UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

ESTIMACIÓN DEL SECUESTRO DE CARBONO COMO SERVICIO AMBIENTAL DE REGULACIÓN Y SOPORTE EN LA PARROQUIA FÁTIMA CANTÓN PASTAZA

AUTOR (ES):

Medina Changobalín Blenda Gianella

Quiroga López Sonia Michelle

DOCENTE-TUTOR:

Msc. Danilo Pedro Sarabia Guevara

Puyo-Pastaza-Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple con su propósito
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	La conclusión presentada es ambigua
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple con su propósito
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Cumple con su propósito
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple con su propósito

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Cumple con su propósito
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple con su propósito
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple con su propósito
VALORACIÓN TOTAL	100	Muy buen trabajo, felicitaciones.

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:

PAUL MARCELO MANOBANDA PINTO

Paúl Marcelo Manobanda Pinto
PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 10 días del mes de agosto de 2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100)puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de laidea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que secumplen.	4/5	Cumple parcialmente con los criterios
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué setrata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumple con los criterios Existe una clara mejora con respecto ala revisión anterior.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación delproblema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple con los criterios
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articuladocon los objetivos. Entrega conceptos de términos que sonempleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual conadecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Cumple con los criterios
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información yobtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con quese abordó la información.	10/15	Existe una mejora clara con respecto a la revisión anterior, más, falta describir el tipo de investigación desarrollada deforma clara.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc.Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	20/25	Existe una clara mejora con respecto ala revisión anterior, más, se mantiene varios argumentos que no se sustentancon los resultados obtenidos de forma adecuada. No concuerdo con la tabla 1. "que el bosque (B2) presentó una menor cantidad de especies, géneros y familias reportadas."
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras yprecisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultadosobtenidos.	7/10	Existe una clara mejora con respecto ala revisión anterior, falta mayor reflexión sobre los resultados obtenidos.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas,fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen lafuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple con los criterios
VALORACIÓN TOTAL	86	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documentorevisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	**X**
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	**86**

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ANDREA CAROLINA BELTRAN CONLAGO

Msc. Andrea Carolina Beltrán Conlago

Dado en la ciudad de Puyo, a los 11 días del mes de agosto de 2022.

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 04 – 08 - 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular, correspondiente a la estudiante: Medina Changobalin Blenda Gianella, con C.I. 1805255823, con el Tema: "Estimación del secuestro de carbono como servicio ambiental de regulación y soporte en la parroquia Fátima cantón Pastaza", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, Danilo Pedro Sarabia Guevara, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 8%, Informe generado con fecha, 04-08-2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA

Danilo Pedro Sarabia Guevara
Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	Estimación del secuestro de carbono como servicio ambiental de regulación y soport e en la parroquia Fátima cantón Pastaza 2.doc (D142658282)
Submitted	8/4/2022 4:41:00 PM
Submitted by	
Submitter email	dsarabiag@uea.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	dsarabiag.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W URL: https://www.researchgate.net/publication/242169804_EL_SECUESTRO_DE_CARBONO_EN_LA_AGRICULTURA_Y_SU_IMPORTANCIA_CON_EL_CALENTAMIENTO_GLOBAL
Fetched: 12/14/2019 2:28:34 PM

W URL: https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19315/BVE21128138e.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Fetched: 7/22/2022 7:27:11 PM

W URL: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5541/Taipe%20Rodriguez%20Alex%20Jersson%20.pdf?sequence=1
Fetched: 11/26/2021 10:09:20 PM

Entire Document

1. Introducción
En los últimos años, se ha incrementado la preocupación de la población por el cambio climático y la emisión de gases de efecto invernadero, pues ya está demostrado que la contaminación d
atmósfera terrestre afecta las temperaturas y, consecuentemente, los ecosistemas que albergan innumerables especies que se ven en peligro de extinción. Uno de los gases de efecto invernade
dióxido de carbono (CO2), y se conoce que para el año 2014 los países que emitieron mayores cantidades de CO2 fueron China, Estados Unidos, los países de la Unión Europea, India, Rusia y Ja
Según el estudio que plantean Arroyo y Miguel (2019) los principales emisores de CO2 son las industrias de combustibles fósiles, producción de cemento y quema de gases. Asimismo, se recon
entre las principales fuentes de contaminación del aire se encuentran los medios de transporte ineficientes, la quema de combustibles en los hogares, quema de desechos, centrales eléctricas y
actividades industriales.
En el contexto ecuatoriano y según datos del Ministerio del Ambiente (2016), el sector energético es uno de los que produce el 36% de las emisiones de CO2, al igual que la industria del transpo
industrias manufactureras y de construcción, petróleo y gas natural. Aunque se reconoce que es importante reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en un país com
Ecuador que alberga ecosistemas con un clima único, se vuelve complejo definir cuáles son las medidas que se deberían poner en marcha para lograrlo, considerando que los sectores que más
contaminan son también los que más fuentes de empleo e ingresos económicos significan para el país.
Por una parte, los pequeños y medianos agricultores representan el 95,5% de las unidades productivas agropecuarias del país. Las unidades de producción menores de 20 hectáreas aportan el 4
la producción de leche, el 63% de la producción de papa, el 46% de la producción de maíz y el 48% de la producción de arroz. Sin embargo, este sector también es uno de los principales emiso
gases de efecto invernadero, pues según estadísticas, en Ecuador, estas emisiones pasaron de alrededor de 159 millones de toneladas de carbono equivalente (CO2-eq) en 1990 a 210 millones
toneladas de CO2-eq en 2006, es decir, hubo un aumento del 24% en 16 años, con un promedio de 1,5% anual (Ministerio del Ambiente, 2012).
El carbono del suelo tiende a aumentar con la labranza de conservación porque se oxida menos materia orgánica del

46% **MATCHING BLOCK 1/14** W

suelo y la temperatura tiende a bajar debido a la menor descomposición. La labranza de conservación puede aumentar la cantidad de COS al promover un entorno que favorece la

descomposición fúngica en lugar de la bacteriana. El deterioro por hongos es más persistente que el deterioro por bacterias (Retana et al., 2019).
Al ser Pastaza una provincia muy verde, la mayor parte de su superficie de suelo está ocupada por bosque amazónico y durante el proceso de restauración mantiene un bosque secundario don
existen varias familias de plantas nativas amazónicas como: Bombaceas, Bignonaceae, Compositae, Cecropias, Tiliaceae. El plan de desarrollo forestal indicó que el volumen legal de explotación
forestal aprobado en 2009 fue de 14.400,4 metros cúbicos, cubriendo una superficie de 927 hectáreas la Parroquia Fátima, (Chulde et al., 2013).
Sobre el lugar en el que se ha realizado el estudio, se conoce que la parroquia Fátima del cantón Pastaza tiene como principal actividad económica la agricultura, con cultivos que se destinan al
mercado y autoconsumo. Los principales cultivos de la parroquia son: caña de azúcar, naranjilla, cacao, papa china, plátano, yuca y maíz duro para consumo propio. Actualmente la caña de azú
naranjilla siguen siendo los principales productos cultivados en Fátima. En cuanto al volumen total de la provincia de Pastaza, la mayor parte de la producción de caña de azúcar se encuentra en
parroquia de Tarqui con 198,75 hectáreas, seguida de Puyo con 131,35 hectáreas, San José con 91,9 hectáreas y Fátima con 80,35 hectáreas., por lo que este último tiene una gran actividad eco
en comparación con su población (Chulde et al., 2013).
El pasto más utilizado es el gramalote, adecuado para la zona, sus tallos forman una capa para proteger el suelo, pero como alimento es bajo en proteínas y afecta el rendimiento del ganado,
especialmente la lechería, que requiere más que carne. Funciona a 0,8 unidades/ha, es decir, se necesita más de una hectárea para mantener una vaca debido a la erosión del pasto (gramalote),
demasiado oneroso para el proceso de producción (Chulde et al., 2013).
En los suelos agrícolas, las pérdidas de carbono se deben principalmente a los procesos de erosión y mineralización de la materia orgánica. Las pérdidas por erosión oscilan entre 1 y 10 t/ha/año
casos extremos, hasta 50 t/ha/año. En tierras cultivables, la labranza es la práctica más importante con un impacto significativo en las reservas de carbono, ya sea negativo cuando se utilizan mé
tradicionales o positivos cuando se aplica labranza de conservación. En el caso de la labranza de conservación, el secuestro de carbono varía de 0,1 a 0,2 t-ha en las regiones semiáridas y de 0,2
ha en las regiones tropicales (Pérez et al., 2020).
Sin embargo, promover el secuestro de carbono en los suelos

41% **MATCHING BLOCK 2/14** W

es una tarea compleja que llevará tiempo. Para lograr el secuestro de carbono en los suelos, las prácticas de gestión sostenible deben abordar dos principios "dorados": i) proporcionar

aportes de carbono abundantes y sostenibles a los suelos para aumentar las reservas de carbono (es decir, aumentar los aportes de carbono); ii) reducir las emisiones de GEI del suelo (es decir, r
las pérdidas de carbono). En la naturaleza, no todo el dióxido de carbono que las plantas extraen de la atmósfera se almacena a largo plazo en la biomasa vegetal o en el suelo (Cerro et al., 2021
Cuando las plantas mueren o se cosechan, la mayor parte del carbono (60-90 %) se incorpora a su biomasa como componentes orgánicos, ya sea por encima o por debajo del suelo, y regresa
atmósfera como dióxido de carbono durante la cosecha. La biota del suelo media la descomposición.

47% **MATCHING BLOCK 3/14** W

El carbono que queda en el suelo se absorbe y estabiliza en diferentes reservas de materia orgánica del suelo, como materia orgánica particulada y

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 04 – 08 - 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular, correspondiente a la estudiante: Quiroga López Sonia Michelle, con C.I. 1401316201, con el Tema: "Estimación del secuestro de carbono como servicio ambiental de regulación y soporte en la parroquia Fátima cantón Pastaza", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, Danilo Pedro Sarabia Guevara, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 8%, Informe generado con fecha, 04-08-2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA

Danilo Pedro Sarabia Guevara
Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	Estimación del secuestro de carbono como servicio ambiental de regulación y soport e en la parroquia Fátima cantón Pastaza 2.doc (D142658282)
Submitted	8/4/2022 4:41:00 PM
Submitted by	
Submitter email	dsarabiag@uea.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	dsarabiag.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W URL: https://www.researchgate.net/publication/242169804_EL_SECUESTRO_DE_CARBONO_EN_LA_AGRICULTURA_Y_SU_IMPORTANCIA_CON_EL_CALENTAMIENTO_GLOBAL
Fetched: 12/14/2019 2:28:34 PM

W URL: https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19315/BVE21128138e.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Fetched: 7/22/2022 7:27:11 PM

W URL: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5541/Taipe%20Rodriguez%20Alex%20Jersson%20.pdf?sequence=1
Fetched: 11/26/2021 10:09:20 PM

Entire Document

1. Introducción
En los últimos años, se ha incrementado la preocupación de la población por el cambio climático y la emisión de gases de efecto invernadero, pues ya está demostrado que la contaminación d
atmósfera terrestre afecta las temperaturas y, consecuentemente, los ecosistemas que albergan innumerables especies que se ven en peligro de extinción. Uno de los gases de efecto invernade
dióxido de carbono (CO2), y se conoce que para el año 2014 los países que emitieron mayores cantidades de CO2 fueron China, Estados Unidos, los países de la Unión Europea, India, Rusia y Ja
Según el estudio que plantean Arroyo y Miguel (2019) los principales emisores de CO2 son las industrias de combustibles fósiles, producción de cemento y quema de gases. Asimismo, se recon
entre las principales fuentes de contaminación del aire se encuentran los medios de transporte ineficientes, la quema de combustibles en los hogares, quema de desechos, centrales eléctricas y
actividades industriales.
En el contexto ecuatoriano y según datos del Ministerio del Ambiente (2016), el sector energético es uno de los que produce el 36% de las emisiones de CO2, al igual que la industria del transpo
industrias manufactureras y de construcción, petróleo y gas natural. Aunque se reconoce que es importante reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en un país com
Ecuador que alberga ecosistemas con un clima único, se vuelve complejo definir cuáles son las medidas que se deberían poner en marcha para lograrlo, considerando que los sectores que más
contaminan son también los que más fuentes de empleo e ingresos económicos significan para el país.
Por una parte, los pequeños y medianos agricultores representan el 95,5% de las unidades productivas agropecuarias del país. Las unidades de producción menores de 20 hectáreas aportan el 4
la producción de leche, el 63% de la producción de papa, el 46% de la producción de maíz y el 48% de la producción de arroz. Sin embargo, este sector también es uno de los principales emiso
gases de efecto invernadero, pues según estadísticas, en Ecuador, estas emisiones pasaron de alrededor de 159 millones de toneladas de carbono equivalente (CO2-eq) en 1990 a 210 millones
toneladas de CO2-eq en 2006, es decir, hubo un aumento del 24% en 16 años, con un promedio de 1,5% anual (Ministerio del Ambiente, 2012).
El carbono del suelo tiende a aumentar con la labranza de conservación porque se oxida menos materia orgánica del

46% **MATCHING BLOCK 1/14** W

suelo y la temperatura tiende a bajar debido a la menor descomposición. La labranza de conservación puede aumentar la cantidad de COS al promover un entorno que favorece la

descomposición fúngica en lugar de la bacteriana. El deterioro por hongos es más persistente que el deterioro por bacterias (Retana et al., 2019).
Al ser Pastaza una provincia muy verde, la mayor parte de su superficie de suelo está ocupada por bosque amazónico y durante el proceso de restauración mantiene un bosque secundario don
existen varias familias de plantas nativas amazónicas como: Bombaceas, Bignonaceae, Compositae, Cecropias, Tiliaceae. El plan de desarrollo forestal indicó que el volumen legal de explotación
forestal aprobado en 2009 fue de 14.400,4 metros cúbicos, cubriendo una superficie de 927 hectáreas la Parroquia Fátima, (Chulde et al., 2013).
Sobre el lugar en el que se ha realizado el estudio, se conoce que la parroquia Fátima del cantón Pastaza tiene como principal actividad económica la agricultura, con cultivos que se destinan al
mercado y autoconsumo. Los principales cultivos de la parroquia son: caña de azúcar, naranjilla, cacao, papa china, plátano, yuca y maíz duro para consumo propio. Actualmente la caña de azú
naranjilla siguen siendo los principales productos cultivados en Fátima. En cuanto al volumen total de la provincia de Pastaza, la mayor parte de la producción de caña de azúcar se encuentra en
parroquia de Tarqui con 198,75 hectáreas, seguida de Puyo con 131,35 hectáreas, San José con 91,9 hectáreas y Fátima con 80,35 hectáreas., por lo que este último tiene una gran actividad eco
en comparación con su población (Chulde et al., 2013).
El pasto más utilizado es el gramalote, adecuado para la zona, sus tallos forman una capa para proteger el suelo, pero como alimento es bajo en proteínas y afecta el rendimiento del ganado,
especialmente la lechería, que requiere más que carne. Funciona a 0,8 unidades/ha, es decir, se necesita más de una hectárea para mantener una vaca debido a la erosión del pasto (gramalote),
demasiado oneroso para el proceso de producción (Chulde et al., 2013).
En los suelos agrícolas, las pérdidas de carbono se deben principalmente a los procesos de erosión y mineralización de la materia orgánica. Las pérdidas por erosión oscilan entre 1 y 10 t/ha/año
casos extremos, hasta 50 t/ha/año. En tierras cultivables, la labranza es la práctica más importante con un impacto significativo en las reservas de carbono, ya sea negativo cuando se utilizan mé
tradicionales o positivos cuando se aplica labranza de conservación. En el caso de la labranza de conservación, el secuestro de carbono varía de 0,1 a 0,2 t-ha en las regiones semiáridas y de 0,2
ha en las regiones tropicales (Pérez et al., 2020).
Sin embargo, promover el secuestro de carbono en los suelos

41% **MATCHING BLOCK 2/14** W

es una tarea compleja que llevará tiempo. Para lograr el secuestro de carbono en los suelos, las prácticas de gestión sostenible deben abordar dos principios "dorados": i) proporcionar

aportes de carbono abundantes y sostenibles a los suelos para aumentar las reservas de carbono (es decir, aumentar los aportes de carbono); ii) reducir las emisiones de GEI del suelo (es decir, r
las pérdidas de carbono). En la naturaleza, no todo el dióxido de carbono que las plantas extraen de la atmósfera se almacena a largo plazo en la biomasa vegetal o en el suelo (Cerro et al., 2021
Cuando las plantas mueren o se cosechan, la mayor parte del carbono (60-90 %) se incorpora a su biomasa como componentes orgánicos, ya sea por encima o por debajo del suelo, y regresa
atmósfera como dióxido de carbono durante la cosecha. La biota del suelo media la descomposición.

47% **MATCHING BLOCK 3/14** W

El carbono que queda en el suelo se absorbe y estabiliza en diferentes reservas de materia orgánica del suelo, como materia orgánica particulada y

Estimación del secuestro de carbono como servicio ambiental de regulación y soporte en la parroquia Fátima cantón Pastaza

Medina Changobalín Blenda Gianella[1]
amb2017080@uea.edu.ec
Quiroga López Sonia Michelle[1]
amb2017129@uea.edu.ec
Sarabia Guevara Danilo Pedro[2]
dsarabiag@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental

Resumen

Entre las actividades que más producen carbono y contribuyen con el problema del cambio climático, se encuentran la agricultura y la ganadería. En los ecosistemas terrestres, el depósito de carbono más grande es el carbono orgánico del suelo (COS) y el aumento se da en función de la tasa de descomposición de los residuos de cultivos, como las raíces de las plantas y otra materia orgánica devuelta al suelo, su cantidad y composición. El objetivo de este artículo fue estimar el secuestro de carbono en los suelos de la parroquia Fátima en el cantón Pastaza bajo un enfoque cualitativo y un diseño descriptivo a través de una revisión bibliográfica tradicional. Se identificó que los bosques de la parroquia tuvieron un valor de secuestro de carbono de 228.24 ton/ha. y una biomasa para árboles adultos (30ª 40 años) de 199.71 ton/ha. En conclusión, se pudo determinar el secuestro de carbono en sistemas forestales, dejando el presente estudio para futuras investigaciones sistemas forestales con interacciones agrícolas.

Palabras Clave*:* agricultura, bosques, impacto ambiental, secuestro de carbono, suelo.

Abstract

Among the activities that produce the most carbon and contribute to the problem of climate change, are agriculture and livestock. In terrestrial ecosystems, the largest carbon pool is soil organic carbon (SOC), and the increase is a function of the rate of decomposition of crop residues such as plant roots and other organic matter returned to the soil. soil, its quantity and composition. The objective of this article was to estimate the carbon sequestration in the soils of the Fátima parish in the Pastaza canton under a qualitative approach and a descriptive design through a traditional bibliographic review. It was identified that the forests of the Fátima parish had a carbon sequestration value of 228.24

tons/ha. and a biomass for adult trees (30th 40 years) of 199.71 ton/ha. In conclusion, it was possible to determine carbon sequestration in forest systems, leaving this study for future research in forest systems with agricultural interactions.

***Keywords**:* agriculture, carbon sequestration, environmental impact, forests.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha incrementado la preocupación de la población por el cambio climático y la emisión de gases de efecto invernadero, pues ya está demostrado que la contaminación de la atmósfera terrestre afecta las temperaturas y, consecuentemente, los ecosistemas que albergan innumerables especies que se ven en peligro de extinción. Uno de los gases de efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO2), y se conoce que para el año 2014 los países que emitieron mayores cantidades de CO2 fueron China, Estados Unidos, los países de la Unión Europea, India, Rusia y Japón.

Según el estudio que plantean Arroyo y Miguel (2019) los principales emisores de CO2 son las industrias de combustibles fósiles, producción de cemento y quema de gases. Asimismo, se reconoce que entre las principales fuentes de contaminación del aire se encuentran los medios de transporte ineficientes, la quema de combustibles en los hogares, quema de desechos, centrales eléctricas y otras actividades industriales.

En el contexto ecuatoriano y según datos del Ministerio del Ambiente (2016), el sector energético es uno de los que produce el 36% de las emisiones de CO2, al igual que la industria del transporte, industrias manufactureras y de construcción, petróleo y gas natural. Aunque se reconoce que es importante reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en un país como Ecuador que alberga ecosistemas con un clima único, se vuelve complejo definir cuáles son las medidas que se deberían poner en marcha para lograrlo, considerando que los sectores que más contaminan son también los que más fuentes de empleo e ingresos económicos significan para el país.

Por una parte, los pequeños y medianos agricultores representan el 95,5% de las unidades productivas agropecuarias del país. Las unidades de producción menores de 20 hectáreas aportan el 41% de la producción de leche, el 63% de la producción de papa, el 46% de la

producción de maíz y el 48% de la producción de arroz. Sin embargo, este sector también es uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero, pues según estadísticas, en Ecuador, estas emisiones pasaron de alrededor de 159 millones de toneladas de carbono equivalente (CO2-eq) en 1990 a 210 millones de toneladas de CO2-eq en 2006, es decir, hubo un aumento del 24% en 16 años, con un promedio de 1,5% anual (Ministerio del Ambiente, 2012).

El carbono del suelo tiende a aumentar con la labranza de conservación porque se oxida menos materia orgánica del suelo y la temperatura tiende a bajar debido a la menor descomposición. La labranza de conservación puede aumentar la cantidad de COS al promover un entorno que favorece la descomposición fúngica en lugar de la bacteriana. El deterioro por hongos es más persistente que el deterioro por bacterias (Retana *et al.,* 2019).

Al ser Pastaza una provincia muy verde, la mayor parte de su superficie de suelo está ocupada por bosque amazónico y durante el proceso de restauración mantiene un bosque secundario donde existen varias familias de plantas nativas amazónicas como: Bombaceas, Bignonaceae, Compositae, Cecropias, Tiliaceae. El plan de desarrollo forestal indicó que el volumen legal de explotación forestal aprobado en 2009 fue de 14.400,4 metros cúbicos, cubriendo una superficie de 927 hectáreas la Parroquia Fátima, (Chulde *et al.,* 2013).

Sobre el lugar en el que se ha realizado el estudio, se conoce que la parroquia Fátima del cantón Pastaza tiene como principal actividad económica la agricultura, con cultivos que se destinan al mercado y autoconsumo. Los principales cultivos de la parroquia son: caña de azúcar, naranjilla, cacao, papa china, plátano, yuca y maíz duro para consumo propio. Actualmente la caña de azúcar y la naranjilla siguen siendo los principales productos cultivados en Fátima. En cuanto al volumen total de la provincia de Pastaza, la mayor parte de la producción de caña de azúcar se encuentra en la parroquia de Tarqui con 198,75 hectáreas, seguida de Puyo con 131,35 hectáreas, San José con 91,9 hectáreas y Fátima con 80,35 hectáreas., por lo que este último tiene una gran actividad económica en comparación con su población (Chulde *et al.,* 2013).

El pasto más utilizado es el gramalote, adecuado para la zona, sus tallos forman una capa para proteger el suelo, pero como alimento es bajo en proteínas y afecta el rendimiento del ganado, especialmente la lechería, que requiere más que carne. Funciona a 0,8 unidades/ha,

es decir, se necesita más de una hectárea para mantener una vaca debido a la erosión del pasto (gramalote), que es demasiado oneroso para el proceso de producción (Chulde *et al.*, 2013).

En los suelos agrícolas, las pérdidas de carbono se deben principalmente a los procesos de erosión y mineralización de la materia orgánica. Las pérdidas por erosión oscilan entre 1 y 10 t/ha/año y, en casos extremos, hasta 50 t/ha/año. En tierras cultivables, la labranza es la práctica más importante con un impacto significativo en las reservas de carbono, ya sea negativo cuando se utilizan métodos tradicionales o positivos cuando se aplica labranza de conservación. En el caso de la labranza de conservación, el secuestro de carbono varía de 0,1 a 0,2 t-ha en las regiones semiáridas y de 0,2 a 0,5 t-ha en las regiones tropicales (Pérez et al., 2020).

Sin embargo, promover el secuestro de carbono en los suelos es una tarea compleja que llevará tiempo. Para lograr el secuestro de carbono en los suelos, las prácticas de gestión sostenible deben abordar dos principios "dorados": i) proporcionar aportes de carbono abundantes y sostenibles a los suelos para aumentar las reservas de carbono (es decir, aumentar los aportes de carbono); ii) reducir las emisiones de GEI del suelo (es decir, reducir las pérdidas de carbono). En la naturaleza, no todo el dióxido de carbono que las plantas extraen de la atmósfera se almacena a largo plazo en la biomasa vegetal o en el suelo (Cerro et al., 2021).

Cuando las plantas mueren o se cosechan, la mayor parte del carbono (60-90 %) se incorpora a su biomasa como componentes orgánicos, ya sea por encima o por debajo del suelo, y regresa a la atmósfera como dióxido de carbono durante la cosecha. La biota del suelo media la descomposición. El carbono que queda en el suelo se absorbe y estabiliza en diferentes reservas de materia orgánica del suelo, como materia orgánica particulada y materia orgánica relacionada con minerales, que tienen diferentes composiciones, duraciones y funciones en los suelos y el medio ambiente (Cerro et al., 2021).

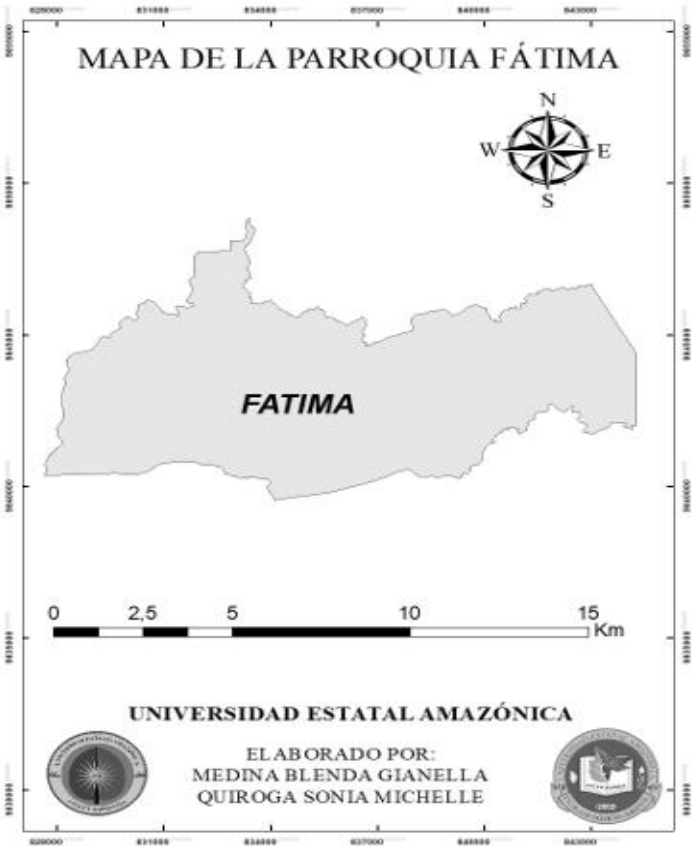
Por lo anteriormente mencionado, se plantea como objetivo de esta investigación estimar el secuestro de carbono en los suelos de la parroquia Fátima en el cantón Pastaza por medio de estudios previos realizados en el sector, así mismo los objetivos específicos planteados son: realizar la fundamentación teórica del secuestro de carbono, analizar los diferentes

métodos para la estimación del secuestro de carbono y estimar el secuestro de carbono de los bosques de la parroquia Fátima.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1. Localización

Figura 1. Mapa de la parroquia Fátima



El área de estudio fue la parroquia de Fátima en la provincia de Pastaza (Figura 1). Se ubica en la parte nororiental de la provincia de Pastaza, a 7 km de la capital. Sus límites son: norte con la parroquia de Teniente Hugo Ortiz, al sur se encuentran las parroquias de Puyo y Diez de Agosto. Al este se encuentra la parroquia Diez de Agosto y al oeste la parroquia de Mera, estado de Mera. Según el censo de 2010 realizado por el INEC, la parroquia de Fátima tiene 863 habitantes. Los ríos más importantes son Anzu, Arajuno, Guamanyacu y Puyo. En cuanto al clima, el rango de temperatura fluctúa entre los 18°C y 24°C, presenta una altitud que oscila entre 900 a 1200 m.s.n.m.; además de un rango de precipitación entre 4000 a 5000 mm anual (Gobierno Provincial de Pastaza, 2019).

2.2.Tipo y diseño de la investigación

A través del tipo y diseño de la investigación se puede determinar el curso, la metodología y la tecnología de la investigación. Aquí no se definen los métodos de la investigación, pero sí los instrumentos e incluso los procedimientos de procesamiento de datos (Hernández, Fernández y Batista, 2014).

La presente investigación según el nivel de desarrollo tuvo un enfoque cualitativo y un diseño descriptivo, porque se ha partido de una idea general que se constituye como un

primer acercamiento al tema en la parroquia Fátima y se generará únicamente una comprensión inicial del tema, no es posible aún establecer hipótesis en torno a los niveles de secuestro de carbono y sus efectos en la conservación ambiental.

2.3. Técnicas

Para lograr los hallazgos que se reportan en la siguiente parte de este artículo, se utilizó el método de revisión bibliográfica tradicional, donde el autor se guía por su conocimiento del campo o por las obras que le han impactado más; no obstante, aunque la revisión tradicional sea de calidad, no es posible garantizar la inexistencia de sesgos en la selección de los estudios seleccionados consideradas (Codina, 2020).

2.4.Etapas de la investigación

2.4.1. Fundamentar teóricamente los conceptos de secuestro de carbono

Se realizó a través de la revisión bibliográfica tradicional para comprender la temática del secuestro de carbono, la interpretación como servicio ambiental, su presencia en el ambiente, en el suelo, en la vegetación y en productos.

2.4.2. Analizar los diferentes métodos para la estimación del secuestro de carbono

Se efectuó mediante la revisión literaria tradicional de diferentes artículos científicos ubicados en revistas indexadas como Scielo, Redalyc, SciencieDirect y Latindex.

2.4.3. Estimar el secuestro de carbono de los bosques de la parroquia Fátima

Se llevó a cabo tomando como referencia los datos de estudios previos desarrollados tanto en la parroquia Fátima, como en otras localidades, analizando su inventario forestal, tipos de bosques y la estimación del secuestro de carbono y necromasa por cada tipo de bosque.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Fundamentación teórica del secuestro de carbono

Para poder llevar a cabo una mejor comprensión de las terminologías y subtemas presentados en la investigación fue necesario realizar una fundamentación teórica puntual a cerca del tema investigado, es por ello que a continuación se presentan algunos conceptos básicos:

3.1.1. Ciclo del carbono

Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (1996), el ciclo del carbono es una parte del sistema climático que es responsable del aumento en la concentración de CO2 que ocurre como resultado de las emisiones creadas por el hombre. Debido a que el CO2 en la atmósfera es químicamente inerte, además de tener una concentración homogénea, las modificaciones naturales de su concentración en la atmósfera dependen únicamente de la suma del proceso de fotosíntesis, respiración y flujos de aire -mar. Procesos como el intercambio neto de CO2 entre el océano y la atmósfera, la fotosíntesis y la respiración en la tierra; son esenciales que deben ser adecuadamente simulados.

Por otra parte, los autores Saugier y Pontailler (2006) explican el ciclo del carbono concentrándose en los intercambios que ocurren entre la atmósfera y la biosfera continental. También tienen en cuenta los cambios causados por las acciones humanas, como el aumento de la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera, las deposiciones de nitrógeno y el cambio climático. Estos cambios mundiales tienen el impacto de aumentar la producción de plantas, así como la acumulación de carbono, que se puede encontrar tanto en la biomasa de los árboles como en la materia orgánica del suelo.

3.1.2. Secuestro de carbono

Se describe como "la absorción de compuestos que contienen carbono, en particular CO2, en depósitos de vida prolongada" bajo la definición de "secuestro de carbono". En otras palabras, "secuestro de carbono" puede describirse como la transferencia y el almacenamiento seguro de CO2 atmosférico dentro de otros reservorios de larga duración que de otro modo serían liberados o fijados en la atmósfera. Los mares, la biosfera, la pedosfera y la geosfera contienen estos depósitos (Lorenz & Lal, 2010). Las principales fuentes orgánicas de C en los reservorios terrestres provienen de plantas y desechos en la superficie terrestre (Lal, 2008).

3.1.3. Estimación de biomasa

La biomasa aérea, la hojarasca, los sistemas de raíces (raíces) y el carbono orgánico

del suelo contribuyen al carbono secuestrado por los sistemas agroforestales y forestales. Se deben evaluar todos los grandes componentes que varían significativamente a lo largo de un proyecto, pero se debe prestar mayor atención a aquellos que almacenan carbono de manera más permanente, como la biomasa leñosa (Mary *et al.*, 2020).

3.1.4. Necromasa

En su mayor parte, esta materia orgánica en el suelo se encuentra en forma seca y fresca; entre estos dos tipos de necromasa se denomina "necromasa mayor" y "necromasa menor", respectivamente. Debido a que la hojarasca proporciona un mecanismo de almacenamiento de carbono y nutrientes que llegan al suelo, es fundamental determinar cuánto carbono se transfiere de la biomasa aérea a los componentes terrestres o subterráneos a través de la hojarasca (Valderrama, *et al.*, 2019).

3.2. Análisis de los métodos de estimación del secuestro del carbono

Los cambios en las reservas de carbono del suelo debido a cambios en el uso de la tierra y las prácticas de manejo pueden evaluarse utilizando dos métodos principales, diacrónico y sincrónico (Sandoval *et al.*, 2003).

Cerri et al. (2021) indica que el método o enfoque diacrónico, se deben realizar ensayos de campo para medir las existencias de carbono en el suelo a lo largo del tiempo en las mismas parcelas experimentales afectadas por diferentes usos de la tierra o sistemas de gestión, es decir en este método se desarrolla un estudio longitudinal; este método proporciona una buena precisión de medición y repetibilidad; por otra parte Pellegrino, Cherubin, Melo, Castro, & Lal (2021) manifiestan que este enfoque ofrece una buena precisión y repetibilidad de las mediciones; pero es costoso y suele tener un límite de tiempo.

Por otro lado, en un enfoque sincrónico o de series temporales, partiendo de un estado de referencia inicial, se toman muestras simultáneamente de diferentes parcelas que han experimentado diferentes usos de la tierra o sistemas de gestión durante un período de tiempo

conocido, y las reservas de carbono del suelo son el resultado (Costa, *et al.*, 2013). Este enfoque se basa en la suposición de que el espacio es sinónimo de tiempo, bajo el cual las condiciones iniciales del suelo en un área bajo diferentes usos del suelo o sistemas de gestión son muy similares, de hecho, estos factores (tipo de suelo, clima, relieve, etc.), salvo el uso del suelo o su gestión, está afectando los resultados; por lo tanto, la precisión y confiabilidad de los datos recopilados utilizando métodos simultáneos depende de un proceso juicioso de elección de los sitios de estudio, que deben ser verdaderamente comparables (Mary, Clivot, Blaszczk, Labreuche, & Ferchaud, 2020).

Una vez que se define el enfoque de evaluación, las mediciones directas de las reservas de C del suelo dependen de la metodología adecuada para muestrear el suelo, la cual debe ser compatible con las normas ISO concernientes al muestreo de calidad del suelo, entre las cuales se tiene: ISO 18400-101:2017; ISO 18400-102:2017; ISO 18400- 104:2018; ISO 18400-205.

3.3. Estimación del secuestro de carbono de bosques de la parroquia Fátima

En Ecuador, la selva amazónica es considerada el sumidero de carbono más grande del mundo debido a la gran cantidad de especies que se encuentran en estos bosques; muchas de estas maderas duras con alto valor comercial son maderas duras, que necesitan capturar más carbono debido a la necesidad de lignificar la madera.

A través de datos obtenidos por Morillo (2022) se plasma en la tabla 1 el inventario forestal de bosques secundarios de la parroquia Fátima, hallando tres estados sucesionales con 57 especies que pertenecen a 26 familias; estos datos se dividen en bosques de 5 a 10 años (B1), bosques de 15 a 20 años (B2), bosques de 30 a 40 años (B3); se pudo identificar que el bosque (B2) presentó una menor cantidad de especies, géneros y familias reportadas, sin embargo la cantidad de individuos (599) fue muy superior a los dos bosques consecuentes.

Tabla 1. Reportes de especies, géneros, familias e individuos en los bosques de estudio.

Bosque	Especies	Géneros	Familias	Nº de individuos
(B1) 5-10 años	39	35	24	312

(B2) 15-20 años	29	27	18	599
(B3) 30-40 años	28	25	18	116

Fuente: Morillo (2022).

En la tabla 2 anteriores se identifica que, en los bosques estudiados en Fátima, hay evidencia de que el contenido de biomasa difiere entre las tres etapas sucesionales del bosque, a pesar de la baja cantidad de individuos el bosque B3 presenta el mayor contenido de biomasa, debido a que presentan árboles maduros con un gran tamaño y por ende un área comercial maderable con alto valor comercial, lo que justifica el valor de la biomasa existente. La biomasa del B3 tuvo un valor de 199.71 ton/ha, mientras la necromasa obtuvo un valor de 6.43.

Tabla 2. Estimación de Biomasa y Necromasa en los bosques de estudio.

Bosque	Biomasa (ton/ha)			Necromasa
	Aérea	Radicular	Total	
(B1) 5-10 años	33.85	8.46	42.31	2.12
(B2) 15-20 años	59.28	14.82	74.10	5.52
(B3) 30-40 años	159.77	39.94	199.71	6.43
Total	252.9	63.22	316.12	14.07

Fuente: Morillo (2022).

Así mismo en la tabla 3 se presentan las estimaciones de carbono presente en los bosques de la parroquia de Fátima, las tendencias observadas en los resultados de biomasa se mantuvieron sin cambios, en este caso, el Bosque B3 se mantuvo como el bosque con mayor contenido de carbono con 140,84 ton/ha. La suma entre el carbono del aire, el carbono de las raíces, la materia necrótica y el carbono orgánico del suelo. En este bosque (B3), los individuos más grandes capturaron la mayor cantidad de carbono, esto se debió especialmente al mayor diámetro, altura y extensión de la raíz de la copa, lo que resultó en una mayor absorción de carbono; sin embargo, cuando uno de estos individuos debido a la

edad, se ve afectado y el carbono almacenado se devuelve a la atmósfera, lo que provoca un aumento de los llamados gases de efecto invernadero.

Tabla 3. Estimación de Carbono y Necromasa en los bosques de estudio.

Bosque	Carbono (ton/ha)				Necromasa
	Aérea	Radicular	Necromasa	COS	
(B1) 5-10 años	16.92	4.23	1.06	7.14	29.35
(B2) 15-20 años	29.64	7.41	2.76	18.23	58.05
(B3) 30-40 años	79.88	19.97	3.21	37.77	140.84
Total	126.44	31.61	7.03	63.14	228.24

Fuente: Morillo (2022).

Los bosques estudiados en la parroquia Fátima, presentaron una relación directamente proporcional con respecto a la edad de las especies vegetales, es decir, a mayor edad, mayor contenido de carbono, así mismo se puede recalcar que existen algunos factores antropológicos que afectan a la captura de carbono en dichos bosques, el avance de la frontera urbana, así como la frontera agrícola reduce la captura del mismo sin importar los años de vida de las especies.

Ante el reporte de estos resultados, se puede comparar estos valores con los obtenidos por Chinchilla *et al.* (2019) en su investigación, donde se explica que en bosques secundarios con características similares a los de la parroquia Fátima encontraron los mismos cambios en biomasa y contenido de carbono, y usaron como datos de referencia para bosques secundarios de 60 a 115 t/ha; los autores encontraron en bosques la cantidad total máxima es de 81 ton/ha. en contenido de carbono.

No obstante, en un estudio realizado en la provincia del Oro, llevado a cabo por Barrezueta et al. (2020) parcelas ubicadas dentro de un área de 3 ha. se halló una acumulación mayor de COS en la parcela tres con un valor de 35.01 Mg/ha, seguido de la parcela dos con un valor de 33.44 Mg/ha, mientras en la parcela uno su valor fue de 18.43 Mg/ha; estos valores se reportan en diferentes cantidades debido a las condiciones climáticas de los puntos de muestro, así como las propiedades físicas y químicas del suelo, teniendo en cuenta que el estudio en mención se desarrolló en la costa ecuatoriana.

Por otra parte, Chappa (2019) estimó el carbono capturado en la cuenca media y alta del río Cumbaza del departamento de San Martín en la región Amazónica peruana, en condiciones similares a las de la parroquia Fátima, hallando valores de 21 551 ton/ha. y 15395 ton/ha respectivamente, estableciendo que el valor económico por hectárea ascendía a un valor de 220 995 soles, lo que es equivalente a 55 806 dólares americanos.

4. CONCLUSIONES

Se logró sentar las bases teóricas del tema en cuestión, estableciendo definiciones importantes como: ciclo del carbono, secuestro de carbono, estimación de biomasa y necromasa, los cuales indican completo entendimiento del tema de investigación, recalcando que existen diferentes subtemas que son mencionados en el marco teórico.

Se determinaron que el enfoque diacrónico y sincrónico son los métodos óptimos para realizar los estudios de secuestro de carbono en áreas boscosas, cada uno de ellos se utiliza para determinadas situaciones de las investigaciones, es decir, muestreos prolongados con un mayor presupuesto e investigaciones transversales o de corto plazo con menores presupuestos.

Se determinó que el secuestro de carbono estimado total en los bosques de la parroquia Fátima analizados fue de 228,24 ton/ha, lo que hace resaltar el elevado potencial de los suelos boscosos amazónicos para el secuestro del carbono.

5. REFERENCIAS

Arroyo, F., & Miguel, L. (2019). Análisis de la variación de las emisiones de CO2 y posibles escenarios al 2030 en Ecuador. *Revista Espacios, 40*(13). Obtenido de http://www.revistaespacios.com/a19v40n13/a19v40n13p05.pdf

Benjamín, J. A., & Masera, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques, 7*(1), 3-12. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf

Bravo, C., Marín, H., Marrero, P., Ruiz, M., & Torres, B. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana. *Bioagro, 29*(1), 23-36.

Cerri, C., Cherubin, M., Damian, J., Mello, F., & Rattan , L. (2021). *Secuestro de carbono en el suelo mediante la adopción de prácticas de manejo sostenible: potencial y oportunidad para los países de las Américas.* San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Obtenido de https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19315/BVE21128138e.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cervantes, F., Imbaquingo, J., & León, D. (2022). Valoración económica de los servicios ecosistémicos del bosque protector Cerro Blanco, Guayaquil Ecuador. *Revista Geoespacial, 19*(1), 50-63. Obtenido de https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-geoespacial/article/view/2612/2204

Chulde, J., Bueno, E., & Zurita, V. (2013). Plan de desarrollo local de la parroquia Fátima, cantón Pastaza, provincia de Pastaza. Quito: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2186

Codina, L. (2020). Cómo hacer revisiones bibliográficas tradicionales o sistemáticas utilizando bases de datos académicasoma de conducto auditivo externo: estudio de una serie de casos. *Revista ORL, 11*(2), 139-153.

Costa, J., Corbeels, M., Bernoux, M., Píccolo, M., Siqueira, M., Feigl, B., . . . Lal, R. (2013). Assessing soil carbon storage rates under no-tillage: Comparing the synchronic and diachronic approaches. *ELSEVIER, 134*(2), 207-2012.

FAO. (2022). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulatingservices/es/

Gobierno Provincial de Pastaza. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Pastaza al año 2025.* Pastaza.

González, D., & Rodríguez, C. (2010). Valoración del Servicio Ambiental Secuestro de

Carbono (Zona Central de la Reserva Forestal Imataca, Estado Bolívar, Venezuela). *Eighth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, (pág. 11). Arequipa. Obtenido de http://www.laccei.org/LACCEI2010-Peru/Papers/Papers_pdf/ESE045_Gonzalez.pdf

Guallo, N. (2018). Secuestro de carbono como servicio ecosistémico en distintos usos de la tierra en la cuenca media del río Napo, región amazónica ecuatoriana. Puyo: Universidad Estatal Amazónica. Obtenido de http://201.159.223.17/bitstream/123456789/425/1/T.AMB.B.UEA.3136.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2007). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press

Lal R. (2008). Carbon sequestration. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, vol. 363, no. 1492. p. 815–830. DOI: 10.1098/rstb.2007.2185

López, J., & Benavides, M. (2021). Valoración social y económica de servicios ecosistémicos de soporte generados a partir del proceso de restauración ecológica de la reserva natural de la sociedad civil "Ecoparque Sabana". Bogotá, D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/27821/LopezChaparroJoseAgustin2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lorenz, K., Lal, R. (2010). Carbon Sequestration in Forest Ecosystems. New York: Springer. ISBN: 978-90-481-3266-9.

Mary, B., Clivot, H., Blaszczk, N., Labreuche, J., & Ferchaud, F. (2020). Soil carbon storage and mineralization rates are affected by carbon inputs rather than physical disturbance: Evidence from a 47-year tillage experiment. *ScienceDirect, 299*. doi:https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106972

Ministerio del Ambiente. (2012). Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador. Ministerio del Ambiente. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/ESTRATEGIA-NACIONAL-DE-CAMBIO-CLIMATICO-DEL-ECUADOR.pdf

Ministerio del Ambiente. (2016). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador. r. Serie temporal 1994-2012. Quito. Obtenido de https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/06%20Resumen%20Ejecutivo%20INGEI%20de%20Ecuador.%20Serie%20Temporal%201994-2012.pdf

Morales, M., & Vásquez, M. (2019). Valoracióne conómica de la captura de carbono en las especies Podocarpus sprucei y Oreocallis grandiflora en el bosque protector aguarongo. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de

https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16640/4/UPS-CT008067.pdf

Morillo, P. (2022). Evaluación del contenido de carbono y estrategias de manejo en bosques húmedos tropicales: El caso de la Parroquia Fátima, Provincia de Pastaza. Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica. Obtenido de http://201.159.222.95/handle/123456789/2708

Morocho, S. (2018). Emisión de CO2 en la producción agrícola ecuatoriana y su relación con PIB: 2009-2014. Machala: Universidad Técnica de Machala. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12220/1/DE00005_EXAMEN COMPLEXIVO.pdf

Pellegrino, C., Cherubin, M., Melo, J., Castro, F., & Lal, R. (2021). *SECUESTRO DE CARBONO EN EL SUELO MEDIANTE LA ADOPCIÓN DE PRÁCTICAS DE MANEJO SOSTENIBLE: POTENCIAL Y OPORTUNIDAD PARA LOS PAÍSES DE LAS AMÉRICAS.* Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica.

Pérez, H., Rodríguez, I., & García, R. (2021). Secuestro de carbono por el suelo y sus fracciones en agroecosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana. *Revista Universidad y Sociedad, 13*(2), 141-149. Obtenido de http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v13n2/2218-3620-rus-13-02-141.pdf

Posligua, J. (2020). Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de una propuesta de generación y aprovechamiento del gas metano a partir de los residuos sólidos en el Cantón Mocache, Provincia de Los Ríos. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador. Obtenido de https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/16796/2/TFLACSO-2020JGPS.pdf

Pravia, M., Quincke, A., Ciganda, V., Oyhantçabal, W., & Lattanzi, F. (2020). Secuestro de carbono en suelos de Uruguay. *Revista INIA*, 103-107. Obtenido de http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/14506/1/Rev-INIA-61-Junio-2020-p-103-107.pdf

Racines, A. (2018). Análisis de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante descomposición aeróbica de residuos industriales en mezcla con residuos pecuarios. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar. Obtenido de https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6058/1/T2552-MCCNA-Racines-Analisis.pdf

Retana, L., Méndez, A., Sánchez, H., Montero, W., Barquero, A., & Hernández, G. (2019). Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un bosque primario intervenido de la zona protectora "El Rodeo", Costa Rica. Universidad Nacional Costa Rica. Obtenido de https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/22669

Ryan, M. (11 de Diciembre de 2013). *El rol de los bosques en el secuestro de carbono.* Obtenido de Facultad de Ciencias Forestales : http://www.forestal.udec.cl/el-rol-de-los-bosques-en-el-secuestro-de-carbono/

Sandoval, M., Stolpe, N., Zagal, E., Mardones, M., & Junod, J. (2003). El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. *Theoria, 12,* 65-71. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/242169804_EL_SECUESTRO_DE_CARBONO_EN_LA_AGRICULTURA_Y_SU_IMPORTANCIA_CON_EL_CALENTAMIENTO_GLOBAL/link/0c96053c6c6caa8ca4000000/download

Saugier, B., & Pontailler, J. (2006). Ecologia en Bolivia. Bolivia.

Schmidt, Y. (2013). Servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en el suelo en el sector Comuñiz de la Reserva Comunal Yánesha. *Tesis para optar el título de ingeniero ambiental*. Universidad Nacional de la Selva. Obtenido de https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/352/T.AMB-14.pdf?sequence=1&isAllowed=y%20.

Valderrama, C., Castillo, J., Torres, J., Guzmán, A., Forero, V., Duque, C., . . . Montenegro, S. (2019). Secuestro y almacenamiento de carbono:capturas de carbono por pagos de servicios ambientales. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD,* 106-117. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/336180262_Secuestro_y_almacenamiento_de_carbono/link/6167306a8ad119749b16f215/download

Yáñez, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta Ecológica*(70), 5-18. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/539/53907001.pdf

Zúñiga, T. (1995). Situación actual de la deforestación y reforestación en el Ecuador. INEFAN. Obtenido de https://www.fao.org/3/ad102s/AD102S08.htm

6. ANEXOS

Marco Teórico

El balance de carbono en la Tierra es una función de tres reservorios, el océano tendrá un carbono estimado de 38,000 Pg (1 Pg equivale a 1015 gramos o mil millones de toneladas métricas), la atmósfera contendrá 750 Pg, el sistema terrestre contribuirá con 550 Pg como biomasa vegetal y 1.550 Pg de carbono orgánico del suelo. Los tres yacimientos están en equilibrio dinámico, interactuando e intercambiando carbono entre sí. El cuarto reservorio, el reservorio geológico, tiene un estimado de 65.5 x 106 Pg C; y solo una pequeña fracción (alrededor de 4000 Pg) existe como combustible fósil (Retana *et al.*, 2019).

En los ecosistemas terrestres, el depósito de carbono más grande es el carbono orgánico del suelo con 1550 Pg C, seguido por los depósitos de carbono inorgánico del suelo con 750-950 Pg C. Sin embargo, estas estimaciones globales del contenido de carbono presentan ciertas dificultades, tales como: i) contenido de carbono en suelos con alta variabilidad espacial, ii) estimaciones relativas del área ocupada por diferentes tipos de suelo, iii) composición del volumen, datos insuficientes de la densidad aparente, y iv) efectos de confusión de la vegetación y el cambio de uso del suelo (Retana *et al.*, 2019).

El aumento del carbono orgánico del suelo (COS) está en función de la tasa de descomposición de los residuos de cultivos, como las raíces de las plantas y otra materia orgánica devuelta al suelo, su cantidad y composición. Sin embargo, su manejo y las propiedades del suelo también interfirieron con el aumento del COS. Según algunos autores, un aumento de residuos produce una respuesta lineal donde sugiere que la tasa neta de acumulación de COS depende de la cantidad de COS en el suelo (Retana *et al.*, 2019).

Secuestro de Carbono como servicio Ambiental

De acuerdo a lo establecido por Gonzales y Rodríguez (2010), un servicio ambiental es considerado como aquel que busca satisfacer aquellas necesidades del hombre con el ecosistema de forma directa o indirecta con el fin de salvaguardar el medio ambiente. Actualmente, a nivel global la valoración de los servicios ambientales se ha convertido en una de las estrategias más factibles para el cuidado del mismo. La priorización en la protección de los bosques, el mantenimiento hidrológico, la preservación de la biodiversidad y todas aquellas estrategias permisibles son los principales factores para el secuestro de

carbono (Valderrama, *et. al*, 2018).

No obstante, en su mayoría los suelos de la tierra son destinados para la agricultura, práctica que tiene influencia en el almacén de carbono en el suelo y su expulsión a la atmósfera por medio de CO2. Esta práctica tradicional ha sido el principal componente negativo en la disminución de la materia orgánica y de la calidez de la tierra, pues los sistemas agrícolas desaprovechan el carbono a causa de la erosión y la oxidación (Sandoval *et al.*, 2003).

Por ello, se considera al secuestro de carbono como un servicio ambiental adicional para la agricultura con beneficios tanto en el cuidado de su estructura como de su fertilidad, el mejoramiento en la calidad del agua ya sea por filtración y desnaturalización de contaminantes, restauración en la funcionalidad y productividad y otras que son factores indispensables para el mejoramiento del suelo (Guallo, 2018).

Según Ryan (2013) el secuestro de carbono es un servicio ambiental que tienen los árboles para absorber y almacenar el carbono atmosférico en forma de biomasa, mejorando de acuerdo al manejo que se le brinde a los ecosistemas naturales y forestales para evitar la emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el desarrollo de los agroecosistemas depende de ciertos servicios proporcionados por la mayoría de los recursos naturales del ambiente, donde el secuestro del carbono se convierte en un ente regulador con capacidad de equilibrar el clima a través de emisiones de gases de efecto invernadero, el desarrollo de los procesos ecológicos por medio de ciclos biogeoquímicos y biológicos, incluyendo el mantenimiento del aire limpio (Guallo, 2018).

Captura de Carbono como un servicio ambiental

En América Latina, Ecuador es uno de los países más afortunados en la tenencia de bosques nativos ubicados dentro de la Región Amazónica, consideradas como proveedores indispensables de servicios ambientales con un bien común. Estas zonas boscosas dependen en gran medida del cuidado y protección que le brinde la población para su conservación, pues sin duda alguna del mantenimiento y el empleo adecuado de sus recursos dependerá el futuro del ambiente (Zúñiga, 1995).

La captura de carbono en estos ecosistemas son mediadores del calentamiento global, ya que los árboles permiten la reducción del CO2 que llega a la atmosfera, según Morales y Vásquez

(2019) este proceso se efectúa únicamente en el proceso de desarrollo de los árboles ya que en esta fase absorben sin problema el CO2 de la atmosfera. De acuerdo con Cervantes y Daider (2022) la cantidad de biomasa que originan las plantaciones forestales permiten fijar altas cantidades de CO2 en los árboles por largo tiempo. Sin embargo, ante este gran proceso también existe la captura unitaria, es decir el compuesto se encuentra contenido en distintos almacenes

Carbono almacenado en vegetación (Cv)

Consiste en el carbono almacenado en la biomasa aérea (hojas, tronco, ramas, follaje) y el carbono que se encuentra dentro de la biomasa de las raíces (Benjamín y Masera, 2001).

Carbono en descomposición (Cd)

Alberga a todo el carbono que se encuentra dentro de la materia orgánica almacenadas en el suelo en proceso de desintegración (Benjamín y Masera, 2001).

Carbono en el suelo (Cs)

Carbono que se encuentra ubicado en el suelo forestal, lugar donde se localiza un organismo vegetal que con el pasar del tiempo almacena carbono que incrementa mediante el proceso de formación del suelo (Benjamín y Masera, 2001).

Carbono en productos (Cp)

Este proceso consiste en el almacén de carbón en productos forestales durante largos periodos de tiempo, el compuesto se adapta al ciclo de vida del producto inclusive cuando esta termina, por lo tanto, cabe destacar que mientras más sea la duración del producto forestal el almacenamiento del compuesto durara más tiempo (Benjamín y Masera, 2001).

La captura de carbono específicamente la terrestre forma parte de los ecosistemas boscosos ya que su absorción se da por almacenes naturales. Pero también se debe tener en cuenta que existen programas que permiten capturar este compuesto mediante políticas diseñadas a favor del cuidado y protección del medio ambiente como se establece dentro de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas que considera el “control de emisiones como la remoción por captura en sumideros”. Ante esto también se ha sumado el Protocolo de Kioto donde los países desarrollados se han comprometido a limitar las emisiones de GEI (Yánez, 2004).

Secuestro de carbono como Servicio de Regulación y Soporte

El secuestro de carbono como ente regulador realiza funciones no extenuantes que regulan la calidad del aire, clima con las emisiones de gases de efecto invernadero contribuyendo a los procesos ecológicos por medio de ciclos biogeoquímicos (Guallo, 2018). Los árboles al crecer retienen en sus tejidos el dióxido de carbono que se encuentra en la atmosfera para convertirla en oxigeno por medio de la fotosíntesis (FAO, 2022).

De la misma manera como servicio ecosistémico de soporte el secuestro de carbono interactúa conforme a la formación del suelo, fotosíntesis y ciclos de nutrientes (López y Benavides, 2021). Su interacción se lleva a cabo en el ecosistema especialmente en el forestal a través del cambio de carbono con la atmósfera por medio de la fotosíntesis y la respiración del suelo (Schmidt, 2013).

El ingreso de este compuesto a la tierra se da por distintas fuentes como la hojarasca y la descomposición de raíces muertas, proceso que captura el CO2 para retardar la contaminación atmosférica. Aunque la valoración del carbono que se almacena en el suelo es incalculable al igual que los almacenes aéreos son servicios que permiten mejorar la productividad de cultivos, mejorar el recurso suelo, agua, aire y sobre todo reducir la contaminación atmosférica con el objetivo de aplacar el calentamiento global (Schmidt, 2013).