



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CAPTURA DE CARBONO EN LOS CULTIVOS
DE MAÍZ (ZEA MAYS) EN MOLINOHUAYCO, CANTÓN EL TAMBO-ECUADOR, Y SU
INCIDENCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO.

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Ambiental

AUTORA: EVELIN MARIBEL QUILLAY ALVACORA
TUTOR: ING. FREDI LEONIDAS PORTILLA FARFÁN, PhD.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Evelin Mribel Quillay Alvacora con documento de identificación N° 0302809165, manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 11 de diciembre del 2023.

Atentamente,



Evelin Maribel Quillay Alvacora

0302809165

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Evelin Maribel Quillay Alvacora con documento de identificación N° 0302809165, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo experimental: “Estimación de la capacidad de captura de carbono en los cultivos de maíz (*Zea mays*) en Molinohuayco, cantón El Tambo-Ecuador, y su incidencia en el cambio climático.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 11 de diciembre del 2023.

Atentamente,



Evelin Maribel Quillay Alvacora

0302809165

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fredi Leonidas Portilla Farfán con documento de identificación N° 0102824331, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CAPTURA DE CARBONO EN LOS CULTIVOS DE MAÍZ (ZEA MAYS) EN MOLINOHUAYCO, CANTÓN EL TAMBO-ECUADOR, Y SU INCIDENCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO., realizado por Evelin Maribel Quillay Alvacora con documento de identificación N° 0302809165, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 11 de diciembre del 2023.

Atentamente,



Ing. Fredi Leonidas Portilla Farfán, PhD.

0102824331

Índice general

1. Introducción	7
1.1. Justificación	8
1.2. Problema	9
1.3. Delimitación.....	9
1.4. Explicación de problema.....	10
1.5. Objetivos	11
1.5.1. Objetivo general.....	11
1.5.2. Objetivos específicos	11
2. Fundamentación teórica.....	12
2.1. Cambio climático	12
2.1.1. Problemas globales del cambio climático	13
2.1.2. Aumento de la temperatura	13
2.1.3. Aumento del nivel del mar.....	14
2.1.4. Impactos del cambio climático seguridad alimentaria	15
2.1.5. Impactos del cambio climático en la agricultura.....	16
2.1.6. Gases de efecto invernadero	16
2.1.7. Mitigación del cambio climático.....	18
2.2. Captura de carbono	19
2.3. La agricultura sostenible.....	20

2.3.1. Agricultura sostenible y captura de carbono	22
2.3.2. Cultivo de maíz	22
3. Materiales y Métodos	25
3.1. Diseño	25
3.2. Población y muestra	26
3.3. Cálculo de carbono de la biomasa del maíz.....	26
3.3.1. Toma de muestra.....	27
3.3.2. Estimación del peso de la biomasa herbácea seca	27
3.3.3. Cálculo de carbono almacenado	28
3.3.4. Cálculo del dióxido de carbono fijado	28
3.4. Determinación del carbono almacenado en el suelo.....	29
3.4.1. Obtención de muestra.....	29
3.4.2. Calcinación de la muestra	30
3.4.3. Densidad aparente	31
3.4.4. Materia orgánica	31
3.4.5. Porcentaje de carbono	32
3.4.6. Contenido de carbono del suelo	32
3.4.7. Cálculo del carbono total del cultivo de maíz.....	33
3.5. Valorización Económica.....	33
3.5.1. Escenarios de venta.....	33

3.5.2. Análisis costo beneficio (ACB)	34
3.5.2.1. Valor Actual Neto (VAN).....	34
3.5.2.2. Tasa interna de retorno (TIR).....	35
3.5.2.3. Relación Costo-Beneficio (B/C)	35
3.6. Elaboración del plan de manejo	36
4. Resultados y discusión.....	36
4.1. Producción de biomasa de maíz.....	36
4.2. Captura de carbono en biomasa de maíz.....	37
4.3. Captura de carbono del suelo	39
4.4. Carbono total del cultivo de maíz	42
4.5. Valoración económica	43
4.5.1. Análisis de posibilidad de comercio del bono de carbono	44
4.5.2. Análisis costo beneficio	45
4.6. Plan de manejo	47
4.7. Plan de mejora de capacidad de captura de carbono en los suelos	¡Error!

Marcador no definido.

5. Conclusiones.....	57
6. Referencias	58
7. Anexos	74

RESUMEN

El cambio climático se ha posicionado como una de las amenazas ambientales más graves a las que nos enfrentamos en la actualidad, frente a este fenómeno la captura de carbono se ha catalogado como una medida de mitigación para disminuir el CO₂ de la atmosfera. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo estimar el potencial de captura de carbono de cultivos de maíz (*Zea mays*) de la comunidad de Molinohuayco ubicada en el cantón El Tambo, Ecuador. El área de estudio fue de 3,75 ha. Para la determinación del carbono almacenado se trabajó con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Se establecieron 22 parcelas de muestreo. El carbono almacenado en la biomasa se estimó mediante el método directo que constituye en recolectar muestras en campo y mediante diferencia de masas determinar el contenido de carbono. La cantidad de carbono almacenado en el suelo fue determinada mediante el análisis de Quito (2018) laboratorio. Los resultados indican que en el área de estudio se captura 511,03 tC o 136,27 tC/ha. El mejor capturador de carbono fue el suelo con 122,55 t/ ha, frente a 13,72 t/ha de la biomasa de maíz. Posteriormente se realizó una valoración económica referente a la venta de bono de carbono cuyo beneficio alcanzaría los \$7.158,20 al año, producto de la venta a CDM Gold Standard. Finalmente se presenta un plan de manejo sostenible de cultivos que contribuye para mejorar la productividad de los cultivos y el bienestar del medioambiente mediante la integración de acciones para el correcto manejo de recursos.

Palabras clave: Cambio Climático, sumideros de carbono, cultivos de maíz, valoración económica, plan de manejo sostenible.

ABSTRACT

Climate change has become into one of the most serious environmental threats that we currently face. Considering this phenomenon, carbon capture has been classified as a mitigation measure to reduce CO₂ in the atmosphere. In this context, the objective of this research is to estimate the carbon capture potential of corn crops (*Zea mays*) in the Molinohuayco community, located in El Tambo, Ecuador. The study area was 3.75 hectares. For the determination of stored carbon, a completely randomized experimental design with three repetitions was used. 22 sampling plots of land were established. The carbon stored in the biomass was estimated by means of the direct method. It implies collecting samples in the field and by means of difference in masses the carbon content was determined. The amount of carbon stored in the soil was determined by Quito (2018) laboratory analysis. The results indicate that the study area captures 511.03 tC or 136.27 tC/ha. The best carbon capturer was the soil with 122.55 t/ha, compared to 13.72 t/ha for corn biomass. Subsequently, an economic valuation was made regarding the sale of carbon credit whose benefit would reach \$7,158.20 per year, product which was sold to CDM Gold Standard. Finally, a sustainable crop management plan is presented to improve crop productivity and the well-being of the environment through the integration of actions for the correct management of resources.

Keywords: Climate Change, carbon sinks, corn crops, economic valuation, sustainable management plan.

CAPÍTULO I

1. Introducción

El cambio climático se ha posicionado como una de las amenazas ambientales más graves a las que nos enfrentamos en la actualidad y se ha catalogado como uno de los principales desafíos sociales urgentes y a largo plazo que enfrentan los seres humanos en el siglo XXI (Wang et al., 2021), este fenómeno ha tenido un efecto negativo y ahora está afectando a todas las regiones del mundo y tiene varios impactos en la mayoría de los ecosistemas (Schneider et al., 2022). Además, representa un grave riesgo a la salud, la seguridad y el bienestar de las personas (Lozano Nasi et al., 2022).

En los últimos años se han intensificado los esfuerzos para mitigar los efectos negativos de los gases de efecto invernadero (GEI) y se han planteado varias opciones para secuestrar el carbono, especialmente para capturar CO₂ generado en diferentes procesos industriales. Estas incluyen adsorción, absorción, bucle químico, destilación criogénica y separación por membrana (Ngu Hei, 2022). Sin embargo, a pesar de ser técnicas viables llegan a ser costosas y su implementación tarda mucho tiempo. Por lo tanto, se ha investigado alternativas más viables y se ha reconocido que la agricultura es clave en la mitigación de GEI, ya que las tierras de cultivo pueden funcionar como fuentes de almacenamiento de carbono al retener en CO₂ atmosférico (Jansson et al., 2021), tanto en la materia orgánica del suelo y en la biomasa de las plantas cultivadas (Instituto del Ciclo del Carbono, 2022). Además, “el cultivo de cultivos y plantas puede generar grandes cantidades de biomasa con potencial para la producción de energía y otros productos de base biológica” (Ortiz-Ulloa et al., 2021).

Con base a lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo estimar el potencial de captura de carbono de cultivos de maíz en la comunidad de Molinohuayco ubicada en el

cantón El Tambo, Ecuador, y de esta manera ofrecer un acercamiento para comprender, como estos cultivos tradicionales pueden almacenar CO₂ y convertirse en sumideros de carbono.

1.1. Justificación

Los sistemas de producción agrícola poseen la capacidad de capturar y secuestrar carbono, sobre todo la agricultura tradicional, por sus métodos de manejo y conservación, como la práctica de poca labranza del suelo y la asociación de cultivos (Chacho, 2019). Dichas actividades pueden mejorar en forma importante el tiempo de residencia y el almacenamiento del carbono en el suelo (Robert, 2002). Por lo tanto, la presente investigación ofrece un acercamiento para comprender, como los cultivos tradicionales, en este caso el del maíz pueden almacenar CO₂ y convertirse en sumideros de carbono, y los resultados permitirán abrir nuevas líneas de investigación relacionadas al cambio climático y el sector agrícola.

Por otro lado, el estudio de la valoración económica del secuestro de carbono de los cultivos de maíz permitirá evaluar la posibilidad de obtener beneficios económicos por la integración de este servicio al mercado de bonos de carbono. Por lo tanto, este proyecto tendrá un impacto económico en los agricultores de Molinohuayco, pues podrán acceder a beneficios económicos si se logra una negociación de venta de bonos de carbono.

Finalmente, generar un plan de manejo sostenible para mejorar las características de los cultivos de maíz y aumento de su capacidad de almacenamiento de carbono, se orienta no solo a garantizar la producción sostenible y seguridad alimentaria, sino a disminuir el CO₂ atmosférico. Pues actualmente el mal manejo del suelo en la agricultura está disminuyendo la capacidad de la base de recursos naturales para suministrar alimentos (Naciones Unidas, 2021). Además, al generar un plan de manejo se podrá aumentar la resiliencia de las granjas frente a los impactos del cambio climático, en este contexto nuestro proyecto se justifica en generar un beneficio ambiental no solo local si no que a nivel mundial.

1.2. Problema

Desde hace algunas décadas se han intensificado algunos riesgos climáticos tales como, lluvias intensas, inundaciones frecuentes, sequías, atrapamiento de calor, escasez de agua y deterioro de la calidad del aire (IPCC, 2021; Ray Biswas et al., 2022; Xu et al., 2022). Estos eventos han causado preocupación pues, no solo amenazan la salud física, sino que también tienen un costo significativo en la salud mental de los seres humanos (Manning & Clayton, 2018), y como evidencia de lo mismo, ya se ha informado de nuevas cargas para la salud, debido a que enfermedades previamente erradicadas están resurgiendo en algunos casos, además existe una creciente aparición de nuevas enfermedades relacionadas al cambio climático (Pfeifer & Otto, 2023).

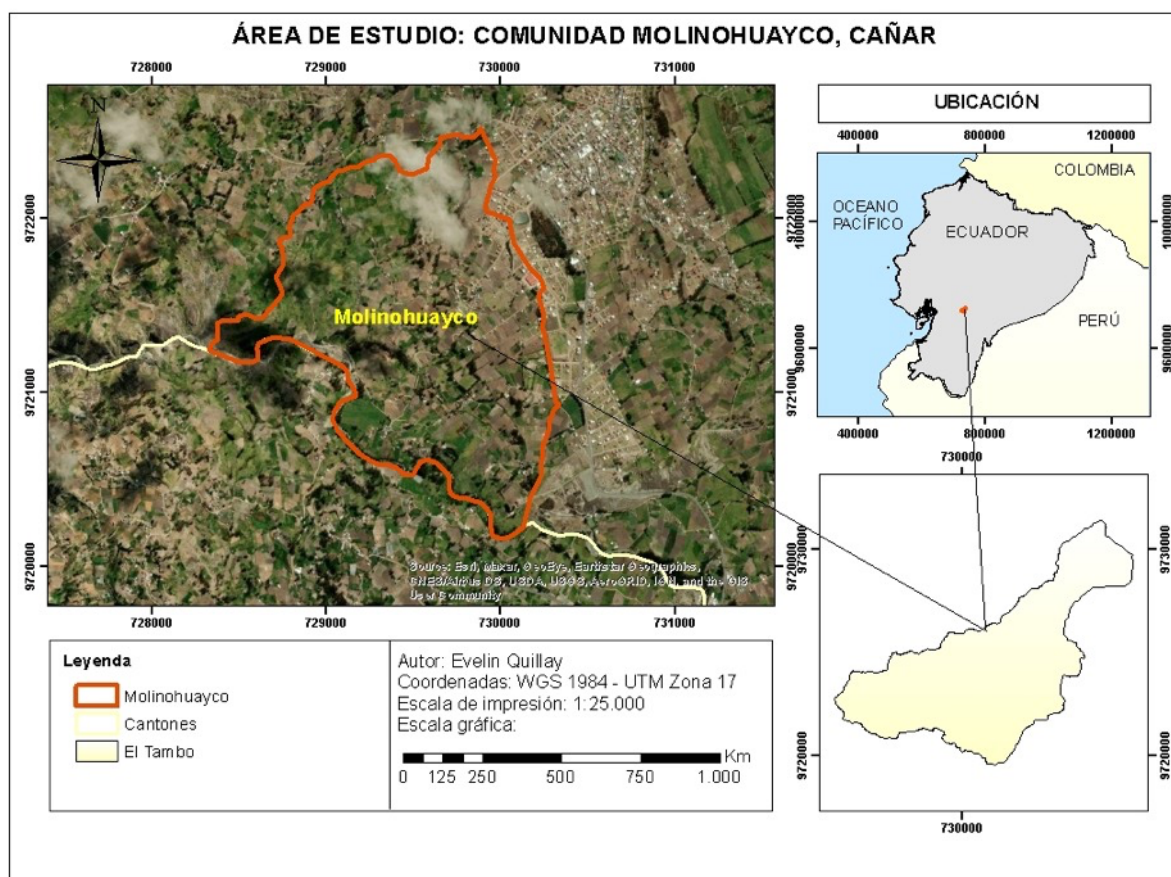
De hecho, en cambio en los patrones del clima ya ha afectado y seguirá afectando el rendimiento de los cultivos (Zhang et al., 2022), lo que genera escasez de alimentos y crisis alimentaria (Fernando et al., 2021). La economía mundial también se ha visto afectado por los impactos del cambio climático, que pueden manifestarse a través de múltiples vías, como, por ejemplo, la escasez de recursos, la reducción de las capacidades de producción o la reducción de los insumos y de mano de obra disponibles que son vitales para las actividades económicas (Aviso et al., 2015).

El cambio climático, además, está afectando ampliamente el ecosistema global, especialmente el secuestro de carbono del ecosistema y el potencial de secuestro, que son temas de preocupación mundial. Por lo tanto, la investigación sobre el cambio climático y el secuestro de carbono en los ecosistemas debe revisarse, resumirse y examinarse sistemáticamente (Hu et al., 2022).

1.3. Delimitación

El presente proyecto investigativo se realizó en la comunidad de Molinohuayco cantón El Tambo en Ecuador (ver figura 1). La toma de datos se delimitó a 22 policultivos de maíz en asociación con otras especies como frejol, haba, alverja, entre otras. La estimación de captura de carbono se calculó considerando solo la biomasa de las plantas de maíz, más no de las otras especies que forman parte del policultivo.

Figura 1. Área de estudio



1.4. Explicación de problema

La problemática del cambio climático requiere la estabilización urgente del clima. Por lo tanto, es preciso reducciones fuertes, rápidas y sostenidas en las emisiones de gases de efecto

invernadero (GEI) y alcanzar cero emisiones netas de CO₂ (Shah et al., 2022), cuya concentración ha aumentado de 260 a 280 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (nivel durante la domesticación de cultivos hasta la revolución industrial) a 400 actualmente y llegará a 550 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ para 2050 (Dingkuhn et al., 2020).

Las formas de reducir la acumulación de GEI en la atmósfera se pueden considerar desde dos aspectos: uno es reducir la fuente de carbono, que es reducir las emisiones de GEI; el otro es aumentar los sumideros de carbono, lo que significa mejorar la absorción de GEI, especialmente de dióxido de carbono (She et al., 2017). Haciendo hincapié en lo segundo, la vegetación funciona como sumidero de carbono. Por ello, es necesario desarrollar nuevas estrategias y políticas adecuadas para el manejo de la agricultura y los bosques. “Una opción se basa en la captura de carbono en los suelos o en las biomásas terrestres, sobre todo en las tierras usadas para la agricultura o la forestación” (Robert, 2002).

De acuerdo con lo anterior, en la presente investigación se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 (hipótesis nula): Los cultivos de *Zea mays* tienen la capacidad de capturar carbono, por lo tanto, pueden funcionar como sumideros de carbono.

H_1 (hipótesis alternativa): Los cultivos de *Zea mays* no tienen la capacidad de capturar carbono, por lo tanto, no pueden funcionar como sumideros de carbono.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Estimar la capacidad de captura de carbono de los cultivos de maíz (*Zea mays*) en la comunidad Molinohuayco, cantón El Tambo-Ecuador, mediante métodos directos de cuantificación del carbono presente en la biomasa de la planta y el suelo cultivado.

1.5.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la cantidad de biomasa producida en los cultivos de maíz (*Zea mays*)
- Determinar la cantidad de carbono almacenado en los suelos y biomasa de los cultivos de maíz (*Zea mays*)
- Calcular la valoración económica referente a la captura de carbono en los cultivos de maíz (*Zea mays*).
- Generar un plan de manejo que incluyan practicas sostenibles que apoye la lucha contra el cambio climático.

2. Fundamentación teórica

2.1. Cambio climático

Desde la década de 1980 los científicos comenzaron a advertir que el calentamiento global afectaría el clima y propusieron que el calentamiento global se debe al aumento de las concentraciones de dióxido de carbono, biogás, óxido nitroso y otros gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (Lu et al., 2022).

El cambio climático actualmente es uno de los principales problemas ambientales que en los últimos años ha traído grandes repercusiones a nivel mundial (Skeiryte et al., 2022) y se define como el cambio en los patrones climáticos producido principalmente por las emisiones de GEI (Fawzy et al., 2020). Este fenómeno puede generar diversas fluctuaciones, como el aumento del nivel del mar, cambios en los patrones de precipitaciones y cambios en las regiones climáticas debido al aumento de las temperaturas (Lasanta et al., 2022).

Además, debido a la variabilidad climática producida por el cambio climático los riesgos asociados con los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos pueden aumentar (Negev et al., 2022), cambiando en consecuencia la frecuencia, la magnitud y la cantidad espacial de desastres, como inundaciones y sequías (Vu, 2021). Dichos cambios inducirán la manifestación

de estos sucesos extremos con un enorme impacto lo que formará una inmensa presión a las comunidades, los sistemas naturales, las sociedades y la economía sobre todo de los países pobre (Khan et al., 2020).

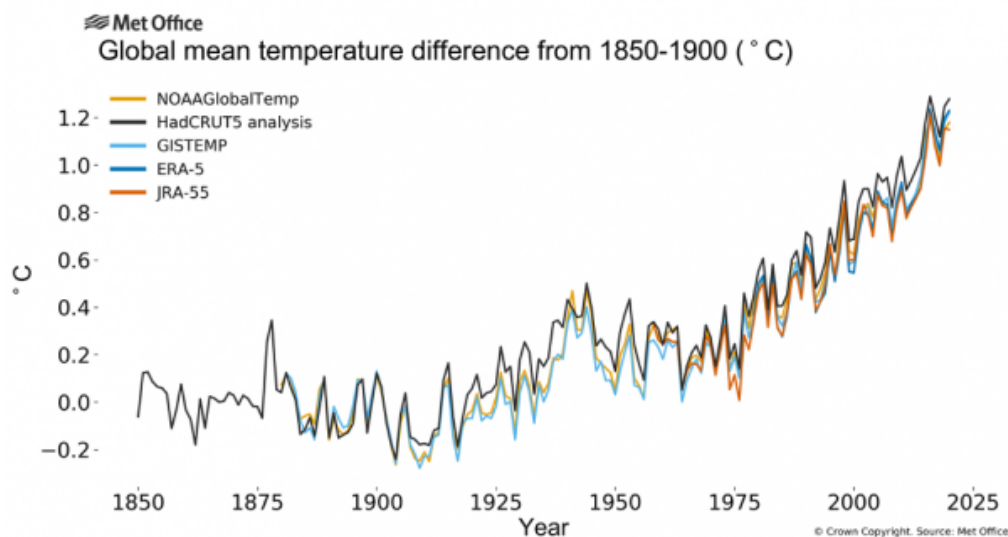
2.1.1. Problemas globales del cambio climático

Los impactos del cambio climático global difieren entre regiones y pueden acrecentar las dificultades de las cadenas de suministro globales. En efecto, los impactos y riesgos del cambio climático local se transfieren a través del comercio a otros países y sectores económicos (Kulmer et al., 2020) lo que aumenta la preocupación, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, sobre los impactos ambientales provocados por la emisión de GEI principal precursor del cambio climático (Belloc & Molina, 2023).

2.1.2. Aumento de la temperatura

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en la actualidad se ha registrado un aumento de 1,2 °C de la temperatura de la superficie de la tierra (ver figura 2) y se han producido fenómenos meteorológicos extremos por todas partes del mundo. Y se prevé que en este siglo se dé un aumento catastrófico de la temperatura pudiendo llegar a 3 o 5 °C (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2022).

Figura 2. *Aumento de la temperatura media global en el periodo 1850-2015*



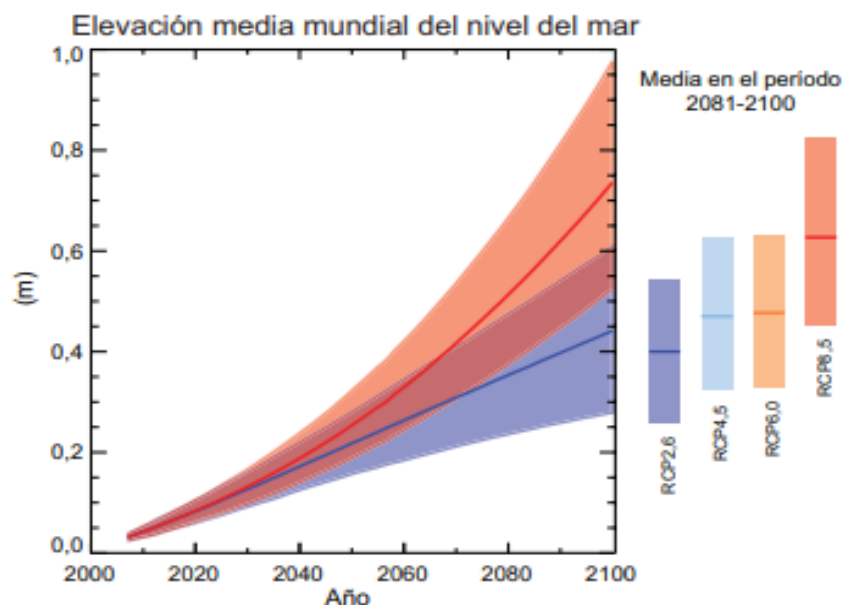
Nota. Obtenido de (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2022).

2.1.3. Aumento del nivel del mar

El rápido aumento del nivel del mar ocasiona un efecto adverso en los ecosistemas costeros, además en las áreas costeras puede causar una erosión perjudicial como inundaciones de humedales, contaminación de acuíferos, contaminación por sal del suelo agrícola, pérdida de hábitat para peces, aves y plantas (Roy et al., 2023) todo esto provoca el deterioro de las funciones de los ecosistemas marinos y costeros (Nevermann et al., 2023).

Las proyecciones mundiales actuales del aumento del nivel del mar indican que su nivel aumenta en un promedio de 2,5 centímetros cada año (Vinata et al., 2023). Desde 1880, el nivel del mar global ha aumentado 20 centímetros y se proyecta que para el 2100 aumente entre 30 y 122 centímetros más debido al calentamiento global producido por el cambio climático (NASA, 2023). Si bien las tasas ampliadas de aumento del nivel del mar son un peligro inmenso para las comunidades costeras, se espera que las marejadas ciclónicas acrecienten en intensidad y frecuencia, lo que las convierte en una amenaza potencialmente importante para las poblaciones costeras (Mathew et al., 2020).

Figura 3. *Proyecciones de modelos basados en procesos de la elevación del nivel medio global del mar en relación con el período 2000-2100 para los cuatro escenarios Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés)*



Nota. Obtenido de (IPCC, 2013). RCP: son escenario que simulan diferentes esfuerzos en mitigación al cambio climático

2.1.4. Impactos del cambio climático seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria se define como “una situación que existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana”(FAO, 2011).

La seguridad alimentaria incluye varias dimensiones como la disponibilidad de alimentos, el acceso, el uso, la estabilidad en el tiempo, y la sostenibilidad (Mirzabaev et al., 2023). El cambio climático figura como una amenaza significativa para la futura seguridad alimentaria en todo el mundo(Guo et al., 2021), y genera consecuencias como colapso de los sistemas alimentarios, incluidos los cultivos, la ganadería y la pesca, así como a las interrupciones en la distribución de alimentos, vinculadas al calentamiento global y eventos externos como sequías, heladas, inundaciones entre otras, en particular para las poblaciones que

ya vulnerables a la inseguridad alimentaria debido a menores ingresos, menor acceso físico a alimentos nutritivos, discriminación social u otros factores (Mirzabaev et al., 2023).

2.1.5. Impactos del cambio climático en la agricultura

El impacto del cambio climático es actualmente el desafío más importante que enfrentan los agricultores en todas partes del mundo, sin embargo, con relación a las vulnerabilidades tiene mayores efectos en las comunidades rurales pobres de los países en desarrollo debido a sus bajos ingresos y a sus limitadas capacidades de adaptación (Khan et al., 2020).

El aumento en la temperatura del aire, cambios en los patrones de lluvia y climas extremos, han provocado la disminución en la producción agrícola mundial (Arifah et al., 2022). En este contexto se estima que, debido al calentamiento global, la productividad agrícola mundial disminuirá entre un 3 y un 16 % para la década de 2080, mientras que, en los países en desarrollo, este porcentaje varía entre un 10 y un 25 % (Reza & Sabau, 2022).

El cambio climático conducirá a cambios en la distribución y disponibilidad de agua, fechas de floración más tempranas, aumento del peligro de heladas tardías debido al desarrollo fenológico más rápido, temporadas de crecimiento más largas, pérdidas de cosechas más frecuentes, aumento de infestaciones de plagas, cambio en los patrones de rendimiento y mucho más (Seppelt et al., 2022).

Las sequías, son uno de los principales impactos que la agricultura enfrenta por el cambio climático. Debido a que minimiza el rendimiento de los cultivos, aumenta las plagas y enfermedades de las plantas y A nivel mundial, las áreas propensas a la sequía aumentaron del 16,2 % en 1902–1949 al 41,1 % en 1950–2008. En los próximos 30 a 90 años, se proyecta que la mayoría de las regiones del mundo sufrirán sequías más severas y generalizadas (Franco et al., 2022).

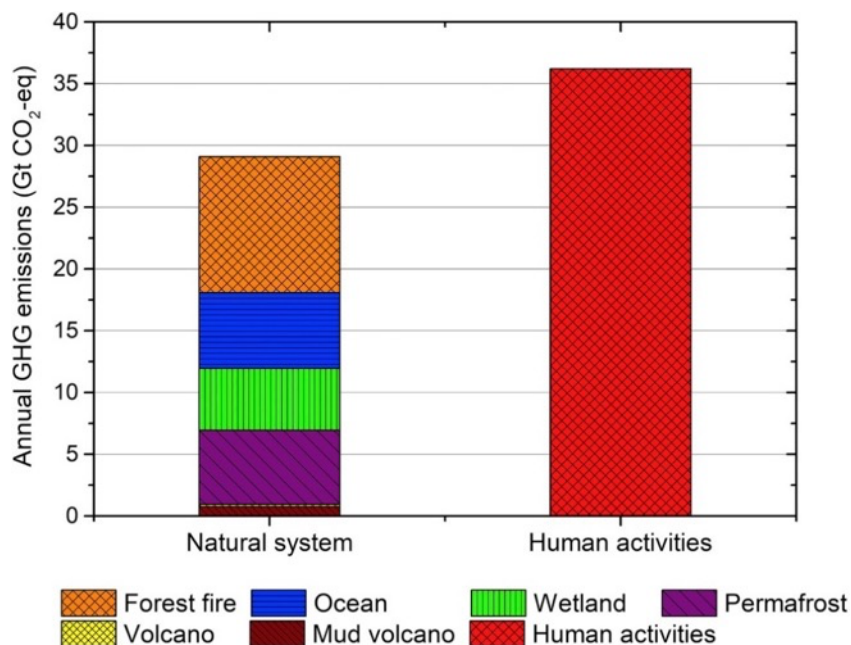
2.1.6. Gases de efecto invernadero

Las emisiones de GEI provocan que el calor quede atrapado en la atmósfera terrestre, y esta ha sido la principal fuerza promotora para producir el calentamiento global. Las principales fuentes de dichas emisiones son los sistemas naturales y las actividades humanas (Fawzy et al., 2020).

Los sistemas naturales de emisión GEI incluyen incendios forestales, terremotos, océanos, permafrost, humedales, volcanes de lodo y volcanes (Yue & Gao, 2018). mientras que las actividades humanas están eminentemente relacionadas con la producción de energía, las actividades industriales y las relacionadas con la silvicultura, el uso de la tierra y el cambio de uso de la tierra (Fawzy et al., 2020).

Según Yue y Gao (2018) las emisiones antropogénicas globales totales de GEI se estiman en alrededor de 36,2 Gt CO₂-eq por año. Mientras que las emisiones del sistema natural son de aproximadamente de 29,07 Gt CO₂-eq por año (ver figura 4).

Figura 4. Emisiones de gases de efecto invernadero de los sistemas naturales globales y la actividad humana



Nota: Obtenido de (Yue & Gao, 2018)

2.1.7. Mitigación del cambio climático

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2022) la mitigación del cambio climático se ocupa de las acciones que están diseñadas para reducir o prevenir las emisiones de GEI que causan el cambio climático inducido por el hombre. Y se puede conseguir aprovechando las nuevas tecnologías, promoviendo las energías renovables, mejorando la eficiencia de los sistemas energéticos más antiguos o cambiando las prácticas de gestión o la conducta de los consumidores (Kumar, 2022).

En el mismo contexto, Skeiryte et al. (2022) advierte que para lograr la mitigación del cambio climático se necesita que la sociedad no solo perciba la gravedad de este problema o asuma de responsabilidad ocasionada, sino también, que las personas se comporten de una forma más respetuosa con el clima. De hecho, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) menciona que “las medidas de mitigación ambiciosas son indispensables para limitar el calentamiento a 1,5 °C y al mismo tiempo lograr el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza” (IPCC, 2018).

Es así, que a nivel mundial ya se vienen realizando ciertas medidas para controlar la problemática del cambio climático, por ejemplo en la Unión Europea los formuladores de políticas se centraron en nuevos estándares ambientalmente amigables para edificios, renovaciones, mejora de la infraestructura de transporte (público, bicicleta, electro móvil) y estándares de emisiones de GEI más estrictos para automóviles y camionetas con la finalidad de reducir las emisiones de GEI (Jakučionytė-Skodienė et al., 2022)

Por otro lado, actualmente existen muchas tecnologías disponibles para lograr la descarbonación de la atmósfera como medida de mitigación y poder mantener la temperatura de la atmósfera por debajo de los 2°C. Estas tecnologías de captura de carbono se refieren a un grupo de procesos utilizados para extraer CO₂ de diferentes aplicaciones y condiciones de flujo:

poscombustión, precombustión, combustión de oxígeno y combustible y captura directa de aire (Ngu Hei, 2022). Que incluyen tecnologías como la absorción física y química y la permeación de membranas, el uso de sistemas acuosos basados en amoníaco y carbonato, y la adsorción en carbón activado, entre otras (Ortiz-Ulloa et al., 2021).

Una de estas tecnologías es la de captura y secuestro de carbono (Nyanga, 2020)

2.2. Captura de carbono

La captura de dióxido de carbono se refiere a un enfoque para eliminar el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera a través de procesos físicos, químicos y/o biológicos (Manan & Alwi, 2015; Suppes & Storvick, 2016). El secuestro de este GEI puede darse en diferentes entornos y elementos naturales como se indica a continuación.

La mineralización de CO₂ es un proceso natural continuo que junta el CO₂ en forma sólida y también se puede realizar a través de procesos de ingeniería efectuados a grandes escalas. Dichos procesos implican “la extracción de cationes divalentes de silicatos utilizando rocas ígneas, máficas y ultramáficas o la extracción de cationes divalentes de salmueras o aguas producidas asociadas con la producción de petróleo y gas” (Selley & Sonnenberg, 2023).

El secuestro geológico que se refiere al almacenamiento seguro y permanente de CO₂ en el subsuelo mediante la inyección de CO₂ generalmente en los yacimientos de petróleo y gas agotados, también incluye la recuperación mejorada de petróleo y gas, recuperación mejorada de metano en capas de carbón, inyección de CO₂ en vetas de carbón profundas no explotables e inyección de CO₂ en depósitos salinos profundos C (Arbad et al., 2022).

El secuestro terrestre involucra sumideros de carbono naturales y suplementados por el hombre asociados con el suelo y la biota (Lal, 2010)., por medio de los cuales el carbono se transfiere de la atmósfera al suelo y la vegetación a través de la fotosíntesis, la humificación y la agregación. El aumento del secuestro de CO₂ terrestre comprende principios sólidos de

manejo de la tierra y es una de diversas estrategias posibles que se están considerando para estabilizar la concentración atmosférica de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (Zeng, 2008). Pues la vegetación puede acumular carbono durante su vida en sus componentes superficiales y en la biomasa de sus raíces subterráneas (Huynh et al., 2023).

2.3. La agricultura sostenible

Según el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF, por sus siglas en inglés) (2023) la agricultura es la industria más grande del mundo, emplea a más de 1000 millones de personas, y genera más de 1,3 billones de dólares en alimentos cada año. Los pastos y las tierras de cultivo ocupan alrededor del 50% del suelo del planeta y proveen hábitat y alimento para gran variedad de especies.

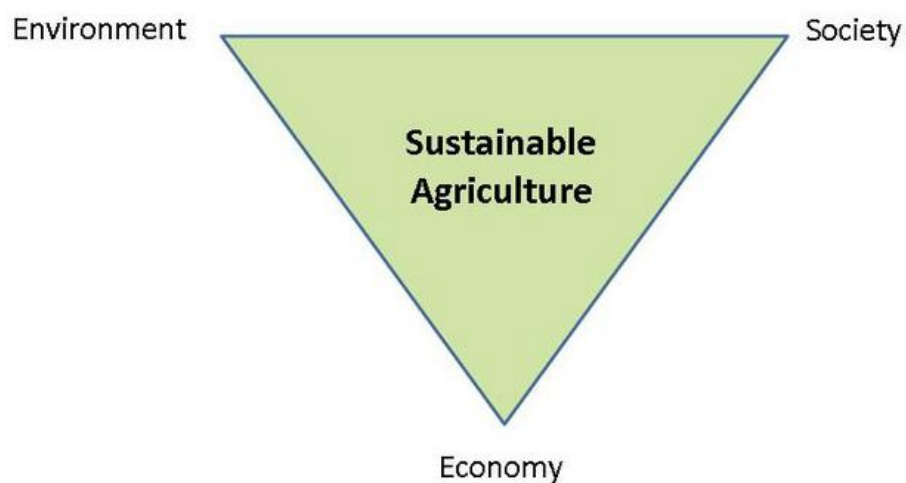
Actualmente la agricultura juega un papel doble en el cambio climático porque, por una parte, funciona como una fuente de GEI. De hecho, es el segundo mayor productor mundial de emisiones de GEI, este sector representa alrededor del 21 % del total mundial (Zhao et al., 2023), mientras que, por otro lado, funciona como un sumidero de emisiones de GEI, ya que los suelos agrícolas sanos y las áreas boscosas en las fincas tienen la capacidad para secuestrar carbono, compensando la contribución general del sector al cambio climático (Reza & Sabau, 2022).

En este contexto la sostenibilidad agrícola es una solución hacia la mitigación del cambio climático. La sostenibilidad agrícola promueve de manera sostenible las prácticas relacionadas con la agricultura para satisfacer las necesidades actuales de la sociedad relacionadas con los alimentos y los textiles sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus mismas necesidades (Kumar & Pant, 2023).

La agricultura sostenible integra tres objetivos principales: salud ambiental, rentabilidad económica y equidad social (ver figura 5). Una variedad de filosofías, políticas y prácticas han

contribuido a estos objetivos, pero algunos temas y principios comunes se entretajan en la mayoría de las definiciones de agricultura sostenible. (Brodt et al., 2011)

Figura 5. Integración de la agricultura sostenible



Nota: Obtenido de (Brodt et al., 2011).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) los desafíos que genera la agricultura insostenible dan parte a cinco principios claves para el desarrollo estratégico y transición a la sostenibilidad. Estos cinco principios son los siguientes (FAO, 2023):

Principio 1: Mejorar la eficiencia en el uso de los recursos es fundamental para la agricultura sostenible

Principio 2: La sostenibilidad requiere acciones directas para conservar, proteger y mejorar los recursos naturales

Principio 3: La agricultura que no logra proteger y mejorar los medios de vida rurales y el bienestar social es insostenible

Principio 4: La agricultura sostenible debe aumentar la resiliencia de las personas, de las comunidades y de los ecosistemas, sobre todo al cambio climático y a la volatilidad del mercado

Principio 5: La buena gobernanza es esencial para la sostenibilidad tanto de los sistemas naturales como de los sistemas humanos

2.3.1. Agricultura sostenible y captura de carbono

La agricultura puede actuar como un sumidero de carbono natural y brinda una gran oportunidad para capturar el carbono atmosférico a través de prácticas agrícolas sostenibles para capturar CO₂ en la biomasa de los cultivos o en el suelo labrado (Kiran et al., 2023).

Las prácticas agrícolas sostenibles brindan una amplia gama de beneficios socioeconómicos y ambientales, entre los ampliamente reconocidos para enriquecer el secuestro de carbono en las tierras cultivadas incluyen la gestión integrada de nutrientes, enmiendas orgánicas, labranza cero, rotación de cultivos, retención de residuos, cultivos intercalados, biocarbón y agrosilvicultura (Clark et al., 2017).

2.3.2. Cultivo de maíz

El desarrollo de la humanidad está directamente relacionado con la producción agrícola, en muchos lugares alrededor del mundo es la principal actividad y fuente de ingresos (Montúfar et al., 2021), por lo tanto, es fundamental reconocer su importancia y el cuidado que hay que dar a esta industria, con el fin de planificar una producción más eficiente y sustentable (Aguilar-Carpio et al., 2021).

El cultivo de maíz es una de las actividades más comunes dentro de la producción agrícola, sin embargo, se ha visto afectado por diferentes ámbitos (Bravo-Martínez et al., 2022) e algunos de ellos son: el cambio climático, plagas, costos altos para su control el uso de métodos

agrícolas tradicionales, entre otros, lo que ha retrasado la planificación para satisfacer el creciente consumo que la población demanda (Zulueta-Rodríguez et al. 2020),

Este producto, es muy sensible a los cambios ambientales debido a que, el cultivo de maíz tiene un ciclo donde se marcan cinco etapas: nascencia, crecimiento, floración, fructificación y maduración-secado (Perales López et al., 2022).

En Ecuador, en el año 2019 la producción nacional de maíz fue 1'479.770 toneladas (Angamarca y Delgado, 2022), concentrándose el mayor porcentaje de producción en la provincia del Guayas con el 75% mientras que la provincia de Los Ríos la producción bordea el 60% del área cosechada de la producción del país (Martillo et al., 2020). El área de cultivos de maíz en Ecuador se estimó que en 2022 llegó a 291.867,10 ha con una tasa de crecimiento de 0,05% respecto al 2021 (Velásquez et al., 2023).

Tabla 1. *Requerimiento de cultivo*

Requerimiento	Detalles
Clima	Los cultivos de maíz de aptan favorablemente a ambientes tropicales y subtropicales y generalmente requieren temperaturas entre 25 y 30 °C
Suelos	Para el correcto desarrollo de la planta de maíz es óptimo contar con sustratos fértiles, siendo los más recomendables aquellos terrenos con baja pendiente, una textura media, buen drenaje y fertilidad y tener un pH de 5,5 a 7
Agua	Como en todo sistema de cultivo es agua es vital para crecimiento y desarrollo, el maíz específicamente requiere en promedio de 650 mm aproximadamente

Nota, adaptado de Villacís (2021).

2.3.3. La planta de maíz

El maíz (*Zea mays L.*) es una de planta plenamente doméstica, por lo que, no tiene crecimiento en forma silvestre (Angamarca y Delgado, 2023). Las plantas de maíz tienen diferentes características morfológicas a continuación se indican en la siguiente tabla:

Tabla 2. *Características morfológicas del maíz*

Aspecto de la planta	Maíz
Hábito	Anual
Multiplicación	Por semillas
Sistema radicular	Estacional
Sistema caulinar	Tallo principal, pocos macollos
Hojas	Anchas
Inflorescencia lateral	Femenina
Inflorescencia terminal	Masculina, grande y dominante
Espiguillas femeninas	Apareadas
Espiguillas masculinas	Apareadas
Mazorca	Muchas filas, cubierta
Fruto	Desnudo, no dehiscente
Reproducción	Sexual
Semilla	Sin latencia

Nota. Obtenido de Paliwal (2001).

Capítulo II

3. Materiales y Métodos

El proyecto se efectuó en tres etapas. En la primera etapa se realizó la estimación de la captura de carbono de los cultivos de maíz. Luego, se analizó la valoración económica; y finalmente se detalló el plan de manejo sostenible para los cultivos de maíz.

3.1. Diseño

Para el desarrollo de este proyecto y aplicación de métodos se tomó como referencia la información de 22 policultivos de maíz que forman parte del territorio de la comunidad Molinohuayco (ver figura 6), el área que comprende estos predios es de 3,75 ha

Figura 6. Policultivos de maíz de Molinohuayco

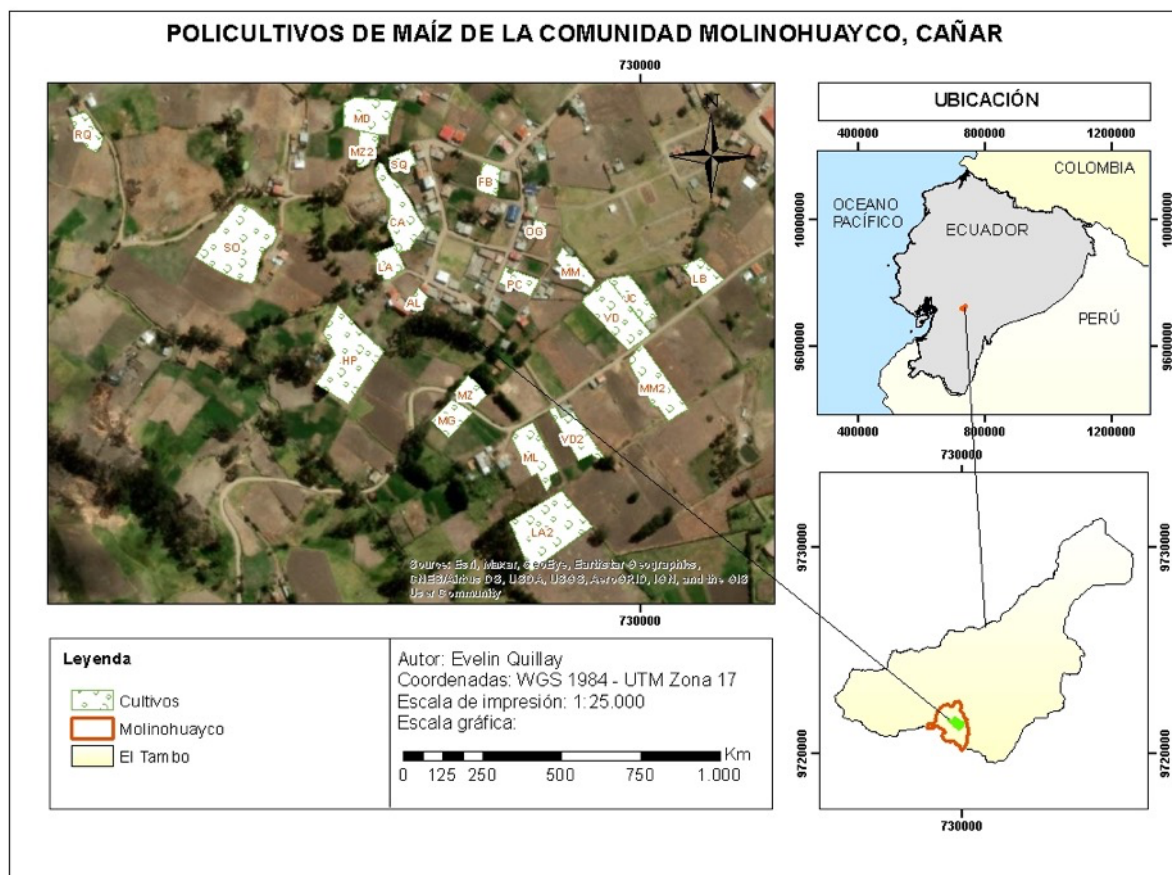


Tabla 3. *Coordenadas de los predios muestreados*

Propietario	Coordenadas	
	y	x
Fernanda Buri	-78,93300	-2,517194
Valeriano Dután 1	-78,93400	-2,516667
Rosario Quillay	-78,93725	-2,516750
Hilda Paucar	-78,93466	-2,518806
Luz Álvarez	-78,93402	-2,518167
Carmen Álvarez	-78,93394	-2,517556
Sipriano Quillay	-78,93416	-2,517139
María Morocho 1	-78,93211	-2,518333
Jhonatan Caizán	-78,93144	-2,518472
Pablo Caizán	-78,93275	-2,518417
Manuel Dután	-78,93200	-2,518556
María Morocho 2	-78,93163	-2,519167
Oliva Guamán	-78,93275	-2,517667
Valeriano Dután 2	-78,93197	-2,520222
Luz Álvarez 2	-78,93238	-2,520694
Alberto Lazo	-78,93380	-2,518417
Mercedes Guamán	-78,93350	-2,519667
Sara Ojeda	-78,93638	-2,518028
Manuel Zaruma 1	-78,93333	-2,519417
Manuel Zaruma 2	-78,93447	-2,517083
Luz Buri	-78,93089	-2,518226
Manuel Lema	-78,93269	-2,520071

3.2. Población y muestra

En el presente trabajo experimental se utilizó un método de investigación cuantitativo, que se basó en una recopilación de datos in-situ mediante un muestreo aleatorio simple, este muestreo ayudo a obtener la información de las variables necesarias para cada análisis. Se recolectaron muestras de biomasa de maíz y de suelo cada variable por triplicada en los 22 terrenos de policultivos de maíz ubicados en la comunidad de Molinohuayco, Cañar.

3.3. Cálculo de carbono de la biomasa del maíz

Para estimar el carbono en la biomasa del maíz se utilizó la metodología propuesta por Hidalgo (2014), con ligeras modificaciones, el procedimiento se detalla a continuación:

3.3.1. Toma de muestra

Se empleó el método directo, el cual consiste en recolectar la muestra de forma directa delimitando un espacio de 1 m², en parcelas distribuidas al azar por cada lote de estudio. La recolección de la muestra se realizó después que las plantas alcanzaron su madurez fisiológica (140 días después de la siembra) de acuerdo con lo recomendado por Marcos et al. (2016).

En este estudio se recolectaron las muestras por triplicado de cada lote de cultivo, luego se pesaron y este valor es el peso fresco total (PFT).

Figura 7. Cultivos de maíz



3.3.2. Estimación del peso de la biomasa herbácea seca

De la muestra principal (PFT) se homogenizó y se extrajo una submuestra (ver figura 8), este valor es el peso fresco (PFM). A continuación, esta submuestra previamente pesada, se secó en una estufa a 75 °C durante 72 horas con la finalidad de eliminar toda la humedad presente en la muestra, finalmente se pesó y este resultado es el peso seco (PSM).

Para la estimación de la biomasa herbácea seca se utilizó la ecuación 1:

$$BAH = 0,000001 \left(\frac{PSM}{PFM} \right) PFT \quad (1)$$

Dónde:

BAH= Biomasa herbácea seca (t)

PSM= Peso seco de la muestra colectada (g)

PFM= Peso fresco de la submuestra (g)

PFT= Peso fresco total por cada metro cuadrado(g)

0,01= Factor de conversión

Figura 8. *Secado de la biomasa de maíz*



3.3.3. Cálculo de carbono almacenado

Para determinar el carbono almacenado dentro de la biomasa herbácea se multiplica la cantidad de biomasa seca por 0,5 (ecuación 2) que es un factor de carbono dado por el IPCC, y que indica que el 50% de la biomasa vegetal seca es (Chacho, 2019):

$$CT = 0,5BAH \quad (2)$$

Dónde:

CT= Carbono almacenado (t)

BAH= Biomasa herbácea, materia seca (t)

3.3.4. Cálculo del dióxido de carbono fijado

El dióxido de carbono capturado se obtiene con ecuación 3:

$$CO_2 = 3,6663 CT \quad (3)$$

Donde:

CO₂= carbono capturado en toneladas de dióxido de carbono (t)

CT= carbono almacenado (t)

3,6663= es un factor de conversión a dióxido de carbono, el cual es el resultado del cociente de los pesos moleculares de carbono y dióxido de carbono es decir el peso de las emisiones/ peso atómico del carbono siendo: Peso atómico del CO₂: 43,999915 (gr/mol); Peso atómico del carbono: 12,001115 (gr/mol)

3.4. Determinación del carbono almacenado en el suelo

Se utilizó la metodología propuesta por Quito (2018), misma que se detalla a continuación:

3.4.1. Obtención de muestra

Las muestras se recolectaron mediante el método de zig-zag; que consiste en tomar diversas muestras por todo el terreno tratando de abarcarlo en su totalidad en forma de zig-zag, este es un método muy eficiente para toma de muestras representativas. En este estudio se tomaron cinco muestras por parcela, estas se homogenizaron y de dicha mezcla se extrajo una alícuota de 20 g para el análisis posterior. La toma de muestra de suelo se realizó mediante la ayuda de un barreno y a una profundidad de 40 cm como lo recomienda Coyote (2020):

Figura 9. *Recolección de muestra de suelo*



3.4.2. Calcinación de la muestra

La muestra obtenida se tamizó a un grano de 0,351 mm y se secó en una estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, luego la muestra se enfrió en un desecador, se pesó y posteriormente se calcinó en una mufla a 360 °C durante dos horas, una vez transcurrido este tiempo la muestra nuevamente se enfrió y se pesó.

Figura 10. *Calcinación de biomasa de maíz*



3.4.3. Densidad aparente

Para calcular la densidad aparente se utiliza el método del cilindro de volumen conocido representado en la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{Ps}{Vs} \quad (4)$$

Donde:

Da=densidad aparente (g/cm³)

Ps=Peso seco de la muestra (g)

Vs=Volumen del suelo

El volumen del suelo se refiere a la cantidad de volumen muestreado, y es dependiente al tipo de barreno utilizado que se obtiene con la ecuación 5:

$$Vs = Vc = \pi r^2 h \quad (5)$$

Donde:

Vc=Volumen de cilindro (cm³)

r= radio de barreno (cm)

h= altura de barreno (cm)

3.4.4. Materia orgánica

El peso de la materia orgánica se obtiene con la ecuación 6:

$$MO = \frac{A-b}{A} 100 \quad (6)$$

Donde:

MO= Materia orgánica

A=peso húmedo de suelo (g)

B= peso calcinado a 360 °C (g)

100= para convertir a porcentaje

3.4.5. Porcentaje de carbono

Se obtiene la ecuación 7, como se indica a continuación:

$$CO = 1,724 MO \quad (7)$$

Donde:

MO= materia orgánica (%)

CO= carbono orgánico (%)

1,724= es el factor de Van Benmelen de 1,724 el cual asume que el 58% de la materia orgánica del suelo está compuesta por carbono ($1/0,58=1,724$)

3.4.6. Contenido de carbono del suelo

El contenido total de carbono del suelo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$CS = CO (Da) P (S) \quad (9)$$

Donde:

CS= carbono contenido en el suelo (t C / ha)

CO= carbono orgánico (%)

Da= densidad aparente (g/cm^3)

P= profundidad (cm)

S=Superficie (ha)

3.4.7. Cálculo del carbono total del cultivo de maíz

Una vez obtenido la cantidad de carbono dentro de la biomasa herbácea (CBH) y la cantidad de carbono total en el suelo (CS), el carbono almacenado en el sistema de uso de la tierra se obtiene con la siguiente ecuación:

$$CT = CBH + CS \quad (10)$$

Dónde:

CT= Carbono total del sistema de uso de tierra

CBH= Carbono dentro de la biomasa herbácea

CS= Carbono en el suelo

3.5. Valorización Económica

Para estimar el valor económico del CO₂ capturado se utilizó la metodología propuesta en otros estudios (Medina et al., 2020; Morales y Vásquez, 2019), que consiste en realizar un análisis de las entidades que compran bonos de carbono para definir la mejor opción de venta. El beneficio monetario del proyecto se obtiene con la ecuación 11.

$$Ve = VCO_2 * Precio \ de \ mercado \quad (11)$$

Donde:

Ve: Valoración económica en dólares de carbono

VCO₂: Volumen de CO₂ capturado (t C)

3.5.1. Escenarios de venta

Los mercados de carbono tienen dos escenarios: i) Mercado voluntario y ii) Mercado de cumplimiento, por tal motivo la indagación de precios de los bonos se orientó a distintas entidades de cada tipo de mercado, y se analizó cual es la mejor opción, basados en dos contextos, el primero, en la entidad que ofrece mejor beneficio económico para el proyecto y el segundo, la entidad que ofrece la mejor posibilidad de negocio en términos de requisitos y facilidades de negociación.

Tabla 4. Precios de bonos de carbono

Tipo de mercado	Entidad	Origen	Precio (USD/t C)	Referencia
Mercado voluntario	CDM Gold Standard	Suiza	\$14,00	(The Gold Standard Foundation, 2023)
	Carbonfund	EE. UU.	\$ 17,50	(Carbonfund, 2022)
Mercado de cumplimiento	SENDECO ₂	España	\$ 83,28	(SENDECO ₂ , 2023)
	California Air Resources Board	EE. UU.	\$ 59,17	(California Air Resources Board, 2023)

Nota. Adaptado de (Cajilema y Fernández, 2023)

3.5.2. Análisis costo beneficio (ACB)

Para el análisis costo beneficio se analizó de índices financieros de rentabilidad: Valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación costo beneficio.

3.5.2.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es un índice que compara la inversión inicial del proyecto con el valor actual de ingresos netos, se obtiene con la siguiente ecuación (Angamarca y Delgado, 2022):

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{c_n}{(1+i)^n} \quad (12)$$

Donde:

C_0 : La inversión inicial (\$)

c_n : El flujo de caja del año (\$)

i : La tasa de descuento (%)

$\sum_{i=1}^n \frac{c_n}{(1+i)^n}$: Representa la actualización de flujos

La interpretación del VAN ayuda a definir si un proyecto es rentable o no. Si $VAN > 0$ en proyecto es rentable. Mientras si $VAN \leq 0$ el proyecto no es rentable (Angamarca y Delgado, 2022).

3.5.2.2. Tasa interna de retorno (TIR)

El TIR es un índice que equilibra el valor de ingresos y egresos de una empresa y permite definir la rentabilidad de un proyecto, para su cálculo se aplica la siguiente ecuación (Angamarca & Delgado, 2022)

$$0 = \sum_{i=0}^N \frac{CF_i}{(1+k)^i} \quad (13)$$

Donde:

CF_i: Flujo de caja en el año i (\$).

k: Tasa de descuento.

N: Duración del proyecto, en años.

La interpretación del TIR ofrece tres alternativas:

- i. Si la $TIR > k$ el proyecto es rentable
- ii. Si la $TIR < k$ el proyecto no es rentable
- iii. Si la $TIR = k$ igual es indiferente ejecutar el proyecto

3.5.2.3. Relación Costo-Beneficio (B/C)

El análisis Costo-Beneficio es una técnica de interpretación para determinar la viabilidad de un proyecto, este índice relaciona los flujos de ingresos y egresos de un proyecto, su resultado ofrece tres criterios de aceptación (Cajilema y Fernández, 2023):

Si $B/C > 1$ significa que el proyecto no es rentable, pues los ingresos son mayores a los egresos.

Si $B/C = 1$ significa que el proyecto es indiferente debido a que los ingresos y egresos son iguales, no se recomienda realizar el proyecto ya no se representaría beneficios.

Si $B/C <$ indica que el proyecto no es rentable debido a que los egresos son mayores a los ingresos.

$$\frac{B}{C} = \frac{VAI}{VAC+I_o} \quad (14)$$

Donde:

VAI: valor actual de los ingresos netos (\$).

VAC: valor actual de los egresos netos (\$).

I_o : inversión inicial del proyecto (\$).

3.6. Elaboración del plan de manejo

Para la elaboración del plan de manejo se realizó una indagación bibliográfica con la finalidad de obtener información veraz y verificada de prácticas agrícolas sostenibles que pueden ser implementadas o adaptadas para los cultivos de maíz y de esta manera generar una propuesta como plan de manejo de agricultura sostenible que en la actualidad es muy importante para lograr las metas de desarrollo sostenible como la FAO y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (FAO, 2023); como aporte a lucha frente al cambio climático.

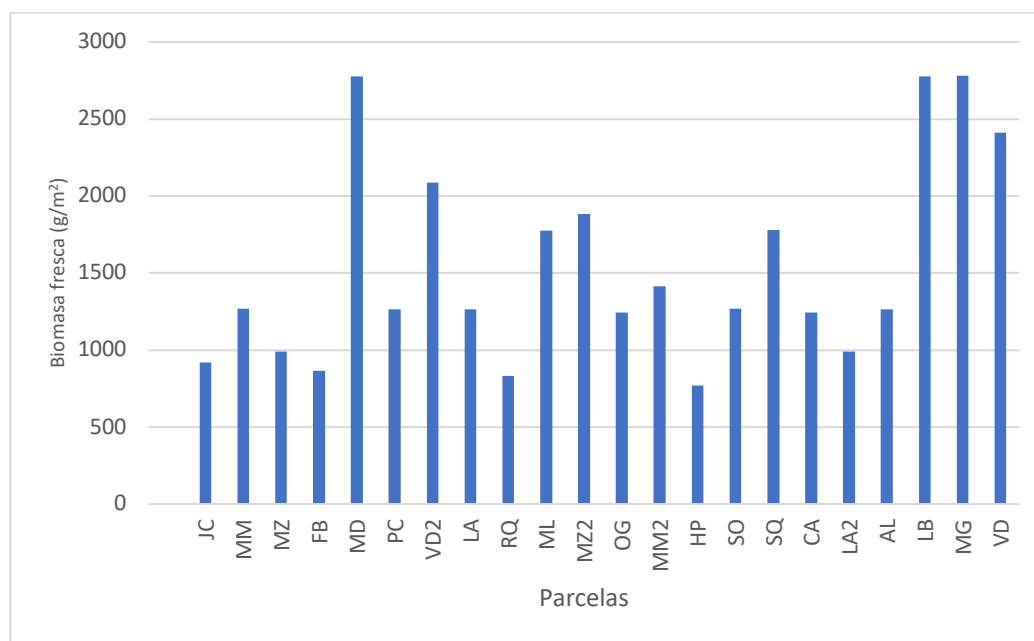
4. Resultados y discusión

4.1. Producción de biomasa de maíz

La producción de biomasa verde de maíz en el área de estudio fue de $1,399 \text{ kg/m}^2$ (15,39 t/ha), mientras que la biomasa seca es de $0,749 \text{ kg/m}^2$ (7,49 t/ha) que fue menor a lo reportado por Hidalgo, (2014) que obtuvieron 1,90 t/ha en un estudio realizado en Perú, en cambio el resultado de esta investigación supera a lo calculado por Angamarca y Delgado (2022) que indicaron una producción de $0,358 \text{ kg/m}^2$ de biomasa seca en un estudio realizado en Cuenca,

Ecuador. Estas variaciones en los resultados pueden corresponder a las características particulares de cada cultivo, por ejemplo, se identificó distintas distancias entre surcos e hileras de los cultivos analizados, esto se reflejó en los resultados de la producción de biomasa fresca, pues, el peso fue diferente en cada parcela analizada y estuvo en un rango de 768-2779 g/m² como se observa en la siguiente figura.

Figura 11. *Producción de biomasa fresca*



4.2. Captura de carbono en biomasa de maíz

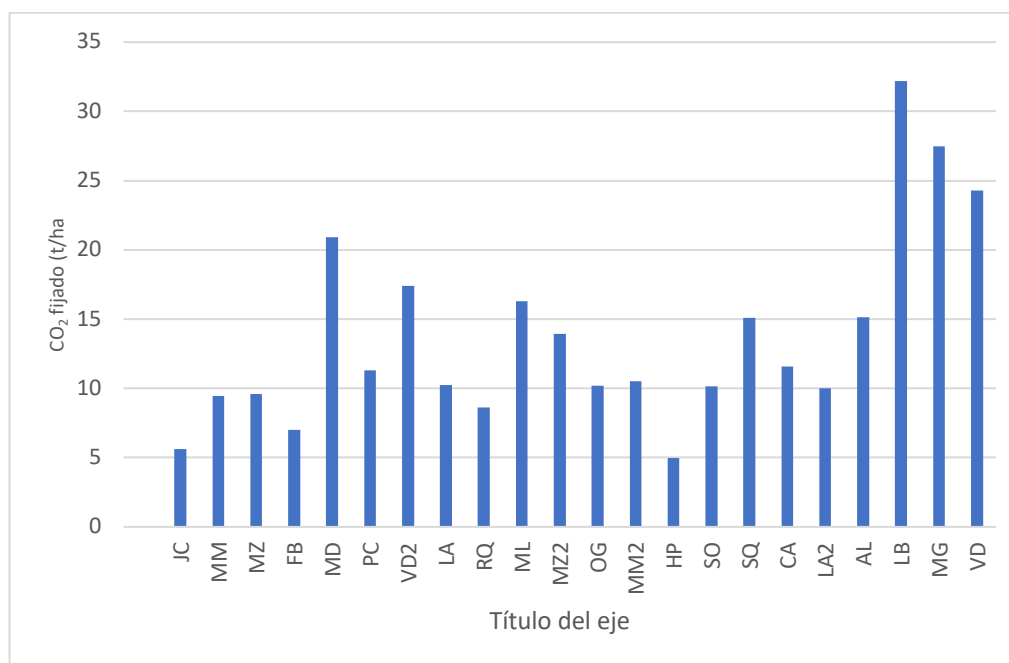
La captura de carbono de la biomasa de maíz en promedio es de aproximadamente 13,72 t C/ ha, pero su rango fue amplio entre 4,98-32,18 t C/ ha (ver figura 12) mientras que el carbono total capturado en la zona de estudio es de aproximadamente 51,48 t C/año.

La capacidad de captura de carbono de este estudio es significativamente superior a lo indicado por Hidalgo (2014) que reportaron 0,86 t C/ha en un cultivo de Perú. Por el contrario, es inferior a lo obtenido por Coyote (2020) cuyo rango estuvo entre 38,5-87,9 t C/ha estudio realizado en México. Sin embargo, el promedio obtenido es muy comparable con lo conseguido

por Quito (2018) y Solorio et al. (2016) que indicaron rangos de 10-25 t C/ha y 11,4- 41,6 t C/ha respectivamente dichos estudios se realizaron cultivos de maíz en Ecuador y México respectivamente.

Así mismo, el promedio del presente estudio es considerablemente inferior a lo reportado en estudios de otro tipo de vegetación, por ejemplo, la biomasa de hule captura 257,07 t C/ha (López-Reyes et al., 2016), biomasa de plantaciones de bosque en montaña 40,3 t/ha (Mada et al., 2022), biomasa de bosques de ribera 734,84 t C/ha (Cajilema y Fernández, 2023) y 849,42 t C/ha (Orellana y Landi, 2023) y arboles de bosques urbanos 177,01 t C/ha (Muñoz et al., 2022), estudios realizados en Cuenca, Ecuador. Se ha demostrado también, que la biomasa de vegetación arbórea es el tipo de vegetación con mayor potencia de captura y se reportado que los bosques tropicales capturan aproximadamente 4,2 GtC/ año, los bosques templados 3,7 GtC/ año y los bosques boreales 2,1 Gt C/ año (Zeng, 2008).

Figura 12. Capacidad de captura de carbono de los predios analizados



A continuación, en la siguiente tabla se indica los valores obtenidos de las distintas variables estudiadas:

Tabla 5. Resultados de las variables de estudio de captura de carbono en biomasa

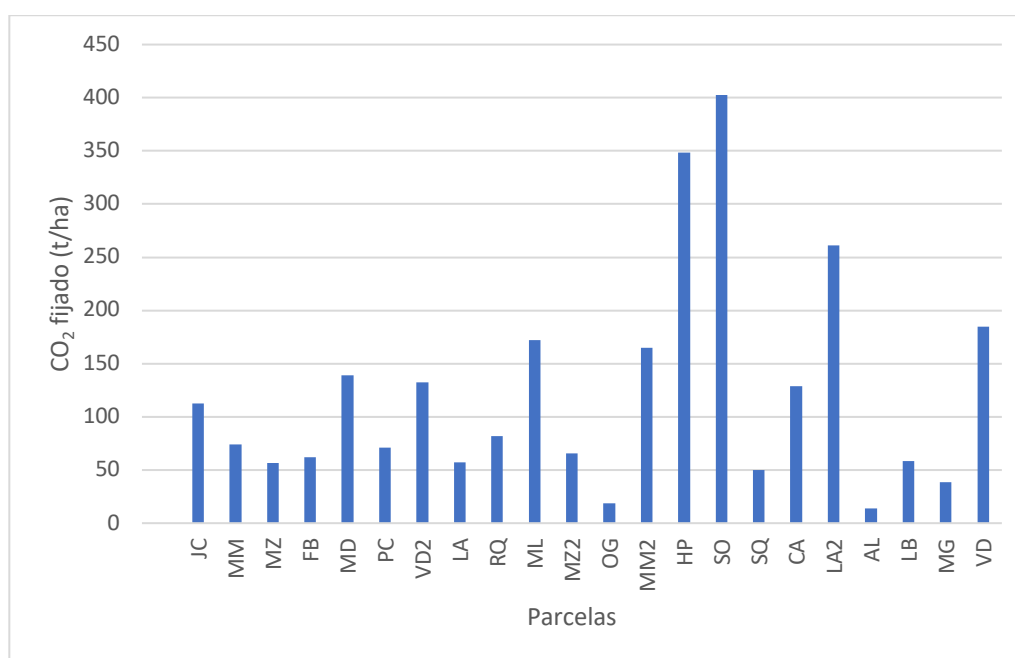
Propietario	Código	Área (ha)	Biomasa fresca (g/m ²)	Biomasa seca (t)	Carbono almacenado (t)	Total, de CO ₂ fijado (t)	CO ₂ fijado (t/ha)
Jhonatan Caizán	JC	0,130	918	0,397	0,198	0,727	5,604
María Morocho 1	MM	0,084	1268	0,434	0,217	0,796	9,472
Manuel Zaruma 1	MZ	0,071	989	0,370	0,185	0,679	9,582
Fernanda Buri	FB	0,074	867	0,284	0,142	0,521	7,009
Manuel Dután	MD	0,212	2778	2,424	1,212	4,444	20,930
Pablo Caizan	PC	0,079	1264	0,487	0,244	0,894	11,296
Valeriano Dután 2	VD2	0,154	2088	1,460	0,730	2,676	17,377
Luz Álvarez	LA	0,087	1266	0,483	0,241	0,885	10,223
Rosario Quillay	RQ	0,092	830	0,435	0,217	0,797	8,642
Manuel Lema	ML	0,203	1775	1,803	0,902	3,306	16,285
Manuel Zaruma 2	MZ2	0,076	1881	0,576	0,288	1,056	13,913
Oliva Guamán	OG	0,023	1242	0,130	0,065	0,239	10,211
María Morocho 2	MM2	0,250	1414	1,435	0,718	2,631	10,524
Hilda Paucar	HP	0,463	768	1,257	0,629	2,304	4,977
Sara Ojeda	SO	0,505	1267	2,800	1,400	5,132	10,161
Sipriano Quillay	SQ	0,052	1778	0,425	0,212	0,779	15,074
Carmen Álvarez	CA	0,257	1243	1,621	0,810	2,971	11,564
Luz Álvarez 2	LA2	0,464	988	2,528	1,264	4,635	9,989
Alberto Lazo	AL	0,031	1265	0,258	0,129	0,473	15,143
Luz Buri	LB	0,103	2778	1,808	0,904	3,315	32,185
Mercedes Guamán	MG	0,108	2779	1,618	0,809	2,966	27,458
Valeriano Dután 1	VD	0,229	2409	3,031	1,516	5,557	24,266
Promedios		0,170	1538,87	1,185	0,592	2,172	13,722

4.3. Captura de carbono del suelo

El carbono secuestrado en el suelo en promedio fue de 122,55 t C/ ha, del total de registros el valor mínimo fue de 14,14 t C/ ha, mientras que el máximo fue de 402,31 t C/ ha

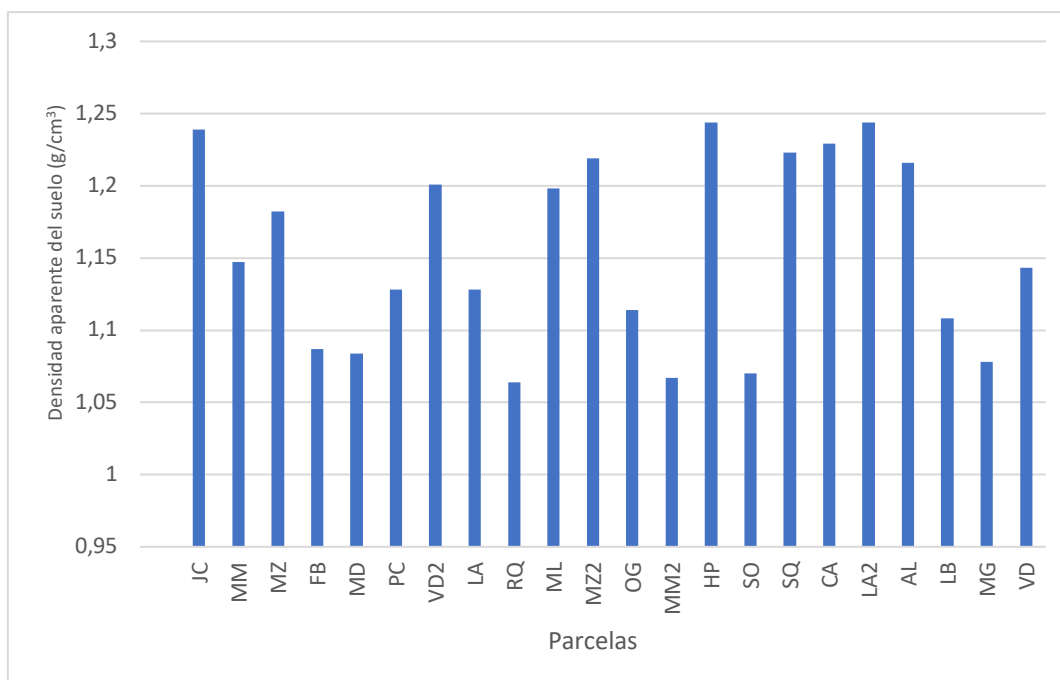
(ver figura 13). Este rango es comparable con lo indicado en otro estudio que analizó la reserva de carbono del suelo en 72 fincas de varios cultivos en donde el rango captura fue amplio y fluctuó entre 11–513 t C/ha. Mientras que el promedio fue de 78 t C/ha valor inferior a que se reportó en nuestro estudio (Mattila et al., 2022). Así mismo nuestro promedio es muy superior a lo indicado por Hidalgo (2014) que informaron un potencial de captura de 34.80 t C /ha para suelos de cultivo de maíz.

Figura 13. *Captura de carbono en el suelo*



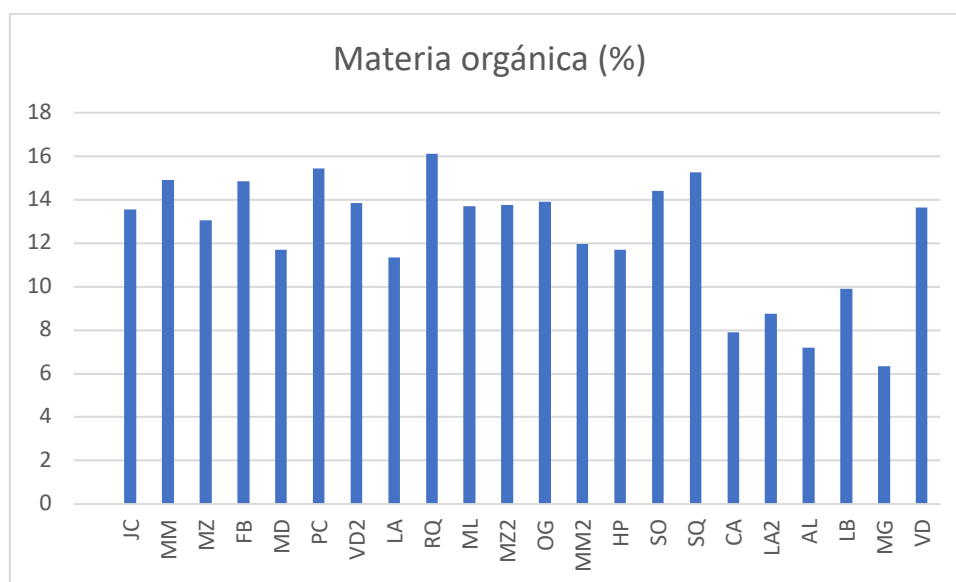
La densidad aparente del suelo fluctuó entre 1,064-1,244 g/cm³ (ver figura 14) y el valor promedio fue de 1,16 lo que significó que los suelos estudiados se encuentran en la categoría de suelos arenosos con estructura, estos resultados son comparables con lo informado por López-Reyes et al. (2016) que reportaron una densidad aparente de 0,92-1,46 g/cm³ en suelos superficiales.

Figura 14. *Densidad aparente del suelo*



La materia orgánica medida en las parcelas estuvo entre 6,35 % y 16,1 % (ver figura 15) con una desviación estándar de 2,72 grados. El promedio general fue de 12,42 %, por lo que, se considera que todas las parcelas tienen un suelo rico en materia orgánica, dicha clasificación se designa a suelos que superan los 4,2 % de contenido de MO.

Figura 15. *Materia orgánica en el suelo*



A continuación, en la siguiente tabla se indican los valores promedio de las variables estudiadas en el presente estudio.

Tabla 6. Resultados de las variables de estudio de captura de carbono en el suelo

Propietario	Código	Área (ha)	Densidad aparente del suelo (g/cm ³)	Materia orgánica (%)	CO fijado (%)	CO ₂ fijado por superficie (t)	CO ₂ fijado (t/ha)
Jhonatan Caizán	JC	0,130	1,239	13,550	23,360	14,626	112,675
María Morocho 1	MM	0,084	1,147	14,900	25,688	6,237	74,247
Manuel Zaruma 1	MZ	0,071	1,182	13,050	22,498	4,007	56,529
Fernanda Buri	FB	0,074	1,087	14,850	25,601	4,621	62,115
Manuel Dután	MD	0,212	1,084	11,700	20,171	29,571	139,274
Pablo Caizán	PC	0,079	1,128	15,450	26,636	5,640	71,291
Valeriano Dután 2	VD2	0,154	1,201	13,850	23,877	20,400	132,468
Luz Álvarez	LA	0,087	1,128	11,350	19,567	4,962	57,315
Rosario Quillay	RQ	0,092	1,064	16,100	27,756	7,538	81,741
Manuel Lema	ML	0,203	1,198	13,700	23,619	34,978	172,311
Manuel Zaruma 2	MZ2	0,076	1,219	13,750	23,705	4,998	65,837
Oliva Guamán	OG	0,023	1,114	13,900	23,964	0,439	18,738
María Morocho 2	MM2	0,250	1,067	11,950	20,602	41,245	164,946
Hilda Paucar	HP	0,463	1,244	11,700	20,171	161,379	348,540
Sara Ojeda	SO	0,505	1,070	14,400	24,826	203,201	402,314
Sipriano Quillay	SQ	0,052	1,223	15,250	26,291	2,575	49,833
Carmen Álvarez	CA	0,257	1,229	7,900	13,620	33,162	129,071
Luz Álvarez 2	LA2	0,464	1,244	8,750	15,085	121,234	261,281
Alberto Lazo	AL	0,031	1,216	7,200	12,413	0,441	14,136
Luz Buri	LB	0,103	1,108	9,900	17,068	6,018	58,431
Mercedes Guamán	MG	0,108	1,078	6,350	10,947	4,131	38,248
Valeriano Dután 1	VD	0,229	1,143	13,650	23,533	42,324	184,820
Promedios		0,170	1,155	12,418	21,409	34,260	122,553

4.4. Carbono total del cultivo de maíz

Los cultivos de maíz de la comunidad Molinohuayco almacenan 126,27 t C/ha lo que significaría un almacenamiento total de aproximadamente 511,03 t C/año de las cuales el 89,93

% corresponde al almacenado en el suelo y el 10,07 al carbono CO₂ almacenado en la biomasa de maíz.

Tabla 7. Resultados de la capacidad total de captura de carbono en suelo y biomasa

Área de estudio (ha)	CO ₂ fijado en biomasa (t)	CO ₂ fijado en suelo (t)	Carbono fijado en el área de estudio (t/año)	CO ₂ fijado en uso de suelo (t/ha)
3,75	51,48	459,57	511,03	136,27

4.5. Valoración económica

Se analizó cuatro entidades que comercializan bonos de carbono, CDM Gold Standard y Carbonfund que pertenecen al mercado voluntario, además a SENDECO2 y California Air Resources Board del están dentro del mercado de cumplimiento. El precio ofertado entre los dos tipos de mercado hay amplias diferencias el mercado voluntario superan considerablemente hasta por cinco veces el precio ofrecido por las entidades del mercado voluntario. El valor monetario referente a la venta de bonos de carbono se muestra en la siguiente tabla, dichos valores se consiguieron con la ecuación 11.

Tabla 8. Análisis de la valoración económica

Tipo de mercado	Entidad	Precio (USD/t)	CO ₂ capturado (t)	Valor total (USD)	Referencia
Mercado voluntario	CDM Gold Standard	\$14,00		\$7.158,20	(The Gold Standard Foundation, 2023)
	Carbonfund	\$ 17,50	511,03	\$8.947,75	(Carbonfund, 2022)
Mercado de cumplimiento	SENDECO2	\$ 83,28		\$42.581,06	(SENDECO2, 2023)

California Air Resources Board	\$ 59,17	\$30.253,62	(California Air Resources Board, 2023)
---	----------	-------------	--

4.5.1. Análisis de posibilidad de comercio del bono de carbono

De acuerdo con lo presentado en la tabla 5 las mejores opciones de venta están en el mercado de cumplimiento, resultando mejor opción SENDECO2 pues se obtendría \$42.581,06 por contrato que al considerar las características del proyecto sería anualmente. Por el contrario, la opción que otorga menos beneficio económico sería CDM Gold Standard entidad que otorgaría \$7.158,20 al año mientras que con Carbonfund el beneficio económico sería de \$8.947,75. Sin embargo, al analizar las posibilidades de comercialización es más factible aplicar al mercado voluntario, esto de acuerdo con lo recomendado por Aguirre et al. (2018) que analizó las posibilidades de comercialización de bonos de carbono del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador. A continuación, se presentan las características que hacen más factible el desarrollo del negocio con el mercado voluntario:

- Mayor potencial para implementar proyectos pequeños con altos beneficios para la comunidad local en países de bajos ingresos.
- Procedimientos menos burocráticos por lo tanto menores costos de transacción (certificación).
- Mayor flexibilidad lo que permite la inclusión de proyectos de diferente tipología.
- Financiación extra para proyectos de cooperación.
- Tecnologías limpias para los más pobres y mejora de servicios energéticos. (Aguirre et al., 2018).

Basados en el contexto anterior se decide que la opción más favorable para la venta del carbono será el mercado voluntario específicamente CDM Gold Standard. Los requisitos se indican en el Anexo 1.

4.5.2. Análisis costo beneficio

Para realizar el cálculo del TIR y VAN se necesitó determinar la inversión inicial, el monto fue de \$6650,00 valor referencial a lo indicado Aguirre et al., (2018) es su análisis de obtención de bonos de carbono efectuado en Loja. Ecuador, y cuyo valor cubre valores por concepto permisos, gastos administrativos y técnicos de campo, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 9. *Valores de costos para la inversión inicial del proyecto*

Concepto	Costo
Equipos de georreferenciación	\$3.000,00
Permisos locales	\$1.900,00
Técnicos de campo	\$1.650,00
Total	\$6.550,00

Nota. Valores referenciales obtenidos de Aguirre et al., (2018)

Se determino también los egresos, en este proyecto se consideró los costos que genera todo el proceso de cultivo de maíz, para obtener este dato, se recopilo información mediante entrevistas a los propietarios de cultivos. Los resultados de presentan en la siguiente tabla.

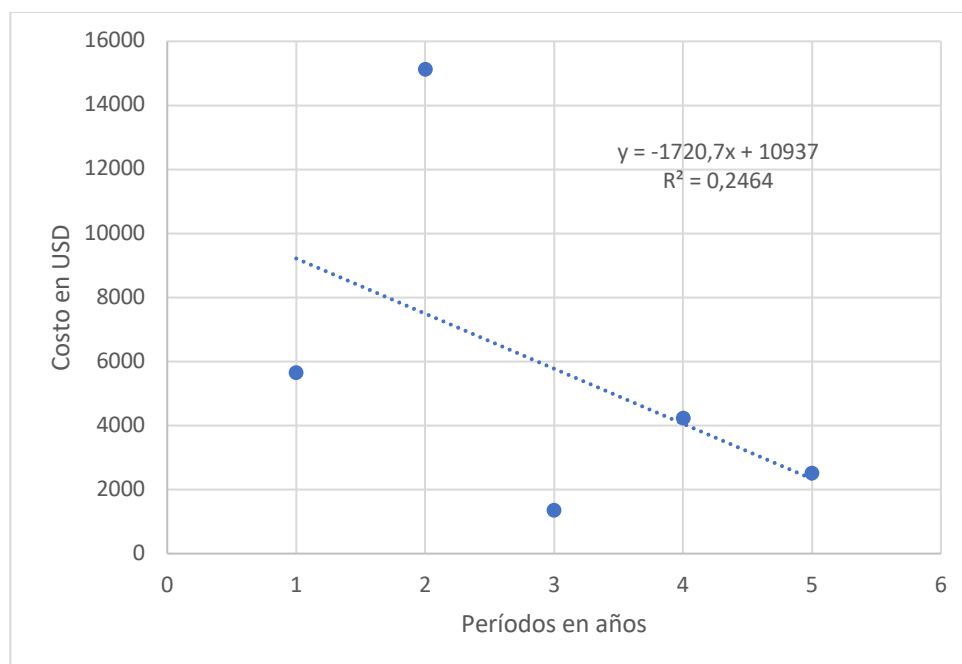
Tabla 10. *Costos de producción en cultivos de maíz*

Concepto	Costos obtenidos en entrevistas					Promedio
Tractor	\$34,50	\$35,00	\$135,00	\$45,00	\$75,00	\$64,90
Riego	\$21,00	\$18,00	\$30,00	\$15,00	\$21,00	\$21,00
Compra de maíz.	-	\$40,00	-	\$38,00	-	\$39,00

Fumigas	\$50,00	\$25,00	\$100,00	\$50,00	\$50,00	\$55,00
Mano de obra	\$360,00	\$175,00	\$390,00	\$135,00	\$240,00	\$260,00
Yunta	\$55,00	\$55,00	\$30,00	\$55,00	-	\$48,75
Total	\$520,50	\$348,00	\$685,00	\$300,00	\$386,00	\$447,90

Para conocer la tendencia de costos en un periodo de los cinco años próximos se aplicó una regresión lineal basados en la información referente al costo de producción de cultivos (ver figura 16).

Figura 16. *Tendencia de gastos en producción*



Los cálculos del análisis económico de indican en la siguiente tabla.

Tabla 11. *Resultados el análisis costo-beneficio*

Año	Flujo de efectivo			Índices económicos		
	Ingresos	Egresos	Efectivo neto	VAN	TIR	C/B
1	\$7.158,20	\$5.775,26	\$1.382,94	\$7.780,95	17%	1,12
2	\$7.158,20	\$5.258,69	\$1.899,51			

3	\$7.158,20	\$4.054,20	\$3.104,00
4	\$7.158,20	\$4.914,55	\$2.243,65
5	\$7.158,20	\$5.403,76	\$1.754,44

4.6. Plan de manejo

Realizar un plan de manejo de cultivos es importante no solo para mejorar la productividad de estos, sino que, además, aportará directamente al bienestar del medioambiente, pues se integra acciones caracterizadas en el correcto manejo de recurso (agua, insumos y abonos) y además en plan que se presenta se integran acciones que aporten a mejorar la capacidad de captura de carbono de este sistema de cultivo.

En la siguiente tabla se presenta un plan de manejo sostenibles para cultivos, este plan se basó en recomendaciones de la Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales, publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en ingles) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (FAO y MADS, 2018) y otras fuentes complementarias.

Tabla 12. *Plan de manejo sostenible para cultivos de maíz*

Práctica sostenible	Detalles	Beneficios	Metodología de implementación	Indicador	Evidencia	Plazos de ejecución	Observaciones
Labranza mínima	Labranza mínima se refiere a tener una intervención mínima en suelo al momento de cultivarlo, de esta manera evitar interferir con los procesos naturales que se desarrollan en él.	Protege la humedad del suelo Regula su temperatura Controla la erosión del suelo Permite el ahorro en un 20% en mano de obra Ahorro en combustible y costos de maquinaria pesada (FAO y MADS, 2018, p. 72) Aumenta la capacidad de captura de carbono orgánico del suelo (Paustian et al., 2019).	Se puede realizar en tres formas labranza cero, labranza mínima en surcos o labranza mínima puntual, todas estas tres técnicas evitan la necesidad de preparación mecánica de suelos (FAO y MADS, 2018, p. 72).	ha totales de labranza mínima	Fotografías de aplicación de la práctica, medición de áreas intervenidas	12 meses	
Cultivos de cobertura	Los cultivos de cobertura son cultivos adicionales sembrados junto con el cultivo principal o en la etapa de barbecho, con el objetivo de proteger el suelo de la erosión.	Los cultivos de cobertura pueden proporcionar efectos positivos en la relación agua-suelo de los cultivos comerciales ya sea eliminando el exceso de agua del suelo o conservando agua para cultivos comerciales donde	Se pueden sembrar cultivos de cereales en la etapa de barbecho, por ejemplo, avena, centeno, trigo, cebada. indicaron que el uso a largo plazo de cultivo de cobertura puede mejorar la dinámica de la	ha totales de cultivos de cobertura	Fotografías de aplicación de la practica Resultados de medición trimestral de humedad del suelo	6 meses	

		el agua es limitada, además sus restos pueden servir como abono, que a la vez aumentara el contenido de materia orgánica lo que incrementaría en almacenamiento de carbono en el suelo agrícola (Mendis et al., 2022).	humedad del suelo de los sistemas de cultivo de maíz a través de la mejora de la materia orgánica del suelo y sería una solución viable para la conservación de la humedad del suelo				
Labranza de conservación	Es una “forma de labranza que minimiza el número de pasadas de labranza, donde se reduce la disrupción de los agregados del suelo y un mínimo del 30% de la superficie del suelo se cubre con residuos, con el objetivo de reducir la erosión del suelo” (Singh et al., 2018)	Reducción de la erosión de la lámina del suelo y la contaminación no puntual, y un mayor almacenamiento o retención de la materia orgánica del suelo y una mejora de la calidad del suelo en su superficie. Otro beneficio importante de la labranza de conservación la eliminación de CO2 de la atmósfera mediante debido a que esta práctica beneficia el almacenamiento de carbono agrícola (Pacioglu et al., 2023)	Para aplicar esta técnica es necesario contar con restos de biomasa del cultivo anterior o de otro cultivo, estos restos orgánicos deben colocarse en el terreno de cultivo y deben cubrir por lo menos un 30% de la superficie de siembra. Los restos servirán como abono y mejorarán las características del suelo (Mendis et al., 2022).	ha totales de labranza de conservación	Fotografías de aplicación de la práctica, medición de áreas intervenidas	12 meses	

Uso de abonos verdes	“Los abonos verdes consisten en la incorporación al suelo de plantas sembradas o biomasa vegetal no descompuesta con el fin de mejorar la fertilidad y calidad del suelo” (FAO y MADS, 2018, p. 73)	“Promueven un considerable y continuo aporte de biomasa al suelo. Incrementan la disponibilidad de nutrientes para las plantas y reducen la incidencia de plagas con respecto a las plantaciones sin cobertura” (FAO y MADS, 2018, p. 73). Aumenta el secuestro de C del suelo (Mattila et al., 2022)	Instalación de un centro de recolección residuos vegetales y elaboración de compost	Kg de abonos verdes	Fotografías Nóminas de recepción y entrega de biomasa vegetal orgánica	3 meses	
Barreras y cercas vivas	Son cultivos que se siembran en lugares estratégicos con la finalidad de protector a otros cultivos de eventos adversos como erosión eólica e hídrica y además protegen del acercamiento y movimiento de humanos y animales (FAO y MADS, 2018, p. 76)	“Permiten disminuir la velocidad del agua lluvia y retienen sedimentos que son arrastrados. Proveen protección de los cultivos contra el pisoteo de los animales. Protegen el suelo de los fenómenos climáticos” (FAO y MADS, 2018, p. 77)	La barrera viva se ubicará o distribuirá en un lugar estratégico y dependerá de las características propias del lugar, de igual forma la vegetación a implementar dependerá del propósito a conseguir, se pueden utilizar gramíneas, leguminosas arbustivas, plantas medicinales u otras	m de barreras vivas implementadas	Fotografías	6 meses	

Rotación de cultivos	“Es un conjunto de secuencias, en las cuales se ocupa el suelo con cultivos diferentes que se suceden en el tiempo con la finalidad de mantener la fertilidad del suelo” (FAO y MADS, 2018, p. 80)	“Disminuye los problemas de insectos plaga y enfermedades Incrementa el rendimiento de los cultivos Mejora y promueve el buen balance de nutrientes del suelo (FAO y MADS, 2018, p. 81) Mejora las reservas de carbono orgánico en el suelo (Verhulst et al., 2015)	Se recomienda dividir la superficie en parcelas iguales y crear un plan de rotación, es decir definir periodos de crecimiento de los cultivos, además es importante implementar cultivos requerimientos nutritivos y sistemas radiculares diferentes.	ha totales de cultivos de rotación	Fotografías	12 meses	
Sistemas de policultivos	Son sistemas de plantación compartida de varias especies vegetales que comparten una misma parcela (FAO y MADS, 2018, p. 82)	“Mejoran la captura y reciclaje de nutrientes. Reducen la población de plagas Estimulan la actividad biológica del suelo y su micro diversidad. Incrementan el contenido de materia orgánica del suelo por lo tanto aumenta el potencial de almacenamiento de carbono” (FAO y MADS, 2018, p. 83)	Estos sistemas de cultivo se recomienda utilizar plantas que logren una afinidad en su desarrollo y su iteración sea positiva para evitar la competencia entre especies. Se pueden sembrar especies en la misma hilera o mismos surcos	# de especies del policultivo	Fotografías	12 meses	

<p>Manejo integrado de riego</p>	<p>Se refiere a generar un plan de riego con el objetivo de optimizar el uso del agua, por ejemplo, la producción de biomasa depende directamente del agua disponibles, por lo tanto, gestionar un plan de riego permitirá una mejor producción de biomasa, que a la vez proporciona una mejor captación de carbono (FAO, 2002),</p>	<p>Mejor la producción de biomasa Optimiza la disponibilidad de agua para riego</p>	<p>Implementación de sistemas de cosecha de lluvia para disponer de agua en época de escasez de este recurso. Generar un plan de riego basados en la tasa de requerimiento de agua de la planta de que el maíz cuyo orden está en unos 5 mm al día</p>	<p>m³ de agua recolectada m³ de agua optimizada</p>	<p>Fotografías Nóminas de horarios de riego Informe del volumen de reducción de agua</p>	<p>3 meses</p>	
<p>Manejo integrado de plagas</p>	<p>El manejo integrado de plagas tiene como objetivo mantener la calidad y salud de los cultivos frente a enfermedades y plagas (Ruth & Waldron, 2016)</p>	<p>Cultivos libres de plagas Alimentos saludables libres de plaguicidas</p>	<p>Definir el tipo de manejo: Biológico, por ejemplo, mediante eliminación por predadores donde un animal que se come a otro animal (plaga). Químico: aplicación de plaguicidas naturales, por ejemplo, lo aplicación de cenizas Mecánico: por ejemplo, de aumento de temperatura</p>	<p>ha totales de cultivos sanitizada y/o protegidas</p>	<p>Fotografías Informes de tratamiento aplicado y detallado sobre la plaga a tratar o proteger</p>	<p>3 meses</p>	

			(Rutz, y Waldron, 2016).				
Manejo de rastrojo	El correcto manejo de rastro se orienta a evitar la incineración de este, pues la quema de este residuo agrícola produce gases de efecto invernadero (GEI) y libera dioxinas (Angamarca y Delgado, 2023)	Disminuir la emisión de contaminantes GEI y dioxinas Manejo adecuado de residuos agrícolas. El regreso de residuos del cultivo permite el incremento en la concentración de carbono orgánico del suelo, por lo tanto, incrementaría la capacidad d almacenamiento de carbono.	Identificar los propietarios que realizan esta práctica de quema de rastrojo. Generar una capacitación con respecto a la problemática identificada Implementación de lombricultura y/o composteras	t de rastrojo no incinerada t de CO ² evitadas Numero de lombricultoras y/o composteras establecidas	Fotografías Nóminas de estancia a la capacitación	6 meses	

4.7. Discusión Científica

El secuestro de carbono es necesario porque la creciente concentración de CO₂ en la atmósfera está provocando un aumento de las temperaturas globales, lo que genera una variedad de impactos negativos en el medio ambiente y la sociedad humana. Otros autores como Kumar et al, (2023) y Shi (2023) han indicado que el secuestro de carbono puede ayudar a disminuir la tasa de calentamiento global, lo que puede tener una variedad de efectos positivos en el medio ambiente.

El resultado de la capacidad de captura de carbono de los cultivos de maíz en la comunidad de Molinohuayco es de 136,27 tC/ha, resultado que es comparable con lo reportado por Quito (2018) que indicaron una capacidad de captura de 149,7 tC/ ha en un estudio realizado en Cuenca, Ecuador. Por el contrario, el promedio de esta investigación es significativamente superior a lo indicado en otro estudio del mismo sistema de uso de la tierra realizado en Tingo María, Perú, y cuyo resultado fue de 35.66 tC/ha (Hidalgo, 2014). La disparidad de los resultados puede atribuirse a las diferentes características de manejo de suelo y prácticas de cultivo realizadas de manera muy diferente en cada localidad.

En comparación con otro tipo de formaciones vegetación y uso de suelo, los cultivos de maíz (136,27 tC/ha) tienen mayor potencial de captura que Matorral Seco, Bosque Seco Caducifolio, Bosque Seco Semicaducifolio cuyos promedios fueron 60.30, 69.62 y 123.05 tC/ha respectivamente, en un estudio realizado por Salas et al. (2017) en la costa ecuatoriana. Por el contrario, los cultivos de maíz tienen menor capacidad de captura de carbono que bosques de bambú, pues, se ha reportado capturan entre 152,5 -559,8 t/ ha (Abebe et al., 2021). Así mismo es menor a otro uso de la tierra, como sistemas agroforestales de Acacia-Quishuar (168,49 t/ha)

y Aliso-Retama (148,93 t/ha) (Ramos et al., 2018). En este contexto ya se ha informado que el potencial de captura de carbono puede variar en los sistemas de uso de suelo, por ejemplo, en la agrosilvicultura la acumulación de carbono puede variar de 0,29 a 15,2 tC / ha sobre el suelo y de 30 a 300 tC /ha para suelos de hasta 1 m de profundidad (Panwar et al., 2022).

En relación con la gestión de captura de carbono Kumara et al. (2023) menciona que el potencial de secuestro de carbono de los sistemas agrícolas se rige por el uso previo de la tierra, el tipo y la edad del sistema y las precipitaciones. Es así que la capacidad de captura de los cultivos agrícolas puede ser mejorado mediante un plan de gestión de suelo, nuestro estudio presenta uno específicamente para los cultivos de maíz cuyos alcances son similares a lo indicado por otros autores , por ejemplo, Mattila et al.(2022) en su investigación propone una ruta de estrategias para mejorar el almacenamiento de carbono en este sistema de cultivo, sus estrategias se orientan a los siguiente: 1) aumentar la fotosíntesis durante el crecimiento del cultivo; 2) alargamiento del período de fotosíntesis (cultivos sembrados en invierno, prados y cultivos de cobertura); 3) mejorar la actividad biológica del suelo; 4) mejorar la estructura del suelo y la profundidad de las raíces y 5) manejo de suelos orgánicos para almacenamiento de carbono. El retorno del rastrojo es una estrategia prometedora para gestionar el carbono orgánico del suelo (Liu et al., 2023). Además, el cambio de monocultivos convencionales a cultivos intercalados) y aplicar fertilizantes enriquecidos con aditivos orgánicos puede mejorar la estabilidad estructural del suelo, promover el secuestro de carbono orgánico del suelo (Roohi et al., 2022).

Así mismo, otros investigadores han recomendado que la labranza cero y/o la proporción de estiércol de aves aumenta el secuestro de carbono del suelo (Mattila et al., 2022), por lo tanto, el uso de este abono orgánico es ampliamente recomendable. Por el contrario, la aplicación de fertilizantes inorgánicos se indicó que redujo el fraccionamiento de carbono del suelo, por lo

tanto, es imprescindible evitar este tipo de abonos inorgánicos si se desea aumentar la capacidad de captura de carbono del suelo. Se ha indicado también, que, sistemas agroforestales presentan mayor capacidad de captura que otros sistemas que usan prácticas no agroforestales (Kumara et al., 2023).

5. Conclusiones

1. La producción promedio de biomasa verde de cultivos de *Zea mays* en la comunidad de Molinohuayco fue de 15,39 t/ha, mientras que la biomasa seca fue de 7,49 t/ha lo que generaría aproximadamente 28,07 t de biomasa seca al año. Este residuo agrícola, por una parte, puede tener un fin benéfico y ser aprovechado, por ejemplo, como cobertura de suelo utilizado en la labranza de conservación para mejorar la materia orgánica del suelo tras la descomposición de esta biomasa, además, el rastrojo también puede ser aprovechado como materia prima para producción de biocombustibles o biopolímeros como lo recomiendan Zaragoza y Muñoz (2016); Angamarca y Delgado, (2022) respectivamente. Por el contrario, el mal manejo del rastrojo puede generar impactos negativos al ambiente, uno de ellos es la incineración que ocasionaría emisión de gases de efecto invernadero.
2. La capacidad total de captura de carbono en la comunidad de Molinohuayco en los cultivos de maíz es de 511,03 t en 3,75 ha lo que representaría aproximadamente un secuestro de carbono anual de 136,27 t/ha en los cultivos de maíz. Además, se determinó que para este estudio el mejor capturador de carbono fue el suelo con 122,55 t C/ ha, frente a 13,72 tC/ha de la biomasa de maíz.
3. Respecto a la venta del bono de carbono el valor monetario de recaudación calculado es de \$7.158,20 al año, producto de la venta a CDM Gold Standard, que es la entidad que proyecta la mejor opción de negocio en aspectos de requisitos y facilidades de certificación.
4. El análisis costo-beneficio del proyecto indicó que la negociación del bono de carbono con CDM Gold Standard es rentable, así lo indican sus índices de viabilidad, pues se obtuvo un VAN de \$7.780,95, una TIR de 17% y una relación C/B de 1,12, resultados que indican rentabilidad, por lo tanto, se recomienda realizar el proyecto.

5. El plan de manejo de sostenible contribuye para mejorar la productividad de los cultivos, y mejorar el bienestar del medioambiente, pues se integran acciones para el correcto manejo de recursos, como son el agua, abonos y residuos. Así, actividades como el retorno del rastrojo al sembrío, labranza cero y adición de estiércol de aves y otros abonos orgánicos, se recomiendan practicarlas para aumentar el carbono orgánico del suelo lo que potenciaría el almacenamiento de carbono.

6. Referencias

- Aguilar-Carpio, C., Aguilar-Mariscal, I., Aguilar-Carpio, A., & Aguilar-Carpio, I. (2021). Eficiencia y rentabilidad del control químico de malezas en el cultivo maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, 95.
- Aguirre, N., Erazo, A., & Granda, J. (2018). Posibilidades de comercialización de bonos de carbono del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(2). <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/324>
- Angamarca, Y. J., & Delgado, L. A. (2022). Obtención de biopolímeros a partir de residuos de maíz (*Zea mays* L.) para la elaboración de films (Bachelor's thesis).
- Arbad, N., Watson, M., & Heinze, L. (2022). Risk matrix for legacy wells within the Area of Review (AoR) of Carbon Capture & Storage (CCS) projects. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 121, 103801. <https://doi.org/10.1016/J.IJGGC.2022.103801>
- Arifah, Salman, D., Yassi, A., & Bahsar-Demallino, E. (2022). Climate change impacts and the rice farmers' responses at irrigated upstream and downstream in Indonesia. *Heliyon*, 8(12), e11923. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E11923>
- Aviso, K. B., Cayamanda, C. D., Solis, F. D. B., Danga, A. M. R., Promentilla, M. A. B., Yu, K. D. S., Santos, J. R., & Tan, R. R. (2015). P-graph approach for GDP-optimal

- allocation of resources, commodities and capital in economic systems under climate change-induced crisis conditions. *Journal of Cleaner Production*, 92, 308–317. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.12.077>
- Belloc, I., & Molina, J. A. (2023). Are greenhouse gas emissions converging in Latin America? Implications for environmental policies. *Economic Analysis and Policy*, 77, 337–356. <https://doi.org/10.1016/J.EAP.2022.11.022>
- Bravo-Martínez, F. C., Pinedo-Taco, R., & Zorogastua-Cruz, P. (2022). Sustentabilidad económica del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en el valle de Pativilca, Perú. *Idesia (Arica)*, 40(2), 95-101.
- Brodt, S., Six, J., Feenstra, G., Ingels, C., & Campbell, D. (2011). Agricultura Sostenible. *Conocimiento de La Educación de La Naturaleza*, 3(10). <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/sustainable-agriculture-23562787/>
- Cajilema, D. F., & Fernández, D. F. (2023). Estimación de la capacidad de captura de carbono de cuatro especies arbóreas predominantes de las riberas del río Machángara, Cuenca-Ecuador (Bachelor's thesis).
- California Air Resources Board. (2023). *Información de contención de costos*. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/cap-and-trade-program/cost-containment-information>
- Carbonfund. (2022). *Carbon Neutrality for Individuals and Businesses*. <https://carbonfund.org/>
- Chacho, J. (2019). *Evaluación de la capacidad de captura de carbono de los sistemas hortícolas, parroquia San Joaquín, cantón Cuenca* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17280>

- Clark, K. M., Boardman, D. L., Staples, J. S., Easterby, S., Reinbott, T. M., Kremer, R. J., Kitchen, N. R., & Veum, K. S. (2017). Crop Yield and Soil Organic Carbon in Conventional and No-till Organic Systems on a Claypan Soil. *Agronomy Journal*, *109*(2), 588–599. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2016.06.0367>
- Coyote, A. (2020). *Captura de carbono y su relación con las prácticas agrícolas en cultivos de maíz cacahuazintle (Zeamays, l) en la localidad de Zaragoza municipio de Calimaya, estado de México.*
- Dao, A., Bationo, B. A., Traoré, S., Bognounou, F., & Thiombiano, A. (2021). Using allometric models to estimate aboveground biomass and predict carbon stocks of mango (*Mangifera indica* L.) parklands in the Sudanian zone of Burkina Faso. *Environmental Challenges*, *3*, 100051.
- Dingkuhn, M., Luquet, D., Fabre, D., Muller, B., Yin, X., & Paul, M. J. (2020). The case for improving crop carbon sink strength or plasticity for a CO₂-rich future. *Current Opinion in Plant Biology*, *56*, 259–272. <https://doi.org/10.1016/J.PBI.2020.05.012>
- FAO. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra* (No. 96). Food & Agriculture Org..
- FAO. (2011). *La Seguridad Alimentaria: información para la toma de decisiones.* www.ipcinfo.org
- FAO. (2023). *Agricultura sostenible*. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>
- FAO y M.ADS (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Bogotá DC, Colombia.

- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters* 2020 18:6, 18(6), 2069–2094. <https://doi.org/10.1007/S10311-020-01059-W>
- Fernando, A., Selvaraj, M., Ishitani, M., Nakashima, K., Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2021). How utilizing the genes involved in drought tolerance could tackle the climate change-related food crisis? *Molecular Plant*, 14(10), 1601–1603. <https://doi.org/10.1016/J.MOLP.2021.08.002>
- Fondo Mundial para la Vida Silvestre [WWF]. (2023). *Impacto de la agricultura sostenible y las prácticas agrícolas*. <https://www.worldwildlife.org/industries/sustainable-agriculture>
- Franco, C., Melica, G., Treville, A., Baldi, M. G., Pisoni, E., Bertoldi, P., & Thiel, C. (2022). Prediction of greenhouse gas emissions for cities and local municipalities monitoring their advances to mitigate and adapt to climate change. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104114. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2022.104114>
- Guo, H., Wang, R., Garfin, G. M., Zhang, A., Lin, D., Liang, Q., & Wang, J. (2021). Rice drought risk assessment under climate change: Based on physical vulnerability a quantitative assessment method. *Science of The Total Environment*, 751, 141481. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141481>
- Hidalgo, P. (2014). *Almacenamiento de carbono en maíz (zea mayz) durante su ciclo de vida en el distrito José Crespo y Castillo–Aucayacu*. [Universidad Nacional Agraria de la Sierra]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1065>
- Hu, Y., Zhang, Q., Hu, S., Xiao, G., Chen, X., Wang, J., Qi, Y., Zhang, L., & Han, L. (2022). Research progress and prospects of ecosystem carbon sequestration under

- climate change (1992–2022). *Ecological Indicators*, 145, 109656.
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.109656>
- Huynh, T., Lee, D. J., Lewis, T., & Applegate, G. (2023). Effects of site characteristics and stand management on biomass and carbon sequestration in spotted gum (*Corymbia citriodora* subsp. *variegata*) plantations. *Forest Ecology and Management*, 529, 120725. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2022.120725>
- Instituto del Ciclo del Carbono. (2022). *¿Por qué Carbono?* .
<https://www.carboncycle.org/why-carbon/>
- IPCC. (2013). Resumen para responsables de políticas. In *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FIN_AL_SPANISH.pdf
- IPCC. (2018). Resumen para responsables de políticas. In *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto*
www.environmentalgraphiti.org
- IPCC. (2021). *Cambio climático 2021: la base de la ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. Cambridge Press.
<https://www.unep.org/es/resources/informe/cambio-climatico-2021-bases-fisicas-contribucion-del-grupo-de-trabajo-i-al-sexto>

- Jakučionytė-Skodienė, M., Krikštolaitis, R., & Liobikienė, G. (2022). The contribution of changes in climate-friendly behaviour, climate change concern and personal responsibility to household greenhouse gas emissions: Heating/cooling and transport activities in the European Union. *Energy*, 246, 123387. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2022.123387>
- Jansson, C., Faiola, C., Wingler, A., Zhu, X. G., Kravchenko, A., de Graaff, M. A., Ogden, A. J., Handakumbura, P. P., Werner, C., & Beckles, D. M. (2021). Crops for Carbon Farming. *Frontiers in Plant Science*, 12, 938. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.636709/BIBTEX>
- Khan, I., Lei, H., Shah, I. A., Ali, I., Khan, I., Muhammad, I., Huo, X., & Javed, T. (2020). Farm households' risk perception, attitude and adaptation strategies in dealing with climate change: Promise and perils from rural Pakistan. *Land Use Policy*, 91, 104395. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2019.104395>
- Kiran, K. K., Pal, S., Chand, P., & Kandpal, A. (2023). Carbon sequestration potential of sustainable agricultural practices to mitigate climate change in Indian agriculture: A meta-analysis. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 697–708. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.12.015>
- Kulmer, V., Jury, M., Wong, S., & Kortschak, D. (2020). Global resource consumption effects of borderless climate change: EU's indirect vulnerability. *Environmental and Sustainability Indicators*, 8, 100071. <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2020.100071>
- Kumara, K., Pal, S., Chand, P., & Kandpal, A. (2023). Carbon sequestration potential of agroforestry systems in Indian agricultural landscape: A Meta-Analysis. *Ecosystem Services*, 62, 101537.

- Kumar, A. (2022). Coping with climate chang. *Ecosystem-Based Adaptation*, 143–233. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815025-2.00004-6>
- Kumar, A., & Pant, S. (2023). Analytical hierarchy process for sustainable agriculture: An overview. *MethodsX*, 10, 101954. <https://doi.org/10.1016/J.MEX.2022.101954>
- Kumar, N., & Kumar, J. (2023). Estimation of carbon sequestration by some selected dominant tree species of Chandigarh University, Gharuan, Mohali. *Materials Today: Proceedings*.
- Lal, R. (2010). Terrestrial sequestration of carbon dioxide (CO₂). *Developments and Innovation in Carbon Dioxide* (Co, 2, 271–303. <https://doi.org/10.1533/9781845699581.3.271>
- Lasanta, T., Baroja-Sáenz, C., Cortijos-López, M., Nadal-Romero, E., Martín, I., & García-Escudero, E. (2022). Strategies for adaptation to climate change in vineyards in the Mediterranean basin: the case of the DOCa Rioja. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48(1), 133–156. <https://doi.org/10.18172/CIG.5062>
- Liu, L., Zheng, H. F., Liu, Z., Ma, Y. Z., Han, H. F., & Ning, T. Y. (2023). Crop–Livestock integration via maize straw recycling increased carbon sequestration and crop production in China. *Agricultural Systems*, 210, 103722.
- López-Reyes, L. Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Zavala-Cruz, J., Gómez-Guerrero, A., & Posada-Cruz, S. (2016). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y bosques*, 22(3), 49-60.
- Lozano Nasi, V., Jans, L., & Steg, L. (2022). Can we do more than “bounce back”? Transilience in the face of climate change risks. *Journal of Environmental Psychology*, 101947. <https://doi.org/10.1016/J.JENVP.2022.101947>

- Lu, L. C., Chiu, S. Y., Chiu, Y. ho, & Chang, T. H. (2022). Sustainability efficiency of climate change and global disasters based on greenhouse gas emissions from the parallel production sectors – A modified dynamic parallel three-stage network DEA model. *Journal of Environmental Management*, 317, 115401. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.115401>
- Mada, G., Anjulo, A., & Gelaw, A. (2022). Estimation of biomass and carbon sequestration capacity of the Surra mountain plantation forest in Gamo Highlands, Southern Ethiopia. *Food and Energy Security*, 11(4), e399.
- Manan, Z. A., & Alwi, S. R. W. (2015). Supply and demand planning and management tools toward low carbon emissions. *Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability*, 451–477. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00013-0>
- Manning, C., & Clayton, S. (2018). Threats to mental health and wellbeing associated with climate change. *Psychology and Climate Change: Human Perceptions, Impacts, and Responses*, 217–244. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813130-5.00009-6>
- Martillo, J., Lesme, R., & Oliva, L. (2020). Estimación del potencial energético de la tusa en la provincia de los Ríos y Guayas, Ecuador. *Centro Azúcar*, 47, 11-21. Recuperado de http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/195/185
- Mathew, M. J., Sautter, B., Ariffin, E. H., Menier, D., Ramkumar, M., Siddiqui, N. A., Delanoe, H., del Estal, N., Traoré, K., & Gensac, E. (2020). Total vulnerability of the littoral zone to climate change-driven natural hazards in north Brittany, France. *Science of The Total Environment*, 706, 135963. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.135963>

- Mattila, T. J., Hagelberg, E., Söderlund, S., & Joonas, J. (2022). How farmers approach soil carbon sequestration? Lessons learned from 105 carbon-farming plans. *Soil and Tillage Research*, 215, 105204.
- Medina, C. E., Medina, Y. K., & Bocardo, E. F. (2020). Economic valuation of carbon capture and storage in the puna dry of southwestern Peru. *Bosque*, 41(2), 165–172. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000200165>
- Mendis, S. S., Udawatta, R. P., Anderson, S. H., Nelson, K. A., & Cordsiemon II, R. L. (2022). Effects of cover crops on soil moisture dynamics of a corn cropping system. *Soil Security*, 8, 100072.
- Mirzabaev, A., Bezner Kerr, R., Hasegawa, T., Pradhan, P., Wreford, A., Cristina Tirado von der Pahlen, M., & Gurney-Smith, H. (2023). Severe climate change risks to food security and nutrition. *Climate Risk Management*, 39, 100473. <https://doi.org/10.1016/J.CRM.2022.100473>
- Montúfar, G. H. V., Caicedo, L., Zamora, D. V. V., & Mora, F. D. S. (2021). Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de ciencias sociales*, 27(3), 417-431.
- Morales, M., & Vásquez, M. (2019). *Valoración económica de la captura de carbono en las especies Podocarpus sprucei y Oreocallis grandiflora en el Bosque Protector Aguarongo* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16640>
- Muñoz, M., Vásquez, E., & Portilla, F. (2022). Estimates of the Carbon Capture Potential in Urban Parks and Vehicle CO₂ Emissions in Cuenca, Ecuador. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 252, 405–417. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4126-8_37

- Naciones Unidas. (2021). *Consumo y producción sostenibles - Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- NASA. (2023). *Aumento del nivel del mar*.
https://climate.nasa.gov/climate_resources/274/aumento-del-nivel-del-mar/
- Negev, M., Zohar, M., & Paz, S. (2022). Multidimensional hazards, vulnerabilities, and perceived risks regarding climate change and Covid-19 at the city level: An empirical study from Haifa, Israel. *Urban Climate*, 43(March), 101146.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101146>
- Nevermann, H., Becerra Gomez, J. N., Fröhle, P., & Shokri, N. (2023). Land loss implications of sea level rise along the coastline of Colombia under different climate change scenarios. *Climate Risk Management*, 39, 100470.
<https://doi.org/10.1016/J.CRM.2022.100470>
- Ngu Hei, L. (2022). Carbon Capture Technologies. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90386-8.00028-0>
- Nyanga, C. (2020). The Role of Mangroves Forests in Decarbonizing the Atmosphere. *Carbon-Based Material for Environmental Protection and Remediation*.
<https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.92249>
- Orellana, A. M., & Landi, E. A. (2023). Estimación de la captura de carbono de la flora arbórea de la ribera del río Tarqui en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, Ecuador (Bachelor's thesis).
- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2022). *El 2020 es uno de los tres años más cálidos registrados*. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-2020-es-uno-de-los-tres-a%C3%B1os-m%C3%A1s-c%C3%A1lidos-registrados>

- Ortiz-Ulloa, J. A., Abril-González, M. F., Pelaez-Samaniego, M. R., & Zalamea-Piedra, T. S. (2021). Biomass yield and carbon abatement potential of banana crops (*Musa spp.*) in Ecuador. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 18741–18753. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-09755-4/FIGURES/6>
- Pacioglu, O., Tuşa, I. M., Sidoroff, M. E., & İtçuş, C. (2022). The Best Management Practices in Agriculture for Protection of Inland Water Ecosystems.
- Paliwal, R. L. (2001). El Maiz en Los Tropicos: Mejoramiento Y Produccion (Coleccion FAO: Produccion Y Proteccion Vegetal) (No. 28). Food & Agriculture Org..
- Panwar, P., Mahalingappa, D. G., Kaushal, R., Bhardwaj, D. R., Chakravarty, S., Shukla, G., Thakur, N. S., Chavan, S. B., Pal, S., Nayak, B. G., Srinivasaiah, H. T., Dharmaraj, R., Veerabhadraswamy, N., Apshahana, K., Suresh, C. P., Kumar, D., Sharma, P., Kakade, V., Nagaraja, M. S., ... Gurung, T. (2022). Biomass Production and Carbon Sequestration Potential of Different Agroforestry Systems in India: A Critical Review. *Forests* 2022, Vol. 13, Page 1274, 13(8), 1274. <https://doi.org/10.3390/F13081274>
- Paustian, K., Larson, E., Kent, J., Marx, E. y Swan, A. (2019). El secuestro de C en el suelo como estrategia biológica de emisión negativa. *Fronteras en el clima*, Vol. 1. <https://doi.org/10.3389/fclim.2019.00008>
- Pfeifer, L., & Otto, I. M. (2023). Changing seasonal temperature offers a window of opportunity for stricter climate policy. *Environmental Science & Policy*, 140, 35–45. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2022.11.010>
- Perales López, A. N., & Leython Lías, J. M. Sistemas automatizados de riego en el cultivo de maíz en fincas agrícolas: una revisión sistemática entre los años 2010 y 2020.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2022). *Mitigación*. Mitigación. <https://www.unep.org/explore-topics/climate-action/what-we-do/mitigation>
- Quito, K. (2018). *Evaluación del volumen de captura de carbono en la chakra andina en tres pisos altitudinales en la parroquia San Miguel de Porotos, provincia del Cañar y su aporte al efecto invernadero* [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15109>
- Ramos, R., Limongi J., Nieto, C.&Romero, F. (2018). Estimación de carbono almacenado en dos sistemas agroforestales plantados en la Estación Experimental Santa Catalina.
- Ray Biswas, R., Sharma, R., & Gyasi-Agyei, Y. (2022). Adaptation to climate change: A study on regional urban water management and planning practice. *Journal of Cleaner Production*, 355, 131643. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.131643>
- Reza, M. S., & Sabau, G. (2022). Impact of climate change on crop production and food security in Newfoundland and Labrador, Canada. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100405. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2022.100405>
- Robert, M. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra* (92nd ed.). Food & Agriculture Org. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OKZt9agfRksC&oi=fnd&pg=PR3&dq=CAPTURA+DE+CARBONO+EN+LOS+SUELOS+PARA+UN+MEJOR+MANEJO+DE+LA+TIERRA&ots=5AMgzvzuV8&sig=BUQr0HcgTZ73-F57LZTijW3eGD8>
- Roohi, M., Arif, M. S., Guillaume, T., Yasmeeen, T., Riaz, M., Shakoora, A., ... & Bragazza, L. (2022). Role of fertilization regime on soil carbon sequestration and crop yield in a maize-cowpea intercropping system on low fertility soils. *Geoderma*, 428, 116152.

- Roy, P., Pal, S. C., Chakraborty, R., Chowdhuri, I., Saha, A., & Shit, M. (2023). Effects of climate change and sea-level rise on coastal habitat: Vulnerability assessment, adaptation strategies and policy recommendations. *Journal of Environmental Management*, 330, 117187. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.117187>
- Rutz, D. A., & Waldron, J. K. (2016). Guía del Manejo Integrado de Plagas (MIP) para los Ranchos Orgánicos.
- Salas, C. A., Orihuela, J. A., & Abad, S. I. (2017). Estimation of above-ground live biomass and carbon stocks in different plant formations and in the soil of dry forests of the Ecuadorian coast. *Food and Energy Security*, 6 (4), 1–7.
- Schneider, L., Rebetz, M., & Rasmann, S. (2022). The effect of climate change on invasive crop pests across biomes. *Current Opinion in Insect Science*, 50, 100895. <https://doi.org/10.1016/J.COIS.2022.100895>
- Selley, R. C., & Sonnenberg, S. A. (2023). Carbon Capture, Utilization, and Sequestration. *Elements of Petroleum Geology*, 567–584. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822316-1.00010-0>
- SENDECO2. (2023). *Precios CO2* . <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>
- Seppelt, R., Klotz, S., Peiter, E., & Volk, M. (2022). Agriculture and food security under a changing climate: An underestimated challenge. *IScience*, 25(12), 105551. <https://doi.org/10.1016/J.ISCI.2022.105551>
- Shah, P., Wang, W., Yang, J. Z., Kahlor, L. A., & Anderson, J. (2022). Framing climate change mitigation technology: The impact of risk versus benefit messaging on support for carbon capture and storage. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 119, 103737. <https://doi.org/10.1016/J.IJGGC.2022.103737>

- She, W., Wu, Y., Huang, H., Chen, Z., Cui, G., Zheng, H., Guan, C., & Chen, F. (2017). Integrative analysis of carbon structure and carbon sink function for major crop production in China's typical agriculture regions. *Journal of Cleaner Production*, *162*, 702–708. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.05.108>
- Shi, X., Xu, Y., Dong, B., & Nishino, N. (2023). Mariculture carbon sequestration efficiency in China: Its measurement and socio-economic factor analysis. *Sustainable Production and Consumption*.
- Singh, B. P., Setia, R., Wiesmeier, M., & Kunhikrishnan, A. (2018). Agricultural management practices and soil organic carbon storage. In *Soil carbon storage* (pp. 207-244). Academic Press.
- Skeirytė, A., Krikštolaitis, R., & Liobikienė, G. (2022). The differences of climate change perception, responsibility and climate-friendly behavior among generations and the main determinants of youth's climate-friendly actions in the EU. *Journal of Environmental Management*, *323*, 116277. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.116277>
- Solorio, B., Martínez Campos, Á. R., López Urquidez, G. A., López Orona, C. A., & Arteaga Reyes, T. T. (2016). La biomasa de los sistemas productivos de maíz nativo (*Zea mays*) como alternativa a la captura de carbono. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *32*(3), 361–367. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.10>
- Suppes, G. J., & Storvick, T. S. (2016). Energy and Sustainability. *Sustainable Power Technologies and Infrastructure*, 75–119. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803909-0.00003-8>

- The Gold Standard Foundation. (2023). *Portafolio de Climate+: Variedad de proyectos – Gold Standard Marketplace*.
<https://marketplace.goldstandard.org/collections/projects/products/climate-portfolio-variety-projects>
- Velásquez, A. A. I., Flores, L. C. R., Villamar, J. M., & Moreno, L. E. Z. (2023). Análisis de la cadena agroalimentaria del maíz en Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 8(1), 1862-1873.
- Verhulst, N., François, I., & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor.
- Villacís, J. Y. (2021). Evaluación de las características morfológicas y agronómicas del cultivo de maíz (*Zea Mays* l.) Sometido a tres densidades de siembra en la zona de ventanas, provincia de los Ríos (Bachelor's thesis, Quevedo-Ecuador).
- Vinata, R. T., Kumala, M. T., & Yustisia Serfiyani, C. (2023). Climate change and reconstruction of Indonesia's geographic basepoints: Reconfiguration of baselines and Indonesian Archipelagic Sea lanes. *Marine Policy*, 148, 105443.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2022.105443>
- Vu, T. V. (2021). Do genetically fragmented societies respond less to global warming? Diversity and climate change policies. *Energy Economics*, 104, 105652.
<https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2021.105652>
- Wang, C., Geng, L., & Rodríguez-Casallas, J. D. (2021). How and when higher climate change risk perception promotes less climate change inaction. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128952. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128952>
- Xu, B., Wang, T., Ma, D., Song, R., Zhang, M., Gao, L., Li, S., Zhuang, B., Li, M., & Xie, M. (2022). Impacts of regional emission reduction and global climate change on air

- quality and temperature to attain carbon neutrality in China. *Atmospheric Research*, 279, 106384. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2022.106384>
- Yue, X. L., & Gao, Q. X. (2018). Contributions of natural systems and human activity to greenhouse gas emissions. *Advances in Climate Change Research*, 9(4), 243–252. <https://doi.org/10.1016/J.ACCRE.2018.12.003>
- Zaragoza, M. P., & Muñoz, A. H. S. (2016). Diseño de un esquema sustentable para la obtención simultánea de biocombustibles líquidos y sólidos bajo el esquema de biorrefinerías. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 2(1), 1969-1973.
- Zeng, N. (2008). Carbon sequestration via wood burial. *Carbon Balance and Management*, 3(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/1750-0680-3-1/COMMENTS>
- Zhang, L., Wang, F., Song, H., Zhang, T., Wang, D., Xia, H., Zhai, S., Liu, Y., Wang, T., Wang, Y., & Min, R. (2022). Effects of projected climate change on winter wheat yield in Henan, China. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134734. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.134734>
- Zhao, L., Lv, Y., Wang, C., Xue, J., Yang, Y., & Li, D. (2023). Embodied greenhouse gas emissions in the international agricultural trade. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 250–259. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.11.001>
- Zulueta-Rodríguez, R., Gómez-Merino, F. C., Alemán-Chávez, I., Núñez-Camargo, M. D. C., & Lara-Capistrán, L. (2020). Respuesta del cultivo de maíz a la bio-inoculación y fertilización química reducida en campo. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 597-612
- Zumba (2022). Almacenamiento de carbono en banano orgánico en el sitio palo marcado provincia de el Oro Ecuador (Bachelor's thesis).

7. Anexos

Anexo 1. requisitos para adquirir bonos de carbono en CDM Gold Standard

1. Evaluar el proyecto

Requisitos

- Energía renovable o eficiencia energética?
- El proyecto ya está operando?
- Tamaño?
- Gases del proyecto son adecuados para créditos: CO₂ CH₄ y N₂O
- Ubicación del proyecto

Adicionalidad

- Herramientas aprobadas UNFCCC
- Análisis de inversores
- Análisis de barreras (obstáculos)
- Análisis de prácticas comunes

Sostenibilidad

- ¿Qué impacto tendrá el proyecto en la comunidad local anfitriona?

2. Abrir una cuenta de registro

- Ir a goldstandard.apx.com
- Crear nombre de usuario y contraseña
- Firmar los términos & condiciones y los términos de uso
- Subir tus documentos

3. Llevar acabo una consulta con partes (actores) interesadas locales (LSc)

Discutir los impactos del proyecto con la comunidad anfitriona

Resumen

- GS requiere dos rondas de consulta
- Al menos una reunion en vivo es requerida

Antes de la reunion

- Invitar a tu director regional, defensores de ONGs de GS, ONGs locales, residentes locales y funcionarios publicos

En la reunion

- Deberia asegurarse suficiente diversidad (aptitudes, genero,etnia,etc.)
- Resumen no tecnico y ejercicio ciego

Luego de la LSC:

- Reporte de consulta con partes (actores) interesados locales debe subirse al registro GS (tiempo d la primera presentacion aGS)
- Según la arprobacion de GS, el proyecto se enlistara (y puede dominarse “Aplicante del proyecto de estandar de oro”)
- El proyecto se convierte en publico en el registrp (solo informacion basica del proyecto en esta etapa)

4. Finalizar documentacion dfel proyecto (PDD,pasaporte)

- PDD
- Pasaportes GS
- Desviaciones de la metedologia CDM
- Evaluaciones de sostenibilidad
- ❖ Reportes LSC
- ❖ Matriz SAD
- ❖ Plan de monitoreo SD
- ❖ Evaluaciones sin daño

5. Validacion

- Segunda ronda de consultas a partes (actores) interesadas
- Seguimiento de la LSC y mencionar como la cuenta impacto a las partes interesadas en base a sus comentarios
- Documentacion del proyecto debe estar disponible al menos dos meses en el registro GS antes de completar la validacion (ya traves de otros medios en caso las partes interesadas no tienen acceso al internet)
- Esto puede completarse en conjunto con la validacion

6. Llevar a cabo una ronda de retroalimentación con las partes interesadas

- **Objetivo:** para revisar el proyecto y la documentación de proyecto al principio para asegurarse que cumpla los requisitos, la adicionalidad, sostenibilidad y aplicación correcta de la metodología y nuestra reglas
- La primera auditoría por terceros
- Debe contratar a un DOE acreditado en UNFCCC DOE quien debe visitar el site.
- Microproyectos pueden aplicar para validación interna

7. Registro

- Luego de completar exitosamente la validación debe mandar a Estandar de Oro una solicitud formal para registrarse. Esto toma forma como una carta de presentación (modelo fijo), el cual es un documento legal.
- Subir todos sus documentos al registro
- GS revisará cuan completos están dichos documentos en iniciar un periodo de revisión de ocho semanas durante el cual el Secretariat GS, el Comité Asesor Técnico y las ONGs promotoras de GS revisarán los documentos y formularán preguntas o comentarios.
- GS consolidará toda la retroalimentación y la mandará a Ud.
- El periodo de revisión termina cuando los comentarios han sido abordados y todas las preguntas han sido respondidas

A

8. Verificación

- **Objetivo:** para asegurarse que el proyecto está operando acorde al PDD y que la sostenibilidad de la ha tomado en cuenta correctamente.
- El segundo auditor externo
- Un pre-requisito a la emisión
- Debe Ud. Contratar un diferente DOE acreditado por UNFCCC
- Requeriendo al menos una vez en los primeros dos años; luego cada tres años

9. Emisión Certificación/ Emisión

- Una vez se ha completado exitosamente la verificación, todos los documentos se suben y GS revisará si todo está completo
- Una revisión de tres semanas se lleva a cabo, durante el cual el Secretariat DS, el Comité Asesor Técnico y las ONGs promotoras de Gs puede que tenga comentarios o preguntas
- GS le manda a Ud. Una retroalimentación al final de las tres semanas
- El periodo de revisión terminará cuando todos los comentarios y preguntas han sido abordados y respondidas.

Anexo 2. Fotografías











