



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**“EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LAS
FORMACIONES VEGETALES Y EN EL SUELO SEGÚN SU USO EN
TRES AGROECOSISTEMAS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMA**

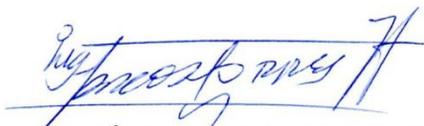
AUQUILLA CABADIANA MAYRA ALEXANDRA

RIOBAMBA- ECUADOR

2016

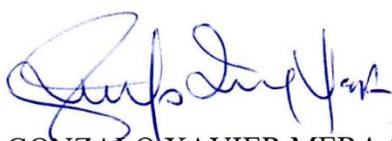
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

El suscrito **TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN, CERTIFICA QUE:** el trabajo de investigación titulado: **“EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LAS FORMACIONES VEGETALES Y EN EL SUELO SEGÚN SU USO EN TRES AGROECOSISTEMAS”**, de responsabilidad de la Srta. Egresada Mayra Alexandra Auquilla Cabadiana, ha culminado y fue prolijamente revisado, quedando autorizada su presentación y defensa.



ING. JOSÉ FRANKLIN ARCOS TORRES

DIRECTOR



ING. GONZALO XAVIER MERA CHUNES

ASESOR

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Mayra Alexandra Auquilla Cabadiana, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 20 de Diciembre de 2016



Mayra Alexandra Auquilla Cabadiana

Cédula de Ciudadanía: 060402077-6

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme con el milagro de ver cada día nuevo. A mis padres Vicente y Lolita y a mis hermanas Silvana y Valeria por ser mi guía, ejemplo y fuente de amor. A Maritza por la complicidad que sólo en ella puedo encontrar. A mi sobrino Sebastián por la alegría que me brinda con cada una de sus ocurrencias. A mi ángel, mamita Camila que desde el cielo cuida mis pasos.

Mayra Auquilla Cabadiana

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme cada día, por iluminar mi mente para cumplir cada meta y darme la fortaleza que se necesita para no rendirme en el camino. A Vicente y Lolita, mis padres, por inculcarme el ejemplo para ser una persona de bien, gracias por apoyarme en la obtención de mi profesión. A mis hermanas Silvana y Valeria, gracias por ser mi soporte, compañía y porque sólo ustedes saben envolverme en paz. A Maritza, mi amiga, por su incondicionalidad en los buenos y malos momentos, gracias por hacer más grato el camino recorrido y por recorrer.

A mis amigos y amigas a quienes Dios me puso en el camino, gracias por los momentos compartidos en las aulas y fuera de ellas. A todas las personas que estuvieron pendientes en este trayecto, en especial a la Dra. Natalia Espinosa, Lic. Anita Vimos y Lic. Ruth Moreno, gracias por brindarme su cariño.

A la ONG EKORURAL, especialmente al Ing. Mark Caufield, por la oportunidad que me brindaron para la realización de este trabajo, además del apoyo y asesoramiento para la culminación del mismo.

A cada uno de mis profesores, por transmitirme su conocimiento que permitió mi formación profesional, en especial al Ing. Franklin Arcos, Ing. Xavier Mera, Ing. Víctor Lindao e Ing. Carlos Carpio, por la guía y paciencia que contribuyeron para la culminación de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE ANEXOS	xiii

CAPÍTULO

I	TÍTULO	1
II	INTRODUCCIÓN	1
III	REVISIÓN DE LITERATURA	5
IV	MATERIALES Y MÉTODOS	23
V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
VI	CONCLUSIONES	59
VII	RECOMENDACIONES	60
VIII	RESUMEN	61
IX	SUMARY	62
X	BIBLIOGRAFÍA	63
XI	ANEXOS	71

LISTA DE CUADROS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG
1	Esquema del análisis de varianza para la zona alta y baja	31
2	Esquema del análisis de varianza para la zona media	32
3	Esquema del análisis de varianza para los agroecosistemas de la comunidad de Naubug	32
4	Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de carbono (t/ha) en las formaciones vegetales según los tres agroecosistemas y sus usos	35
5	Análisis por comparación de pares para el contenido de carbono (t/ha) en las formaciones vegetales según los tres agroecosistemas y sus usos	36
6	Análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona alta	39
7	Prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona alta	39
8	Análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona media	40
9	Prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona media	41
10	Análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo	

	según los usos del agroecosistema de la zona baja	42
11	Prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona baja	43
12	Análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug	44
13	Prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug	45
14	Análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona alta	48
15	Prueba de Tukey al 5% para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona alta	48
16	Análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona media	49
17	Análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona baja	50
18	Prueba de Tukey al 5% para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona baja	51
19	Análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug	52
20	Prueba de Tukey al 5% para el contenido total de carbono (t/ha) según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug	52

21	Resumen de acumulación de carbono total (t/ha) en función del uso de suelo y los tres agroecosistemas	54
22	Resumen de acumulación de carbono total (t/ha) según el uso de suelo	55

LISTA DE GRÁFICOS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG
1	Contenido de carbono (t/ha) en las formaciones vegetales según los tres agroecosistemas y sus usos	37
2	Contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona alta	40
3	Contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona media	42
4	Contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona baja	44
5	Contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug	45
6	Contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona alta	49
7	Contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona baja	51
8	Contenido total de carbono (t/ha) según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug	53
9	Acumulación de carbono total (t/ha) en función del uso de suelo y los tres agroecosistemas	55

- | | | |
|----|---|----|
| 10 | Análisis gráfico mediante biplot para el contenido de carbono en el suelo y en las formaciones vegetales de los usos de suelo de la comunidad de Naubug | 56 |
| 11 | Análisis gráfico mediante biplot para el contenido de carbono en el suelo y en las formaciones vegetales de los agroecosistemas de la comunidad de Naubug | 58 |

LISTA DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG
1	Ciclo del carbono a nivel de parcela	6
2	Efecto invernadero	10
3	Emisiones globales de gases de efecto invernadero (2004)	11
4	Emisiones globales de gases de efecto invernadero por sectores (2004)	12
5	Emisiones globales de CO ₂	13
6	Fuentes de GEI agrícolas en megatoneladas (Mt) CO ₂	14
7	Selección de puntos en el agroecosistema de la zona alta - Naubug	25
8	Selección de puntos en el agroecosistema de la zona media - Naubug	25
9	Selección de puntos en el agroecosistema de la zona baja - Naubug	26
10	Marcación de puntos en la parcela	26
11	Área de muestreo general con ubicación de los diferentes puntos/áreas para sub-muestras de vegetación, árboles y densidad aparente	27

LISTA DE ANEXOS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG
1	Ubicación geográfica de Naubug	71
2	Datos obtenidos en la investigación	71
3	Uso agrícola y bosque de la comunidad Naubug (Zona media)	74
4	Suelo abandonado de la comunidad Naubug (Zona media)	75
5	Suelo abandonado de la comunidad Naubug (Zona baja)	75
6	Cerca viva de árboles nativos de la comunidad Naubug (Zona media)	76
7	Cultivo de maíz de la comunidad de Naubug (Zona baja)	76
8	Cerca viva mixta de la comunidad Naubug (Zona alta)	77
9	Marcación del área de muestreo	77
10	Toma de muestra de suelo para materia orgánica y densidad aparente	78
11	Toma de muestra para cálculo de biomasa	78
12	Registro de altura de árboles (Clinómetro)	79
13	Muestras almacenadas para envío al laboratorio	79

14	Presupuesto del proyecto	80
15	Constitución del Ecuador (Derechos de la naturaleza)	81

I. EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LAS FORMACIONES VEGETALES Y EN EL SUELO SEGÚN SU USO EN TRES AGROECOSISTEMAS

II. INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta hoy en día enfrenta uno de los problemas más trascendentales, el Cambio Climático, que ha venido generando considerables secuelas, afectando de forma negativa en los procesos ecológicos, económicos y sociales que rigen en el planeta.

La causa de este cambio es el incremento de la emisión de gases de efecto de invernadero (GEI) principalmente gases como el metano (CH₄), óxido nitroso (NO₂) y el dióxido de carbono (CO₂), considerando a este último como el gas de mayor importancia en el cambio climático y consecuentemente el calentamiento global.

Las actividades humanas inducen el incremento de las emisiones de CO₂, la agricultura contribuye directamente al 14% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, el equivalente a 7 mil millones de toneladas de CO₂ cada año, casi equiparándose al sector del transporte. Además, cambios en el uso de la tierra, sobre todo la deforestación impulsada por la expansión agrícola en las zonas tropicales, representan un 17% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (FAO, 2015).

Bajo esta perspectiva el presente trabajo se enfocó en la evaluación y cuantificación de las reservas de carbono en las formaciones vegetales y en el suelo de acuerdo a su tipo de uso, en la Comunidad de Naubug, con lo cual se pretende sensibilizar a los pequeños productores sobre los impactos del Cambio Climático y relacionar estos impactos con sus acciones cotidianas a fin de que este conocimiento y la información obtenida en esta investigación sirvan para mejorarla toma de sus decisiones con respecto al uso del suelo, para eventualmente incluir a los pequeños productores agrícolas de esta comunidad en las estrategias para la mitigación del Cambio Climático.

A. JUSTIFICACIÓN

El Cambio Climático y el calentamiento global, son en la actualidad motivos de gran preocupación pero a la vez son motivo de mucho estudio, esto debido a que en el último siglo las actividades humanas han incrementado la emisión los gases causantes de este efecto; el Dióxido de Carbono (CO₂) es el gas más abundante, y que ha aumentado más rápidamente su concentración en la atmósfera debido a la actividad humana (agricultura, cambio de uso del suelo, industria, transporte, producción de energía, etc.)(Cáceres, 2011).

Por este motivo se han creado en todo el mundo organizaciones y proyectos que evalúan el estado del planeta con respecto al Cambio Climático y de esta manera se espera que la humanidad pueda tomar alternativas viables para la mitigación de este problema, ejemplo de ello es la creación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) que es el principal órgano internacional encargado de evaluar el cambio climático. Se creó en 1988 a iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para facilitar a las instancias normativas evaluaciones periódicas sobre la base científica del cambio climático, sus repercusiones y futuros riesgos, así como las opciones que existen para adaptarse al mismo y atenuar sus efectos (IPCC, 2013).

Un primer paso importante hacia un régimen verdaderamente mundial de reducción y estabilización de las emisiones de GEI, es el denominado Protocolo de Kioto, el mismo que fue estructurado en función de los principios de la Convención del Cambio Climático, en este protocolo se establecen metas vinculantes de reducción de las emisiones para 37 países industrializados y la Unión Europea, reconociendo que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI que hay actualmente en la atmósfera. El Protocolo ha movido a los gobiernos a establecer leyes y políticas para cumplir sus compromisos, a las empresas a tener el medio ambiente en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre sus inversiones, y además ha propiciado la creación del mercado del carbono (UNFCCC, 2014).

Una de las estrategias para la mitigación del Cambio Climático que se ha promovido es el almacenamiento y captura de carbono puesto que todos los ecosistemas (bosques, praderas, mantos acuíferos, sistemas marinos, suelos y humus) capturan el CO₂ de la atmósfera y lo almacenan de forma natural en su materia orgánica, viva o muerta, por lo que resultan importantes depósitos naturales de carbono, además mediante procesos naturales como la respiración de la vegetación son capaces de capturar CO₂ de la atmósfera, el cual es procesado e integrado en su materia orgánica como carbono contribuyendo así en la mitigación del Cambio Climático (SEMARNAT, 2010).

En el Ecuador la Constitución de la República reconoce los derechos de la naturaleza en el capítulo séptimo de la Constitución en los artículos 71 al 74 (Anexo 11); así como “se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir *Sumak Kawsay*” y, establece la facultad de que el Estado adopte medidas adecuadas y transversales para la adaptación y mitigación del Cambio Climático.

En base a este principio radica la importancia de esta investigación, la cual se suma a este objetivo y pretende aportar elementos que ayuden a la mitigación del cambio climático, pues existen prácticas agrícolas que pueden promover un mayor almacenamiento de carbono contribuyendo así, a la disminución de los efectos negativos de este problema que puede atentar con el objetivo del Sumak Kawsay en las comunidades rurales como Naubug. Organizaciones no gubernamentales mediante varios proyectos están también interesadas en mejorar la vida de los pequeños agricultores de los sectores rurales, tal es el caso de la Fundación Mc Knight y la ONG EKORURAL, quienes financian y dan apoyo logístico respectivamente a esta investigación que es parte del proyecto denominado: Investigación de los impactos de los sistemas de gestión agrícola de los pequeños agricultores sobre los servicios ecosistémicos del paisaje en los Andes ecuatorianos, dirigido por el Ing. Mark Caulfield.

Además este trabajo de investigación permite proveer información a los representantes de la zona para mejorar la toma de decisiones con respecto al ordenamiento territorial,

determinando el uso de suelo adecuado, que posibilite una mayor captura de carbono en los agroecosistemas de la zona alta, media y baja de Naubug, basándose en el cambio de paisaje en la comunidad, para que esta sea un aporte incluyéndose en las estrategias para la mitigación del Cambio Climático, problema que ha traído graves consecuencias a nivel mundial.

B. OBJETIVOS

1. General

Evaluar el contenido de carbono en las formaciones vegetales y en el suelo según su uso en tres agroecosistemas.

2. Específicos

- a.** Determinar el contenido de carbono en los distintos tipos de uso de suelo de la comunidad Naubug.
- b.** Evaluar el contenido de carbono en los tres agroecosistemas de la comunidad Naubug.
- c.** Comparar estadísticamente el almacenamiento de carbono en los distintos tipos de uso de suelo y en las formaciones vegetales.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. EL CARBONO

En la naturaleza el carbono se halla en todas partes; en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos), y en el aire como dióxido de carbono. Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo, y que son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (Smith, 1994).

1. Ciclo del Carbono

El ciclo del carbono son las transformaciones químicas de compuestos que contienen carbono en los intercambios entre biósfera, atmósfera, hidrósfera y litósfera (Wodzicki, 2001).

Comprende, en primer lugar, un ciclo biológico durante la fotosíntesis, las plantas verdes toman CO_2 del ambiente abiótico e incorporan el carbono en los carbohidratos que sintetizan. Parte de estos carbohidratos son metabolizados por los mismos productores en su respiración, devolviendo carbono al medio circundante en forma de CO_2 . Otra parte de esos carbohidratos son transferidos a los animales y demás heterótrofos, que también liberan CO_2 al respirar, los descomponedores metabolizan los compuestos orgánicos de los organismos muertos y agreguen nuevas cantidades de CO_2 al ambiente (Wodzicki, 2001).

En segundo lugar, tenemos un ciclo biogeoquímico más extenso que el biológico y que regula la transferencia entre la atmósfera y los océanos y suelo (litósfera). El CO_2 emitido a la atmósfera, si supera al contenido en los océanos, ríos, etc. es absorbido con facilidad por el agua convirtiéndose en ácido carbónico. Este ácido influye sobre los silicatos que constituyen las rocas y se producen los iones bicarbonato. Los iones bicarbonato son

asimilados por los animales acuáticos en la formación de sus tejidos. Una vez que estos seres vivos mueren quedan depositados en los sedimentos de los fondos marinos. Finalmente, el CO_2 vuelve a la atmósfera durante las erupciones volcánicas al fusionarse en combustión las rocas con los restos de los seres vivos. En algunas ocasiones la materia orgánica queda sepultada sin producirse el contacto entre ésta y el oxígeno lo que evita la descomposición y, a través de la fermentación, provoca la transformación de esta materia en carbón, petróleo y gas natural (Caballero, 2008).

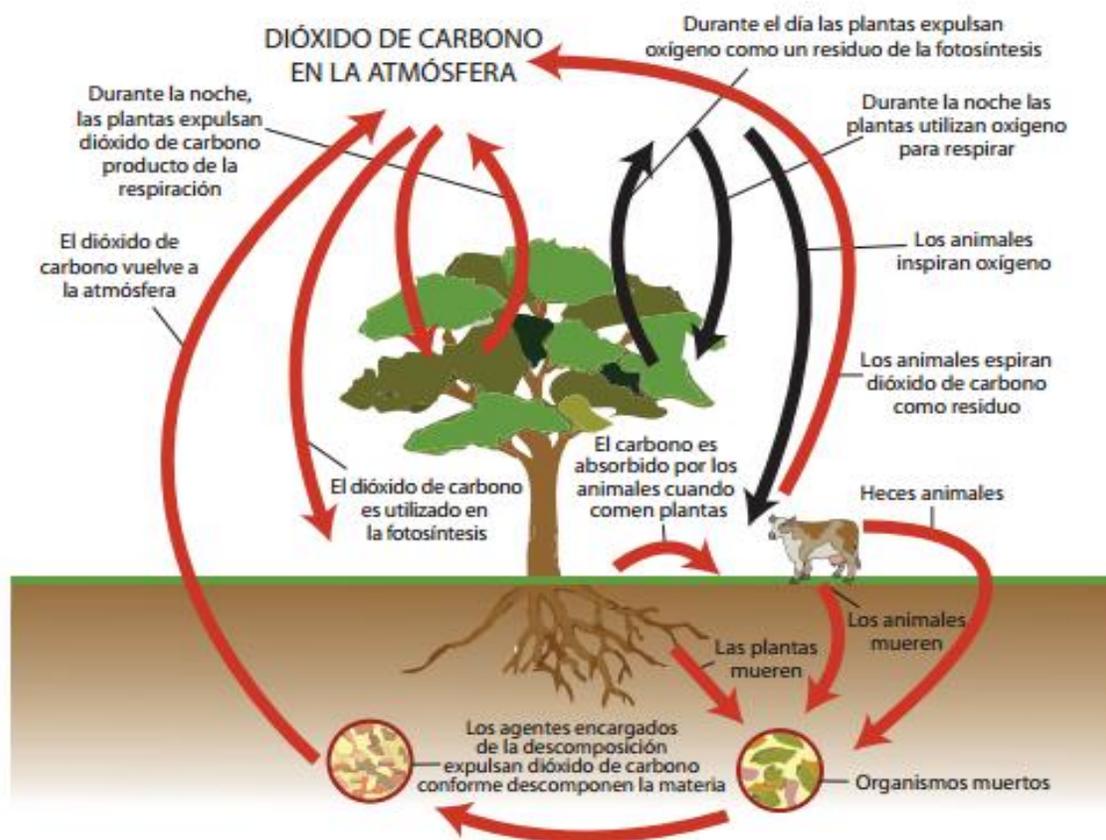


Figura 1. Ciclo del carbono a nivel de parcela

Fuente: (FAO, 2007)

En la figura 1 se muestra los componentes del ciclo de carbono en una escala menor es decir a nivel de parcela, en donde, el carbono es almacenado sobre la tierra por las plantas, cultivos y árboles, y bajo ella, en el suelo y raíces.

Como se menciona anteriormente el dióxido de carbono está presente naturalmente en la atmósfera como parte del ciclo del carbono de la Tierra, pero las actividades humanas están alterando el ciclo de carbono, tanto mediante la adición de más CO₂ a la atmósfera y al influir en la capacidad de los sumideros naturales, como los bosques, para eliminar el CO₂ de la atmósfera (EPA, 2015).

2. Dióxido de carbono (CO₂)

El CO₂ forma parte del ciclo del carbono; en cuanto a su descubrimiento el químico escocés Joseph Black, de la descomposición química de la margá y la caliza en el siglo XVIII, obtuvo un gas al que denominó "aire fijo". Más adelante, el también químico Antoine Lavoisier, en uno de sus experimentos sobre combustión, identificó a un gas de las mismas características que el "aire fijo" de Joseph Black y lo denominó dióxido de carbono, es un gas incoloro, inoloro y con un sabor ácido(CICEANA, 2004).

Su estructura molecular está compuesta de un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno (CO₂). Su densidad es, más o menos, 1,5 veces más densa que el aire y se disuelve en el agua en una proporción de un 0,9 de volumen del gas por volumen de agua, siempre a 20 grados centígrados (CICEANA, 2004).

El CO₂ en bajas concentraciones no es un contaminante, ya que se produce en forma natural, pero el hecho de que un aumento en la concentración ocasiona una modificación global perjudicial, esto ha provocado que cada vez sea más estudiado, analizado y considerado importante en cuanto a la contaminación atmosférica (CICEANA, 2004).

B. EL DIOXIDO DE CARBONO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

De todos los gases de efecto invernadero, el CO₂ cobra especial relevancia por su efecto sobre las condiciones climáticas del planeta debido a que es un gas de larga permanencia, es decir, es un gas que permanece activo en la atmósfera durante mucho tiempo. Así, por ejemplo, del CO₂ emitido a la atmósfera, sobre el 50% tardará 30 años en desaparecer, un

30% permanecerá varios siglos y el 20% restante durará varios millares de años (Solomón, 2007).

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. Actualmente se lo conoce al clima como un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio. Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor medio de muchos años, se habla de una anomalía climática ocasionada por forzamientos internos (Martínez, 2004).

La FAO(2015), menciona que de acuerdo a la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC), el cambio climático se entiende como un problema atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2002) define al cambio climático como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas.

Se prevé para el 2100 un aumento de 1,4° C y 5,8° C, lo que representa un cambio rápido y profundo. Aun cuando el aumento real sea el mínimo previsto, será mayor que en cualquier siglo de los últimos 10.000 años (CINU, 2015).

En el Ecuador el incremento de 0,8 grados centígrados en la temperatura promedio anual en el periodo 1960-2006 y la reducción de la cubierta de los glaciares en 27,8 por ciento en los últimos 30 años, son algunas de las consecuencias referenciales del cambio climático en Ecuador y que afecta a nivel mundial (MAE, 2013).

En el país la fragilidad por el cambio climático difiere sustancialmente dependiendo de la región, porque tiene relación directa con la exposición a la amenaza, a la sensibilidad, al

clima y a la capacidad de adaptación que se presenta en cada una de éstas. Así, la Sierra y la Amazonía son más vulnerables a deslizamientos. En la Costa, en cambio, se presentan más inundaciones y subidas del nivel del mar, mientras que la sequía es más frecuente en zonas de la Sierra y la Costa (MAE, 2010).

Gonzalo Ontaneda, coordinador de estudios e investigaciones meteorológicas del INAMHI señala que antes el invierno y el verano eran marcados. En la Sierra, por ejemplo, este último iniciaba en octubre y terminaba en diciembre, teniendo dos veranillos de entre 10 y 15 días cada uno, que se presentaban en noviembre y diciembre, y en base a esto se planificaban las siembras, las cosechas y las actividades escolares. Pero ahora hay muchos días con sol en época lluviosa y sólo uno o dos días llueve torrencialmente (DIARIO LA HORA, 2013).

1. Gases de efecto invernadero (GEI)

A nivel mundial las evidencias muestran que la temperatura promedio de la atmósfera y del mar se está incrementando desde mediados del siglo XIX, fenómeno que se explica por el hecho que el efecto invernadero se ha venido acentuando como consecuencia de la concentración en la atmósfera de Gases de Efecto Invernadero provenientes de actividades humanas (figura 2). Este fenómeno, usualmente conocido como “calentamiento global”, tiene el potencial de cambiar los patrones climáticos en todo el planeta (MAE, 2012).

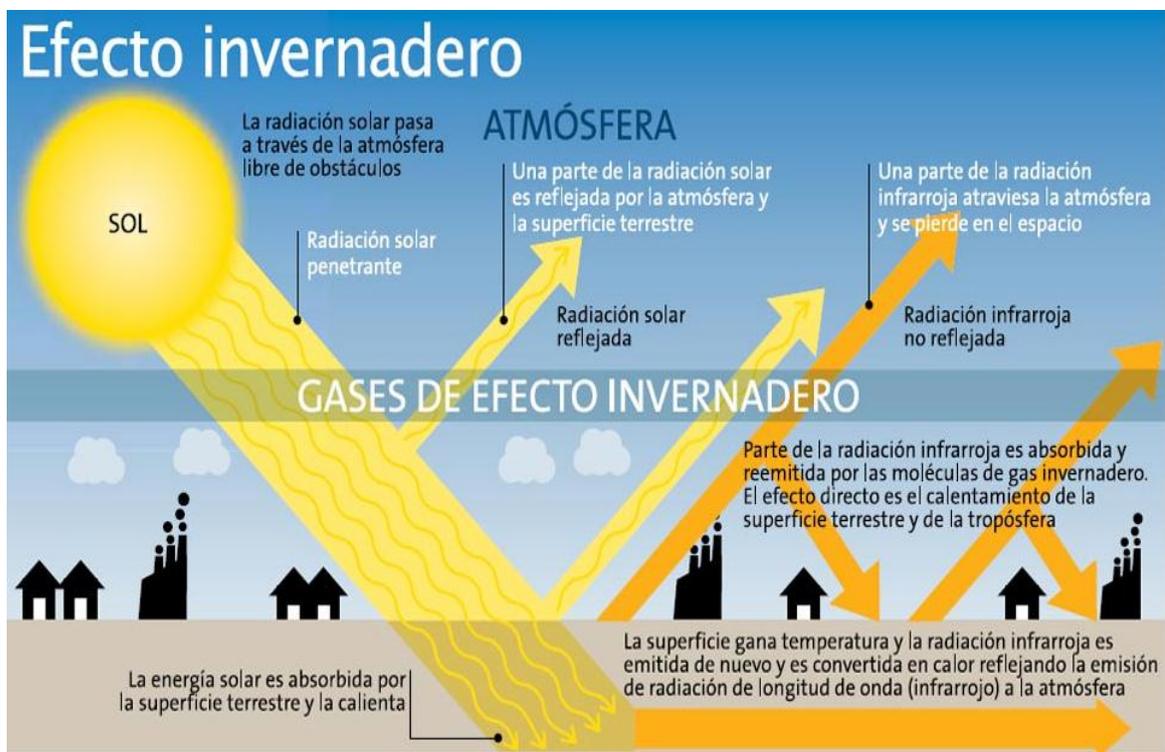


Figura 2. Efecto invernadero

Fuente: (UNFCCC, 2004)

Los GEI son de origen natural y son imprescindibles para mantener la temperatura del planeta, el problema surge cuando la cantidad de estos gases aumenta porque se altera el equilibrio natural y el clima se comporta de manera distinta. La industrialización, con el uso masivo de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) y todas las actividades humanas derivadas, como el transporte o el uso intensivo de la agricultura y la ganadería, contribuyen desde el siglo XIX a incrementar estos gases (Bucaram, 2013).

Un gas de efecto invernadero es aquel que atrapa la radiación infrarroja (calor) en la atmósfera, lo cual deriva en el calentamiento del planeta; este fenómeno natural es muy beneficioso, ya que sin él la Tierra tendría una temperatura de aproximadamente 60°F menos y sería incapaz de mantener las formas de vida vegetal y animal tales como las conocemos (Blanch, 2005).

a. Actividades emisoras de gases de efecto invernadero

Las emisiones globales de gases de efecto invernadero procedentes de la actividad humana han crecido desde la época preindustrial, con un incremento de un 70% entre 1970 y 2004, ahora son mucho más altas que los niveles preindustriales; así lo revelan las muestras de hielo extraídas en los casquetes polares y que proporcionan datos que abarcan muchos miles de años(PNUMA/Grid-Arendal, 2009).

En la figura 3 se muestra a cada uno de los gases de efecto invernadero con su porcentaje de emisión a nivel mundial, en donde el CO₂ es el gas de mayor emisión con 60% aproximadamente.

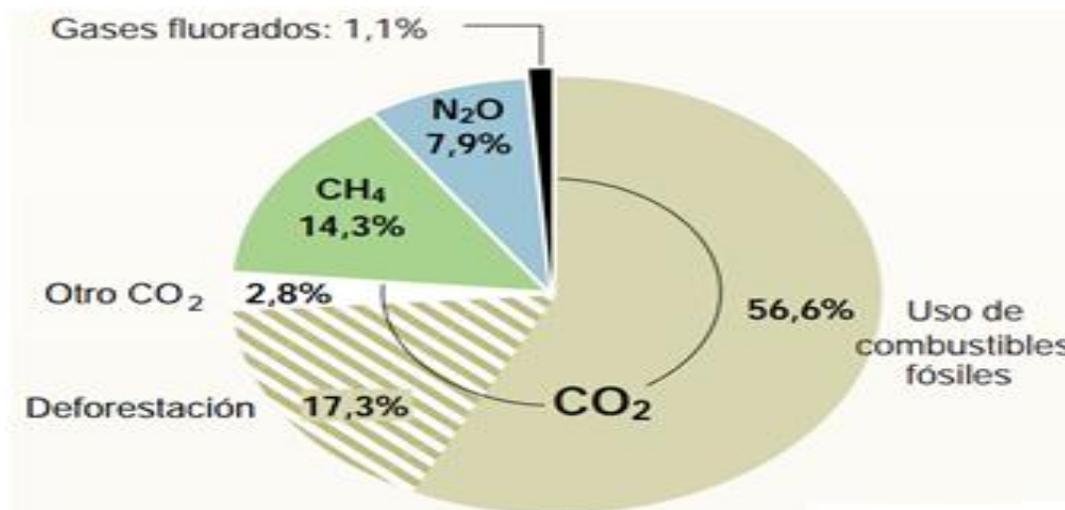


Figura 3. Emisiones globales de gases de efecto invernadero (2004)

Fuente: (IPCC, 2007)

EIPNUMA/Grid-Arendal(2009), indica que a partir de la evaluación de los efectos de los factores naturales y de la actividad humana sobre el clima, los científicos han concluido que ésta última, es responsable de una parte significativa del incremento de la temperatura, como se observa en la figura 4 cada actividad humana participa con el siguiente porcentaje de emisión a nivel mundial:

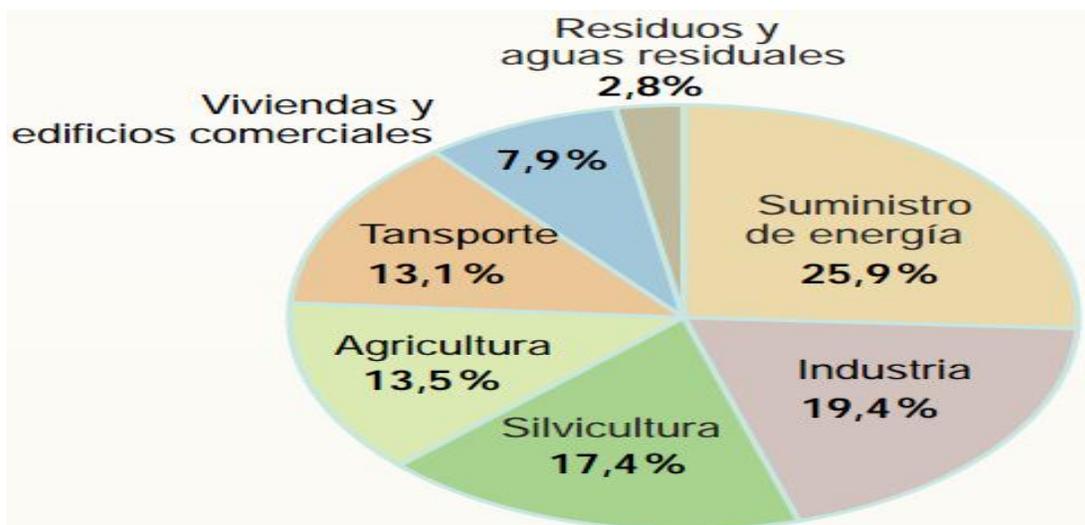


Figura 4. Emisiones globales de gases de efecto invernadero por sectores (2004)

Fuente: (IPCC, 2007)

2. Emisiones antropogénicas de CO₂

El aumento en las concentraciones de CO₂ en la atmósfera causado por la actividad humana es el principal factor responsable de la intensificación del efecto invernadero y el cambio climático resultante. En la actualidad, el exceso de CO₂ modifica el balance final del ciclo de carbono descrito anteriormente, influyendo de manera decisiva sobre las condiciones climáticas. La concentración de CO₂ ahora es de 379 partes por millón. Esto es considerablemente mayor que lo que ha sido en cualquier momento en los últimos 600.000 años (Alcántara, 2005).

Según EDGAR(2014), China, Estados Unidos y la Unión Europea en 2013 fueron los principales emisores de CO₂, representando en conjunto más de la mitad (55%) del total mundial de las emisiones de CO₂, con una emisión total por parte de China de 10,3 mil millones de toneladas de CO₂ (29%), Estados Unidos con 5,3 mil millones de toneladas de CO₂ (15%) y la Unión Europea 3,7 mil millones de toneladas de CO₂ (11%). Las emisiones de CO₂ en las economías emergentes aumentaron principalmente en 2013, en comparación a 2012 (por ejemplo, en la India un 4,4%, en Brasil un 6,2% y en Indonesia 2,3%).

A nivel mundial como muestra la figura 5, el uso de energía representa sólo el 45% de las emisiones mundiales de CO₂. Las otras fuentes principales son transporte, cambios de uso del suelo (Sureste de Asia cuenta la mitad, América del Sur 4%, África 2%, otros 3%), y las emisiones procedentes de la agricultura y no energéticas (menos de 10%) de fuentes industriales y de desecho (UNEP, 2011).

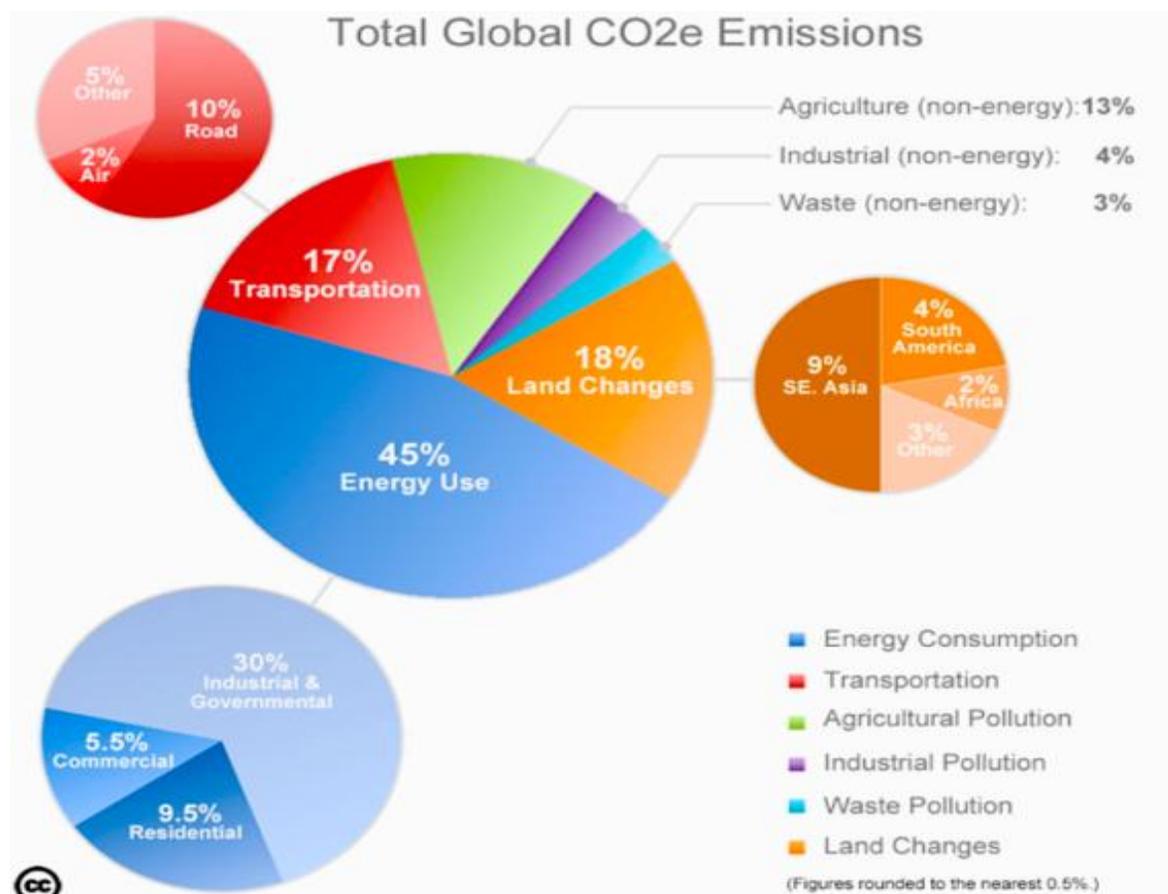


Figura 5. Emisiones globales de CO₂

Fuente: (UNEP, 2011)

El uso de combustibles fósiles es la principal fuente de CO₂. La forma en que la gente utiliza la tierra es también una importante fuente de CO₂, sobre todo cuando se trata de la deforestación (EPA, 2015).

La FAO(2003), por su parte indica que la conversión de la vegetación natural en la agricultura constituye la fuente principal de CO₂, no sólo como consecuencia de las

pérdidas de la biomasa de las plantas sino también por el aumento de la descomposición de la materia orgánica del suelo, debido a la alteración y los costos energéticos de diversas prácticas agrícolas tales como la fertilización y la irrigación.

La figura 6 muestra las principales fuentes de GEI agrícolas. Por ejemplo: al utilizar fertilizantes, se emite N_2O desde el suelo, y al quemar los residuos agrícolas, se aumentan los niveles de CO_2 ; el CH_4 se libera en los procesos digestivos del ganado, así como cuando el arroz es cultivado por inundación; y cuando la tierra se transforma en tierra de cultivo y se tala árboles, se crea una fuente de emisiones de CO_2 .

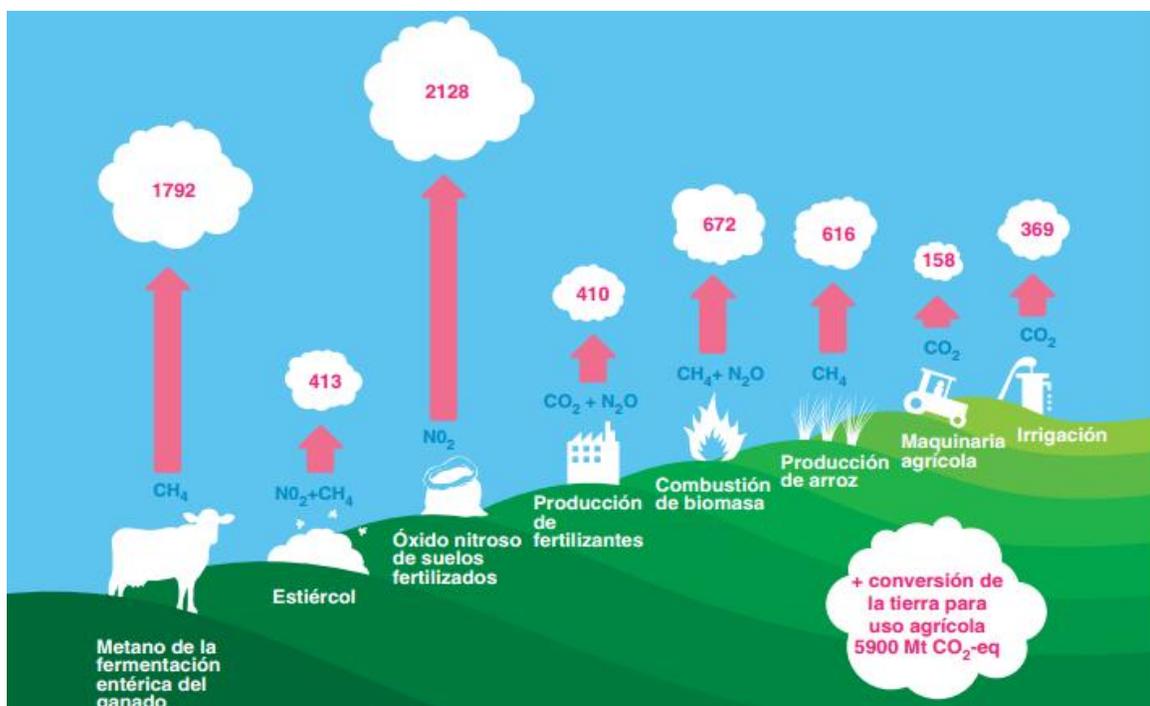


Figura 6. Fuentes de GEI agrícolas en megatoneladas (Mt) CO₂

Fuente: (Greenpeace Internacional, 2008)

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Ecuador emite 1,9 toneladas métricas de CO₂ por habitante. Lo que representa un 0,1% de emisiones a nivel mundial (MAE, 2011).

En el Ecuador el segundo gas más emitido en volumen es el dióxido de carbono. Desde el año 1990, las emisiones de este GEI casi se duplicaron en magnitud, en el 2006 se reportan 410,01 Mton de CO₂ emitidas por todos los sectores de Ecuador incluyendo energía procesos industriales, agricultura, cambio de uso del suelo, desechos. El sector USCUS es el mayor generador de este gas, seguido en menor escala por los sectores de energía y agricultura, las principales fuentes de emisiones de CO₂ son la conversión de bosques y pastizales a otros usos, el uso y manejo de los suelos en el sector USCUS y el transporte en el sector energía (Proyecto GEF/PNUD/MAE, 2011).

3. Mitigación de las emisiones de CO₂

Según Carvajal(2013), se denomina mitigación al conjunto de procedimientos a través de los cuales se busca bajar a niveles no tóxicos y/o aislar sustancias contaminantes en un ambiente dado.

El protocolo de Kioto es un instrumento internacional que tiene como objetivo reducir las emisiones para 37 países industrializados y la Comunidad Europea que emiten seis gases provocadores del calentamiento global (GEI) y tres gases industriales; el protocolo fue aprobado en Nueva York el 9 de mayo de 1992, tenía como objetivo reducir un 5% de emisiones de CO₂ dentro del primer período pactado entre el 2008 al 2012, con el fin de tener emisiones menores en comparación con las emisiones del año de 1990 (ONU, 1998).

El MAE(2013), señala que el consumismo y la industrialización agravan la concentración de dióxido de carbono en el aire del planeta. Por este motivo, es importante sensibilizar a los habitantes de nuestro planeta sobre el cambio climático y los impactos ambientales que ocasiona. El Ecuador a pesar de ser un país con emisiones que representan menos del 0,5% de CO₂ en el mundo, el gobierno trabaja para enriquecer las acciones de mitigación y adaptación del cambio climático, con el fin de mejorar la calidad de vida, en términos de bienestar ambiental y social.

Existen varias alternativas para la mitigación de las emisiones de CO₂, así la (FAO, 2016) indica que los niveles atmosféricos de dióxido de carbono se pueden reducir con la disminución de emisiones o removiendo el dióxido de carbono de la atmósfera para almacenarlo en reservas terrestres y ecosistemas acuáticos.

a. Almacenamiento de carbono como alternativa de mitigación

Para mitigar los impactos del Cambio Climático es necesario reducir las emisiones de gases de efecto invernadero como es el caso de CO₂, por lo que una de las prácticas a fomentar es el almacenamiento de carbono en los diferentes sumideros. La FAO(2016) indica que un sumidero de CO₂ se define como el proceso o la actividad que implica la remoción de gases de invernadero de la atmósfera para almacenarlo en reservas terrestres y ecosistemas acuáticos.

El suelo y la vegetación tienen la capacidad de almacenar carbono, es decir cumplen la función de sumidero, se conoce así a todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros de C por su función vital principal, la fotosíntesis (Carvajal, 2008).

1) Almacenamiento de carbono en la vegetación

Según Carvajal(2008), las plantas tienen la capacidad de captar el CO₂ atmosférico y mediante procesos fotosintéticos metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital (Fotosíntesis). En general, se puede concluir que, las plantas, a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera (en forma de CO₂) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo (en forma de humus) o en CO₂ (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa).

a) Almacenamiento de carbono en vegetación baja y cultivos

El CO₂ secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido por la atmósfera durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45-50 % del peso seco de la planta. Por lo tanto, mientras el crecimiento sea alto, la vegetación natural y los cultivos agrícolas se convierten en los sumideros de carbono. Teniendo esto en cuenta, la agricultura se puede convertir en un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO₂ atmosférico (Carvajal, 2008).

b) Almacenamiento de carbono en bosque y cercas vivas de árboles

Los ecosistemas forestales pueden absorber cantidades significativas de CO₂, como producto de este hecho, en las últimas décadas ha surgido un interés considerable por aumentar el contenido de carbono en la vegetación terrestre mediante la conservación forestal, la forestación, la reforestación, la agroforestería y otros métodos de uso del suelo (UNESA, 2005).

Una vez que el dióxido de carbono (CO₂) atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). El árbol al crecer va incrementado su follaje, ramas, flores, frutos, yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa); así como altura y grosor del tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas dando lugar a una competencia entre las copas de los árboles por la energía solar, originando a su vez un dosel cerrado. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, misma que al degradarse se incorpora paulatinamente y da origen al humus estable que, a su vez, aporta nuevamente CO₂ al entorno (Ordoñez, 1999).

La captura de carbono en un bosque no es permanente y puede convertirse en emisiones causadas por imprevistos naturales o antropogénicos, como podrían ser los ataques de plagas y enfermedades y/o los incendios forestales. Esto marca una diferencia fundamental entre los proyectos de sumideros de carbono y el resto de proyectos, ya que, las unidades contabilizadas como absorbidas pueden ser reemitidas a la atmósfera en cualquier momento (UNESA, 2005).

2) Almacenamiento de carbono en el suelo

La vegetación fija el carbono de la atmósfera por fotosíntesis transportándolo a materia viva y muerta de las plantas. Los organismos del suelo descomponen esta materia transformándola a Materia Orgánica del Suelo (MOS). El carbono se libera de la biomasa para la MOS, en organismos vivos por un cierto tiempo o se vuelve a emitir para la atmósfera por respiración de los organismos (organismos del suelo y raíces) en forma de dióxido de carbono, CO_2 , o metano CH_4 , en condiciones de encharcamiento en el suelo (FAO, 2016).

Las raíces de los árboles y plantas absorben dióxido de carbono. La descomposición de los materiales orgánicos aumenta la porción de carbono almacenado en el suelo, que es mayor que la cantidad total que hay en la vegetación y la atmósfera (FAO, 2007)

Los niveles de carbono del suelo han disminuido como consecuencia de la utilización de las tierras con fines agrícolas. Las estrategias agrícolas sostenibles, que abarcan el reciclado de materia orgánica, la restricción del ciclo interno de nutrientes y la práctica de la labranza mínima o la labranza cero, pueden restablecer los niveles de materia orgánica y reducir las pérdidas del sistema (FAO, 2003).

Para determinar el C secuestrado en los ecosistemas, hay que tener en cuenta el C estable incorporado al suelo. Si la acumulación de C en el suelo es un proceso más lento que la acumulación de la biomasa, la estabilidad del C en el suelo es mayor. Por lo tanto, la

capacidad del suelo para almacenar C es importante debido al material vegetal acumulado en descomposición, pasando a denominarse C del humus (FAO, 2003).

La poda de los árboles y las hojas caducas puede contar como pérdida de carbono del cultivo si se retira de la plantación o se quema, mientras que, si la poda se descompone naturalmente en el suelo, se convierte en un medio eficaz de inmovilización de CO₂ a largo plazo (Lal, 1997).

De hecho, un año después de agregar los residuos vegetales a la tierra, la mayor parte del carbono vuelve a la atmósfera en forma de CO₂, sin embargo, de una quinta a una tercera parte del mismo permanece en el suelo, ya sea como biomasa viva o como el humus del suelo (Brady & Weil, 2004).

C. AGROECOSISTEMAS DE LA COMUNIDAD NAUBUG

De acuerdo a la FAO(2007), los agroecosistemas son ecosistemas en los que el ser humano ha ejercido una intencionada selectividad sobre la composición de los organismos vivos. Los agroecosistemas contienen poblaciones humanas y dimensiones tanto económicas como ecológicoambientales y se diferencian de los ecosistemas no gestionados en que están alterados intencionadamente, y a menudo manejados intensivamente, con el fin de proporcionar alimentos, fibra y otros productos.

Lo anterior concuerda con Gómez(2012), quien indica que agroecosistema es cualquier tipo de ecosistema modificado y gestionado por los seres humanos con el objetivo de obtener alimentos, fibras y otros materiales de origen biótico esto incluye tanto los ejemplos propios de la agricultura tradicional así como las situaciones típicas de la agricultura convencional e industrial, en las que el objetivo dominante se asocia a maximizar la rentabilidad además incluye los sistemas ganaderos extensivos, con presencia o no de árboles; buena parte de los cuales mantienen usos mixtos y pueden calificarse como agrosilvopastoriles.

Mediante el mapeo comunitario realizado en la investigación junto a los agricultores de Naubug, se determinó que a esta comunidad se la ha dividido en tres agroecosistemas: zona alta, zona media y zona baja; para esto se ha tomado en cuenta factores como: altitud, distancia hasta la casa, gestión agrícola (rotaciones, etc), tipo de suelo, grado de degradación del suelo, clima/cultivos. Esta denominación como se indica es realizada por los agricultores, no es realizada científicamente.

1. Usos de suelo en los agroecosistemas de la comunidad Naubug

El uso del suelo abarca la gestión y modificación del medio ambiente natural para convertirlo en un ambiente construido tal como campos de sembradío, pasturas y asentamientos humanos. También ha sido definido como las acciones, actividades e intervenciones que las personas realizan sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla (FAO, 2000).

Según la FOCAM(2013) el sector de Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo, más conocido como AFOLU por sus siglas en inglés, es el sector con el mayor nivel de emisiones de CO₂eq del inventario de gases de efecto invernadero en el Ecuador. Esta es una realidad común a muchos países en desarrollo donde la aplicación de fertilizantes y la conversión en el uso del suelo, como por ejemplo de bosques a pastizales o a tierras de cultivo, son los procesos más comunes de generación de emisiones en este sector.

El uso del suelo tiene diversos fines, por ejemplo para uso forestal, agricultura, minería, industria, ganadería etc. En este caso se hará énfasis en los siguientes usos de suelo: agrícola, forestal, suelos abandonados y cercas vivas; estos usos fueron los más representativos en la comunidad al momento de realizar la investigación.

Las características del uso agrícola en la comunidad Naubug son las siguientes: En la zona alta hay una rotación de cultivos (quinua, cereal para forraje, habas, papas) intensivo sin descanso. Suelo caracterizado por niveles medio altos de materia orgánica (6%) y nitrógeno total (0,21%) y rendimiento en los cultivos regulares. La zona media se da una rotación de

cultivos (quinua, cereales para forraje y consumo, habas, papas) intensivo sin descanso. Suelo caracterizado por niveles menores que la zona alta en materia orgánica (3,8%) y nitrógeno total (0,14%) y rendimiento regular. Mientras que la zona baja se caracteriza por una rotación de cultivos (maíz, cebada, trigo) con descanso de 4-6 meses, sobre todo durante el periodo seco. Suelo caracterizado por niveles muy bajos de materia orgánica (0,9%) y nitrógeno total (0,025%) y rendimiento entre malo y muy malo.

En la comunidad de Naubug el bosque es generalmente de eucalipto y/o pino, comprenden pequeñas parcelas de terreno hasta áreas más extensas. Los cuales son encontrados en las zonas media y baja. Se cosechan para leña y para la venta. Los terrenos abandonados en la comunidad son parcelas pequeñas hasta extensas áreas donde ya no se practica la agricultura como resultado de varios factores, entre los cuales los más importantes son el decremento de la fertilidad y la migración. Tanto los suelos abandonados como los bosques presentan suelos caracterizados por niveles de materia orgánica (1,4 - 2,4%) y de nitrógeno total entre (0,06 - 0,08%) muy bajos en las zonas media y baja.

Las características del suelo con cercas vivas en la comunidad Naubug son las siguientes: Suelos caracterizados por niveles de materia orgánica (Zona alta: 4%, Zona media: 3,8%, Zona baja: 1,75%) y de nitrógeno total (Zona alta: 0,16%, Zona media: 0,13%, Zona baja: 0,075%) que bajan suavemente con la zona. Alta diversidad de macrofauna y vegetación.

Existen cercas vivas de pasto millin, árboles nativos y mixtos; las cercas vivas de pasto millin se cosechan para forraje y se encuentran principalmente en las zonas alta y media. Cercas vivas de árboles nativos tales como tilo, quishuar, yagual, aliso, lupino, etc. se encuentran en su mayoría en las zonas alta y media. Las cercas vivas mixtas se conforman de árboles, arbustos y pasto se encuentran en las zonas media y baja.

2. Ordenamiento territorial y contribución al cambio climático

Según Arce (2013), cuando se habla de ordenamiento territorial se hace referencia a la necesaria integración entre los aspectos biofísicos y los aspectos institucionales orientada a

lograr la sostenibilidad en un espacio dado. De otra manera se puede decir que el ordenamiento territorial implica lograr una apropiada interacción entre los ecosistemas naturales y los sistemas ecológicos humanizados. Bajo esta perspectiva el ordenamiento territorial también puede abordarse desde un encuentro entre oferta y demanda de bienes y servicios para satisfacer las necesidades materiales y espirituales de los ciudadanos con los estándares más altos de calidad sosteniblemente.

Desde la perspectiva del cambio climático las configuraciones espaciales y los alcances administrativos del ordenamiento ambiental territorial tienen un impacto en el balance del carbono en la atmósfera y la cadena de afectación referida a calentamiento global y sus múltiples efectos, por ejemplo, en las actividades agrícolas cambia los periodos de floración o fructificación de plantas, los rangos de ocupación altitudinal de los cultivos, la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos, etc. Esto obliga a recuperar una visión sistémica porque lo que se haga o deje de hacer en zonas altas tienen implicancias sobre las zonas bajas (Arce, 2013).

El hecho de la débil o ausencia de implementación de políticas de ordenamiento territorial tiene efectos tangibles en el cambio climático. Dos fenómenos estrechamente ligados refieren a la conversión de bosques y la pérdida de productividad del suelo. Es muy importante la integración de políticas públicas como una estrategia nacional de cambio climático, pero para lograr esto es necesario voluntad política y participación ciudadana activa, generar mecanismos que prevengan o resuelvan los conflictos socio ambientales producto del impacto del cambio climático y que se puedan ajustar las herramientas de ordenamiento y zonificación a las nuevas condiciones, que se traduce en la necesidad de mitigación y adaptación al cambio climático (FOCAM, 2013).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

1. Localización

La presente investigación, se realizó en la provincia Chimborazo, cantón Riobamba, parroquia Flores, comunidad Naubug (Anexo 1).

2. Ubicación geográfica¹

La comunidad Naubug se encuentra ubicada a una altura es de 3450 msnm, latitud: 760668 UTM y su longitud: 9795150 UTM

3. Condiciones climatológicas¹

La parroquia Flores y la mayoría de sus comunidades presentan un rango de temperatura de 12 a 16 °C y una precipitación promedio anual de 360 a 600 mm.

4. Clasificación ecológica²

De acuerdo a la clasificación de Sierra (1999) la parroquia Flores pertenece a la zona de vida Matorral seco montano.

5. Características del suelo¹

Son suelos caracterizados por ser poco profundos, sobre canchagua. La textura del suelo puede ser arenosa, arena fina, limo arenosa, roca.

¹(GAD parroquial rural de Flores, 2012)

²Citado por(Andino, 2012)

B. MATERIALES

1. De campo

GPS (2-5 m de precisión), cámara digital, portapapeles, hojas de campo, cinta métrica (50 m), banderines, Bastidor de (1 m x 1 m), tijera de podar, clinómetro, balanza digital, bolsas de papel, regla (30 cm), pala, anillos metálicos, combo, bloque de madera, cuchillo, bolsas de plástico, marcadores.

2. De oficina

Computadora, impresora, flash memory, hojas de papel bond, lápiz, libreta de apuntes, Software QGIS, mapas y ortofotos de la comunidad de Naubug.

C. METODOLOGÍA

1. Fase de campo

a. Selección de puntos

Se realizó a través de un mapeo comunitario identificando 4 usos de suelo: agrícola (cebada, quinua, papa y maíz), suelo abandonado, bosque y cercas vivas (pasto, árboles nativos y mixtas) en tres agroecosistemas de Naubug (Zona alta, media y baja). De allí se seleccionó los puntos de muestreo al azar antes de ir al campo utilizando el programa de SIG QGIS que es un diseño semi- aleatorio de distintos bloques (o usos de suelo).

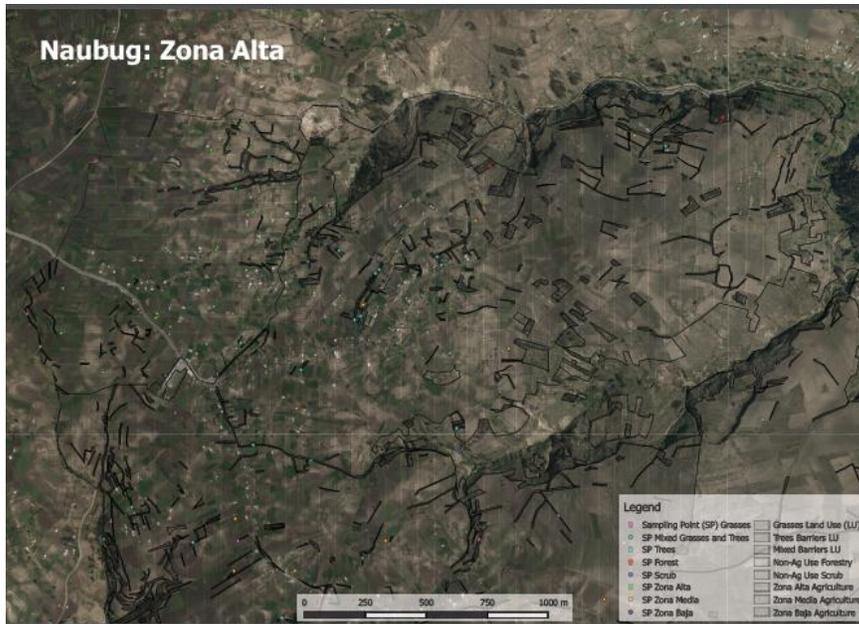


Figura 7. Selección de puntos en el agroecosistema de la zona alta - Nabug

Elaborado por: Caulfield, M. (2015)

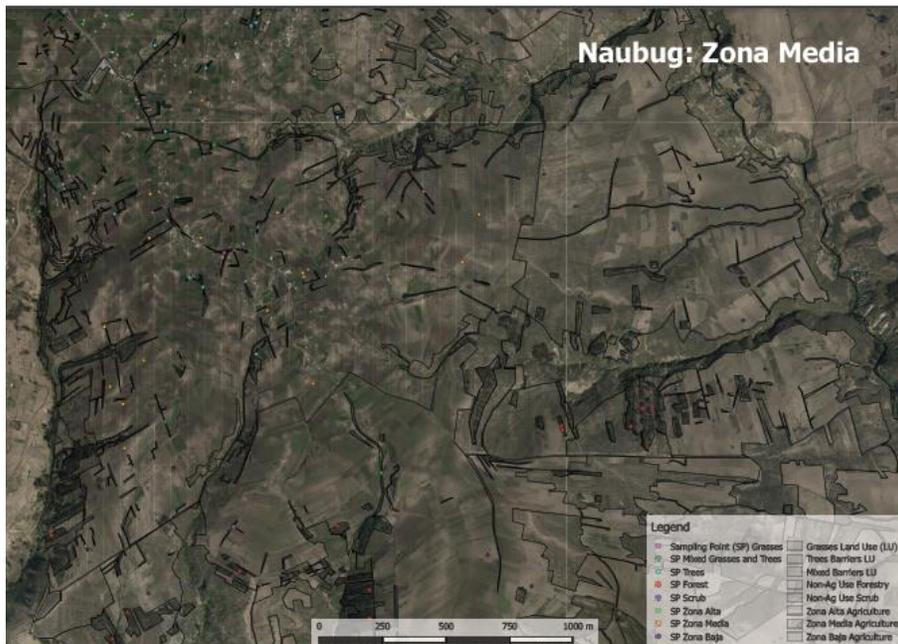


Figura 8. Selección de puntos en el agroecosistema de la zona media - Nabug

Elaborado por: Caulfield, M. (2015)

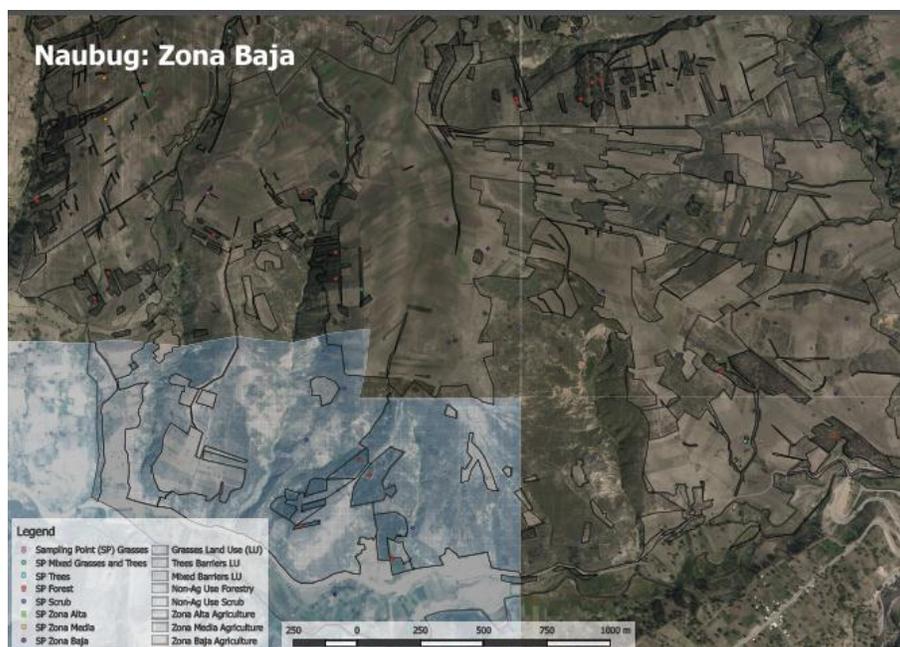


Figura 9. Selección de puntos en el agroecosistema de la zona baja - Naubug

Elaborado por: Caulfield, M. (2015)

b. Marcación de puntos

En el campo los puntos se ubicaron con GPS utilizando sus coordenadas. El área de muestreo se estableció empezando con un transecto central de 20 m. Este transecto define donde se toman las mediciones. Después de marcar el transecto central, se señalaron los 3 puntos de muestreo con 3 banderines a 0, 10 y 20 m. También se marcó 2 transectos paralelos a 5 m de distancia en los 2 lados (Figura 10 y figura 11).

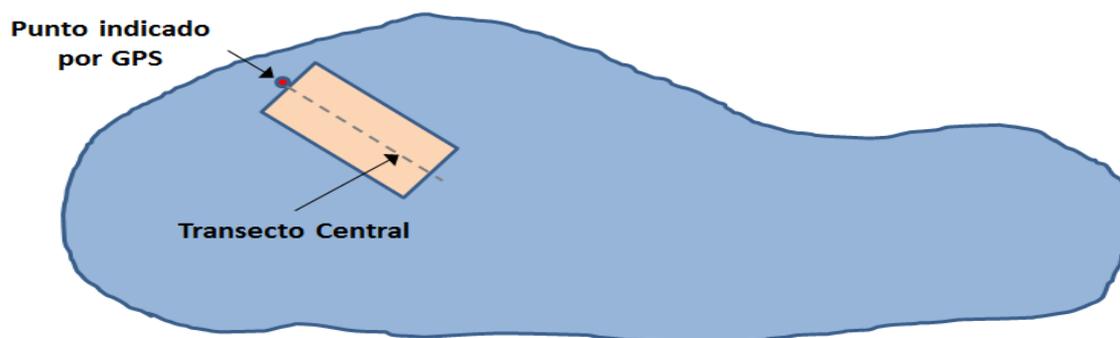


Figura 10. Marcación de puntos en la parcela

Elaborado por: Fonte, S. (2015)

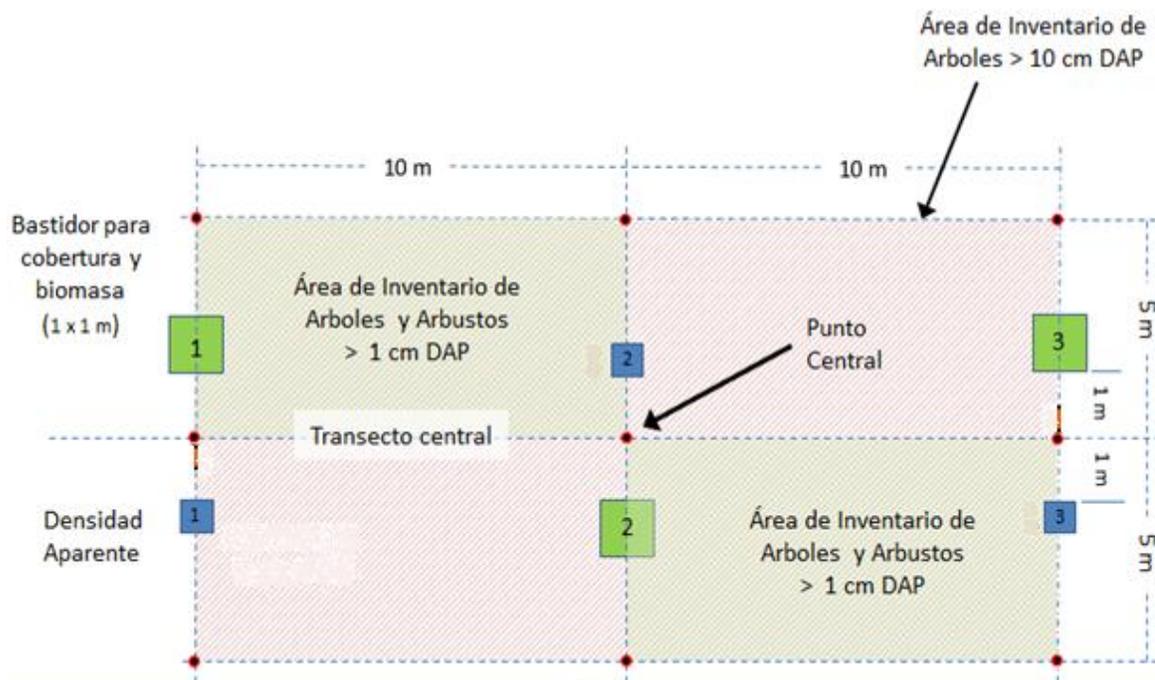


Figura 11. Área de muestreo general con ubicación de los diferentes puntos/áreas para submuestras de vegetación, árboles y densidad aparente

Elaborado por: Fonte, S. (2015)

c. Muestreo para cada indicador

1) Almacenamiento de carbono (t/ha)

- **Suelo:** Se enviaron las muestras de suelo al laboratorio para obtener un valor de materia orgánica (MO). Asumiendo que aproximadamente entre el 50 - 58% de la materia orgánica es carbono, entonces se multiplicó el contenido de MO del suelo por 0.58 de esta manera se obtuvo la concentración de C. Después se utilizó la densidad aparente para determinar el peso total del suelo por área a 30 cm de profundidad. Se multiplicó este peso por la concentración para determinar el almacenamiento de carbono en los primeros 25 cm de suelo (capa superficial).

- **Vegetación baja (Muestras del bastidor):** En cada sub-punto marcado, con la ayuda de un bastidor de 1 m² se cercó para proceder a cortar toda la vegetación, del cual se tomó el peso fresco y se determinó su peso seco después de dejar secar la muestra en la estufa a 60°C.

Posteriormente se determinó el contenido de carbono, mediante el enunciado en el que se asume que entre el 45% (raíces) y el 50% (parte aérea) de la biomasa seca de la vegetación es carbono (Magnussen, 2004).

- **Bosque y árboles en cercas vivas:** Se utilizó ecuaciones alométricas, las mismas que hacen relación entre volumen y biomasa, mediante el modelo en el cual relaciona el diámetro del tallo o tronco de los árboles con la biomasa, de esta manera se estimó la biomasa, y finalmente se calculó el contenido de carbono (aproximadamente 50%).

2) Densidad aparente (g/cm³)

Para la densidad aparente se realizó un hoyo de 25 cm x 25 cm x 25 cm en dos sub-puntos del transecto central, se utilizó anillos metálicos, un bloque de madera y un martillo.

Se colocó el anillo en la pared del hoyo y con la ayuda del bloque de madera se martilló a una profundidad de 0-10cm y 10-20 cm, se tomaron 360 muestras. Con el cuchillo se definió el volumen de suelo cortando los excesos de tierra en los bordes del cilindro. La muestra de suelo se transfirió a una bolsa de plástico y en el campo se pesó para obtener su peso húmedo, luego se secó en la estufa para obtener su peso seco.

3) Materia orgánica (%)

Con la ayuda de una pala se cavó un hoyo de 25 cm x 25 cm x 25 cm en los tres sub-puntos marcados en el transecto principal (Figura 11), la tierra extraída se colocó en un saco para mezclar las tres sub-muestras, una vez mezclado se extrajo aproximadamente un kilogramo de muestra la cual fue enviada al laboratorio para su análisis.

4) Biomasa arbórea (t/ha)

Para determinar la biomasa en el bosque se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) (1,3m) de todos los árboles presentes en la parcela de muestreo (10 x 20 m). Para la altura se determinó el ángulo con clinómetro.

De los árboles con diámetros de 1-10 cm se tomó el DAP, esto se realizó en los dos cuadrantes indicados anteriormente en la figura 14. De los arbustos se midió el diámetro a una altura de 10 o 20 cm, en los cuadrantes indicados.

Fue importante identificar y anotar la especie de los árboles muestreados para determinar la ecuación alométrica a utilizar; en esta investigación se aplicaron las siguientes ecuaciones para estimar la biomasa arbórea:

Yagual (*Polylepis incana*): Biomasa = $-16.51 + 40.26 \times \text{altura} (\log_{10}) + 9.30 \times \text{diámetro del tronco a 50cm} (\log_{10})$ (Vasquez, Ladd, & Borchard, 2014)

Aliso (*Alnus cuminata*): Biomasa = $[\text{Exp}[-2.14] * [\text{DAP}^{2.23}]]$ (Acosta, Vargas, Velásquez, & Etchevers, 2002)

Pino (*Pinus radiata*): Biomasa = $[0.407073] * [\text{DAP}^{2.02617}]$ (Rodríguez, Jimenez, Aguirre, Treviño, & Razo, 2009)

Eucalipto (*Eucalyptus globulus*): Biomasa = $0.38 * ((\text{DAP})^{2.03})$ (Krisnawati & Imanuddin, 2012)

Capulí (*Prunuss alicifolia*): Biomasa = $0.1274 * ((\text{DAP})^{2.3655})$ (Hung, y otros, 2012)

Tilo (*Tilia mexicana*) y Quishuar (*Buddleja incana*): Biomasa = $[0.048454 * \text{DAP}^{2.58164}]$ (Rodríguez, Jimenez, Meza, Aguirre, & Razo, 2008)

Para los arboles pequeños y arbustos se aplicó la siguiente ecuación genérica: $\ln Y$ (in kg) = $-13.79 + 1.44 * \ln(H) + 0.71 * \ln(CA)$ (Kearney & Fonte, 2014)

2. Fase de laboratorio

Las muestras de suelo recolectadas fueron enviadas al Laboratorio de suelos y aguas INIAP Extensión Santa Catalina para determinar el contenido de MO.

a. Materia Orgánica

Existen diferentes técnicas analíticas para la determinación de materia orgánica, dos de las cuales están muy difundidas y son las que se utilizan en el laboratorio: el método de pérdida por ignición y el método de combustión húmeda de Walkley – Black. (Álvarez & Steinbach, 2006).

El Laboratorio de suelos y aguas INIAP Extensión Santa Catalina aplica el método de Walkley– Black, el cual consiste en una oxidación con dicromato de potasio en medio de ácido sulfúrico. La reacción toma el calor de la disolución del ácido, lo que eleva la temperatura y logra la oxidación del carbono orgánico. El dicromato residual es posteriormente titulado con una sal ferrosa (Rosell, 2001).

3. Variables

a. Dependientes

- 1) Contenido de carbono (t/ha)

b. Independientes

- 1) Formaciones vegetales

- 2) Tipo de uso del suelo (Agrícola: cebada, quinua, maíz, papa; Abandonado, Bosque y Cerca Viva: mixto, pasto y árboles)
- 3) Agroecosistemas (Zona alta, media y baja)

4. Indicadores

- a. Densidad aparente (g/cm^3)
- b. Materia orgánica (%)
- c. Biomasa arbórea y de vegetación baja (t/ha)

5. Diseño Experimental

Para el presente trabajo se utilizó el Diseño completamente aleatorizado.

a. Esquema del análisis de varianza

Cuadro 1. Esquema del análisis de varianza para los usos de la zona alta y baja

Fuente de variación	Grados de libertad
Uso	4
Error	20
Total	24

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

Cuadro 2. Esquema del análisis de varianza para los usos de la zona media

Fuente de variación	Grados de libertad
Uso	7
Error	32
Total	39

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

Cuadro 3. Esquema del análisis de varianza para los agroecosistemas de la comunidad de Naubug

Fuente de variación	Grados de libertad
Agroecosistemas	2
Error	87
Total	89

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

b. Análisis funcional

Los resultados para datos de carbono del suelo y carbono total fueron sometidos:

- 1) Análisis de varianza (ADEVA)
- 3) Para separar medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%.
- 4) Se determinó el coeficiente de variación.

Los datos de carbono en las formaciones vegetales fueron sometidos:

- 1) Prueba de Kruskal Wallis

- 2) Para determinar si existen diferencias se utilizó comparaciones de pares

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. CONTENIDO DE CARBONO EN LAS FORMACIONES VEGETALES A NIVEL DE PAISAJE

Cabe mencionar, que los datos correspondientes al contenido de carbono en las formaciones vegetales, al ser sometidos a análisis, no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad (igualdad de las varianzas) que son dos de los tres supuestos que necesariamente se deben cumplir para la aplicación del análisis de varianza.

Por lo que, se realizó ajustes o transformación de datos, para lo cual se utilizaron las siguientes fórmulas: $\ln(x+0,5)$, $\log(x+0,5)$ y raíz $(x+0,5)$; sin embargo al realizar nuevamente los análisis con los datos transformados, se determinó que no cumplieron con estos dos supuestos; por lo que se procedió a realizar el análisis estadístico mediante pruebas no paramétricas con los datos reales obtenidos en la investigación, para este análisis estadístico se utilizó la prueba de Kruskal Wallis.

Mediante la prueba de Kruskal Wallis para el contenido de carbono (t/ha) en las formaciones vegetales según los tres agroecosistemas y sus usos (Cuadro 4), se determinó que existen diferencias altamente significativas entre factores.

Cuadro 4. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de carbono (t/ha) en las formaciones vegetales según los tres agroecosistemas y sus usos

Agroecosistema	Uso	N	Medianas (t/ha)	D.E	H	p	Significancia
Zona Alta	CV árboles	5	34,02	18,79	66,81	< 0,0001	**
Zona Alta	Cebada	5	1,19	0,27			
Zona Alta	CV mixta	5	19,26	11,37			
Zona Alta	CV pasto	5	0,93	13,26			
Zona Alta	Quinoa	5	2,76	1,65			
Zona Baja	Abandonado	5	0,29	0,54			
Zona Baja	Bosque	5	91,64	40,77			
Zona Baja	Cebada	5	0,61	0,25			
Zona Baja	Maíz	5	1,15	0,46			
Zona Baja	CV mixta	5	16,19	24,95			
Zona Media	Abandonado	5	0,40	0,42			
Zona Media	CV árboles	5	23,47	9,35			
Zona Media	Bosque	5	70,92	25,11			
Zona Media	Cebada	5	0,93	1,13			
Zona Media	CV mixta	5	23,84	79,4			
Zona Media	Papa	5	1,62	0,86			
Zona Media	CV pasto	5	0,85	22,87			
Zona Media	Quinoa	5	1,45	2,07			

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

** : Altamente significativo

Mediante el análisis por comparación de pares para el contenido de carbono (t/ha) en las formaciones vegetales según los tres agroecosistemas y sus usos (Cuadro 5) se determinó diez rangos. En el rango “a” se encuentra el uso bosque de la zona baja y media con medianas de 91,64 t/ha y 70,92 t/ha respectivamente; mientras que en el rango “f” se encuentra el suelo abandonado de la zona baja con una mediana de 0,29 t/ha.

Cuadro 5. Análisis por comparación de pares para el contenido de carbono (t/ha) en las formaciones vegetales según los tres agroecosistemas y sus usos

Tratamiento	Rango de clasificación	Rango
Zona baja: Bosque	81,60	a
Zona media: Bosque	80,40	a
Zona alta: CV árboles	70,20	a b
Zona media: CV mixta	69,90	a b
Zona media: CV árboles	68,80	a b
Zona baja: CV mixta	67,00	a b c
Zona alta: CV mixta	61,60	a b c d
Zona alta: Quinoa	43,30	b c d e
Zona media: Quinoa	41,00	b c d e f
Zona alta: Pasto	35,60	c d e f
Zona media: Pasto	34,60	d e f
Zona media: Papa	33,50	d e f
Zona alta: Cebada	31,90	d e f
Zona baja: Maíz	31,00	d e f
Zona media: Cebada	26,30	e f
Zona baja: Cebada	17,30	e f
Zona media: Abandonado	14,10	e f
Zona baja: Abandonado	10,90	f

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

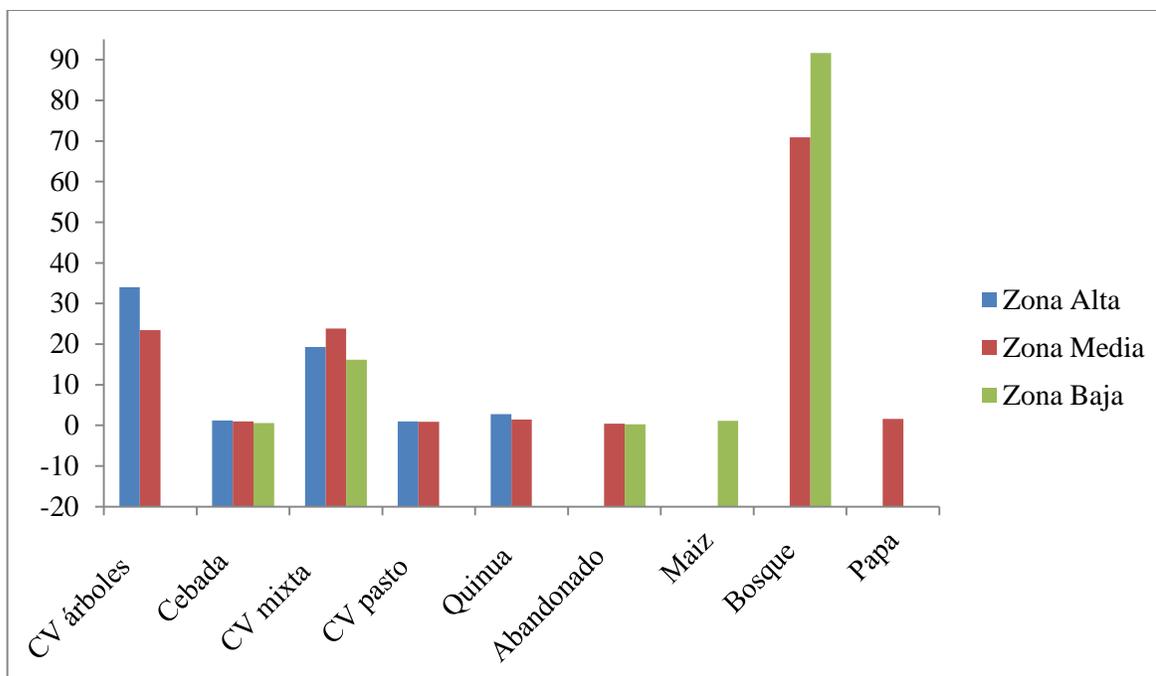


Gráfico 1. Contenido de carbono (t/ha) en las formaciones vegetales según los tres agroecosistemas y sus usos

DISCUSIÓN:

En el Gráfico 1 sobre el contenido de carbono en las formaciones vegetales, se observa que los valores de un mismo uso en los diferentes agroecosistemas son similares, por lo que se puede decir que la diferencia está determinada por el tipo de biomasa. Es así que el mayor contenido de carbono en las formaciones vegetales se estimó en el bosque con 91,64 tde C/ha, valor que se encuentra en el rango indicado por (Hughes, Kauffman, & Jaramillo, 1999) quienes mencionan en su estudio realizado en México, que los bosques secundarios captan alrededor de 35.3 – 130.2 t de C/ha.

El contenido de carbono alcanzado por los bosques llegan casi a triplicar los valores alcanzados tanto por las cercas vivas conformadas por árboles nativos (34,02 tde C/ha en la zona alta y 23,47 tde C/ha en la zona media) como a los valores de las cercas vivas mixtas de las tres zonas, esto debido a que la biomasa de los árboles nativos son menores, ya que su estructura es más pequeña.

En contraste con lo anterior al estar conformado por vegetación corta y menos densa que en los otros usos, el contenido de carbono más bajo se obtuvo en los suelos abandonados de la zona baja con 0,29 tde C/ha.

Se observó en el proceso de investigación que hay una gran variabilidad dentro de un mismo uso de suelo, principalmente en el bosque y cercas vivas de árboles nativos y mixtas debido a diferentes factores. Uno de los factores es la diversidad en cuanto a la edad de los bosques pues se pudo encontrar árboles jóvenes y otros que ya son considerados maduros. Otro factor importante es el uso que se da a los árboles ya que en esta comunidad los árboles tanto de los bosques como de las cercas vivas son usados como leña razón por la cual al momento de muestreo se encontró algunos árboles cortados en sus ramas. Es por esto que hay diferencia en la cantidad de biomasa en un mismo punto de muestreo y por ende en su contenido de carbono.

B. CONTENIDO DE CARBONO EN EL SUELO

Para el análisis de varianza de los datos correspondientes al carbono del suelo de esta investigación se aplicó ajustes a los datos con logaritmo natural, con la finalidad de cumplir el supuesto de homocedasticidad y el supuesto de normalidad, aspectos que son importantes para aplicar el ADEVA.

1. Según los usos de suelo de cada agroecosistema

a. Zona alta

En el análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona alta (Cuadro 6), se presentaron diferencias altamente significativas entre los usos de esta zona. El coeficiente de variación fue de 4%.

Cuadro 6. Análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona alta

F.V	gl	S.C	CM	F	p-valor	Significancia
Uso	4	1,15	0,29	9,23	0,0002	**
Error	20	0,62	0,03			
Total	24	1,77				
CV	4					

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

** : Altamente significativo

La prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona alta (Cuadro 7); presentó cuatro rangos, en el rango “a” se encuentra el cultivo de cebada con una media de 110,60 t/hay en el rango “c” se ubica la cerca viva de pasto con una media de 58,20 t/ha.

Cuadro 7. Prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona alta

Uso	Medias (t/ha)	Rango
Cebada	110,60	a
Quinua	92,70	a b
CV árboles	86,31	a b
CV mixta	71,69	b c
CV pasto	58,20	c

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

En el gráfico 2 se observa que entre los usos del agroecosistema de la zona alta, el suelo del cultivo de cebada supera en un 47,38% a la cerca viva de pasto y en un 35,18% a la cerca viva mixta; aunque estadísticamente la cebada es similar al cultivo de quinua y a la cerca viva de árboles los supera en un 16,18% y en un 21,96% respectivamente.

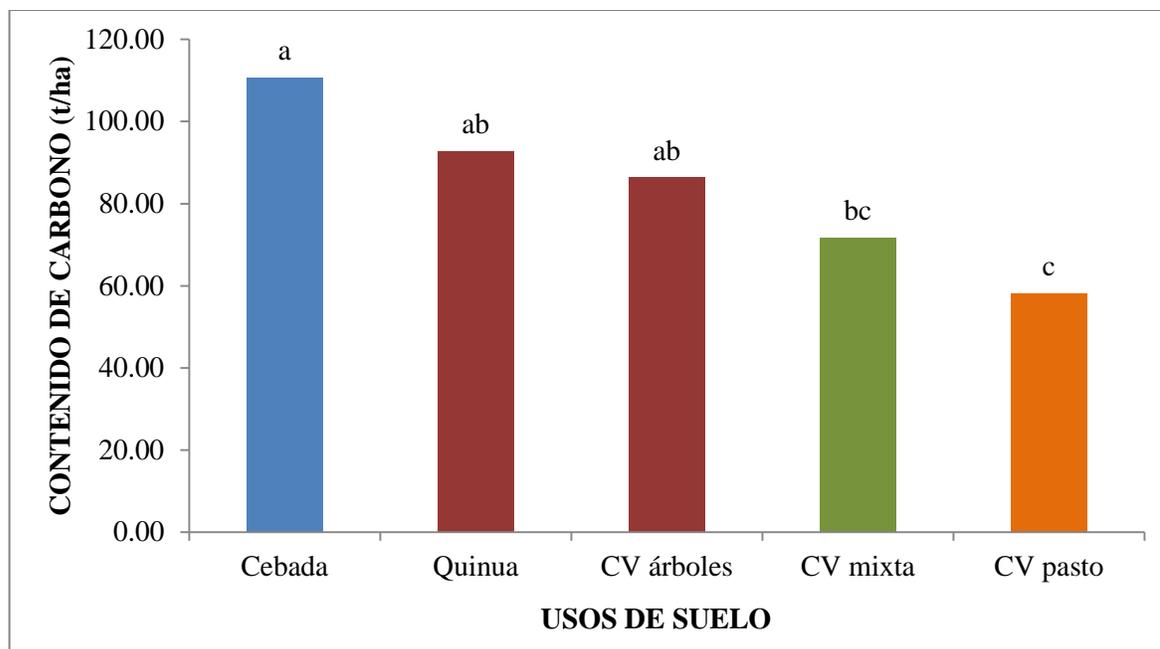


Gráfico 2. Contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona alta

b. Zona media

En el análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona media (Cuadro 8), se presentaron diferencias significativas entre usos. El coeficiente de variación fue de 8,66%.

Cuadro 8. Análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona media

F.V	gl	S.C	CM	F	p-valor	Significancia
Uso	7	2,79	0,40	3,10	0,0131	*
Error	32	4,12	0,13			
Total	39	6,90				
CV	8,66					

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

*: Significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona media (Cuadro 9), se presentaron tres rangos; en el rango “a” se encuentra la cerca viva de árboles nativos y el cultivo de papa con una media de 93,04 t/ha y 83,42 t/ha respectivamente, mientras que en el rango “b” se encuentra el bosque con una media de 38,46 t/ha.

Cuadro 9. Prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona media

Uso	Medias (t/ha)	Rango	
CV árboles	93,04	a	
Papa	83,42	a	
CV pasto	68,61	a	b
Quinua	66,47	a	b
CV mixta	64,83	a	b
Cebada	61,11	a	b
Abandonado	58,18	a	b
Bosque	38,46	b	

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

En el gráfico 3 se observa que el contenido de carbono en el suelo de la cerca viva de árboles, supera al resto de usos de la zona media, es así que al cultivo de papa supera en apenas un 10,34% mientras que al bosque en un 58,66%. A la cerca viva de pasto, cultivo de quinua, cerca viva mixta, cultivo de cebada y terreno abandonado los supera en un 26,26%, 28,56%, 30,32%, 34,32% y en un 37,47% respectivamente.

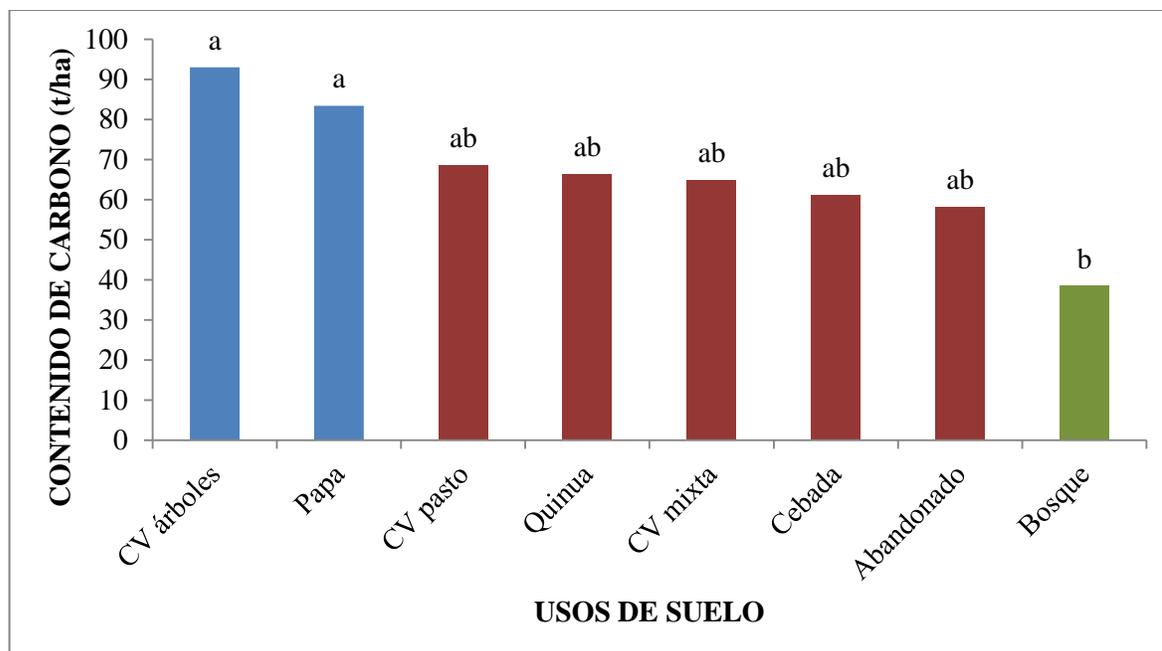


Gráfico 3. Contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona media

c. Zona baja

En el análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona baja (Cuadro 10), se presentaron diferencias altamente significativas entre usos. El coeficiente de variación fue de 11,06%.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona baja

F.V	gl	S.C	CM	F	p-valor	Significancia
Uso	4	2,48	0,62	4,68	0,0079	**
Error	20	2,65	0,13			
Total	24	5,12				
CV	11,06					

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona baja (Cuadro 11) se presentaron tres rangos; en el rango “a” se ubica la cerca viva mixta con una media de 39,31 t/ha y en el rango “b” se encuentra el cultivo de maíz con una media de 14,86 t/ha.

Cuadro 11. Prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona baja

Uso	Medias(t/ha)	Rango
CV mixta	39,31	a
Bosque	33,58	a b
Cebada	29,44	a b
Abandonado	25,89	a b
Maíz	14,86	b

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

Entre los usos de la zona baja (Gráfico 4), el suelo de la cerca viva mixta supera en un 62,19% al cultivo de maíz que es el suelo con menor contenido de carbono de este agroecosistema, mientras que a los usos que se determinaron como estadísticamente similares a la cerca viva mixta como es el caso del bosque, cultivo de cebada y suelo abandonado los supera en un 14,58%, 25,11% y en un 34,14% respectivamente.

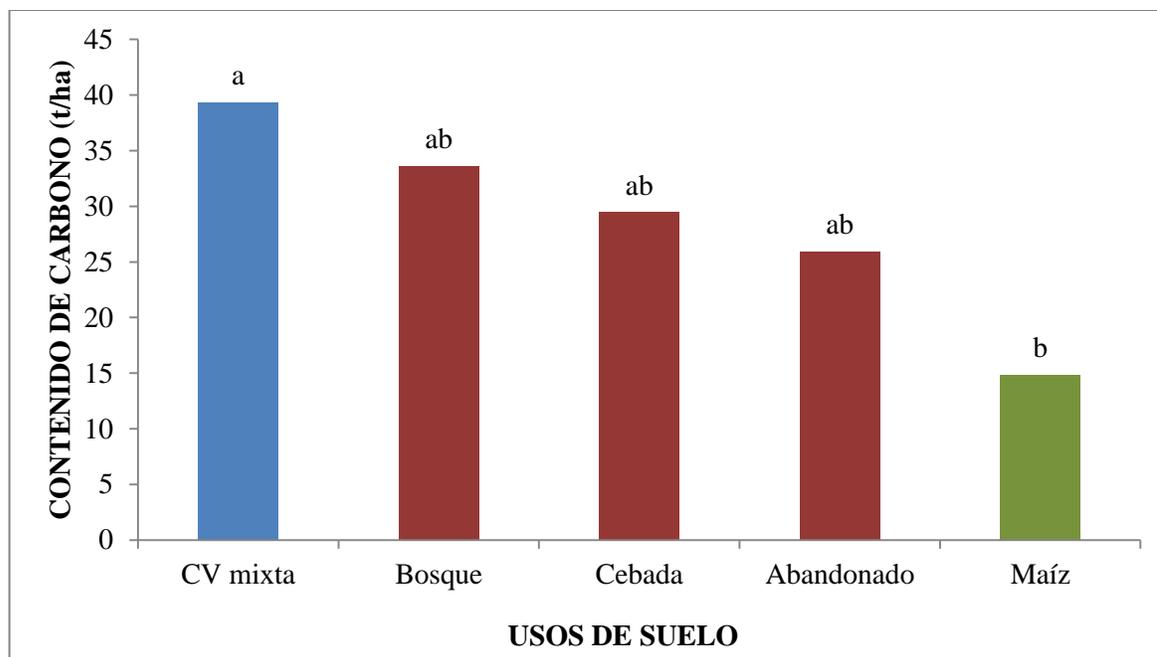


Gráfico 4. Contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los usos del agroecosistema de la zona baja

2. Según los agroecosistemas de la Comunidad de Naubug

En el análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug (Cuadro 12), se presentó diferencias altamente significativas entre agroecosistemas. Su coeficiente de variación fue de 10,01%

Cuadro 12. Análisis de varianza para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug

F.V	gl	S.C	CM	F	p-valor	Significancia
Agroecosistema	2	17,44	8,72	54,98	<0,0001	**
Error	87	13,8	0,16			
Total	89	31,24				
CV		10,01				

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug (Cuadro 13) se presentaron tres rangos, en el rango “a” se ubica la zona alta con una media de 83,9 t/ha, en el rango “b” se ubica la zona media y en el rango “c” se ubica la zona baja con una media de 66,76 t/ha y 28,62 t/ha respectivamente.

Cuadro 13. Prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug

Agroecosistema	Medias(t/ha)	Rango
Zona alta	83,90	a
Zona media	66,76	b
Zona baja	28,62	c

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

En el gráfico 5, se observa que el contenido de carbono en el suelo de la zona alta, difiere de los otros agroecosistemas superándolos en 20,43% a la zona media, y en 65,89% a la zona baja.

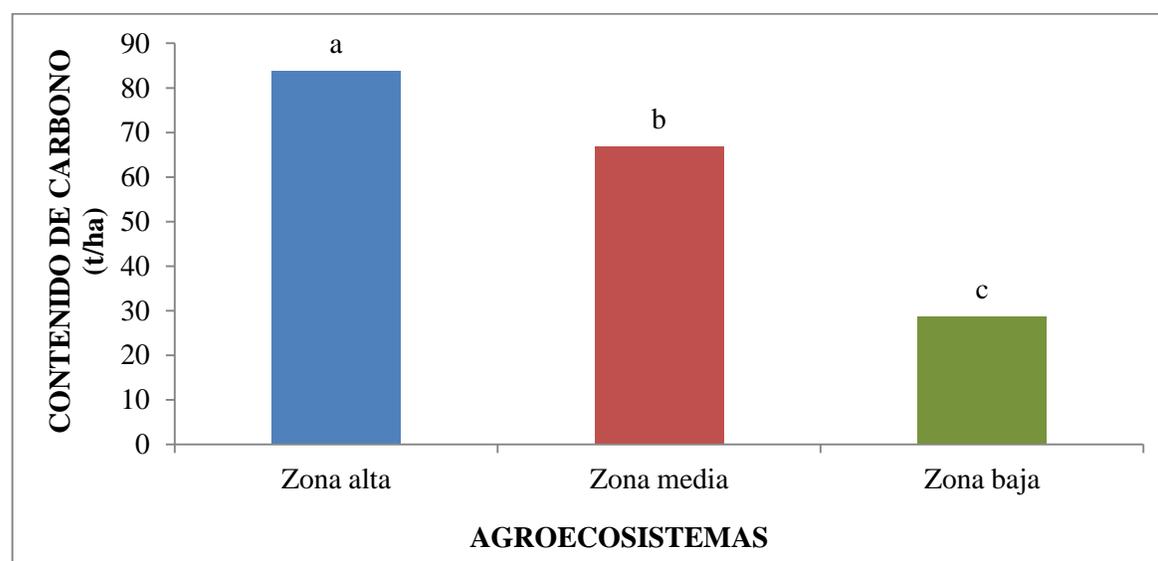


Gráfico 5. Contenido de carbono (t/ha) en el suelo según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug

DISCUSIÓN:

Mediante el análisis realizado se determinó que el contenido de carbono en el suelo de cada agroecosistema se ve influenciado por sus usos. Es así que en la zona alta el cultivo de cebada con una media de 110,60 t/ha contiene la mayor cantidad de carbono (Gráfico 2); mientras que el mismo cultivo en la zona baja tiene una media de 29,44 t/ha, en la zona media (Gráfico 3) el uso con el mayor contenido de carbono en el suelo es la cerca viva conformada por árboles nativos con una media de 93,04 t/ha. En la zona baja el uso con mayor contenido de carbono es la cerca viva mixta con una media de 39,31 t/ha (Gráfico 4). Los valores más bajos en contenido de carbono en la zona alta, media y baja son la cerca viva de pasto (58,20 t/ha), bosque (38,46 t/ha) y el cultivo de maíz (14,86 t/ha) respectivamente para cada agroecosistema.

Se determinó que los agroecosistemas también influyen en el contenido de carbono en el suelo, como se puede observar en el Gráfico 5, el agroecosistema de la zona alta tiene la media más alta con un valor de 83,90 t/ha, seguida de la zona media y por último la zona baja con medias de 66,76 t/ha y 28,62 t/ha respectivamente. Esto se atribuye a que el suelo en la zona alta está siendo recientemente intervenido, por lo tanto se ha mantenido conservado durante varios años es por esto que tiene un alto contenido de materia orgánica; otro aspecto importante también es el manejo que dan los agricultores a sus terrenos ya que en las parcelas de cultivo de la zona alta y media al estar más cercanas a sus hogares realizan un mayor aporte de materia orgánica, esta tendencia se observa claramente en el Gráfico 2, en donde los mayores contenidos de carbono se encontraron en los cultivos tanto de cebada como de quinua; esto no se da en la zona baja pues son parcelas más alejadas de los hogares y además son consideradas como menos productivas por lo que la incorporación de materia orgánica en estas parcelas son menores y en algunos casos no se realiza ningún aporte.

El suelo en donde se encuentran las cercas vivas tiene un valor importante como almacenador de carbono, puesto que al estar ubicadas en los bordes de las parcelas en estos lugares se acumulan los materiales arrastrados ya sea por el agua o viento lo que le provee

de un mayor contenido de materia orgánica; es así que las cercas vivas conformadas por árboles nativos en la zona media y alta alcanzaron valores de 93,04 t/ha y 86,31 t/ha respectivamente, seguidas por las cercas vivas mixtas y de pasto en donde se obtuvieron valores casi similares a excepción de la cerca viva mixta de la zona baja con 39,31 t/ha.

En el caso de los suelos con bosque tanto de la zona media y baja tienen valores bajos (38,46 t/ha y 33,58 t/ha respectivamente), esto se debe a que los bosques en esta comunidad fueron plantados en suelos degradados que ya no tenían productividad agrícola por ende su contenido en materia orgánica es baja. Los valores estimados concuerdan con (Gamarra, 2001), quien realizó un estudio de estimación de carbono en plantaciones de eucalipto en Junín – Perú obteniendo un valor de 37,39 t/ha de carbono en el suelo, pero es inferior al valor de 268,83 t/ha obtenido por (Cargua, Rodríguez, & Vinuesa, 2014) en el estudio de determinación de contenido de carbono en una plantación de pino con edad fustal de 18 años, en Ozogoche bajo.

C. CONTENIDO TOTAL DE CARBONO

Para el análisis de varianza de los datos correspondientes al carbono total de esta investigación también se procedió a la aplicación de ajustes a los datos con logaritmo natural, con la finalidad de cumplir los supuestos indicados anteriormente (homocedasticidad y normalidad), para la aplicación el ADEVA.

1. Según los usos de suelo de cada agroecosistema

a. Zona alta

En el análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona alta (Cuadro 14) se presentó diferencias altamente significativas entre usos. Su coeficiente de variación es de 4,32%.

Cuadro 14. Análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona alta

F.V	gl	S.C	CM	F	p-valor	Significancia
Uso	4	1,02	0,25	6,65	0,0014	**
Error	20	0,76	0,04			
Total	24	1,78				
CV	4,32					

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona alta (Cuadro 15) presenta tres rangos; en el rango “a” se encuentran la cerca viva de árboles, los cultivos de cebada y quinua, con medias de 113,45 t/ha, 111,73 t/ha y 95,42 t/ha respectivamente, mientras que en el rango “b” se ubica la cerca viva de pasto con una media de 65,22 t/ha.

Cuadro 15. Prueba de Tukey al 5% para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona alta

Uso	Medias(t/ha)	Rango
CV árboles	113,45	a
Cebada	111,73	a
Quinua	95,42	a
CV mixta	87,44	a b
CV pasto	65,22	b

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

En el gráfico 6, se observa que la diferencia entre cerca viva de árboles, y los cultivos de cebada y quinua existen diferencias mínimas, es así que el primero supera con 1,52% y 15,89% a los respectivos cultivos; mientras que a la cerca viva mixta y de pasto las supera con 22,93% y 42,51% respectivamente.

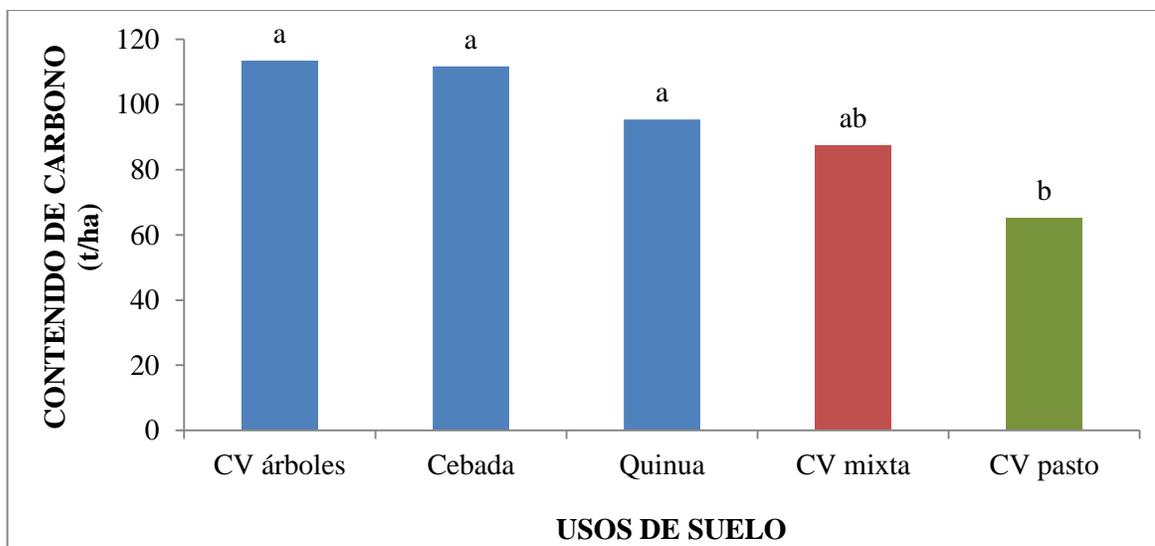


Gráfico 6. Contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona alta

b. Zona media

En el análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona media (Cuadro 16) no se encontraron diferencias significativas entre usos; el coeficiente de variación fue de 9,20%.

Cuadro 16. Análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona media

F.V	gl	S.C	CM	F	p-valor	Significancia
Uso	7	2,22	0,32	1,95	0,0946	ns
Error	32	5,21	0,16			
Total	39	7,42				
CV	9,20					

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

ns: No significativo

c. Zona baja

En el análisis de varianzapara el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona baja (Cuadro 17), se presentó diferencias altamente significativas entre factores. El coeficiente de variación es 10,13%.

Cuadro 17. Análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona baja

F.V	gl	S.C	CM	F	p-valor	Significancia
Uso	4	11,08	2,77	20,36	<0,0001	**
Error	20	2,72	0,14			
Total	24	13,8				
CV	10,13					

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona baja (Cuadro 18), presentados rangos, el uso bosque y la cerca viva conformada por árboles nativos se encuentran en el rango “a” con una media de 110,04 t/ha y 64,29 t/ha respectivamente. Mientras que el cultivo de cebada, el suelo abandonado y el cultivo de maíz se encuentran en el rango “b”, con una media de 30,13 t/ha, 24,40 t/ha y 16,05 t /ha respectivamente.

Cuadro 18. Prueba de Tukey al 5% para el contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona baja

Uso	Medias(t/ha)	Rango
Bosque	110,04	a
CV mixta	64,29	a
Cebada	30,13	b
Abandonado	26,40	b
Maíz	16,05	b

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

Entre los usos de la zona baja (Gráfico 7), el bosque lidera el valor medio en contenido total de carbono, superando en gran proporción al resto de usos de suelo, es así que, la cerca viva mixta contiene 41,58% menos, mientras que el bosque supera al cultivo de cebada, suelo abandonado y cultivo de maíz con 72,62%, 76,01% y 85,41% respectivamente.

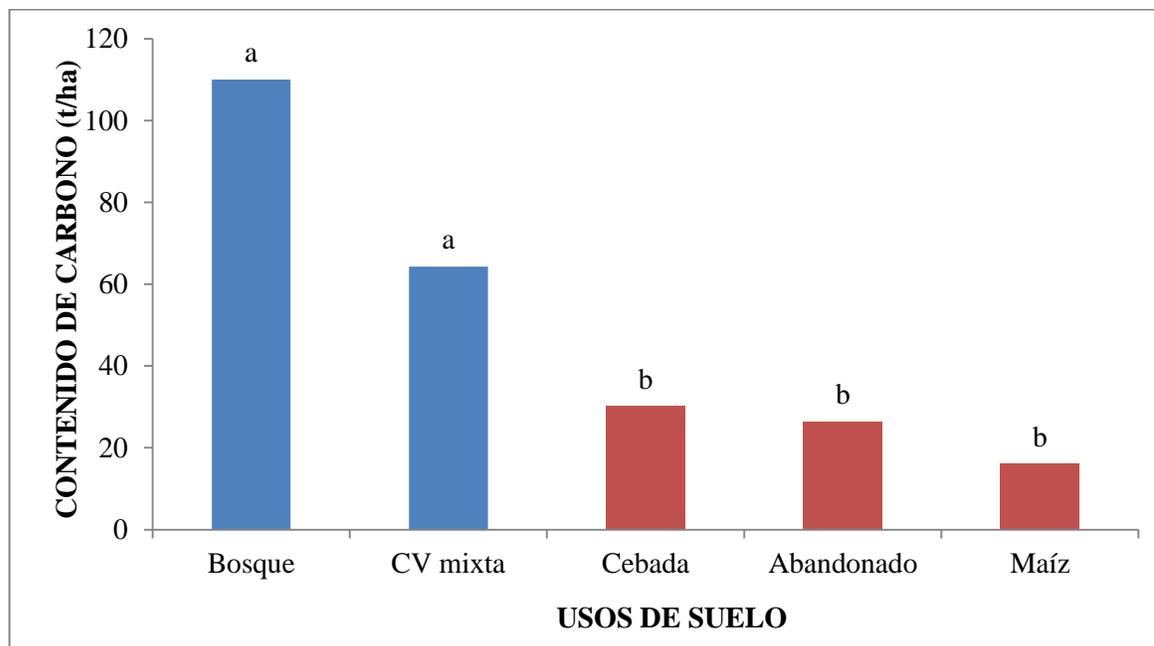


Gráfico 7. Contenido total de carbono (t/ha) según los usos del agroecosistema de la zona baja

2. Según los agroecosistemas de la Comunidad de Naubug

En el análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug (Cuadro 19), se presentó diferencias altamente significativas entre agroecosistemas. Su coeficiente de variación fue de 12,19%.

Cuadro 19. Análisis de varianza para el contenido total de carbono (t/ha) según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug

F.V	gl	S.C	CM	F	p-valor	Significancia
Agroecosistema	2	11,77	5,89	2,27	<0,0001	**
Error	87	23	0,26			
Total	89	34,78				
CV	12,19					

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5% para el contenido total de carbono (t/ha) según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug (Cuadro 20), se presentaron dos rangos en el rango “a” se ubicaron los agroecosistemas de la zona alta y media, y en el rango “b” se ubicó la zona baja con una media de 94,65 t/ha, 87,36 t/ha y 49,38 t/ha respectivamente.

Cuadro 20. Prueba de Tukey al 5% para el contenido total de carbono (t/ha) según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug

Agroecosistema	Medias(t/ha)	Rango
Zona alta	94,65	a
Zona media	87,36	a
Zona baja	49,38	b

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

En el gráfico 8, se observa una mínima diferencia (7,7%) entre la zona alta y la zona media, en tanto que la zona alta supera con 47,83% al contenido total de carbono de la zona baja.

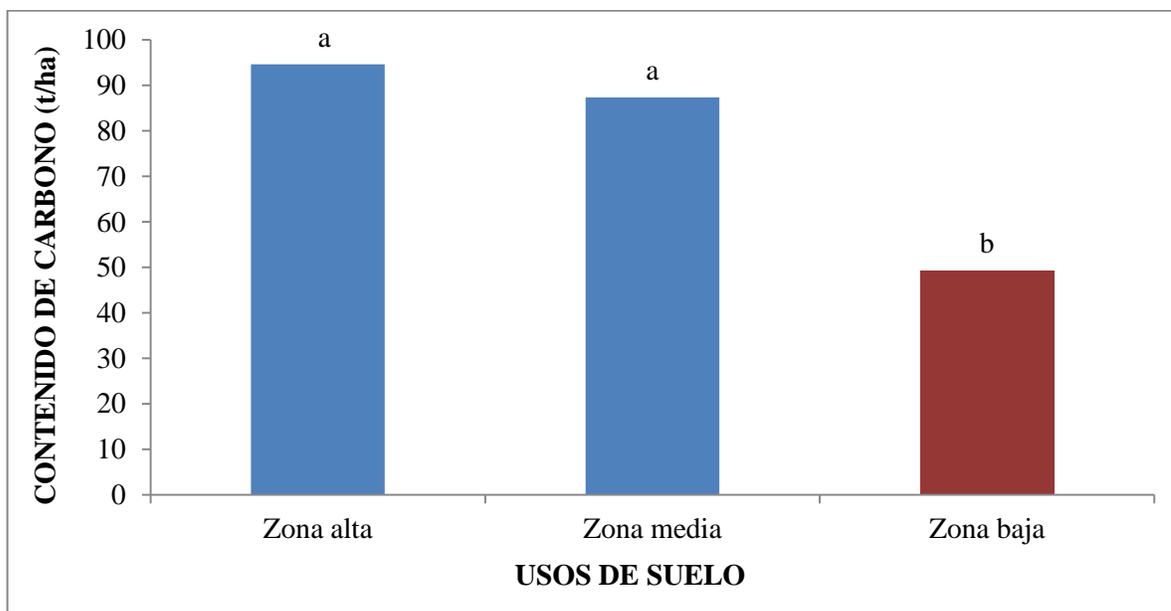


Gráfico 8. Contenido total de carbono (t/ha) según los agroecosistemas de la comunidad de Naubug

DISCUSIÓN:

Los promedios del carbono total considerado así a la suma del carbono de las formaciones vegetales y carbono del suelo, variaron de un mínimo de 16,05 t/ha para el cultivo de maíz de la zona baja (Gráfico 7), hasta un máximo de 113,45 t/ha para la cerca viva de árboles nativos de la zona alta (Gráfico 6). Esto nos hace comprender la diferencia significativa entre usos de suelo en donde las cercas vivas conformadas por árboles nativos tienen las reservas más grandes de carbono total con más del doble que los otros tipos de uso de suelo, como el uso agrícola con sus diferentes cultivos en la zona baja así como los terrenos abandonados en este agroecosistema.

Como se observa en el Gráfico 8, entre agroecosistemas la zona alta tiene el mayor contenido de carbono total con una media de 94,65 t/ha; esto debido a las condiciones del suelo, pues hay mayor contenido de materia orgánica y por ende mayor contenido de

carbono a comparación de los otros dos agroecosistemas. En cambio en la zona baja hay un mayor contenido de carbono en la vegetación, pues existen bosques que como se mencionó anteriormente por su estructura tiene mayor biomasa consecuentemente mayor captación de carbono, sin embargo el suelo de este agroecosistema está en un evidente proceso de erosión por lo que existe bajo contenido de carbono.

3. Acumulación de carbono total en función del uso del suelo y los tres agroecosistemas

Cuadro 21.Resumen de acumulación de carbono total (t/ha) en función del uso del suelo y los tres agroecosistemas

Uso	Carbono total (t/ha)	Porcentaje	Lugar
CV Mixta	278,15	19,6	1
CV Árboles	229,88	16,2	2
Bosque	211,10	14,9	3
Cebada	204,23	14,4	4
Quinua	164,57	11,6	5
CV Pasto	144,95	10,2	6
Papa	84,93	6	7
Abandonado	85,16	6	7
Maíz	16,05	1,1	8

Elaborado por: Auquilla, M. 2016

En el Cuadro 21, según el uso de suelo la mayor captación de carbono total se ve reflejado en la cerca viva mixta con el 19,6%; en su orden se ubican la cerca viva con árboles nativos con el 16,2% y el bosque con el 15%.

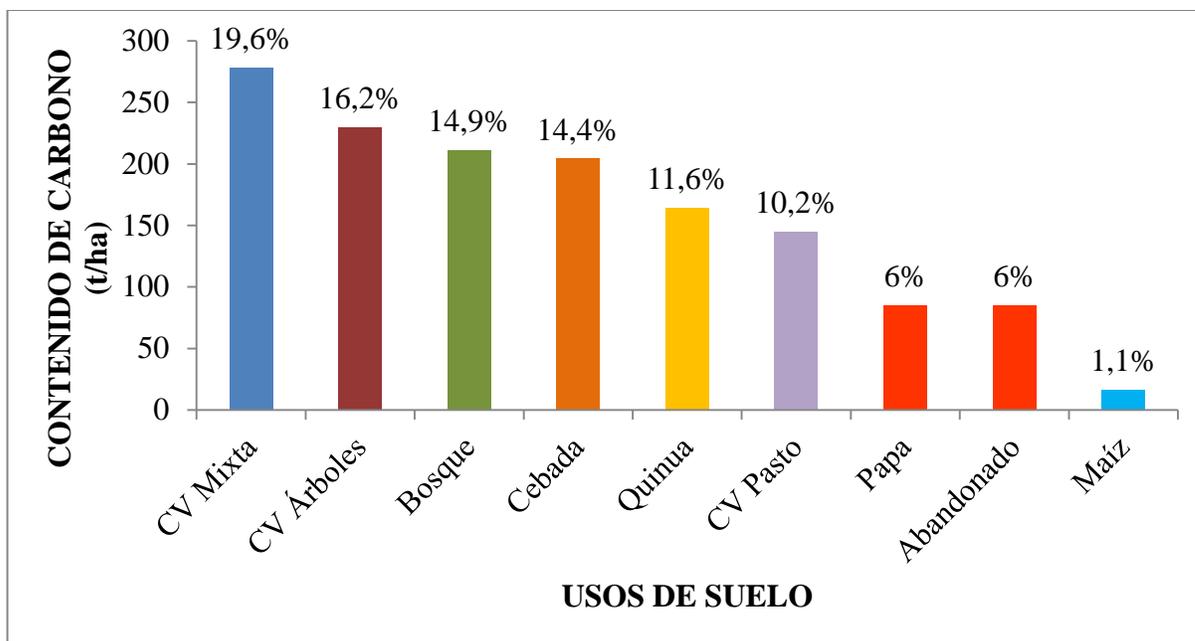


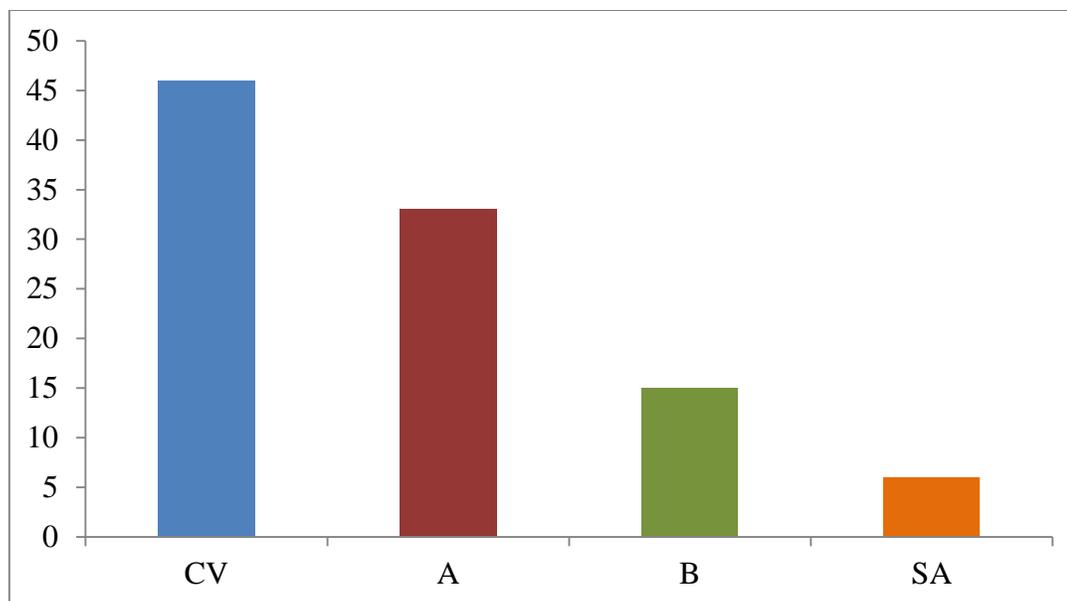
Gráfico 9. Acumulación de carbono total (t/ha) en función del uso del suelo y los tres agroecosistemas

En el Gráfico 9, se observa que al comparar la acumulación de carbono total entre los cultivos, la cebada acumula el 14,4%, seguido de la quinua, papa y maíz. Cabe anotar además, que el suelo abandonado capta el 6% por cuanto en él crecen vegetación silvestre (Chilca, pajonal, musgos y líquenes).

Cuadro 22. Resumen de acumulación de carbono total según el uso de suelo

Uso	Abreviatura	Porcentaje
Cercas vivas	CV	46
Agrícola	A	33
Bosque	B	15
Abandonado	SA	6

Elaborado por: Auquilla, M. 2016



E. ANÁLISIS GRÁFICO A NIVEL DE COMUNIDAD

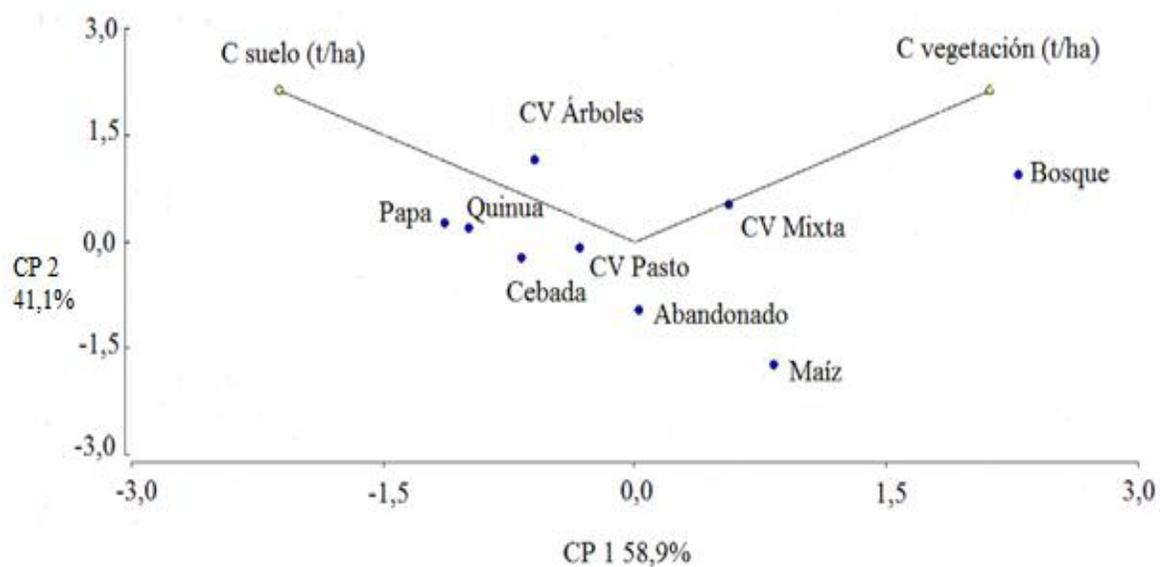


Gráfico 10. Análisis gráfico mediante biplot para el contenido de carbono en el suelo y en las formaciones vegetales de los usos de suelo de la comunidad de Naubug

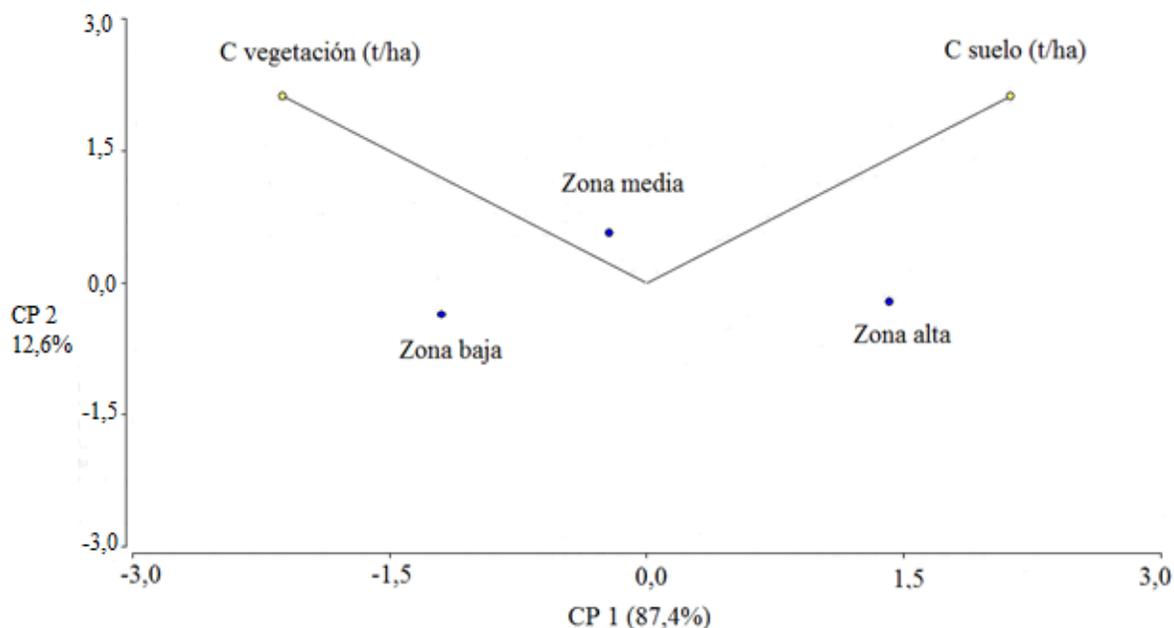
Según el Gráfico 9, existe una gran variabilidad tanto en el carbono del suelo como en el carbono de las formaciones vegetales; lo que está representado en la longitud de sus respectivos vectores, además se determina que el contenido de carbono tanto de la cerca

viva de árboles nativos como de la cerca viva mixta proviene del suelo; los puntos de los cultivos de papa, quinua y cebada también están relacionados con el vector del carbono de suelos, esto se corrobora con los resultados de los análisis explicados anteriormente, en donde los cultivos principalmente de cebada y la cerca viva de árboles tienen los valores más altos en contenido de carbono en el suelo, en cuanto que para la vegetación hay mayor contenido de carbono en el bosque y en la cerca viva mixta.

El suelo abandonado es el punto con mayor inercia pues está ubicado en la parte central con respecto al eje del CP 1, es decir contiene cantidades similares de carbono en el suelo y en la vegetación, además junto al cultivo de maíz son los usos con menor contenido de carbono, estos están ubicados en lugares con un evidente estado de degradación.

Se observa claramente que el punto del bosque es el más alejado del vector del carbono del suelo pues este es el uso con el valor más bajo en contenido de carbono del suelo, este es un punto importante con miras a un cambio de paisaje pues se puede tomar a las cercas vivas de árboles nativos como una alternativa para la captación de carbono en el suelo, así como también para la conservación del mismo.

Gráfico 11. Análisis gráfico mediante biplot para el contenido de carbono en el suelo y en las formaciones vegetales de los agroecosistemas de la comunidad de Naubug



En el Gráfico 10 se puede observar que en la comunidad de Naubug los tres agroecosistemas son diferentes entre sí, pues sus puntos en el gráfico están separados. El agroecosistema de la zona alta es el punto más cercano al vector del carbono en el suelo, esto confirma lo anterior indicado pues la zona alta es el agroecosistema con mejores condiciones en cuanto a materia orgánica por tal razón un mayor contenido de carbono en el suelo. Las condiciones de degradación en las que se encuentra la zona baja han hecho que su contenido de carbono en el suelo sea el más bajo, siendo la vegetación su mayor reserva de este elemento debido a la presencia de bosque que le provee de mayor biomasa.

El agroecosistema de la zona media se encuentra en un punto intermedio pero más cercano al vector del carbono de la vegetación, lo que nos indica que posiblemente tiene la misma tendencia a lo sucedido con la zona baja, es decir a un continuo proceso de degradación si no existe una intervención de conservación de suelo, que contribuya al mejoramiento del mismo, tanto para la producción como para el almacenamiento de carbono.

VI. CONCLUSIONES

A. En la evaluación del contenido de carbono en las formaciones vegetales y en el suelo según su uso en tres agroecosistemas, se concluye que el uso de suelo con cercas vivas captura el 46% del total de carbono calculado en la investigación, mientras que el uso agrícola capta el 33%, el bosque y el suelo abandonado captan el 15% y 6% respectivamente.

B. En el análisis entre agroecosistemas se determinó que en cuanto al carbono del suelo, la zona alta supera a la zona media en un 20,43% y a la zona baja en un 65,89%; mientras que en el contenido de carbono total las supera en un 7,7% y en 47,83% respectivamente.

C. Se determinó que existen diferencias estadísticas entre usos y agroecosistemas para el contenido de carbono en el suelo y en las formaciones vegetales, estimándose que, de las 1419 t/ha de carbono, promedio total calculado en la investigación, las formaciones vegetales representan el 23% de las reservas de carbono en esta comunidad mientras que el suelo representa un gran potencial de reserva pues capta el 77%.

VII. RECOMENDACIONES

- A.** Promover el uso de cercas vivas mixtas o plantaciones de árboles nativos en terrenos que hoy en día permanecen en abandono, pues las cercas vivas demostraron tener un alto potencial con fines de captura de carbono y mantenimiento del suelo.

- B.** Fomentar y establecer un plan de manejo más adecuado a las unidades de producción de los agricultores, puesto que la zona alta y media en donde actualmente se tiene buenas condiciones para este fin, en el futuro podrían terminar degradados como las parcelas de cultivo que existen en la zona baja, y se perdería el poder como reserva de carbono que actualmente se tiene en estas zonas.

- C.** Realizar investigaciones de determinación de ecuaciones alométricas, que sirvan como herramienta para la estimación de biomasa de las diferentes especies de árboles nativos.

- D.** Impulsar este tipo de investigaciones, cuyos resultados ayuden a formular planes de ordenamiento territorial tomando en cuenta la economía, productividad y un mejor cuidado del medio ambiente.

VIII. RESUMEN

La presente investigación propone: evaluar el contenido de carbono en las formaciones vegetales y en el suelo según su uso en tres agroecosistemas, en la comunidad de Naubug perteneciente a la parroquia Flores; el diseño experimental utilizado fue Diseño completamente aleatorizado, se registraron datos como: densidad aparente (g/cm^3), materia orgánica (%) y biomasa arbórea y de vegetación baja (t/ha). Los mejores resultados en cuanto a carbono en la vegetación se obtuvo en el bosque de la zona baja, alcanzando un valor de 91,64 t/ha, para el análisis estadístico de este parámetro se utilizó pruebas no paramétricas (Prueba de Kruskal Wallis) pues los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. En cuanto a reserva de carbono en el suelo se estimó que el cultivo de cebada de la zona alta con una media de 110,60 t/ha contiene la mayor cantidad de carbono, entre agroecosistemas, el agroecosistema de la zona alta tiene la media más alta con un valor de 83,90 t/ha. Para el contenido total de carbono se estimó que la cerca viva de árboles nativos de la zona alta con una media de 113,45 t/ha captura más cantidad de carbono; en cuanto a los agroecosistemas, la zona alta tiene el mayor contenido de carbono total con una media de 94,65 t/ha. En general, de las 1419 t/ha de carbono, que es el promedio total calculado; el uso de suelo con cercas vivas captura el 46%, mientras que el uso agrícola capta el 33%, el bosque y el suelo abandonado captan el 15% y 6% respectivamente. Se recomienda promover el uso de cercas vivas o plantaciones de árboles nativos en terrenos que permanecen abandonados, pues las cercas vivas demostraron tener un alto potencial con fines de captura de carbono y mantenimiento del suelo.

Palabras clave: Carbono, formaciones vegetales, biomasa, suelo, evaluación de carbono.

Por: Mayra Auquilla



IX. SUMMARY

This research proposes: to evaluate the carbon content in plant formation in the soil according to the use in three agro-ecosystems, in the Naubug village parish Flores; a completely randomized design was used obtaining the following data: apparent density (g/cm^3), organic matter (%), tree biomass and low vegetation (t/ha). The best results in terms of carbon in the vegetation were obtained in the lowland forest reaching a value of 91,64 t/ha. For the statistical analysis of this parameter, nonparametric tests (Kruskal Wallis test) were used because the data did not fulfill the assumptions of normality and homoscedasticity. In terms of carbon reserve in the soil, it was estimated that the cultivation of barley of the upper zone with an average of 110,60 t/ha contains the greatest amount of carbon, among the agro-ecosystems, the agro-ecosystem of the upper zone has the highest average with a value of 83,90 t/ha. For the total carbon content it was estimated that the live fence of native highland trees with an average of 113,45 t/ha captures more carbon; in terms of agro-ecosystems, the upper zone has the highest total carbon content with an average of 94,65 t/ha. In general, from the 1419 t/ha of carbon, which is total average calculated; the use live fences captures 46%, while agricultural use captures 33%, forest and non-used land capture 15% and 6%, respectively. The recommendation is to promote the use of live fences or native tree plantations on land that remains abandoned because live fences have proven to have a high potential for carbon capture and soil maintenance.

Key words: carbon, plant formations, biomass, soil, carbon evaluation.



X. BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, M., Vargas, J., Velásquez, A., & Etchevers, J. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas. Oaxaca: Agrociencia.
2. Alcántara, V. (2005). Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo. Barcelona: Bellaterra.
3. Álvarez, R., & Steinbach, H. (2006). Valor agronómico de la materia orgánica. Uruguay.
4. Andino, D. (2012). Plan de desarrollo turístico para la parroquia Flores cantón Riobamba provincia Chimborazo. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
5. Arce, R. (2013). Programa “Adaptación de la agricultura y del aprovechamiento de aguas de la agricultura al cambio climático en los Andes. Serie Manuales de Capacitación, Perú.
6. Blanch, F. (2005). Los gases de efecto invernadero y el cambio climático. Buenos Aires.
7. Brady, N., & Weil, R. (2004). Elements of the Nature and Properties of Soils, 2/E. New York: Pearson Prentice Hall.
8. Bucaram, J. (23 de agosto de 2013). Los gases de efecto invernadero. El Misionero Periódico oficial de la Universidad Agraria del Ecuador, pág. 4.
9. Caballero, M. (2008). Ciclo Biogeoquímico del Carbono. México: UNAM.

10. Cáceres, L. (2011). Segunda Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático. Recuperado el 1 de julio de 2015, de <http://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc2.pdf>
11. Cargua, F., Rodríguez, M., & Vinuesa, L. (2014). Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de pino insigne (*Pinus radiata*) y en estrato de páramo de Ozogoche Bajo. Ozogoche-Chimborazo (Tesis de grado). Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba..
12. Carvajal, F. (2013). Cambio climático y costos de producción. Guayaquil.
13. Carvajal, M. (2008). Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos. Murcia: Espinardo.
14. Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América. (2004). Aumento del CO₂ en la atmósfera. México.
15. Centro de Información de las Naciones Unidas. (2015). Naciones Unidas y el Cambio Climático. Recuperado el 2 de julio de 2015, de http://www.cinu.mx/minisitio/cambio_climatico/
16. Diario La Hora(2013). El cambio climático se siente en Ecuador. Recuperado el 3 de julio de 2015, de http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101551563/-1/El_cambio_clim%C3%A1tico_se_siente_en_Ecuador.html.Vb718fN_Oko
17. Emission Database for Global Atmospheric Research. (2014). Trends in global CO₂ emissions: 2014 Report.Países Bajos.

18. Environmental Protection Agency. (2015). Overview of greenhouse gases. Recuperado el 13 de agosto de 2015, de <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html>
19. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2000). El futuro de nuestra tierra: Enfrentando el desafío. Roma.
20. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2003). Agricultura Orgánica, Ambiente y Seguridad Alimentaria. Roma.
21. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2007). El contexto de la financiación del carbono y los créditos de carbono. Roma: FAO.
22. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2007a). La biodiversidad para el mantenimiento de los agroecosistemas. Roma.
23. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). El programa de Mitigación del Cambio Climático en la Agricultura (MICCA). Recuperado el 1 de julio de 2015, de <http://www.fao.org/climatechange/micca/es/>
24. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015a). Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura: Un manual para abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo. Roma.
25. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2016). Recursos de la tierra. Recuperado el 17 de junio de 2016, de Recursos de la tierra: <http://www.fao.org/nr/land/gestion-sostenible-de-la-tierra/retencion-del-carbono-del-suelo/es/>

26. Fomento de Capacidades para la Mitigación del Cambio Climático en el Ecuador. (2013). Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (AFOLU). Recuperado el 4 de septiembre de 2015, de <http://www.focam.org.ec/enfoque-sectorial/agricultura-silvicultura-y-otros-usos-del-suelo>
27. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Flores. (2012). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial.Flores.
28. Gamarra, J. (2001). Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyotus globulus*.Proyecto EDESUR.Junín.
29. Gómez, M. (2014). Identificación y caracterización de prácticas y tecnologías indígenas y campesinas en el manejo de semilla (poscosecha), como medidas de adaptación al cambio climático, en dos comunidades de la provincia de Chimborazo.(Tesis de grado).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
30. Gómez, S. (2012). Evaluación de los tipos operativos de ecosistemas. España.
31. Greenpeace Internacional. (2008). Gases de efecto invernadero. Recuperado el 17 de junio de 2016, de <http://www.greenpeace.org/espana/es/Trabajamos-en/Frenar-el-cambio-climatico/Gases-de-efecto-invernadero/>
32. Hughes, R., Kauffman, J., & Jaramillo, V. (1999). Biomass carbon and nutrient dynamics of secondary forests. México: Ecology.
33. Hung, N., Giang, L., Hung, P., Lam, P., Khanh, N., & Thuy, H. (2012). Tree allometric equations in evergreen broadleaf and bamboo forests in the North east region.Hanoi: UN-REDD.

34. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (1997). Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero. Reino Unido.
35. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2002). Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V, Ginebra.
36. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2007). Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Informe de síntesis. Ginebra.
37. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2013). Ficha informativa del IPCC: ¿Qué es el IPCC? Recuperado el 23 de agosto de 2015, de http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
38. Kearney, S., & Fonte, S. (2014). Carbon stocks in soils and woody biomass: La Mancomunidad de la Montañosa. El Salvador: ABES project.
39. Krisnawati, H., & Imanuddin, R. (2012). Monograph Allometric Models for Estimating tree biomass at various forest ecosystem types in Indonesia. Bogor: Ministry of Forestry.
40. Lal, R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. Ohio.
41. Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2010). Análisis de vulnerabilidad actual del Ecuador frente al cambio climático a nivel cantonal. Quito.
42. Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2011). MAE trabaja en programas de mitigación y adaptación para reducir emisiones de CO₂ en Ecuador.

Recuperado el 15 de agosto de 2015, de <http://ambientepv3.gobiernoelectronico.gob.ec/mae-trabaja-en-programas-de-mitigacion-y-adaptacion-para-reducir-emisiones-de-co2-en-ecuador/>

43. Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025. Quito.
44. Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). Gestión del Cambio Climático en el Ecuador. Subsecretaría de Cambio Climático, Quito.
45. Magnussen, S. (2004). Modeling for Estimation and Monitoring. Recuperado el 15 de agosto de 2015, de <http://www.fao.org/forestry/8758/english/>
46. Martínez, J. (2004). Cambio climático: Una visión desde México. México.
47. Organización de las Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas.
48. Ordoñez, J. (1999). Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. México: Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP.
49. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Grid-Arendal. (2009). El Clima en peligro: Una guía fácil del Cuarto Informe del IPCC. Madrid.
50. Proyecto Global Environment Facility Coordination / Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2011). Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Ecuador 2011. Quito.

51. Rodríguez, R., Jimenez, J., Aguirre, O., Treviño, E., & Razo, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera el Cielo. Tamaulipas: Ra Ximhai.
52. Rodríguez, R., Jimenez, J., Meza, J., Aguirre, O., & Razo, R. (2008). Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la Reserva de la biosfera el Cielo. Tamaulipas: Ra Ximhai.
53. Rosell, R. (2001). Soil organic matter evaluation. New York.
54. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Las áreas naturales protegidas y su papel en la mitigación del cambio climático. Ficha temática 3, México.
55. Smith, A. (1994). Tropical Alpine Environments: Plant Form and Function. Los Angeles: Tropical Alpine Environments: Plant Form and Function.
56. Solomón, S. (2007). Technical summary in: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Milller.
57. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2011). Annual report 2010. A year in review. Nairobi: UNON.
58. Asociación Española de la Industria Eléctrica. (2005). Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica. Proyecto Synergy, Madrid.

- 59.** Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2004). Cuidar el clima Guía de la Convención Marco sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. Alemania.
- 60.** Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2014). Protocolo de Kyoto. Recuperado el 23 de agosto de 2015, de http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php
- 61.** Vasquez, E., Ladd, B., & Borchard, N. (2014). Carbon storage in a high-altitude Polylepis woodland in the Peruvian Andes. Springer International Publishing.
- 62.** Wodzicki, K. (2001). El ciclo del carbono. Portland: Columbia.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica de Naubug



Fuente: (Gómez, 2014)

Anexo 2. Datos obtenidos en la investigación

USO	Agroecosistema	Biomasa (t/ha)	Materia orgánica (%)	Carbono vegetación (t/ha)	Carbono del suelo (t/ha)	CARBONO TOTAL (t/ha)
AGRÍCOLA	Zona Alta	2,52	5,10	1,24	83,20	84,44
AGRÍCOLA	Zona Alta	1,76	6,50	0,86	111,74	112,60
AGRÍCOLA	Zona Alta	3,03	6,10	1,49	106,26	107,75
AGRÍCOLA	Zona Alta	2,42	7,20	1,19	119,74	120,93
AGRÍCOLA	Zona Alta	1,75	8,90	0,86	132,06	132,92
AGRÍCOLA	Zona Alta	9,40	3,70	4,62	66,44	71,06
AGRÍCOLA	Zona Alta	2,35	6,10	1,16	109,24	110,39
AGRÍCOLA	Zona Alta	8,27	3,90	4,07	85,34	89,41
AGRÍCOLA	Zona Alta	5,62	7,80	2,76	119,88	122,64
AGRÍCOLA	Zona Alta	2,03	4,40	1,00	82,58	83,58

AGRÍCOLA	Zona Media	1,18	4,90	0,58	90,46	91,03
AGRÍCOLA	Zona Media	6,57	4,50	3,23	78,64	81,87
AGRÍCOLA	Zona Media	2,19	1,70	1,07	36,28	37,36
AGRÍCOLA	Zona Media	1,89	2,20	0,93	42,50	43,43
AGRÍCOLA	Zona Media	0,92	2,70	0,45	57,68	58,14
AGRÍCOLA	Zona Media	1,47	3,50	0,72	70,65	71,37
AGRÍCOLA	Zona Media	9,78	3,70	4,81	63,77	68,58
AGRÍCOLA	Zona Media	2,81	4,80	1,38	90,69	92,07
AGRÍCOLA	Zona Media	10,26	2,20	5,05	44,08	49,13
AGRÍCOLA	Zona Media	2,96	3,40	1,45	63,17	64,62
AGRÍCOLA	Zona Media	4,10	4,50	2,01	81,48	83,50
AGRÍCOLA	Zona Media	0,93	4,60	0,46	83,95	84,41
AGRÍCOLA	Zona Media	5,28	5,10	2,59	101,37	103,96
AGRÍCOLA	Zona Media	3,29	3,70	1,62	74,91	76,53
AGRÍCOLA	Zona Media	1,74	3,90	0,85	75,39	76,24
AGRÍCOLA	Zona Baja	2,21	1,90	1,09	37,94	39,03
AGRÍCOLA	Zona Baja	1,24	1,10	0,61	22,49	23,10
AGRÍCOLA	Zona Baja	0,88	1,10	0,43	23,96	24,40
AGRÍCOLA	Zona Baja	1,50	0,90	0,74	15,90	16,64
AGRÍCOLA	Zona Baja	1,16	2,30	0,57	46,90	47,47
AGRÍCOLA	Zona Baja	2,35	1,00	1,15	21,90	23,06
AGRÍCOLA	Zona Baja	3,80	0,80	1,87	17,72	19,58
AGRÍCOLA	Zona Baja	1,36	0,60	0,67	13,01	13,67
AGRÍCOLA	Zona Baja	1,85	0,40	0,91	9,01	9,92
AGRÍCOLA	Zona Baja	2,75	0,60	1,35	12,68	14,03
MIXTO	Zona Alta	61,14	3,50	30,06	66,88	96,94
MIXTO	Zona Alta	39,17	3,70	19,26	66,41	85,67
MIXTO	Zona Alta	7,96	4,80	3,92	75,45	79,37
MIXTO	Zona Alta	43,11	3,10	21,19	67,21	88,40
MIXTO	Zona Alta	8,75	5,10	4,31	82,49	86,80
PASTO	Zona Alta	62,46	4,00	30,71	61,36	92,07
PASTO	Zona Alta	1,86	2,30	0,93	49,16	50,09
PASTO	Zona Alta	0,75	3,20	0,37	57,08	57,46

PASTO	Zona Alta	1,78	3,90	0,88	71,19	72,07
PASTO	Zona Alta	4,50	2,80	2,22	52,19	54,41
ARBOLES	Zona Alta	13,36	5,10	6,57	86,38	92,95
ARBOLES	Zona Alta	79,10	6,30	38,89	116,58	155,47
ARBOLES	Zona Alta	16,40	4,00	8,07	78,73	86,80
ARBOLES	Zona Alta	97,89	4,40	48,12	65,40	113,53
ARBOLES	Zona Alta	69,18	4,70	34,02	84,48	118,50
ARBOLES	Zona Media	47,70	5,90	23,47	95,71	119,18
ARBOLES	Zona Media	68,19	8,50	33,53	162,86	196,38
ARBOLES	Zona Media	59,91	5,50	29,45	94,10	123,55
ARBOLES	Zona Media	18,31	2,50	9,02	46,06	55,08
ARBOLES	Zona Media	43,74	3,60	21,51	66,45	87,96
MIXTO	Zona Media	11,41	2,80	5,62	48,20	53,82
MIXTO	Zona Media	48,46	4,30	23,84	80,45	104,29
MIXTO	Zona Media	5,62	3,40	2,76	62,05	64,81
MIXTO	Zona Media	173,13	4,00	85,12	73,46	158,58
MIXTO	Zona Media	387,78	3,20	190,61	59,98	250,59
PASTO	Zona Media	2,98	2,60	1,48	46,76	48,24
PASTO	Zona Media	105,83	3,70	52,03	72,49	124,51
PASTO	Zona Media	1,49	3,70	0,74	78,57	79,31
PASTO	Zona Media	0,97	3,20	0,49	58,39	58,87
PASTO	Zona Media	1,71	4,80	0,85	86,82	87,67
MIXTO	Zona Baja	14,33	1,60	7,08	35,98	43,06
MIXTO	Zona Baja	15,84	2,00	7,83	43,28	51,11
MIXTO	Zona Baja	32,90	1,20	16,19	22,32	38,51
MIXTO	Zona Baja	137,00	1,70	67,35	34,53	101,88
MIXTO	Zona Baja	53,76	2,80	26,44	60,46	86,90
BOSQUE	Zona Media	183,00	3,20	89,97	58,49	148,46
BOSQUE	Zona Media	92,47	3,00	45,46	55,86	101,32
BOSQUE	Zona Media	159,01	2,00	78,20	34,78	112,99
BOSQUE	Zona Media	144,24	1,60	70,92	30,76	101,68
BOSQUE	Zona Media	57,87	0,70	28,45	12,43	40,88
BOSQUE	Zona Baja	117,45	1,40	57,75	26,96	84,71

BOSQUE	Zona Baja	186,40	1,80	91,64	35,13	126,76
BOSQUE	Zona Baja	235,19	1,00	115,67	22,32	137,99
BOSQUE	Zona Baja	208,90	1,30	102,73	27,88	130,61
BOSQUE	Zona Baja	29,45	2,50	14,49	55,63	70,11
ABANDONADO	Zona Media	0,23	4,10	0,11	92,67	92,78
ABANDONADO	Zona Media	0,81	2,10	0,40	40,78	41,18
ABANDONADO	Zona Media	2,40	2,10	1,19	42,04	43,23
ABANDONADO	Zona Media	1,66	2,20	0,82	45,33	46,15
ABANDONADO	Zona Media	0,81	3,10	0,40	70,07	70,48
ABANDONADO	Zona Baja	0,30	1,20	0,15	25,23	25,38
ABANDONADO	Zona Baja	0,58	1,30	0,29	27,15	27,44
ABANDONADO	Zona Baja	0,50	1,30	0,25	27,85	28,10
ABANDONADO	Zona Baja	2,98	1,80	1,47	36,74	38,21
ABANDONADO	Zona Baja	0,73	0,60	0,37	12,48	12,85

Elaborado por: Auquilla, M. (2016)

Anexo 3. Uso agrícola y bosque de la comunidad Naubug (Zona media)



Anexo 4. Terreno abandonado de la comunidad Naubug (Zona media)



Anexo 5. Suelo abandonado de la comunidad Naubug (Zona baja)



Anexo 6. Cerca viva de árboles nativos de la comunidad Naubug (Zona media)



Anexo 7. Cultivo de maíz de la comunidad Naubug (Zona baja)



Anexo 8. Cerca viva mixta de la comunidad Naubug (Zona alta)



Anexo 9. Marcación del área de muestreo



Anexo 10. Toma de muestra de suelo para materia orgánica y densidad aparente



Anexo 11. Toma de muestra para cálculo de biomasa



Anexo 12. Uso de clinómetro para medición ángulo de inclinación de árboles



Anexo 13. Muestras almacenadas para envío al laboratorio



Anexo 14. Presupuesto del proyecto

RUBRO	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO			
Mapeo comunitario	1	120	120
Imágenes satelitales Naubug	1	350	350
MATERIALES			
GPS	1	300	300
Cámara digital	1	200	200
Portapapeles	2	5	10
Hojas de campo	450	0,09	40,5
Esferos	4	0,3	1,2
Cinta métrica (50m)	1	40	40
Banderines	18	0,4	7,2
Clinómetro	1	150	150
Balanza digital	1	195	195
Regla (30cm)	2	0,5	1
Pala	1	15	15
Anillos metálicos	2	1,5	3
Martillo	1	15	15
Bloque de madera	1	0,5	0,5
Bastidor	1	35	35
Tijera de podar	2	12	24
Cuchillo	1	6	6
Bolsas de papel	600	0,15	90
Bolsas plásticas	500	0,04	20
Marcadores	2	1	2
Mochila	1	18	18
ANÁLISIS DE LABORATORIO			
Contenido de materia orgánica	90	7	630
TOTAL			2273,4

Elaborado por: Auquilla, M. (2016)

Anexo 15. Constitución del Ecuador (Derechos de la naturaleza)

Capítulo séptimo

Derechos de la naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pachamama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Art. 73.-El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

Art. 74.-Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los

servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.