

COVER PAGE IN ENGLISH

(solo para artículos en español, portugués o francés)

Study on the Valuation and Market Prefeasibility of the Carbon Capture Ecosystem Service in Livestock Farms Located in the Río Plátano Man and Biosphere Reserve (RHBRP), Honduras

Abstract- Carbon sequestration in livestock farming is essential for mitigating climate change and promoting sustainable production practices. In Honduras, the livestock sector occupies 78% of agricultural land and accounts for approximately 9% of greenhouse gas (GHG) emissions. The MI Biósfera project, funded by the European Union, is being implemented across several livestock farms in the municipality of Dulce Nombre de Culmí. This study aims to characterize livestock farm management, estimate their carbon sequestration potential, and assess their viability for entering carbon markets. To do so, a literature review was conducted on carbon sequestration potential in humid tropical forests and productive livestock systems. Based on this, carbon sequestration scenarios were developed according to the type of vegetation cover present in ten project farms. Productive and financial analysis showed that farms with greater tree cover or silvopastoral systems achieved higher sequestration rates and greater profitability. In addition, it was found that the regulated carbon market of the European Union offering a reference price of USD 70.00 per ton of carbon in February 2025 represents the most favorable option, provided that a Monitoring, Reporting, and Verification (MRV) system is implemented.

Keywords-- Carbon market, livestock farming, sustainability.

Estudio de valoración y prefactibilidad de mercado del servicio ecosistémico de captura de carbono en fincas ganaderas ubicadas en la Reserva del Hombre y Biosfera del Río Plátano (RHBRP), Honduras

Oscar Girón Paiz¹✉; Marco Granadino²✉; Diego Obando³✉

^{1,3}Universidad Zamorano, Honduras, oscar.giron@est.zamorano.edu, dobando@zamorano.edu

²Universidad Zamorano, Honduras, mgranadino0277@gmail.com

Resumen– La captura de carbono en la ganadería es esencial para mitigar el cambio climático y promover prácticas productivas sostenibles. En Honduras, el sector ganadero ocupa el 78% de la tierra agrícola y genera cerca del 9% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El proyecto MI Biósfera, financiado por la Unión Europea, se implementa en diferentes fincas ganaderas del municipio de Dulce Nombre de Culmí. Este estudio tiene el objetivo de caracterizar el manejo de fincas ganaderas, estimar su capacidad de captura de carbono y evaluar su viabilidad para ingresar a mercados de carbono. Para ello se realizó una revisión de literatura de potencialidad de captura de carbono en bosques tropicales húmedos y sistemas productivos ganaderos, posterior a esto se realizaron escenarios de captura de carbono de acuerdo con la cobertura vegetal presente en 10 fincas del proyecto. El análisis productivo y financiero evidenció que las fincas con mayor cobertura arbórea o sistemas silvopastoriles logran mejores tasas de secuestro y rentabilidad. Asimismo, se identificó que el mercado regulado de la Unión Europea, con un precio referencial de USD 70.00 por tonelada de carbono en febrero de 2025, representa la mejor opción, sujeto a la implementación de un sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV).

Palabras clave– Ganadería, mercado de carbono, sostenibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global, impulsado por el efecto invernadero y la presión humana sobre los ecosistemas, ha intensificado la degradación ambiental y la pérdida de biodiversidad a escala global [1,2]. En este contexto, la deforestación se posiciona como un desafío crítico por su relación con la erosión del suelo, la alteración de los ciclos hidrológicos y la reducción de la captura de carbono [3]. A nivel mundial, se pierden cerca de 10 millones de hectáreas de bosque cada año, con 70 millones de hectáreas afectadas por incendios [4]. En América Latina se registraron pérdidas de 36 millones de hectáreas entre 2000 y 2010, mientras que en Honduras se superaron las 36,000 hectáreas entre 2016 y 2018 [5, 6].

El crecimiento del sector ganadero ha incrementado la conversión de bosques a pastizales, contribuyendo a la degradación del suelo y a las emisiones de gases de efecto invernadero. Actualmente, este sector ocupa gran parte de la tierra agrícola mundial y genera alrededor del 12% de las emisiones antropogénicas, con el ganado vacuno como principal fuente [7,8]. Estudios evidencian que más del 90%

de estas emisiones provienen de fuentes directas como la fermentación entérica y el manejo del estiércol [9].

El Protocolo de Kioto marcó un avance en la regulación de emisiones y dio origen a los mercados de carbono, que asignan valor económico a la reducción o captura de GEI [10]. Los mercados regulados exigen reportes obligatorios ante organismos internacionales [11], mientras que los voluntarios permiten la compensación de emisiones [12]. El mercado europeo destaca por su alcance y estabilidad, regulando cerca del 40% de las emisiones de la Unión Europea [13], y promoviendo confianza mediante procesos transparentes [14].

En Honduras, la aprobación de la Ley Especial de las Transacciones de Carbono Forestal ha fortalecido el marco normativo para estos mercados, exigiendo sistemas de Monitoreo, Reporte y Verificación [15]. Aunque el mercado nacional se estima en 32 millones de dólares [16], los precios en mercados voluntarios rondan los 2 USD por tonelada [17], en contraste con mercados regulados que superan los 70 USD, ofreciendo mayores incentivos [18].

La ganadería es un sector clave en Honduras, aportando el 13.9% del PIB agrícola y una proporción relevante del empleo rural, aunque genera el 9% de las emisiones nacionales. El predominio de sistemas extensivos ha degradado entre 2 y 2.5 millones de hectáreas y promovido la deforestación [19]. En la Reserva del Hombre y Biosfera del Río Plátano, la pérdida anual de bosque oscila entre 2,600 y 2,700 hectáreas, con incrementos recientes asociados a limitaciones institucionales [20].

El proyecto MI Biósfera, financiado por la Unión Europea, impulsa la gestión sostenible del paisaje en Dulce Nombre de Culmí mediante asistencia técnica, restauración de áreas degradadas y fortalecimiento del manejo ganadero [21]. En este contexto, la investigación busca valorar el servicio ecosistémico de captura de carbono, analizar su inserción en mercados de carbono y evaluar su prefactibilidad como mecanismo para promover prácticas productivas sostenibles.

A. Metodología

El estudio se desarrolló en un conjunto de diez fincas monitor del proyecto Mi Biósfera, ubicadas en el municipio de Dulce Nombre de Culmí, departamento de Olancho, Honduras (Visualizar figura.1). La información analizada proviene de datos primarios generados por el proyecto, incluyendo planes

de manejo, registros productivos y financieros del año base 2024 [22].

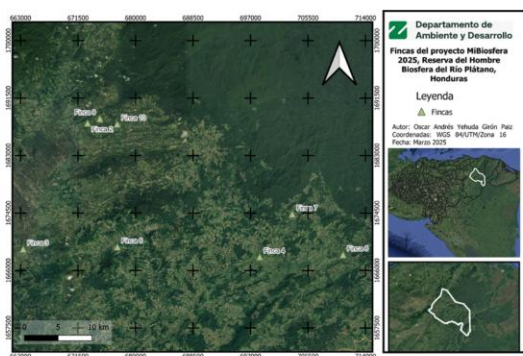


Fig. 1 Ubicación de las fincas del proyecto MI Biósfera 2025

La investigación se estructuró en tres componentes: i) caracterización de las fincas [23, 24, 25], ii) estimación de la captura de carbono y construcción de escenarios [26, 27, 28, 29, 19]. y iii) evaluación de prefactibilidad financiera para la participación en mercados de carbono.

En la fase de caracterización, se aplicó un análisis estadístico descriptivo exploratorio con el fin de identificar patrones productivos, ambientales y financieros. Se analizaron variables como cobertura arbórea, cobertura vegetal, sistema productivo, ingresos, egresos y utilidad neta. Los datos fueron organizados en matrices y procesados mediante herramientas de hoja de cálculo, lo que permitió identificar tendencias centrales y variabilidad entre las unidades productivas.

Para la estimación de la captura de carbono, se realizó una revisión bibliográfica de estudios publicados entre 2000 y 2024 en bases de datos académicas, priorizando investigaciones en sistemas tropicales comparables [30, 31]. A partir de esta revisión, se definieron tasas promedio de captura expresadas en $tCO_2e/ha/año$ para cada tipo de cobertura presente en las fincas, incluyendo bosque, sistemas silvopastoriles, pasturas con árboles, guamiles y pasturas intensivas. Estas tasas fueron asignadas a las áreas correspondientes en cada finca para estimar la captura total anual.

Con base en esta información, se construyeron tres escenarios de captura y valoración económica: i) escenario base sin ingresos por carbono, ii) escenario con captura de carbono considerando únicamente pasturas y sistemas con árboles, y iii) escenario integral que incorpora la captura total incluyendo áreas de bosque. Esta estructura permitió evaluar el efecto incremental del componente forestal en la generación de ingresos.

La evaluación financiera se realizó mediante la construcción de flujos de caja descontados a partir de los ingresos, egresos y costos de producción registrados. Se calcularon tres indicadores: Tasa Interna de Retorno [32]. Valor Actual Neto [33] y Relación Beneficio Costo [34]. Los flujos fueron proyectados bajo un horizonte temporal de diez

años, asumiendo condiciones productivas constantes y sin cambios estructurales en el sistema de manejo.

La tasa de descuento utilizada fue del 7% anual, seleccionada como una aproximación al costo de oportunidad del capital en sistemas productivos ganaderos en contextos latinoamericanos. Este valor se fundamenta en tasas de financiamiento observadas en el sector agropecuario, así como en referencias utilizadas en evaluaciones económicas de proyectos rurales, donde suelen emplearse rangos entre 5% y 10%.

La elección de una tasa del 7% responde a un criterio intermedio que incorpora el riesgo inherente a la actividad ganadera, incluyendo la variabilidad climática, la volatilidad de precios y las limitaciones de acceso a financiamiento. De esta forma, se adopta un enfoque conservador que permite evaluar la rentabilidad de los sistemas bajo condiciones realistas, sin sobreestimar los beneficios económicos asociados [35, 36].

El precio del carbono se fijó en USD 70 por tonelada de CO_2 equivalente, tomando como referencia el mercado regulado de la Unión Europea. Este valor se utilizó para estimar los ingresos potenciales derivados de la venta de créditos de carbono en cada escenario.

Con el fin de evaluar la robustez de los resultados, se realizó un análisis de sensibilidad considerando variaciones en variables clave. Se analizaron tres niveles de precio del carbono (USD 30, 50 y 70 por tCO_2e), tres tasas de descuento (5%, 7% y 10%) y ajustes en los costos asociados a la implementación de sistemas de monitoreo, reporte y verificación.

La implementación de sistemas de Monitoreo, Reporte y Verificación constituye un requisito fundamental en mercados regulados de carbono, donde su estructura suele estar definida y parcialmente respaldada a nivel institucional. En este contexto, una parte de los costos asociados puede ser asumida o facilitada por el Estado o por programas internacionales, lo que reduce la carga directa sobre los productores.

No obstante, persisten costos operativos vinculados a la generación de información, mantenimiento de registros y cumplimiento de estándares, los cuales pueden incidir en la rentabilidad, especialmente en sistemas de pequeña escala. Por tanto, aunque el MRV fortalece la transparencia y validez de los créditos, también representa un componente económico que debe considerarse en la evaluación financiera.

Adicionalmente, se consideraron elementos de riesgo asociados al contexto del estudio, incluyendo la variabilidad del precio del carbono, los costos de certificación y las condiciones institucionales necesarias para acceder a mercados regulados. Estos factores fueron integrados en la interpretación de los resultados financieros.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Descripción de la zona y del sistema productivo

La Reserva del Hombre y Biosfera del Río Plátano (RHBRP) comprende extensas áreas distribuidas entre Gracias

a Dios, Colón y Olancho, organizadas en zonas de amortiguamiento, cultural y núcleo. Esta estructura busca regular el impacto humano, aunque en la zona núcleo persisten actividades no permitidas como ganadería y caza, junto con la pérdida de cobertura forestal [37]. Para 2013, la zona de amortiguamiento había perdido cerca del 61 % de su bosque, la zona cultural un 36.4 % y la zona núcleo un 1.9 % [38]. Estas tendencias reflejan la fuerte presión antrópica asociada al crecimiento poblacional y a la expansión de actividades productivas, especialmente la ganadería, principal fuente de ingresos en los territorios aledaños [39]. A nivel nacional, este sector representa el 13 % del PIB agrícola, aunque enfrenta limitaciones competitivas debido a la distancia entre centros de producción y puntos de comercialización [40].

El análisis de las fincas vinculadas con MI Biósfera muestra que predominan pastos como *Urochloa brizantha*, *Megathyrus maximus* y *Cynodon nlemfuensis*. Las fincas integradas al proyecto presentan mayor uniformidad en el desarrollo forrajero, atribuida a un manejo más eficiente del pastoreo. También destacan la presencia de barreras vivas y fuentes hídricas de calidad que fortalecen el potencial productivo regional. La mayoría de las fincas operan bajo un sistema de doble propósito con prácticas renovadas basadas en pastoreo racional, suplementación estratégica, manejo sanitario y diversificación con cultivos permanentes y forrajes de corte.

La caracterización productiva evidencia una alta variabilidad en el tamaño de las fincas y en los niveles de producción de leche y queso. Algunas fincas transforman la leche en queso como mecanismo de valor agregado y respuesta a limitaciones logísticas, lo cual permite mayor capacidad de almacenamiento y menor frecuencia de comercialización. Estas diferencias reflejan distintos grados de tecnificación, escalas operativas y registros productivos dentro del conjunto de unidades analizadas.

B. Cobertura arbórea

La cobertura arbórea dentro de las fincas favorece el bienestar del ganado al crear zonas frescas y aportar forraje en momentos críticos. Las cercas vivas apoyan la conservación del entorno, sirven como refugio para fauna útil y actúan como sumideros de carbono.

El proyecto impulsó la protección de bosques, el uso de cercas vivas con especies de rápido crecimiento y el mantenimiento de árboles dispersos. Entre los resultados

resalta la finca dos con la mayor densidad de árboles, lo que favorece la biodiversidad, mientras que la finca ocho sobresale por la mayor longitud de cercas vivas. En casos como la finca diez, la baja presencia de árboles puede afectar el bienestar del hato.

En conjunto, los datos muestran que integrar árboles en sistemas ganaderos fortalece la sostenibilidad al mejorar el suelo, regular la temperatura, apoyar la captura de carbono y elevar el rendimiento productivo. Visualizar Tabla I.

TABLA I
COBERTURA ARBÓREA EN 10 FINCAS MONITOR DEL PROYECTO
MI BIÓSFERA 2025

Finca (#)	Árboles dispersos/ha	Cercas vivas (km)	Área de potreros (ha)	Área de finca (ha)
Finca 1	52.69	5.10	52.69	97.44
Finca 2	136.10	10.16	136.10	136.15
Finca 3	86.24	3.27	108.85	236.47
Finca 4	87.20	5.00	87.20	94.65
Finca 5	85.13	4.07	85.13	95.92
Finca 6	33.00	3.60	33.00	33.1
Finca 7	87.80	6.50	87.80	92.7
Finca 8	73.77	12.53	73.77	144.61
Finca 9	42.10	6.00	42.10	52.2
Finca 10	11.60	4.50	11.60	13.03
Total	695.63	60.73	718.24	996.27

C. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal dentro de las fincas influye directamente en su capacidad de almacenar carbono. Los bosques concentran la mayor parte de este almacenamiento, mientras que las pasturas con árboles y los guamiles aportan de forma complementaria y fortalecen la relación entre producción y conservación.

El proyecto impulsó la restauración de áreas degradadas, la zonificación del uso del suelo, la integración de árboles en pasturas y la conversión de potreros degradados hacia sistemas silvopastoriles.

Los resultados muestran que las fincas 1, 2 y 3 tienen el mayor potencial de captura de carbono por su combinación de bosque y pastura con árboles. En cambio, las fincas 4 a 8 presentan poca o nula cobertura arbórea, lo que limita su almacenamiento de carbono y aumenta el riesgo de degradación. Las fincas 9 y 10 poseen una distribución más equilibrada de usos del suelo, lo que favorece la sostenibilidad, aunque con menor capacidad de captura que aquellas con mayor presencia de bosque. Visualizar Tabla II

TABLA II
DISTRIBUCIÓN DE LOS USOS Y COBERTURAS DE 10 FINCAS
MONITOR DEL PROYECTO MI BIÓSFERA 2025

Finca (#)	Bosque		Pastura con árboles		Guamil		Cultivos permanentes		Pastura		Otros		Área total (ha)
	Área (ha)	Distribución	Área (ha)	Distribución	Área (ha)	Distribución	Área (ha)	Distribución	Área (ha)	Distribución	Área (ha)	Distribución	
Finca 1	24.64	25.30%	52.69	54.10%	5.9	6.10%	9.85	10.10%	N/A	N/A	4.36	4.40%	97.44
Finca 2	28.65	21.02%	105.7	77.63%	1.35	0.97%	N/A	N/A	N/A	N/A	0.49	0.34%	136.15
Finca 3	123.62	33%	22.61	10%	N/A	N/A	3	1%	86.24	36%	1	0%	236.47
Finca 4	6.7	7%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	87.2	92%	0.8	1%	94.65
Finca 5	3.35	3.49%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	85.13	88.75%	7.44	7.75%	95.92
Finca 6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	33	99.70%	0.1	0.30%	33.1
Finca 7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.1	0.10%	87.8	94.70%	4.8	5.20%	92.7
Finca 8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	142.24	98.37%	2.37	1.63%	144.61
Finca 9	9.5	18%	N/A	N/A	N/A	N/A	1.4	3%	42.1	79%	0.6	1%	52.2
Finca 10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.6	4.60%	11.6	89%	0.83	6.40%	13.03

D. Caracterización de ingresos y costos

La utilidad neta de las fincas muestra grandes diferencias en rentabilidad. La finca nueve es la más sólida económicamente, con ingresos altos y una buena administración que combina diversificación productiva,

control de costos y manejo adecuado de la cobertura vegetal. En contraste, las fincas dos, tres, siete y ocho presentan pérdidas por costos elevados y una oferta productiva limitada. Las fincas restantes generan utilidades positivas en distintos niveles, destacando la finca cuatro por su manejo eficiente de gastos. En general, los resultados indican que la diversificación, la adopción de Buenas Prácticas Agropecuarias y una gestión financiera ordenada son clave para mejorar la sostenibilidad económica de las fincas. Visualizar Tabla III.

TABLA III
UTILIDAD NETA DE 10 FINCAS MONITOR DEL PROYECTO MI
BIÓSFERA 2025

Finca (#)	Área de finca (ha)	Área de potrero (ha)	Ingresos (USD)	Gastos (USD)	Utilidad (USD)
Finca 1	97.44	52.69	32,088.00	8,212.00	23,876.00
Finca 2	136.15	136.10	32,000.00	67,224.00	-35,224.00
Finca 3	236.47	108.85	600.00	5,512.40	-4,912.40
Finca 4	94.65	87.20	48,160.00	32,812.00	15,348.00
Finca 5	95.92	85.13	21,064.00	9,464.00	11,600.00
Finca 6	33.1	33.00	12,045.52	9,888.20	2,157.32
Finca 7	92.7	87.80	14,566.00	14,728.00	-162.00
Finca 8	144.61	73.77	2200.00	7,632.00	-5432.00
Finca 9	52.2	42.10	212,120.00	14,944.00	197,176.00
Finca 10	13.03	11.60	20,969.40	8,227.00	12,742.40

E. Tasa de captura de carbono

La revisión de literatura permitió identificar cinco estudios representativos sobre las tasas de secuestro de carbono en diferentes tipos de cobertura, enfocándose principalmente en los tipos de cobertura presentadas en las fincas del proyecto MI Biósfera.

El Cuadro 6 muestra los resultados de la revisión de la literatura sobre las tasas de secuestro de carbono según el tipo de cobertura vegetal. Según [31]. los bosques tropicales húmedos se destacan por su gran capacidad de captura, alcanzando un valor de 9.1 tCO₂e/ha/año. En segundo lugar, se encuentran los sistemas silvopastoriles, que presentan una tasa de 6.2 tCO₂e/ha/año, como indican [41]. basándose en estimaciones derivadas de modelos alométricos.

Las pasturas con árboles logran una tasa de 5.6 tCO₂e/ha/año, cifra establecida por [42] a través de estudios de biomasa. En el caso del guamil, [43]. reportaron una tasa de 4.3 tCO₂e/ha/año, obtenida a partir de inventarios forestales.

Por último, para las pasturas intensivas sin árboles, se llevó a cabo una estimación propia, fundamentada en los datos proporcionados por [44]. y el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [30]. teniendo en cuenta las condiciones ecológicas y prácticas de manejo en las fincas del proyecto MI Biósfera. Esta estimación resultó en un promedio de 3 tCO₂e/ha/año, correspondiente a sistemas ganaderos intensivos con especies forrajeras como brizantha, mombaza y estrella, caracterizados por una baja densidad arbórea. Visualizar Tabla IV.

TABLA IV
TASAS DE CAPTURA DE CARBONO DE COBERTURA VEGETAL
PRESENTES EN LAS FINCAS MONITOR DEL PROYECTO MI
BIÓSFERA

Tipo de cobertura vegetal	Metodología de medición	País / Región	Autor(es)	Año	Tasa de secuestro de carbono (tCO ₂ e/ha/año)
Sistema silvopastoral	Modelos alométricos	Costa Rica	Camero	2019	6.2
Bosque tropical húmedo	Sensores remotos	América Latina	FAO (2021)	2021	9.1
Guamil	Inventario forestal	Colombia	Cifuentes et al.	2019	4.3
Pastura con árboles	Estudios de biomasa	México	Arya et al.	2022	5.6
Pastura intensiva sin árboles	Revisión de literatura	Honduras	Estimación propia basada en Rao et al. (2015), IPCC (2019)	2024*	3

F. Análisis del mercado

Con el objetivo de evaluar las oportunidades de comercialización del servicio ecosistémico de captura de carbono generado en las fincas del proyecto MI Biósfera, se realizó una revisión documental de los principales mecanismos de acceso a los mercados de carbono, considerando tanto mercados voluntarios como regulados. La revisión se centró especialmente en el mercado regulado de la Unión Europea, por ser actualmente uno de los más estables, robustos y con mejor rendimiento económico a nivel global. El mercado europeo opera bajo criterios de cumplimiento establecidos en su sistema de comercio de emisiones, ofreciendo un precio referencial de USD 70.00 por tonelada de CO₂ capturado [18]. Este valor supera ampliamente el promedio reportado en los mercados voluntarios, que ronda los USD 2.00 por tonelada, y representa una oportunidad real para fortalecer la rentabilidad de las prácticas sostenibles implementadas en las fincas (Figura 2).

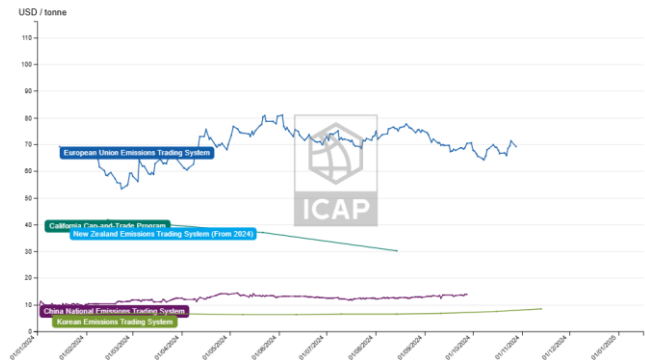


Fig. 2 Comparación de precios (USD/ton) de mercados regulados de carbono de 2024 y 2025

Para asegurar la aplicación y claridad de los proyectos que desean involucrarse en este mercado, se seleccionó el programa “Partnership for Market Readiness” (PMR) como medio de entrada. Este plan, avalado por el Banco Mundial y aprobado por la Unión Europea, ofrece directrices técnicas y regulaciones destinadas a simplificar la inclusión de naciones en vías de desarrollo en los sistemas de mercado de carbono.

Entre sus contribuciones más destacadas se incluyen el robustecimiento de habilidades institucionales, la elaboración de marcos jurídicos y, principalmente, la puesta en marcha de instrumentos de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV).

En los mercados regulados, el sistema MRV es obligatorio, dado que facilita la cuantificación, documentación y actualización periódica de la captura de carbono de forma estandarizada y comprobable. Este instrumento garantiza la integridad ecológica de los créditos de carbono producidos y brinda confianza frente a posibles compradores internacionales. Para las propiedades del proyecto MI Biósfera, ya se disponen de estimaciones fundamentadas en la cobertura de vegetación, tasas de captura por tipo de uso del suelo y escenarios de secuestro total anual, lo que ofrece una base firme para comenzar la implementación de un sistema MRV ajustado al entorno local.

Asimismo, se identificó que Honduras ha avanzado en la construcción de un entorno normativo favorable, gracias a la reciente aprobación de la Ley Especial de las Transacciones de Carbono Forestal para la Justicia Climática [15], la cual define procedimientos jurídicos para la inclusión equitativa de productores de zonas rurales y comunidades locales en el intercambio de carbono. Esta normativa apoya la implementación de proyectos de captura y establece criterios para la repartición justa de beneficios, incluyendo la determinación de derechos sobre el carbono capturado y los requisitos para ser elegible para recibir pagos por servicios ecosistémicos.

G. Prefactibilidad de implementar mercados de carbono

Lo esencial del análisis es que los indicadores financieros muestran que, sin ingresos por bonos de carbono, la mayoría de las fincas no alcanzan una rentabilidad suficiente, con TIR y VAN negativos. La única excepción destacable es la finca nueve, que presenta un VAN positivo gracias a una buena gestión productiva y financiera.

Cuando se incorporan ingresos por captura de carbono, el panorama mejora de forma marcada, especialmente en el escenario con bosque. Fincas que inicialmente tenían resultados negativos, como la finca tres y la finca ocho, pasan a ser rentables al aprovechar el potencial de sus coberturas arbóreas. El escenario sin bosque ofrece mejoras menores, lo que confirma que la presencia de vegetación con alta capacidad de captura es decisiva para incrementar los beneficios.

Aun con estos incentivos, algunas fincas con manejo intensivo y poca cobertura vegetal siguen mostrando resultados desfavorables, lo que evidencia la necesidad de integrar árboles, restaurar áreas y fortalecer prácticas sustentables.

En conjunto, los resultados demuestran que los bonos de carbono pueden transformar la viabilidad económica de las fincas, sobre todo cuando existe una cobertura vegetal robusta. Estudios en México respaldan esta relación entre manejo sostenible y mayor competitividad en mercados de carbono, tanto en sistemas silvopastoriles como en comunidades

forestales que participan en programas de servicios ambientales. Visualizar Tabla V.

TABLA V
 COMPARACIÓN DE INDICADORES FINANCIEROS Y CAPTURA DE CARBONO EN FINCAS GANADERAS BAJO ESCENARIOS CON Y SIN COBERTURA BOSCOsa (2024–2025)

Finca (#)	Totál sin bosque	Totál con bosque	TIR			VAN			R.B/C		
	1000 de laño	1000 de laño	Actual (%)	Sin Bosque 2025 (%)	Con bosque 2025 (%)	Actual (USD)	Sin Bosque 2025 (USD)	Con bosque 2025 (USD)	Actual	Sin Bosque 2025	Con Bosque 2025
Finca 1	320.434	544.658	-9%	-5%	-3%	-38,515.72	-21,555.13	-9,686.94	0.14	0.23	0.30
Finca 2	597.639	838.172	N/A	-11%	-8%	-49,369.54	-37,736.47	-23,946.45	0.13	0.25	0.31
Finca 3	385.336	1510.278	N/A	4%	17%	-6,623.67	13,772.18	73,315.43	0.02	0.84	3.27
Finca 4	261.6	322.57	N/A	-9%	-6%	-21,896.87	-8,050.37	-4,823.22	0.61	0.81	0.86
Finca 5	255.39	285.875	-18%	-8%	-8%	-41,389.16	-27,871.35	-26,257.78	0.17	0.26	0.28
Finca 6	99	99	-17%	-8%	-8%	-8,431.00	-3,190.95	-3,190.95	0.24	0.35	0.35
Finca 7	263.4	263.4	N/A	-7%	-7%	-17,170.42	-3,228.64	-3,228.64	0.19	0.38	0.38
Finca 8	426.72	426.72	N/A	0%	0%	-9,777.27	12,809.05	12,809.05	0.04	0.65	0.65
Finca 9	126.3	212.75	3%	3%	4%	66,469.08	73,154.15	77,729.95	0.67	0.69	0.72
Finca 10	34.8	34.8	-24%	-21%	-21%	-106,819.06	-104,977.09	-104,977.09	0.07	0.08	0.08

H. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad del valor actual neto mostró una relación positiva entre el precio del carbono y la rentabilidad de las fincas, con una respuesta diferenciada entre unidades productivas. El incremento de 30 a 70 USD por tonelada generó aumentos del VAN en ambos sistemas, siendo más pronunciados en el sistema con cobertura boscosa. Visualizar Tabla VI.

TABLA VI
 COMPARACIÓN DE VAN EN DIFERENTES ESCENARIOS

Sistema con cobertura boscosa						Sistema sin cobertura boscosa					
Finca	30 USD	50 USD	70 USD	Cambio de VAN (30→70)	Cambio en %	Finca	30 USD	50 USD	70 USD	Cambio de VAN (30→70)	Cambio en %
#1	\$ -26,160.53	\$ -17,923.74	\$ -9,686.94	\$ 16,473.59	63.00%	#1	\$ -31,246.90	\$ -26,401.02	\$ -21,555.13	\$ 9,691.77	31.00%
#2	\$ -49,902.50	\$ -36,924.47	\$ -23,946.45	\$ 25,956.05	52.00%	#2	\$ -55,812.51	\$ -46,774.49	\$ -37,736.47	\$ 18,076.04	32.40%
#3	\$ 27,635.94	\$ 30,475.68	\$ 73,315.43	\$ 45,679.49	165.30%	#3	\$ 2,117.41	\$ 7,944.79	\$ 13,772.18	\$ 11,654.77	550.30%
#4	\$ -14,579.59	\$ -9,701.41	\$ -4,823.22	\$ 9,756.37	66.90%	#4	\$ -15,962.65	\$ -12,006.51	\$ -8,050.37	\$ 7,912.28	49.60%
#5	\$ -34,904.28	\$ -30,581.03	\$ -26,257.78	\$ 8,646.50	24.80%	#5	\$ -35,595.81	\$ -31,733.58	\$ -27,871.35	\$ 7,724.46	21.70%
#6	\$ -6,185.26	\$ -4,688.09	\$ -3,190.95	\$ 2,994.33	48.40%	#6	\$ -6,185.26	\$ -4,688.09	\$ -3,190.95	\$ 2,994.33	48.40%
#7	\$ -11,195.37	\$ -7,212.01	\$ -3,228.64	\$ 7,966.73	71.20%	#7	\$ -11,195.37	\$ -7,212.01	\$ -3,228.64	\$ 7,966.73	71.20%
#8	\$ -97.42	\$ 6,355.81	\$ 12,809.05	\$ 12,906.47	—	#8	\$ -97.42	\$ 6,355.81	\$ 12,809.05	\$ 12,906.47	—
#9	\$ 71,295.17	\$ 74,512.56	\$ 77,729.95	\$ 6,434.78	9.00%	#9	\$ 69,334.11	\$ 71,244.13	\$ 73,154.15	\$ 3,820.04	5.50%
#10	\$ -106,029.64	\$ -105,503.37	\$ -104,977.09	\$ 1,052.55	1.00%	#10	\$ -106,029.64	\$ -105,503.37	\$ -104,977.09	\$ 1,052.55	1.00%

En este sistema, la finca 3 presentó el mayor incremento, evidenciando una alta sensibilidad al precio del carbono, mientras que la finca 8 mostró un cambio de valores negativos a positivos, indicando un punto de equilibrio dependiente del mercado. Por su parte, la finca 9 mantuvo valores positivos en todos los escenarios, reflejando estabilidad económica, mientras que la finca 10 presentó valores negativos persistentes, lo que sugiere limitaciones estructurales.

Estos resultados confirman que la respuesta al precio del carbono no es homogénea y depende de las condiciones productivas y de manejo de cada finca. No obstante, la viabilidad del sistema está sujeta a factores externos como la variabilidad del precio del carbono, los costos asociados al MRV y las limitaciones institucionales. Asimismo, la muestra evaluada limita la generalización de los resultados, aunque

permite identificar tendencias claras en el comportamiento económico de los sistemas analizados.

I. Riesgo país y riesgo de mercado

El análisis económico está condicionado por el riesgo país y el riesgo de mercado. El riesgo país influye en el costo de capital, reflejado en las tasas de descuento evaluadas, incidiendo en la estabilidad de la inversión y en la valoración financiera del proyecto. En este estudio, al incrementar la tasa de descuento de 7% a 10%, se observó una reducción consistente en el VAN y en la relación beneficio costo, evidenciando la sensibilidad del proyecto ante cambios en el costo de capital.

Por otro lado, el riesgo de mercado está asociado a la volatilidad del precio del carbono y a la incertidumbre en los ingresos proyectados. Los escenarios evaluados muestran que, bajo precios de carbono de 30 USD por tonelada, la mayoría de las fincas presenta indicadores financieros negativos, mientras que a 70 USD por tonelada se observa una mayor viabilidad económica, con incrementos en el VAN y la TIR. Esto evidencia una alta dependencia del proyecto respecto al comportamiento del mercado de carbono.

Dado que el estudio se evaluó bajo el criterio de mercados regulados, se trabajó con una tasa de descuento del 7% correspondiente al contexto de Honduras y con un precio de 70 USD por tonelada, consistente con valores observados en el mercado europeo. En este contexto, no se incorporaron de forma explícita costos de certificación, considerando que en esquemas regulados estos suelen ser asumidos o gestionados a nivel institucional.

En conjunto, ambos factores afectan de forma directa la viabilidad económica, por lo que su incorporación permite una interpretación más robusta de los resultados y resalta la necesidad de considerar escenarios de precio y variaciones en las tasas de descuento en proyectos de captura de carbono.

III. CONCLUSIONES

La caracterización reveló una diversidad de aspectos productivos, ambientales y financieros en el manejo de las fincas monitor del proyecto MI Biósfera. Se identificó que las fincas 9, 1 y 4 desarrollan una gestión integral del sistema, incorporando prácticas esenciales como la diversificación de pastos y transformación de productos, específicamente el queso. Estas prácticas, vinculadas a inversiones estratégicas en infraestructura y manejo del hato, han permitido mejorar la eficiencia y rentabilidad de las fincas.

El análisis del escenario de secuestro de carbono evidenció que la presencia de coberturas forestales y de pasturas con árboles impactan de manera positiva en la capacidad de secuestro de carbono en sistemas productivos ganaderos en la RHBRP. Se demostró que las fincas 1, 2 y 3 mantienen extensiones grandes de bosques y de pasturas con árboles, lo que permite que estas fincas alcancen los niveles más altos de captura de carbono. De estas, en la finca 3, el

secuestro de carbono bajo el escenario con bosque ascendería a 1,510.278 tCO₂e/año, siendo la finca con mayor secuestro.

El estudio financiero realizado evidenció que la inclusión de bonos de carbono impactaría de forma positiva y relevante en la rentabilidad de las fincas ganaderas del proyecto MI Biósfera. Los indicadores financieros muestran que las fincas 3 y 8 pasaron a ser rentables al integrar los potenciales ingresos derivados de la venta de bonos de carbono.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al proyecto MI Biósfera por proporcionarme los datos y apoyo técnico en este proyecto de graduación.

REFERENCIAS

- [1] Comisión Europea, *Causas del cambio climático*. [Online]. Available: https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_es (accessed: Feb. 14 2025).
- [2] G. Díaz, "Cambio Climático," *Ciencia y Sociedad*, vol. 37, no. 2, pp. 227–240, 2012. [Online]. Available: <https://intranetrepository.intec.edu.do/server/api/core/bitstreams/3bacdd56-e4ef-4b1f-a2eb-d5cced4f44aa/content>
- [3] M. García, "La deforestación: una práctica que agota nuestra biodiversidad," *Rev. P+L*, vol. 11, no. 2, pp. 161–168, 2016, doi: 10.22507/pml.v11n2a13.
- [4] Food and Agriculture Organization (FAO), *Aprovechar la tecnología y la innovación para transformar nuestros bosques*. [Online]. Available: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6dad5547-1d25-4e36-855f-45e20c07b66e/content> (accessed: Feb. 14 2025).
- [5] J. Tamayo, "Plan de mitigación de la deforestación en el sector de la construcción: implementación de la norma ISO 140," Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia, 2024. Accessed: Feb. 14 2025. [Online]. Available: <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/8c972466-58e0-41b5-8e4d-46f73814f8d7/content>
- [6] C. Acosta, H. Chávez, and J. Ríos, "Honduras: Emissiones Sector Forestal," 2023. [Online]. Available: <https://www.carbonocero.sustentahonduras.org/wp-content/uploads/2023/03/Bosques.pdf>
- [7] R. Pérez, "El lado oscuro de la ganadería," *Problemas del desarrollo*, vol. 39, no. 154, 2008. [Online]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s0301-70362008000300011&script=sci_arttext
- [8] Food and Agriculture Organization (FAO), *Pathways towards lower emissions*: FAO, 2023.
- [9] Z. Chen *et al.*, "Assessment of regional greenhouse gas emission from beef cattle production: A case study of Saskatchewan in Canada," *Journal of Environmental Management*, vol. 264, no. 110443, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110443.
- [10] E. Grisales and J. Patiño, *Vista de El mercado de bonos de carbono y su aplicación para proyectos hidroeléctricos*. [Online]. Available: <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/53/55> (accessed: Apr. 29 2025).
- [11] M. Estrada, "Evolución y controversias de los bonos de carbono en México," *Semest. econ.*, vol. 11, no. 1, pp. 127–133, 2022, doi: 10.26867/se.2022.v11i1.132.
- [12] F. Society, *Funds Society La COP26 y los mercados de carbono: ¿cuáles son las implicaciones para los inversores?* [Online]. Available: <https://www.fundssociety.com/es/opinion/bmo22-la-cop26-y-los-mercados-de-carbono-cuales-son-las-implicaciones-para-los-inversores/> (accessed: Feb. 14 2025).
- [13] Parlamento Europeo, "Reducir las emisiones de carbono: objetivos y políticas de la UE | Noticias | Parlamento Europeo," 2024. [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/3/story/20180305STO99003/20180305STO99003_es.pdf

- [14] Rodríguez and Ángela, "Efectividad del impuesto al carbono y mecanismo de no causación para mitigar el cambio climático en Colombia," Tesis de posgrado, Universidad de los Andes, Colombia, 2023. Accessed: Feb. 14 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/8c7f882b-be00-4b45-9e1e-7e037ad91528>
- [15] Congreso Nacional de Honduras, "Decreto-54-2023," 2023. [Online]. Available: <https://www.tsc.gob.hn/web/leyes/Decreto-54-2023.pdf>
- [16] C. Maradiaga, "Honduras busca entrar en el mercado de carbono sin claridad sobre su regulación," *Contracorriente Honduras*, 2023, 2023. <https://contracorriente.red/2023/05/08/honduras-busca-entrar-en-el-mercado-de-carbono-sin-claridad-sobre-su-regulacion/> (accessed: Feb. 14 2025).
- [17] A. Codrington, *Precio del carbono: definición y estado actual*. [Online]. Available: <https://www.carbonneutralplus.com/precio-de-carbono-interno/> (accessed: Feb. 14 2025).
- [18] International Carbon Action Partnership (ICAP), *Allowance Price Explorer*. [Online]. Available: <https://icapcarbonaction.com/es/node/839> (accessed: Feb. 14 2025).
- [19] Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), "NAMA para un sector ganadero bajo en carbono y resiliente al clima en Honduras," 2023. [Online]. Available: <https://unepccc.org/wp-content/uploads/2018/01/honduras-livestock-spanish-final.pdf>
- [20] T. Gomez, *Honduras: deforestación amenaza la zona cultural de la Biosfera Río Plátano*. [Online]. Available: <https://es.mongabay.com/2021/10/honduras-deforestacion-zona-cultural-de-biosfera-rio-platano/> (accessed: May 7 2025).
- [21] J. Flores, O. Girón, M. Granadino, A. Manueles, and B. Trejos, "Servicios ecosistémicos en fincas ganaderas del proyecto Mi Biósfera," Informe de asesoría técnica, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras, 2024.
- [22] G. Flores, "Rentabilidad financiera de fincas monitor en el Proyecto Mi Biósfera Olancho, Honduras," Proyecto especial de graduación, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras, 2024. Accessed: May 12 2025. [Online]. Available: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/28c97484-67bb-40f1-adf1-cc4c3e42a9bd/content>
- [23] Acces Agriculture, *Barreras vivas para proteger el suelo*. [Online]. Available: <https://www.accessagriculture.org/es/barreras-vivas-para-proteger-el-suelo> (accessed: Apr. 29 2025).
- [24] J. Lerma, P. Bacca, B. Castro, and J. Cardona, "Sistemas silvopastoriles: una opción para la sostenibilidad de los sistemas ganaderos de alta montaña," (in Español), *Pastos y Forrajes*, vol. 46, pp. 1–9, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269176991015>
- [25] Food and Agriculture Organization (FAO), *Apéndice 2. Términos y definiciones*. [Online]. Available: <https://www.fao.org/4/y1997s/y1997s1q.htm> (accessed: Apr. 29 2025).
- [26] Banrepcultural, "Ingresos - Enciclopedia | La Red Cultural del Banco de la República," *Enciclopedia | La Red Cultural del Banco de la República*, 19 Nov., 2018. <https://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php?title=Ingresos> (accessed: Apr. 29 2025).
- [27] CntPaquiComercial, *Ingresos y Egresos*. [Online]. Available: https://conocimiento.blob.core.windows.net/conocimiento/Manuales/CONTPAQI_Comercial_Start_Pro/ingresos_y_egresos.html (accessed: Feb. 14 2025).
- [28] Siigo, *¿Qué son los gastos en contabilidad?* [Online]. Available: <https://www.siigo.com/blog/contador/que-son-los-gastos-en-contabilidad/> (accessed: Feb. 14 2025).
- [29] C. MacNeil, *Análisis costo beneficio: Pasos, ejemplos y plantilla GRATIS [2025]*. [Online]. Available: <https://asana.com/es/resources/cost-benefit-analysis> (accessed: Feb. 14 2025).
- [30] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories — IPCC*. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/> (accessed: Apr. 29 2025).
- [31] Food and Agriculture Organization (FAO), "Carbon sequestration in pasture and silvopastoral systems compared with native forests in ecosystems of tropical America," 2021. [Online]. Available: <https://www.fao.org/4/i1880e/i1880e06.pdf>
- [32] A. E. Boardman, D. H. Greenberg, A. R. Vining, and D. L. Weimer, *Cost-Benefit Analysis*: Cambridge University Press, 2018. Accessed: Apr. 29 2025. [Online]. Available: https://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/E5V5H3_Cost-benefit%20analysis%20_%202018.pdf
- [33] R. A. Brealey, S. C. Myers, F. Allen, and A. Edmans, *Principles of corporate finance*. New York, NY: McGraw Hill, 2023.
- [34] S. A. Ross, R. Westerfield, and B. D. Jordan, *Fundamentals of corporate finance*, 2024th ed. New York NY: McGraw Hill LLC, 2024. [Online]. Available: <https://www.mheducation.com/highered/product/Fundamentals-of-Corporate-Finance-Ross.html>
- [35] Banco Nacional de Desarrollo Agrícola (BANADESA), *Primer trimestre de 2024 cierra con una colocación de 127 millones de lempiras - BANADESA*. [Online]. Available: https://banadesa.hn/noticias-recientes/primer-trimestre-de-2024-cierra-con-una-colocacion-de-127-millones-de-lempiras/?utm_source=chatgpt.com (accessed: May 19 2025).
- [36] Financiera Comercial Hondureña S.A (FICHOSA), *Tipo de Cambio | Fichosa*. [Online]. Available: <https://www.fichosa.com/hn/honduras/tipo-cambio> (accessed: May 20 2025).
- [37] W. Cerrato, "Plan-de-Manejo Version-Final_RHBRP abril-201-4," 2021. [Online]. Available: https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2021/08/Plan-de-Manejo_Version-Final_RHBRP_abril-201-4.pdf
- [38] Instituto de Conservación Forestal (ICF), "Informe del estado de conservación sitio de patrimonio mundial natural No. 196 Reserva del Hombre y la Biósfera Río Plátano," 2015. [Online]. Available: https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2021/08/INFORME-RHBRP_SITIO-DE-PATRIMONIO_UNESCO-2015-FINAL.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [39] H. Maradiaga and I. Pérez, *Ganadería ilegal ataca el corazón de la Biósfera del Río Plátano en Honduras*. [Online]. Available: https://es.mongabay.com/2018/11/ganaderia-ilegal-biosfera-del-rio-platano-honduras/?utm_source=chatgpt.com (accessed: May 7 2025).
- [40] F. Canu, P. Wretling, I. Audia, D. Tobar, and H. Andrade, "honduras-livestock-spanish-final," 2018. [Online]. Available: <https://unepccc.org/wp-content/uploads/2018/01/honduras-livestock-spanish-final.pdf>
- [41] Food and Agriculture Organization, *Carbon sequestration in pasture and silvopastoral systems compared with native forests in ecosystems of tropical America*. 2021. Disponible en: <https://www.fao.org/4/i1880e/i1880e06.pdf>
- [42] L. Camero, "Fijación de carbono en un sistema silvopastoril (Erythrina berteriana Urban y Brachiaria brizantha CV Toledo) de una explotación lechera en la Región Huasteca Norte de Costa Rica," *Revista AgroInnovación en el Trópico Húmedo*, vol. 2, no. 2, pp. 19–26, 2019. Disponible en: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/agroinn/article/view/5194>
- [43] D. R. Aryal et al., "Silvopastoral systems and remnant forests enhance carbon storage in livestock-dominated landscapes in Mexico," *Scientific Reports*, vol. 12, Art. no. 16769, 2022. doi: 10.1038/s41598-022-21089-4
- [44] R. K. Bhomia, J. B. Kauffman y T. N. McFadden, "Ecosystem carbon stocks of mangrove forests along the Pacific and Caribbean coasts of Honduras," *Wetlands Ecology and Management*, vol. 24, no. 2, pp. 187–201, 2016. doi: 10.1007/s11273-016-9483-1