la microcuenca corresponde a especies de acicuifoliadas (pino) y en su minoría latifoliadas, enlistando a continuación las más representativas:

Nombre común	Nombre científico
Pino	<i>Pinus oocarpa</i>
Roble	<i>Quercus sp</i>
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i>
Guama	<i>Inga vera,</i>
Encino curtido	<i>Quercus sp,</i>
Cordoncillo	<i>Piper sp</i>
Platanillo	<i>Heliconia bihai,</i>
Carrizo	<i>Rhipidocladum recemifrum</i>
Calaguala	<i>Phebolium sp.</i>

**c. Fauna**

Entre las especies encontradas se pueden mencionar:

<b>Nombre Común</b>	<b>Nombre científico</b>
Pichete	<i>Norops sp</i>
Chorcha	<i>Icterus gularis</i>
Zopilote	<i>Cathartes aura</i>
Zanate	<i>Quiscalus mexicanus</i>
Falso tamagas	<i>Mastigodryas dorsalis</i>
Cerequeque	<i>Cissilopha melanocyanea</i>
Gallito	<i>Cerogenes auricoma</i>

**d. Uso actual del suelo**

Particularmente el sitio se encuentra ubicado en suelos de tipo: Suelos de los Valles, Cocona y Orica, son suelos bien avenados, poco profundos formados sobre ignimbritas de grano grueso, resultado suelos franco-arenosos, los cuales son regularmente fértiles. Según análisis del informe de Los Suelos de Honduras de la FAO.

Su uso y cobertura es la siguiente:

Tabla 1. Uso y Cobertura del suelo en la microcuenca Coyolito

<b>Nombre</b>	<b>Área Ha.</b>
Bosque Latifoliado Deciduo	32.24
Bosque Mixto	70.85
Bosque de conífera	242.87
Pino plagado	523.52
Arboles dispersos	0.13
Pastos/cultivos	6.18

**e. Fisiografía del terreno**

Plano: 55.64%, Ondulado: 26.88%, Quebrado: 17.43%, (O -15%) (16 - 30%) (31- 60%) Escarpado: 0.05% (>60%).

## **4.2.2. Caracterización Socioeconómica**

### **a. Población**

El Municipio de San Ignacio ha presentado una dinámica de crecimiento moderada dado con relación al crecimiento promedio de la población nacional, puesto que desde el censo de 1961 al de 2013, la tasa de crecimiento promedio anual ha sido de 0.7%, mientras que en la nacional fue del 3.3%. Considerando el comportamiento mostrado en los censos poblacionales de 1950, 1961, 1974, 1988, 2001 y 2013, y las características de los flujos migratorios, se estima que el municipio en 2022 tenía 9,553 habitantes, de los cuales 4,718 son hombres (49.39%) y 4,835 mujeres (50.61%).

### **b. Vivienda**

En seguimiento al comportamiento demográfico establecido en el censo del 2013, se ha proyectado que para el 2023, en San Ignacio existen al menos 3,105 viviendas de las cuales están ocupadas 2,336 viviendas. El nivel de hacinamiento se estima en 3.08 personas habitando en cada vivienda; sin embargo, siendo más rigurosos, tomando en cuenta solamente las viviendas ocupadas, resulta que habitan al menos 4.09 personas por vivienda.

### **c. Actividades económicas**

En el Municipio de San Ignacio la distribución de las tierras productivas se cultivan de hortalizas, granos básicos, café y limones, que son fuente de empleo a jornaleros residentes en las comunidades.

La producción de tilapia, porcino, en manos de pequeños e individuales productores. Existe un grupo de artesanos que se dedican a la pintura de arte como único medio de subsistencia.

### **d. Salud**

La población de este municipio cuenta con 4 Centros de salud rural (CESAR), 1 Centro de Salud Médico Odontológico (CESAMO) en la cabecera Municipal. Estos centros son utilizados por la población para atender principalmente enfermedades respiratorias, diarreas; para atender enfermedades graves o especialidades se dirigen a la Ciudad de Tegucigalpa al Hospital Escuela, Hospital San Felipe o a algunas Clínicas u Hospitales privados. El Acceso de la población a los servicios de salud es buena y la atención también es buena ya que hay presencia de médicos en 2 CESAR, pero hay carencia de medicamentos.

#### **e. Educación**

Según los datos de la alcaldía municipal existen 3,491 personas en edad escolar, de las que 2,218 están estudiando esto equivale al 63,59 %. La población más amplia es la educación primaria con 1,204 estudiantes (36.13%), seguido de ciclo común con 523(15.69%), diversificado con 236 estudiantes (7.08%), preescolar con 229(6.87%) y Universitarios con 24(0.72%). De los 1,891 niños con edad para los grados de primero a sexto solo 1,204 estudian, lo requiere de la atención de las autoridades de educación para disminuir la tasa de niños en edad escolar que no asisten a clase.

#### **f. Servicios Básicos**

En el municipio la mayor parte de las comunidades reciben el servicio de agua a través de sistema de acueducto el cual es manejado por juntas administradoras de agua que son reguladas por un Técnico en Regulación y Control (TRC) de la oficina Salud Pública. Solo el casco urbano y la comunidad de Urrutia cuentan con el sistema de alcantarillado.

En las demás comunidades, no existe por lo que se realiza la construcción de fosas sépticas por cada vivienda. La cobertura de energía eléctrica abarca la mayor parte de las comunidades del municipio, servicio suministrado por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE).

#### **g. Red vial**

El municipio de San Ignacio cuenta con una red vial compuesta por carretera primaria que une a los Municipios de: Talanga, Cedros, San Ignacio, El Porvenir, que a su vez estos forman parte de la MANOFM, las carreteras secundarias son las que unen el casco urbano con las 6 aldeas y 13 caseríos, porque a los 4 restantes solo existen las carreteras de penetración, es decir, donde solo hay acceso de comunicación a través de bestia o a pie.

#### **h. Electricidad**

En municipio, en mayoría de comunidades tienen un sistema de distribución de energía eléctrica básica administrado por Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) Las comunidades sin servicio de energía eléctrica pero sí con un panel solar o pequeña planta son: Caserío, de Mata De Plátano 2. Colonia La Planada en la aldea de Escano De Tepale, y 3. Algunas zonas de recién Formación en el casco urbano.

#### **i. Telefonía y Correos**

El Municipio cuenta con un sistema de telefonía proporcionado por la empresa Nacional de Telecomunicaciones (HONDUTEL), en el cual cuenta con 252 abonados específicamente en la cabecera municipal, Todo el municipio tiene cobertura de telefonía mediante servicio de celulares que proporciona las empresas privadas Tigo y Claro, existe oficina de correo nacional en el casco urbano. También existe el servicio de televisión por cable, en la mayoría de las comunidades, locales que prestan los servicios de Internet en la cabecera Municipal.

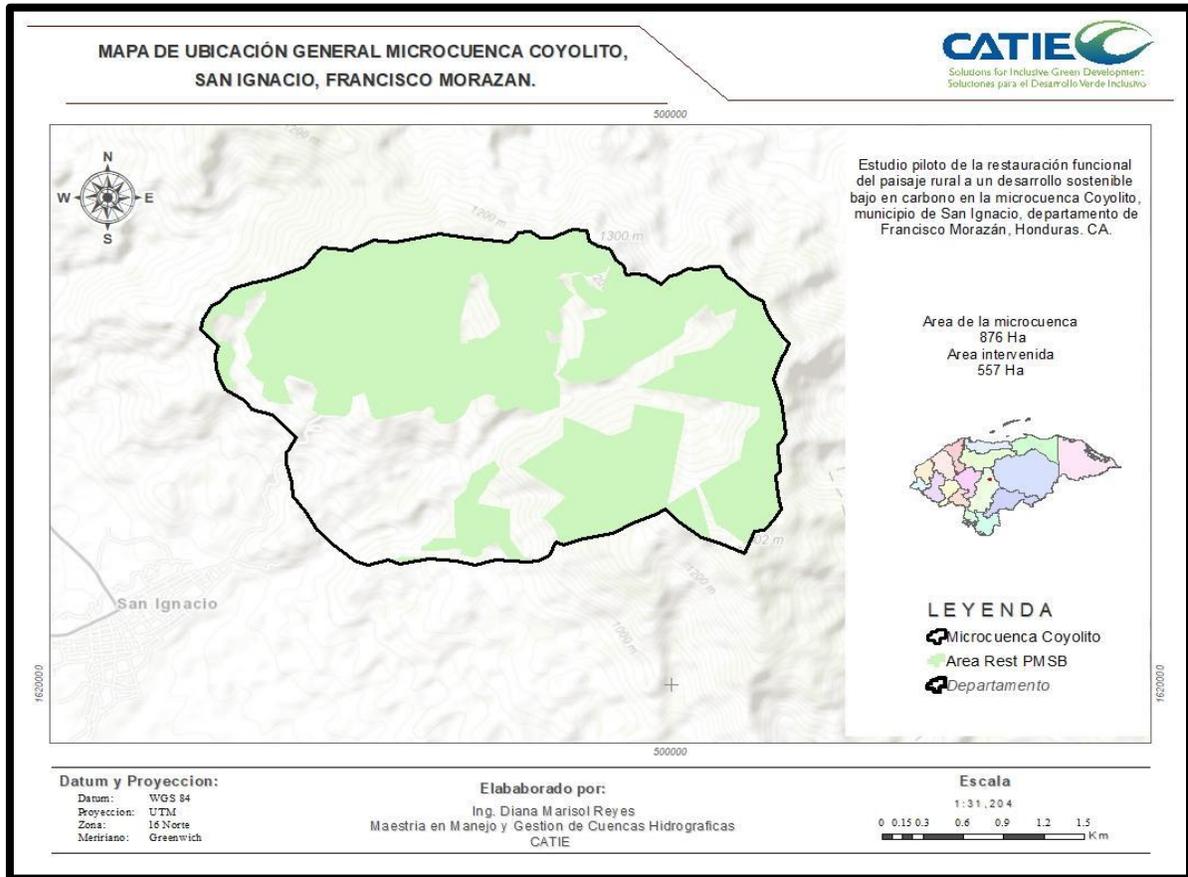


Figura 1. Mapa del área de estudio de la microcuenca Coyolito en San Ignacio, Francisco Morazán.

Fuente: Proyecto MSB

## 5. METODOLOGIA

Para llevar a cabo esta investigación, se pudo contar con información proporcionada por el Departamento de Cuencas Hidrográficas del Instituto Nacional de Conservación Forestal (ICF), lo cual fue fundamental para comprender el contexto y las características de la microcuenca. Además, se recogió datos del Proyecto Manejo Sostenible de Bosques (PMSB), que desplegó esfuerzos significativos colaborando con la cooperativa agroforestal COPAMEX para intervenir y restaurar el área de la microcuenca. Gracias a la implementación de planes de restauración, se logró abarcar 557.26 hectáreas, lo que representa una intervención significativa en el paisaje y ofrece una valiosa base de datos para este estudio. La colaboración entre el ICF, el PMSB y COPAMEX ha sido esencial para el avance de la restauración y el monitoreo de la microcuenca, y su participación brinda una sólida base de información para el análisis y la evaluación de la restauración funcional del paisaje y su contribución al desarrollo sostenible bajo en carbono.

## 5.1. Metodología para generación del Índice de Sustentabilidad

### 5.1.1. Índice de calidad de agua

La metodología utilizada para el Índice de Calidad de Agua (ICA) fue la colecta de una muestra de agua, la cual fue llevada al laboratorio especializado de Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) donde se realizó un análisis químico y bacteriológico y se obtuvieron los 9 parámetros implicados en el cálculo del Índice los cuales son: coliformes fecales, pH, (DBO5), nitratos, fosfatos, cambio de la temperatura, turbidez solidos disueltos totales, oxígeno disuelto y con los resultados para el cálculo del Índice según Brown se aplicó la siguiente formula:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

Donde:

wi: Pesos relativos asignados a cada parámetro datos obtenidos de análisis químico y bacteriológico realizado en laboratorio de SANAA.

(Subi), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Subi: Subindicadores o parámetros (Coliformes fecales, pH, DBO5, nitratos, fosfatos, cambio de temperatura, turbidez, sólidos, oxígeno disuelto). A continuación:

Tabla 2. Parámetros y ponderación de los elementos del ICA

<b>i</b>	<b>Subi</b>	<b>Wi</b>
1	Coliformes fecales	0.4
2	pH	0.3
3	DBO5	0.2
4	Nitratos	0.1
5	Fosfatos	0
6	Temperatura	0.9
7	Turbidez	0.03
8	Solidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno disuelto	0.17

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio.

### **5.1.2. Índice de Caudal**

El Índice de Caudal se refiere a la cantidad de agua que fluye en un río durante un período específico. Aunque se monitorea el caudal en los principales ríos, esta información no es suficiente para medir los impactos de las prácticas de restauración. Dada la importancia del suministro de agua, es necesario incluir un indicador de caudal en el ISP. Por lo tanto, se propone la implementación de un sistema de monitoreo de caudales a nivel de microcuenca. Bajo este enfoque, se puede establecer un valor óptimo de caudal, determinado en base a la demanda de la región y los límites biológicos.

Para calcular el Índice de Caudal (IQ), se solicitó la información recopilada por el Proyecto Manejo Sostenible de Bosques (PMSB), ya que están realizando un estudio de monitoreo mensual para evaluar los cambios en la cantidad y calidad de agua tras el brote de plagas del gorgojo de pino que afectó al área de la microcuenca Coyolito.

Por lo cual a continuación se muestra la tabla de los datos de caudal de la microcuenca Coyolito que contiene datos de las variables que se han monitoreado especialmente los datos del caudal que se utilizaron para el cálculo del índice de caudal.

Tabla 3. Datos de caudal de microcuenca Coyolito año 2022

Variable	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Temperatura máx.	35.154	42.19	44.077	40.602	37.256	36.613	38.071	39.23	39.315	38.2
Temperatura min	14.433	12.503	14.519	15.377	16.793	17.222	16.535	17.179	15.42	15.377
Temperatura	22.8337692	24.6769382	25.8839806	25.8156949	24.2986208	24.4567836	24.5203513	25.1970236	24.3350054	24.0947932
Caudal	94.4411071	94.1502043	93.2710389	94.5175565	95.4866847	94.7069785	94.2159852	94.1483389	93.3869718	94.7766317
Humedad	69.9555	63.3624288	64.7537375	73.8219194	82.1104181	80.5892661	81.4387779	80.958725	82.2769059	81.0804296
HS Alta	0.04958984	0.03955538	0.10777044	0.1318902	0.19958014	0.14477742	0.1723082	0.24005319	0.22766815	0.17000371
HS Baja	Sin datos	Sin datos	Sin datos	0.13886364	0.18793194	0.15472258	0.12872757	0.17119928	0.16828616	0.145742
Precipitación	1.4	7	170	51.6	154.6	53.8	106.2	0.6	Sin datos	24.5

Etiquetas de fila	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Caudal	94.44110714	94.1502043	93.27103889	94.51755645	95.48668472	94.70697849	94.21598522	94.14833889	93.386972	94.77663173
<b>Total, general</b>	<b>94.44110714</b>	<b>94.1502043</b>	<b>93.27103889</b>	<b>94.51755645</b>	<b>95.48668472</b>	<b>94.70697849</b>	<b>94.21598522</b>	<b>94.14833889</b>	<b>93.386972</b>	<b>94.77663173</b>

La importancia de la provisión de agua hace necesaria la inclusión de un indicador de caudal en el ISP, por lo que se propone la implementación de un sistema de monitoreo de caudales a escala de microcuenca.

### 5.1.3. Índice de Biodiversidad del Paisaje

El cálculo del Índice de Biodiversidad del Paisaje (IBP) se utiliza para medir la conectividad y fragmentación del paisaje. Este índice se compone de cinco indicadores de paisaje, que son el Índice de Relación Perímetro-Área (PAFRAC), el porcentaje de paisaje (PLAND), el Número de Fragmentos o Parches (NP) en el área de estudio, el Índice del Parche más Grande (LPI) y el Índice de Contagio (CONTAG), indica el índice de Potencial de conectividad en el paisaje. Cada índice se usó para calcular el IBP, una medida integral de la biodiversidad del paisaje.

Cada uno de estos indicadores se obtiene con su metodología y formula:

**Índice de Relación Perímetro-Area PAFRAC**= Calcula el grado de complejidad de cada fragmento a partir de la relación entre área y perímetro.

Fórmula de cálculo:

$$PAFRAC = \frac{2 \ln (.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}}$$

Donde:

$p_{ij}$ : Perímetro(m) del parche  $ij$ .

$a_{ij}$ : Área (m<sup>2</sup>) del parche  $ij$ .

**Porcentaje de paisaje PLAND**= Cuantifica la abundancia proporcional de cada tipo de fragmento del paisaje.

Fórmula de cálculo:

$$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$$

Donde:

$P_i$ : Proporción del paisaje ocupado por tipo de parche (clase)  $i$ .

$a_{ij}$ : Área (m<sup>2</sup>) del parche  $ij$ .

$A$ = Área total del paisaje (m<sup>2</sup>)

**Numero de Fragmentos o Parches NP**= Es igual al número de parches del tipo (clase) de parche correspondiente.

$$NP = n_i$$

Donde:

$n_i$ : número de fragmentos en el paisaje de tipo de fragmento (clase)  $i$ .

**Índice del Parche más Grande LPI**= Porcentaje del paisaje ocupado por el parche de mayor tamaño.

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} \quad (100)$$

Donde:

n = número de parches en el paisaje

a<sub>ij</sub> = área (m<sup>2</sup>) del parche ij

A = área total del paisaje (m<sup>2</sup>)

**Índice de Contagio CONTAG**= Explica la medida en que los tipos de parche se agregan o se agrupan, es decir, la dispersión.

$$CONTAG = \left[ 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[ P_i \circ \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] \circ \left[ \ln \left( P_i \circ \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] \quad (100)$$

Donde:

P<sub>i</sub> = proporción del paisaje ocupado por tipo de parche (clase) i.

g<sub>ik</sub> = número de adyacencias (uniones) entre píxeles de tipo de parches (clases) i y k basado en el método de doble-cuenta.

m = número de tipo de parches (clases) presentes en el paisaje, incluyendo el borde del paisaje si hubiese.

Una vez calculados y normalizados los cinco índices, puede calcularse el IBP mediante el promedio de los cinco valores:

$$IBP = \frac{(PAFRAC + PLAND + NP + LPI + CONTAG)}{5}$$

5

#### 5.1.4. Índice de Carbono Equivalente

El Índice de Carbono Equivalente (ICO<sub>2e</sub>) se enfoca en la restauración de la tierra y su balance de carbono equivalente, que busca fijar carbono adicional al acervo existente. Este índice se utiliza para la mitigación del cambio climático y se analiza siguiendo los criterios y niveles de referencia establecidos por el IPCC-2006, llevando un análisis detallado de las transiciones y cambios de uso del suelo, considerando las características propias de cada ecosistema y su impacto en el balance de carbono equivalente. Por lo que para realizar este cálculo se determinaron los valores mínimos y máximos de CO<sub>2</sub>. Siendo el valor máximo la cantidad máxima de carbono equivalente que se lograría almacenar si se restaura toda el área.

Y el valor mínimo representa la cantidad de carbono equivalente que se almacenaría si no se realizaban las acciones de restauración. Esto daría teóricamente un valor de 0 (cero), ya que el carbono que pudiera almacenarse no sería resultado de prácticas de restauración. Lo anterior implica que el ICO<sub>2e</sub> oscilará entre 0 y 1. El valor del índice se acercará más a 1 conforme se acerque a la meta esperada de máximo carbono equivalente almacenado como resultado de la restauración.

El ICO<sub>2e</sub> está dado por:

$$\text{ICO}_{2e} = \frac{(\text{Ganancia actual de CO}_{2e} - \text{Valor mínimo})}{(\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo})}$$

#### 5.1.5. Índice de Calidad de Suelos

Según la metodología propuesta por Zamora (2020), El Índice de Calidad de Suelos (ICS) es una medida que indica la salud o calidad del suelo y puede mejorar mediante prácticas de restauración. Este índice considera tres componentes principales: materia orgánica (MO), pH y densidad aparente. Según Cantú et al. (2007), una vez obtenidos estos valores puede realizarse una normalización de los indicadores para que cada uno de ellos oscile en un rango de 0 a 1 utilizando la siguiente fórmula:

$$V_n = \frac{I_m - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$$

Donde:

V<sub>n</sub> es el valor normalizado del indicador, ya sea de MO, pH o densidad aparente;

I<sub>m</sub> es el valor del indicador, obtenido a través del análisis de las muestras de suelo;

I<sub>max</sub> representa el máximo valor del indicador, y finalmente

I<sub>min</sub> es el mínimo valor del indicador.

El procedimiento se repite para los tres indicadores. Una vez normalizados los tres indicadores, se puede calcular el ICS mediante su promedio.

### **5.1.6. Índice de Jornales Adicionales**

Es una medida que estima los jornales adicionales (ITA) generados en actividades de restauración, tanto en establecimiento como en mantenimiento. De acuerdo a Zamora et al, 2020, se utilizó la siguiente formula:

$$ITA = \frac{(\text{Jornales adicionales actuales} - \text{Valor mínimo})}{(\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo})}$$

Para calcular los límites de este índice, entenderemos como valor máximo la cantidad de jornales que se generarían si se restaurara toda el área. El valor mínimo representa la cantidad de jornales generados si no se realizan las acciones de restauración, que teóricamente es 0 (cero).

Se tomaron datos del Plan de Restauración del Proyecto Manejo Sostenible de Bosques en San Ignacio. (AEPAS-H, 2019).

### **5.1.7. Índice de Reducción de Vulnerabilidad:**

Según la metodología de Zamora (2010) el Índice de Reducción de Vulnerabilidad (IRV) se determina mediante la combinación de distintos indicadores que se agrupan en tres categorías: peligro y exposición, vulnerabilidad y falta de capacidad. Este índice se calcula a partir del número estimado de población expuesta a inundaciones, deslizamientos y sequía meteorológica cada año a escala municipal, por lo que para el cálculo del IRV se usan los proporcionales a la población de cada municipio dentro del paisaje. En la colecta de información no se proporcionó información sobre los posibles fenómenos que pueden afectar a la población que comprende la Microcuenca Coyolito.

### **5.1.8. El índice de Gobernanza de Paisajes**

El Índice de Gobernanza de Paisajes (IGP) se refiere al proceso de interacción y colaboración entre diversas organizaciones e individuos con diferentes poderes y responsabilidades para asegurar la provisión de servicios ecosistémicos, como la biodiversidad el agua, el turismo (Cundill y Fabricius, 2010; Robinson, Dearden y Orozco, 2012). Este índice tiene once componentes, cada uno con varios indicadores que representan diferentes aspectos de la gobernanza (IGP, 2021). Los indicadores son:

1. Coordinación
2. Recursos
3. Deliberación
4. Liderazgo
5. Visión compartida
6. Acceso, uso y generación de información
7. Ajuste de las decisiones al contexto

8. Instrumentos de gestión y regulación
9. Equidad
10. Promoción y capacidad de aprender de experiencias pasadas
11. Rendición de cuentas

El IGP se calculó a partir de la aplicación de un instrumento mediante sesiones de grupos focales con actores clave en la gestión del paisaje. La selección de grupos focales se hace a través de una muestra aleatoria en los territorios de interés y entre los actores relevantes para la restauración.

## **5.2. Metodología para la determinación de los cobeneficios de la restauración funcional del paisaje con la adaptación y mitigación del Cambio Climático.**

### **5.2.1. Identificación del uso y cobertura de suelo en el área de estudio**

Para llevar a cabo la identificación del uso y cobertura del suelo en la microcuenca Coyolito, se empleó el mapa de cobertura forestal correspondiente al año 2018 proporcionado por el ICF. Este mapa se procesaba para ajustarlo al área de estudio y se delimitó las zonas correspondientes a bosques y cultivos que están actualmente en la zona de análisis. Para cada categoría se registró el número de hectáreas correspondientes. Así, se obtuvo información precisa y detallada sobre la distribución y extensión de los diferentes tipos de uso del suelo en la microcuenca Coyolito.

### **5.2.2. Acciones de adaptación y mitigación en la zona**

Se ha llevado a cabo una evaluación de la zona en cuestión para identificar las acciones de adaptación y mitigación necesarias para contrarrestar la vulnerabilidad de la infraestructura física, población, economía y recursos naturales. En esta evaluación se han involucrado tanto actores como autoridades locales para conocer las condiciones actuales y las acciones implementadas para abordar los desafíos presentes.

En Tabla 5 de la página 24 se pueden ver las acciones de adaptación y mitigación específicas que se están llevando a cabo en la zona, con el fin de abordar las preocupaciones y desafíos más importantes.

### **5.2.3. Cobeneficios e impactos positivos**

En primer lugar, se evaluaron los impactos negativos de las acciones de restauración que se están haciendo en el área de estudio para identificar los impactos negativos actuales de la zona.

Estos impactos negativos incluyen la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo, la contaminación del agua, la disminución de los servicios ecosistémicos y otros efectos negativos en la calidad de vida de la población local y la economía de la región.

A continuación, se procedió a identificar los cobeneficios e impactos positivos de las acciones de restauración que se están realizando en la zona resumidos en la tabla 6 de la página 26.

### **5.3. Metodología para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector LULUCF/USCUSS en la microcuenca Coyolito.**

#### **5.3.1. Identificación de categorías de uso de la tierra**

Se realizó la identificación y clasificación de las categorías de uso de la tierra según el IPCC-2006 para informar sobre los inventarios de gases de efecto invernadero.

#### **5.3.2. Criterios para determinar el uso de la tierra**

Como parte de la definición y estandarización de criterios para facilitar la interpretación y reducir la incertidumbre se realiza un análisis sobre los cambios o transiciones entre las diferentes categorías de uso del suelo. Se presentan las posibilidades e imposibilidades de transiciones de una categoría de uso de la tierra a otra, considerando las características propias de cada ecosistema, así como de los cultivos y otros usos del suelo que se pueden ver en tabla 7 de la página 27.

#### **5.3.3. Afectación de disturbios a las diferentes categorías de uso de la tierra**

Los principales disturbios o afectaciones a los bosques se establecieron/priorizaron, considerando prioritario reflejar la influencia de sectores productivos. Una vez priorizados se evaluó y estableció matriz de afectación de disturbios por categoría de uso de la tierra, con el fin de facilitar la interpretación de estos en el marco de criterios únicos ver la tabla 8 en la página 28.

#### **5.3.4. Análisis y procesamiento de resultados**

Según los datos recolectados para el área de estudio se realiza el análisis de acuerdo a las categorías del área y sus disturbios realizando un sistema de codificación. Los códigos representan una única trayectoria o dinámica para cada categoría que informa sobre el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra (si lo hay) y las perturbaciones (si las hay).

Los datos utilizados se recopilaron de las bases oficiales del ICF, por lo que es el dato oficial del área afectada por la plaga del gorgojo de pino según la tabla 9 en la página 29 y el área intervenida por el Proyecto manejo sostenible mediante actividades de reforestación y manejo y mantenimiento de regeneración natural.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Cálculo del ISP

El ISP tiene el potencial de fortalecer los esfuerzos de restauración y gestión de ecosistemas y paisajes. Es una herramienta útil para guiar la planificación y la implementación de acciones de restauración, teniendo en cuenta las características y dinámicas socioambientales de los paisajes. Al hacerlo, el ISP puede promover el fortalecimiento del capital social y la gobernanza. Este índice es fácil de aplicar y se puede integrar en sistemas de monitoreo más amplios para mejorar la selección y ubicación de acciones de restauración. Esto puede ayudar en la definición de convocatorias para propuestas de proyectos, acciones de apoyo y cooperación, así como en la promoción de procesos de reconversión productiva e inversiones privadas. La elaboración del ISP y sus componentes, especialmente la construcción del Índice de Gobernanza también puede contribuir a fortalecer la institucionalidad local y territorial.

$$\text{ISP} = \frac{\text{ICA} + \text{IQ} + \text{IBP} + \text{ICOe} + \text{ITA} + \text{IRV} + \text{ICS} + \text{IGP}}{8}$$

Donde:

ISP: Índice de Sustentabilidad para la Restauración de Paisajes

ICA: Índice de Calidad del Agua

IQ: Índice de Caudales

IBP: Índice de Biodiversidad del Paisaje

ICO<sub>2e</sub>: Índice de Carbono Adicional

ITA: Índice de Jornales Adicionales

IRV: Índice de Reducción de Vulnerabilidad

ICS: Índice de Calidad de Suelos

IGP: Índice de Gobernanza de Paisajes

De los ocho indicadores del ISP, se recolectó seis en la microcuenca Coyolito, según la metodología utilizada en el estudio. Los resultados fueron normalizados y se presentan en la Tabla 4.

Indicadores del ISP en la microcuenca Coyolito, Francisco Morazán, Honduras.

Indicador	Valor normalizado
Índice de Calidad de Agua	1.25
Índice de Caudal	0.04
Índice de Biodiversidad del Paisaje	2.46
Índice de Carbono Adicional	0.002
Índice de Jornales Adicionales	0.02
Índice de Gobernanza de Paisajes	0.395

\*ISP: Índice de Sustentabilidad para la Restauración de Paisajes.

Se sumaron los resultados de los seis indicadores y se dividió por el número total de los indicadores colectados. El resultado obtenido fue un ISP de 0.69 para la microcuenca de Coyolito, considerado muy bueno en una escala de 0 a 1.

$$\begin{aligned} \text{ISP} &= \text{ICA} + \text{IQ} + \text{IBP} + \text{ICO}_2\text{e} + \text{ITA} + \text{IGP} / 6 \\ \text{ISP} &= 1.25 + 0.04 + 2.46 + 0.002 + 0.02 + 0.395 / 6 \\ \text{ISP} &= 0.69 \end{aligned}$$

El Índice de Sustentabilidad para la Restauración de Paisajes (ISP) demuestra su potencial para fortalecer los esfuerzos de restauración y gestión de ecosistemas y paisajes. El ISP es una herramienta valiosa para guiar la planificación y la implementación de acciones de restauración, considerando las características socioambientales de los paisajes.

Al integrarse en sistemas de monitoreo más amplios, este índice puede mejorar la selección y ubicación de acciones de restauración, lo que resulta útil para definir convocatorias para proyectos, acciones de apoyo y cooperación, y para promover procesos de reconversión productiva e inversiones privadas.

La utilización del ISP, junto con sus componentes, incluyendo el Índice de Gobernanza de Paisajes, también puede contribuir al fortalecimiento de la institucionalidad local y territorial. Al considerar indicadores como la calidad del agua, los caudales, la biodiversidad del paisaje, el carbono adicional, los jornales adicionales y la gobernanza de paisajes, se obtiene una evaluación integral de la sustentabilidad para la restauración de paisajes.

En el caso específico de la microcuenca Coyolito en Francisco Morazán, Honduras, se recolectaron seis de los ocho indicadores del ISP. Los resultados normalizados de estos indicadores indican un ISP de 0.69 para la microcuenca, lo cual se considera un valor muy bueno en la escala de 0 a 1. Esto demuestra que los esfuerzos de restauración y gestión en esta microcuenca están obteniendo resultados positivos en términos de sustentabilidad.

## **6.2. Cobeneficios de la restauración funcional del paisaje con la adaptación y mitigación del Cambio Climático.**

La microcuenca Coyolito es una importante fuente abastecedora de agua en el municipio de San Ignacio que ha estado experimentando impactos negativos en los últimos años debido al cambio climático y otros factores ambientales.

Ante esta situación, se han implementado una serie de acciones de adaptación y mitigación en la Microcuenca Coyolito para contrarrestar la vulnerabilidad que enfrenta la infraestructura física, la población, la economía y los recursos naturales. Estas acciones han sido diseñadas y ejecutadas en conjunto con actores y autoridades locales, quienes han trabajado arduamente para mejorar la resiliencia de la región y reducir los riesgos asociados al cambio climático.

Tabla 5. Acciones de adaptación y mitigación en la zona de estudio de la microcuenca Coyolito

<b>Programa</b>	<b>Nombre de Practica</b>	<b>Lugar de verificación</b>	<b>Institución/organización que apoya o apoyó su implementación</b>
<b>Acciones de Adaptación</b>			
Programa de Educación Ambiental	Reforestación de áreas afectadas por plaga de gorgojo de pino priorizando áreas aledañas a fuentes de agua.	523 ha afectadas por plaga de gorgojo de pino en comunidades de la microcuenca Coyolito	Proyecto Manejo Sostenible de Bosques, ICF, Alcaldía municipal, y Juntas de agua.
Programa de Desarrollo Comunitario:	Proceso de educación formal, información y capacitación en los centros educativos de las comunidades de la microcuenca en temática de saneamiento básico.	Centros educativos de las comunidades beneficiadas de la microcuenca	Alcaldía Municipal y Juntas de agua
Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales:	Elaboración de un plan de Protección integral de la microcuenca.	875 ha para Protección Forestal	Proyecto Manejo Sostenible de Bosques, ICF, Alcaldía municipal, y Juntas de agua.
<b>Acciones de Mitigación</b>			
Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales	Establecimiento de manejo de sistemas silvopastoriles y agroforestales con especies nativas y de alto valor comercial.	2 parcelas demostrativas establecidas	Alcaldía Municipal y Juntas de agua

### **Sinergias entre adaptación y mitigación**

Las acciones de adaptación y mitigación presentes en el cuadro muestran una serie de sinergias importantes.

1. La reforestación de áreas afectadas por plaga de gorgojo de pino, priorizando áreas cercanas a fuentes de agua, contribuye tanto a la adaptación como a la mitigación. Por un lado, ayuda a proteger las fuentes de agua, lo que es crucial para la adaptación al cambio climático y la disponibilidad de recursos hídricos. Por otro lado, la reforestación de estas áreas contribuye a la mitigación al absorber el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
2. El proceso de educación y capacitación en saneamiento básico en los centros educativos de las comunidades beneficia tanto a la adaptación como a la mitigación. La educación en saneamiento básico ayuda a mejorar la salud y la resiliencia de las comunidades frente a los impactos del cambio climático, al tiempo que puede promover prácticas sostenibles y eficientes en el uso de recursos, lo que contribuye a la mitigación.
3. El plan de protección integral de la microcuenca también tiene un enfoque tanto de adaptación como de mitigación. Al proteger y preservar el ecosistema de la microcuenca, se fortalece la resiliencia de las comunidades locales y se reducen los impactos negativos del cambio climático. Al mismo tiempo, la protección de los bosques y la vegetación contribuyen a la mitigación al actuar como sumideros de carbono y conservar la biodiversidad.
4. El establecimiento de sistemas silvopastoriles y agroforestales con especies nativas y de alto valor comercial contribuye principalmente a la mitigación. Estas prácticas promueven la captura de carbono y la reducción de emisiones, al tiempo que fomentan la diversificación de los sistemas productivos y la generación de ingresos sostenibles.

Las acciones de adaptación y mitigación presentes en el cuadro demuestran una serie de sinergias importantes. La reforestación, la educación en saneamiento básico, el plan de protección integral y el establecimiento de sistemas silvopastoriles y agroforestales contribuyen a la adaptación y a la mitigación, benefician la resiliencia de las comunidades y a la reducción de emisiones y la conservación de los ecosistemas.

### 6.3. Cobeneficios e impactos positivos

Tras la implementación de una serie de acciones de adaptación y mitigación en la Microcuenca Coyolito, es importante destacar los resultados positivos que se han obtenido en la región. Además de mejorar la resiliencia de la zona ante los impactos del cambio climático, estas acciones han generado una serie de cobeneficios e impactos positivos en la economía, la sociedad y el medio ambiente local.

Entre los impactos positivos más destacados se encuentran la mejora de la calidad del agua, la restauración de la biodiversidad, el aumento de los servicios ecosistémicos y la generación de empleos verdes en la región. Asimismo, estas acciones han contribuido a la reducción de la vulnerabilidad de la población local ante los eventos climáticos extremos, mejorando su calidad de vida y protegiendo sus recursos naturales.

Tabla 6. Cobeneficios e impactos positivos de las acciones de adaptación y mitigación.

<b>Cobeneficios e impactos positivos de las acciones de mitigación</b>	
<b>Cobeneficios</b>	<b>Impacto positivo</b>
Reducción de Emisiones de GEI	Las acciones de mitigación también implican la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático y a la disminución de la huella de carbono.
Mejora de la calidad del aire	Las medidas de mitigación pueden ayudar a mejorar la calidad del aire al reducir la contaminación y las emisiones de gases nocivos.
Mejora de los valores estéticos	La implementación de acciones de mitigación puede tener un impacto positivo en los valores estéticos del paisaje, mejorando su apariencia y atractivo visual.
Optimización de la inversión pública y privada	Las acciones de mitigación pueden contribuir a la optimización de la inversión pública y privada al promover medidas eficientes y sostenibles que generan beneficios a largo plazo.
<b>Cobeneficios e impactos positivos de las acciones de adaptación</b>	
Mejora de la calidad del agua	Las medidas de adaptación pueden mejorar la calidad del agua al purificarla y reducir la contaminación, lo que beneficia tanto al ambiente como a la salud de las personas.
Mejora de la accesibilidad de recursos para deporte, cultura, formación y recreación	Las acciones de adaptación pueden mejorar la accesibilidad a recursos recreativos y culturales, lo que promueve el bienestar de la comunidad y fortalece el tejido social.

Atracción para negocios, turismo y economía verde	Las medidas de adaptación que mejoran la resiliencia y la sostenibilidad pueden atraer inversiones, turismo y oportunidades económicas relacionadas con la economía verde.
---	--

En resumen, tanto las acciones de mitigación como las de adaptación en la microcuenca Coyolito generan beneficios ambientales, sociales y económicos. Estas medidas contribuyen a mitigar el cambio climático, mejoran la calidad del aire y del agua, previenen inundaciones, protegen y mejoran los ecosistemas y hábitats, fortalecen la identidad y el sentido de pertenencia de la comunidad, y generan oportunidades económicas y sociales. Es importante destacar que estas acciones muestran la interconexión entre la protección del medio ambiente, la adaptación al cambio climático y el desarrollo sostenible de la comunidad.

#### 6.4. Captura de CO<sub>2</sub> del sector LULUCF/USCUSS en La Microcuenca Coyolito

El uso de la tierra es una actividad humana fundamental que tiene importantes implicaciones en el cambio climático y en la sostenibilidad ambiental. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) es una organización que se dedica a la evaluación científica del cambio climático y sus impactos, y ha desarrollado una serie de criterios para evaluar el uso de la tierra y su relación con el cambio climático.

En la tabla a continuación se presentan las categorías de uso de la tierra en la microcuenca Coyolito, del municipio de San Ignacio, considerando los elementos proporcionados por el IPCC en su informe de 2006. Esta referencia ha sido utilizada para homologar y contextualizar la investigación realizada en el área de estudio.

Tabla 7. Transición y cambios de uso de la tierra en la microcuenca Coyolito

<b>Matriz de transiciones posibles e imposibles</b>	<b>Bosque Latifoliado</b>	<b>Bosque mixto</b>	<b>Bosque de Conífera</b>	<b>Pastos</b>	<b>cultivos</b>
Bosque Latifoliado	Ok	No	No	Si	Si
Bosque mixto	Si	Ok	Si	Si	Si
Bosque de Conífera	No	Si	Ok	Si	Si
Pastos	Si	Si	Si	Ok	Si
Cultivos	Si	Si	Si	No	Ok

Las categorías de uso de la tierra en la microcuenca Coyolito, basado en el informe del IPCC de 2006, proporciona una visión general de la distribución y características de la tierra en el área de estudio. Al utilizar esta referencia reconocida internacionalmente, se garantiza la coherencia y comparabilidad de los resultados de la investigación con otros estudios y perspectivas en el campo del cambio climático y la gestión de los recursos naturales

Los disturbios o alteraciones en el uso de la tierra son una de las principales causas de degradación del suelo y pérdida de la biodiversidad en área de estudio que comprende la microcuenca Coyolito y zonas aledañas. Además, pueden tener importantes implicaciones en el cambio climático y en la sostenibilidad ambiental. Para entender mejor las transiciones en las diferentes categorías de uso de la tierra, se ha desarrollado una tabla con cada una.

Tabla 8. Afectación de disturbios a las diferentes categorías de uso de la tierra

<b>Matriz de afectaciones posibles e imposibles</b>	<b>Incendios</b>	<b>Huracanes/tormentas</b>	<b>Manejo Forestal sostenible</b>	<b>Tala selectiva ilegal</b>	<b>Plaga</b>	<b>Agricultura</b>	<b>Ganadería</b>	<b>Minería</b>	<b>Infraestructura</b>
<b>Bosque Latifoliado</b>	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
<b>Bosque mixto</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Bosque de Conífera</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Pastos</b>	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
<b>Cultivos</b>	Si	Si	No	No	Si	No	Si	Si	Si

La tabla muestra una matriz que presenta las diferentes combinaciones de transiciones posibles e imposibles entre las categorías de uso de la tierra, como bosque latifoliado, bosque mixto, bosque de coníferas, pastos y cultivos. Se observa que algunas transiciones son posibles y se denotan con "Si", mientras que otras son imposibles y se indican con "No". Además, se destaca que algunas categorías tienen transiciones internas marcadas como "Ok", lo que indica que no hay cambios significativos dentro de la misma categoría.

Tabla 9. Análisis de uso y cambio de uso de la tierra.

2014		2015		2016		2017	2018	2019
<b>Bosque Latifoliado</b>	32.3 Ha	32.3 Ha		32.3 Ha		32.3 Ha		
<b>Bosque Mixto</b>	70.89 Ha	70.71 Ha		70.71 Ha		70.24 Ha		
<b>Bosque Conífera</b>	772.68 Ha	247.76Ha	-523.5 Ha	227.86 Ha	-19.9 Ha	226.89Ha	Remoción de Biomasa	Regeneración
<b>Pasto</b>		0.64 Ha		0.64 Ha		0.64 Ha		
<b>Cultivo</b>		0.96 Ha		0.96 Ha		2.4 Ha		

Este análisis de uso y cambio de uso de la tierra ofrece una visión de las transformaciones de la microcuenca Coyolito durante el periodo de estudio. Estos datos pueden ser de utilidad para la toma de decisiones en la planificación territorial y el uso sostenible de la tierra, permitiendo identificar tendencias y áreas de mayor transformación en el paisaje.

Además, este análisis es relevante para evaluar el impacto de las actividades humanas en el uso de la tierra y promover prácticas que contribuyan a la protección de los recursos naturales y la mitigación del cambio climático en la microcuenca Coyolito.

El código de análisis que se presenta a continuación permite evaluar los cambios en el uso de la tierra durante el periodo de estudio y determinar cuáles son las actividades humanas que están contribuyendo a estos cambios. Además, permite evaluar la calidad del uso de la tierra, identificar las áreas que han sido más afectadas por los cambios de uso y determinar las tendencias en el uso de la tierra durante el periodo de estudio.

Código de análisis de uso y cambios de uso de la tierra en un periodo de 5 años que corresponde del 2014 al 2018

$$FMIX/FMIX\_P2015=0.18$$

$$FCON/FCON\_CCOR2015=0.96$$

$$FCON/FCON\_P2015=0.46$$

$$FCON/ FCON\_DPlag2015=523$$

$$FCON/FCON\_Dlag2016=19.9$$

$$FMIX/FMIX\_CCOR2017=0.47$$

$$FCON/FCON\_CCOR2017=0.97$$

Al no existir cambios en las categorías de uso el identificador del uso de la tierra no es agregado al código.

### Captura de CO<sub>2</sub> en la microcuenca Coyolito

La concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera es un indicador crucial del cambio climático, ya que las emisiones de gases de efecto invernadero contribuyen al calentamiento global y a la alteración del clima a nivel mundial.

El gráfico permite visualizar claramente la tendencia de pérdida de CO<sub>2</sub> en el periodo de estudio, en el 2014 la cobertura existente de 875 hectáreas entre bosque latifoliado, conífera y mixto, lo cual era un reservorio de carbono teniendo una captura de 41,366.848 Ton/ CO<sub>2</sub> y para el 2015 se reportó un disturbio de afectación (plaga de gorgojo de pino) lo que provocó una pérdida de 23,841.306 Ton/ CO<sub>2</sub> que dando una captura de 17,525.542 Ton/ CO<sub>2</sub> continuando está perdida hasta el año 2018 en donde se mantiene por lo tanto en función de estos datos se ha iniciado el proceso de restauración funcional del paisaje por lo tanto queda pendiente la información sobre absorción de CO<sub>2</sub> hasta contar con datos de monitoreo de la evaluación por parte del ICF.

Este análisis y visualización gráfica son fundamentales para comprender la dinámica de captura y pérdida de CO<sub>2</sub> en un periodo determinado, lo que a su vez permite tomar decisiones informadas y diseñar políticas y acciones que fomenten la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático.

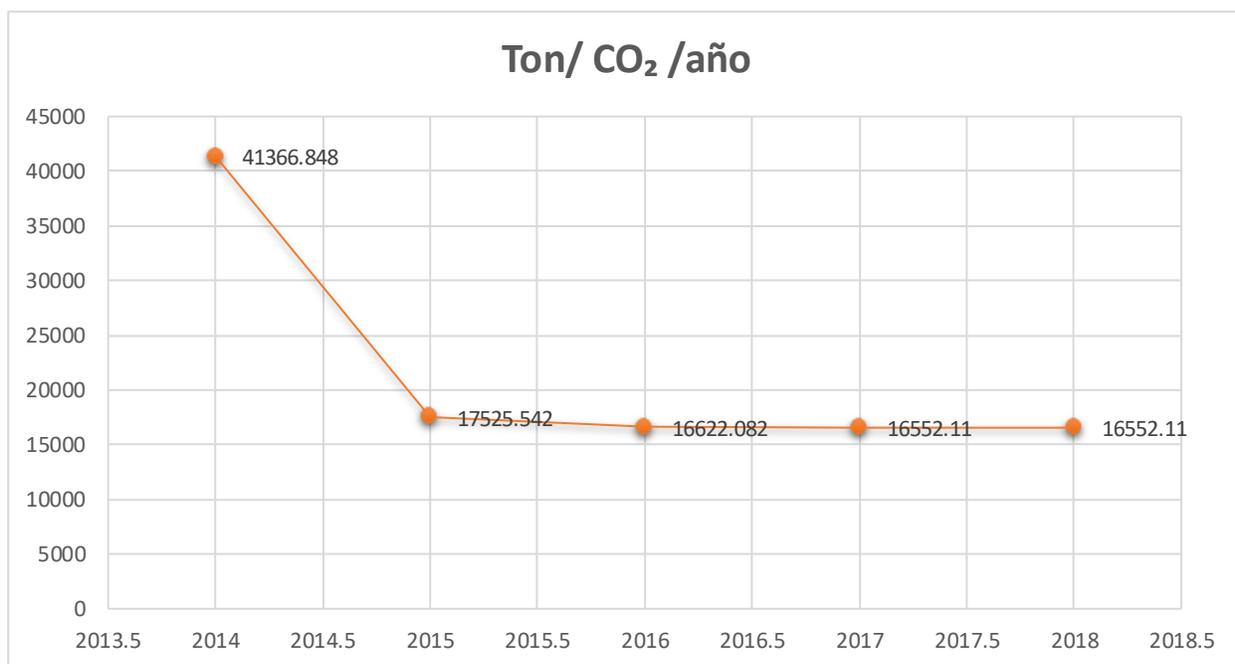


Figura 2. Captura de CO<sub>2</sub> en la microcuenca Coyolito, San Ignacio, Francisco Morazán.  
Fuente: Datos ICF.

El gráfico proporciona una representación visual clara y concisa del impacto negativo del disturbio causado por la plaga de gorgojo de pino en la captura de CO<sub>2</sub> en el área de la microcuenca, lo que tiene implicaciones importantes para la gestión de los ecosistemas y la mitigación del cambio climático.

## 7. CONCLUSIONES

La evaluación de la microcuenca Coyolito ha demostrado la importancia de implementar medidas de adaptación y mitigación para lograr un desarrollo sostenible y equitativo en la zona. Además, se han identificado los cobeneficios e impactos positivos de estas acciones en la restauración y conservación de los recursos naturales, la economía y la población.

Para lograr la restauración del paisaje en la microcuenca Coyolito y avanzar hacia la sostenibilidad, es esencial fortalecer la gobernanza local. La participación y empoderamiento de las comunidades, la colaboración entre actores y la coherencia con las políticas de país relacionadas con el cambio climático y el desarrollo sostenible son elementos clave para alcanzar un futuro más equilibrado, resiliente y próspero para la zona y sus habitantes.

El Índice de Sostenibilidad de Paisajes (ISP) se presenta como una herramienta clave para su aplicación en el marco de una política nacional para el cumplimiento de la meta de restaurar y conservar 1.3 millones de hectáreas de bosque para el año 2030 en Honduras. El análisis de los indicadores del ISP en la microcuenca Coyolito, Francisco Morazán, Honduras, ha demostrado su potencial para fortalecer los esfuerzos de restauración y gestión de ecosistemas y paisajes. Los resultados obtenidos a través del ISP muestran que los esfuerzos de restauración y gestión en la microcuenca están generando resultados positivos, lo que indica que se están dando pasos en la dirección correcta. El índice de Calidad de Agua (1.25), el índice de Biodiversidad del Paisaje (2.46) y el índice de Gobernanza de Paisajes (0.395) son ejemplos de los indicadores que reflejan un progreso alentador en la recuperación y preservación del entorno natural. Sin embargo, también se observan áreas de oportunidad para reforzar acciones y acercarse más a la meta de restaurar y conservar 1.3 millones de hectáreas de bosque en el país. El índice de Caudal (0.04) y el índice de Carbono Adicional (0.002) indican que se deben intensificar los esfuerzos en temas relacionados con el caudal del agua y la captura adicional de carbono en el paisaje. Es fundamental utilizar el ISP como una guía estratégica para enfocar y optimizar los recursos destinados a la restauración de paisajes. Los datos proporcionados por este índice ofrecen una base sólida para la toma de decisiones informadas y la identificación de áreas prioritarias para la implementación de acciones de conservación y restauración. Para alcanzar la meta ambiciosa de restaurar y conservar 1.3 millones de hectáreas de bosque al 2030, es crucial que los gobiernos, las comunidades y los actores relevantes trabajen en conjunto, aprovechando las lecciones aprendidas en la microcuenca Coyolito y aplicando estrategias efectivas en otras áreas del país. El ISP se convierte así en una herramienta indispensable para evaluar el progreso y el impacto de las intervenciones, asegurando que las acciones emprendidas estén en línea con los objetivos de restauración y conservación.

En conclusión, el análisis realizado sobre emisiones/absorciones de CO<sub>2</sub> se ha centrado en estudiar específicamente la captura de carbono en la microcuenca Coyolito, ubicada en San Ignacio, Francisco Morazán, Honduras, utilizando los datos proporcionados por el Instituto de Conservación Forestal (ICF). Estos datos se han enfocado en la información relacionada con la captura de carbono en el sector LULUCF-USCUSS, el cual abarca el uso del suelo y el cambio de uso del suelo en el área de estudio, con especial énfasis en las áreas forestales y agrícolas. Es importante destacar que, a pesar de los esfuerzos realizados, la información sobre las emisiones y absorciones de carbono en el sector AFOLU no ha sido contabilizada en este análisis debido a diversos factores, como la falta de datos y las dificultades asociadas a medir y cuantificar las emisiones en dicho sector. A pesar de esta limitación, los resultados obtenidos proporcionan una valiosa visión sobre la capacidad de captura de carbono en la microcuenca Coyolito en los últimos años, teniendo en cuenta los diferentes disturbios en el área y las principales actividades forestales realizadas y que se planean ejecutar para continuar capturando carbono en el futuro. Este análisis constituye un primer paso en la comprensión del comportamiento de la captura de carbono en la microcuenca Coyolito, lo que brinda información valiosa para futuras investigaciones y acciones destinadas a promover la conservación de los recursos naturales y mitigar el cambio climático en la región. Con el fin de obtener un panorama más completo y preciso, se hace necesario continuar recopilando datos relevantes, especialmente en el sector AFOLU, para una evaluación más integral de las emisiones y absorciones de carbono en el área de estudio.

El estudio en la microcuenca Coyolito contribuye al cumplimiento de los compromisos nacionales e internacionales como la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Estrategia de Descarbonización y destaca la importancia de seguir trabajando en la implementación de medidas de adaptación y mitigación. La evaluación de los disturbios en el uso de la tierra y el monitoreo de las capturas y emisiones de CO<sub>2</sub> son elementos clave para promover prácticas sostenibles y avanzar hacia un futuro más sostenible y equitativo en la zona.

## 8. RECOMENDACIONES

A través de esta investigación se presenta la primera propuesta para determinar el Monitoreo del Índice de Sustentabilidad, por lo que se recomienda replicar las metodologías encontradas para cada componente e impulsar una línea base con cada uno para generar información más fidedigna sobre el monitoreo y reorientar las decisiones para las acciones ejecutadas si es necesario.

Al Instituto Nacional de Conservación Forestal, en su rol de administrador de los recursos naturales a través del Programa Nacional de Reforestación y la Estrategia Nacional de Restauración de Honduras, replicar la herramienta utilizada en este estudio y promover la investigación en otras áreas de interés. Esto permitirá obtener información más amplia sobre los procesos de restauración a nivel nacional. Esta recomendación apunta a fortalecer la Estrategia Nacional de Restauración de Honduras y optimizar los esfuerzos de conservación y restauración del país. La replicación de la herramienta y la promoción de la investigación son pasos cruciales para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los esfuerzos de restauración y la protección de los recursos naturales en Honduras. Así mismo, esta colaboración entre el Instituto Nacional de Conservación Forestal y otras instituciones de investigación y conservación puede fomentar el desarrollo de un enfoque integral y coordinado para enfrentar los desafíos ambientales en el país y avanzar hacia un futuro más sostenible y resiliente.

Para investigaciones futuras se recomienda que se plantee únicamente el Índice de Sustentabilidad ya que sus ocho componentes requieren de una metodología específica cada uno.

Es importante recomendar al ICF que en las actividades de restauración incluyan especies que contribuyan a la seguridad alimentaria y especies que promuevan la floración para albergar la población de abejas en zonas de amortiguamiento. Ya que es importante destacar la crucial importancia de las abejas como polinizadores claves en la biodiversidad de los ecosistemas forestales y en la producción de alimentos promoviendo de esta manera el desarrollo económico de las comunidades locales.

Es necesario que se involucre activamente a la población local y aledaña en las actividades de monitoreo de restauración, especialmente aquellos que aún no se han involucrado. La participación de la comunidad es fundamental para garantizar el éxito a largo plazo de las iniciativas de restauración y para fomentar un sentido de propiedad y responsabilidad compartida hacia los ecosistemas locales

## 9. BIBLIOGRAFIA

Agencia Estratégica de Proyectos Productivos, Ambientales, Sociales de Honduras [AEPAS-H]. (2019). Plan de Restauración de San Ignacio, Francisco Morazán.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2010). Estrategias de adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estrategias-de-Adaptacion-al-Cambio-Climatico-en-Am-rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2012). Mitigación del cambio climático en América Latina y el Caribe. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Mitigacion-del-Cambio-Climatico-en-Am-rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2015). Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos: programa para América Latina y el Caribe. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Indicadores-de-Riesgo-de-Desastre-y-de-Gestion-de-Riesgos-Programa-para-Am-rica-Latina-y-el-Caribe-Per-C3%BA.pdf>

Bark, R. H., Garrick, D. E., Robinson, C. J., & Jackson, S. (2012). Adaptive basin governance and the prospects for meeting Indigenous water claims. *Environmental Science & Policy*, 19-20, 169-177. <https://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2012.03.005>

Bond, N. R., & Lake, P. S. (2003). Local habitat restoration in streams: constraints on the effectiveness of restoration for stream biota. *Ecological Management & Restoration*, 4(3), 193-198. <https://dx.doi.org/10.1046/j.1442-8903.2003.00156.x>

Canadian Council of Ministers of the Environment. (2019). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. <https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf>

Cruz Fajardo, K. F. (2019). Mapeo y análisis de calidad física y química de los suelos agrícolas de la Universidad Nacional Agraria La Molina aplicando herramientas SIG. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3939>

Cundill, G., & Fabricius, C. (2009). Monitoring in adaptive co-management: toward a learning based approach. *Journal of Environmental Management*, 90(11), 3205-3211. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.05.012>

Kuang, W., Hou, Y., Dou, Y., Lu, D., & Yang, S. (2021). Mapping global urban impervious surface and green space fractions using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(20). <https://dx.doi.org/10.3390/rs13204187>

Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre [ICF]. (2020a). Anuario Estadístico Forestal de Honduras. Gobierno de la República de Honduras. <https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2022/04/Anuario-Estadistico-Forestal-de-Honduras-2020-1.pdf>

Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre [ICF]. (2020b). Propuesta. Nivel de referencia de emisiones forestales de Honduras. Gobierno de la República de Honduras. [https://redd.unfccc.int/files/nrf\\_honduras\\_2020\\_sumision\\_modificada.pdf](https://redd.unfccc.int/files/nrf_honduras_2020_sumision_modificada.pdf)

Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre [ICF]. (2016). Plan de manejo de la microcuenca hidrográfica Coyolito Rabi Caliente. Gobierno de la República de Honduras.

Lap, B. Q., Phan, T.-T.-H., Nguyen, H. D., Quang, L. X., Hang, P. T., Phi, N. Q., Hoang, V. T., Linh, P. G., & Hang, B. T. T. (2023). Predicting water quality index (WQI) by feature selection and machine learning: a case study of An Kim Hai irrigation system. *Ecological Informatics*, 74. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.101991>

Li, K., Chen, J., Lin, J., Zhang, H., Xie, Y., Li, Z., & Wang, L. (2022). Identifying ecosystem service trade-offs and their response to landscape patterns at different scales in an agricultural basin in Central China. *Land*, 11(8). <https://dx.doi.org/10.3390/land11081336>

Mcgarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., & Ene, E. (2002). FRAGSTATS v3: spatial pattern analysis program for categorical map. University of Massachusetts, Amherst.

Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. (2020). Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de Costa Rica. Recuperado de [https://www.unfccc.int/sites/default/files/resource/segunda-cndc-de-costa-rica\\_2020\\_0.pdf](https://www.unfccc.int/sites/default/files/resource/segunda-cndc-de-costa-rica_2020_0.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2019). Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. Recuperado de [https://www.unfccc.int/sites/default/files/resource/colombia\\_segunda\\_comunicacion\\_nacional\\_vfinal.pdf](https://www.unfccc.int/sites/default/files/resource/colombia_segunda_comunicacion_nacional_vfinal.pdf)

Municipalidad, Ignacio, S., De San, P., Arany, E., & Municipal, A. (2019). Plan de Desarrollo Comunitario. [https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver\\_documento.php?uid=NDEyNDMxODkzNDc2MzQ4NzEyNDYxOTg3MjM0Mg](https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver_documento.php?uid=NDEyNDMxODkzNDc2MzQ4NzEyNDYxOTg3MjM0Mg).

Roni, P., Beechie, T. J., Bilby, R. E., Leonetti, F. E., Pollock, M. M., & Pess, G. R. (2002). A review of stream restoration techniques and a hierarchical strategy for prioritizing restoration in Pacific Northwest Watersheds. *North American Journal of Fisheries Management*, 22(1), 1-20. [https://dx.doi.org/10.1577/1548-8675\(2002\)022<0001:arosrt>2.0.co;2](https://dx.doi.org/10.1577/1548-8675(2002)022<0001:arosrt>2.0.co;2)

Sánchez, L., & Reyes, O. (2015). Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe. Una revisión general. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf)

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente [MiAmbiente+]. (2019). Primer informe bienal de actualización de Honduras. Gobierno de la República de Honduras. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Primer%20Informe%20Bienal%20de%20Actualizacion%20de%20Honduras.pdf>

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (Mi Ambiente+), a través de la Dirección Nacional de Cambio Climático (DNCC). (2019). Tercera comunicación Nacional sobre Cambio Climático. República de Honduras ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Third%20National%20Communication%20HONDURAS.pdf>

Zamora Cristales, R, Herrador, D., Cuéllar, N., Díaz, O., Kandel, S., Quezada, J., de Larios, S., Molina, G., Rivera, M., Morán Ramírez, W., Jiménez, A., Flores, E., Franco Chuaire, M., Gallardo Lomeli, L., & Vergara, W. (2020). Índice de Sustentabilidad para la Restauración de Paisajes. Una herramienta para el monitoreo de los impactos biofísicos y socioeconómicos de la restauración del paisaje. [https://www.prisma.org.sv/wp-content/uploads/2020/03/indice\\_de\\_sustentabilidad\\_para\\_la\\_restauracion\\_de\\_paisaje.pdf](https://www.prisma.org.sv/wp-content/uploads/2020/03/indice_de_sustentabilidad_para_la_restauracion_de_paisaje.pdf)

Zhang, P., Qu, Y., Qiang, Y., Xiao, Y., Chu, C., & Qin, C. (2023). Indicators, goals, and assessment of the water sustainability in China: a provincial and city – level study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3). <https://dx.doi.org/10.3390/ijerph200324>

## 10. ANEXOS

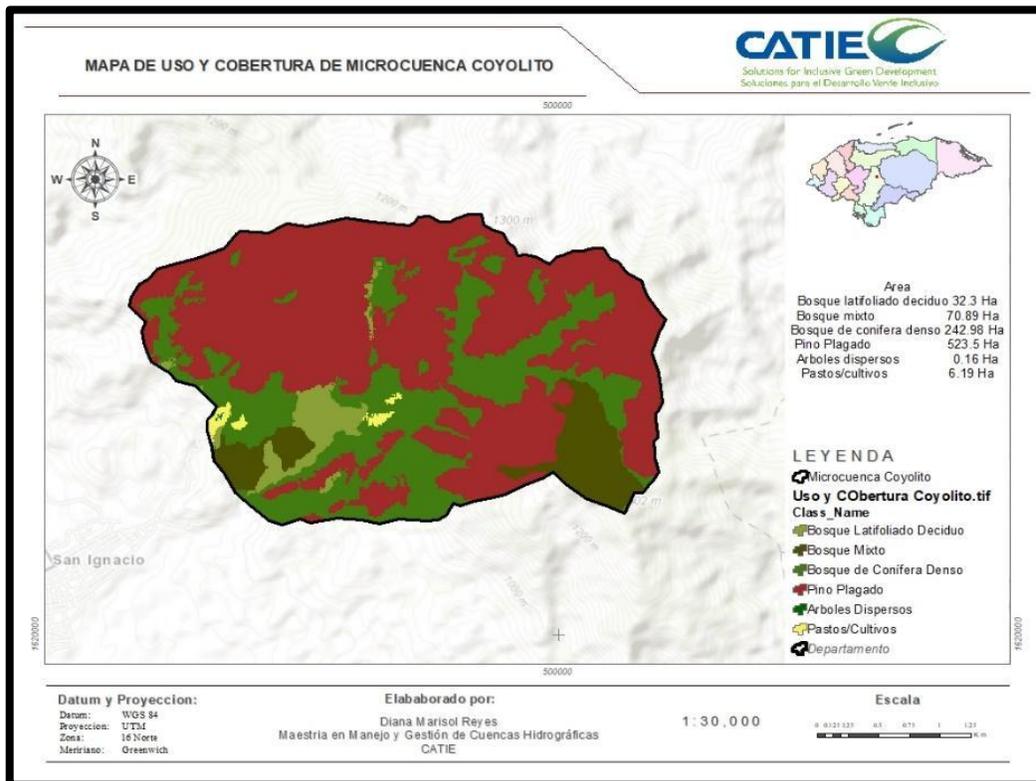


Figura 3. Mapa de uso y cobertura del suelo de la microcuenca Coyolito en San Ignacio, Francisco Morazán.

Fuente: Proyecto MSB

Tabla 10. Cambios en la existencia de Carbono en Tierras Forestales

Actividad REDD+	Categoría uso de la tierra	Subcategoría de uso de la tierra	Biomasa (AGB+BGB)	Gas	Unidades	Ecuación	2014	2015	2016	2017	2018
Conservación de las reservas de carbono	Tierras Forestales	Tierras Forestales que permanecen TF sin disturbio (Balance neto ABG_BGB)	Biomasa (AGB+BGB)	CO2	tC/año	2.9	41366.848	17525.542	16622.082	16552.11	16552.11
		Con disturbio de plagas						1282.57	1331.33	1331.33	1331.33
Degradación Forestal	Tierras no forestales	Tierras Forestales convertidas a cultivos (Balance Neto ABG_BGB)	Biomasa (AGB+BGB)	CO2	tC/año	2.11	IE	IE	IE	IE	IE
	Tierras No Forestales	Tierras Forestales convertidas a pastizales	Biomasa (AGB+BGB)	CO2	tC/año	2.11	IE	IE	IE	IE	IE