

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

“Influencia de la pendiente y textura del suelo en el stock de carbono en coberturas boscosas, distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas”

Por:
Jhon Klinton Erazo Chinchay

Asesor:
Ing. Ivone Vásquez Briones

Morales, junio del 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Yo, *Jhon Klinton Erazo Chinchay*, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: ***“Influencia de la pendiente y textura del suelo en el stock de carbono en coberturas boscosas, distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas”*** constituye la memoria que presenta la **Bachiller Erazo Chinchay, Jhon Klinton**; para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, que ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión, bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Morales, a los 20 días del mes de junio del año 2019



Ing. Ivone Vásquez Briones

Asesor

“Influencia de la pendiente y textura del suelo en el stock de carbono en coberturas boscosas, distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas”

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR



Mg. Delbert Eleasi Condori Moreno
Presidente



Ing. Henry Carbajal Mogollon
Secretario



Ing. Carmelino Almester Villegas
vocal



Ing. Ivone Vásquez Briones
Asesor

Morales, 20 de junio de 2019

Dedicatoria

A Dios, por su cuidado y amor constante. A mis padres Gregorio Erazo García e Irene Chinchay Quezada, por sus sabios consejos y quienes son mi ejemplo y motivo de inspiración para seguir alcanzando logros académicos y morales. Y a mis hermanos Zahory y Gino quienes son un motivo más de superación personal.

Agradecimiento

Agradecer a Dios por haberme orientado y otorgado la sabiduría necesaria durante la presente Investigación.

A mis padres por estar conmigo en los momentos de felicidad y sombríos. Por su disposición cuando necesito de ustedes, por animarme cuando había dificultades, por su confianza y dedicación, por sus oraciones y su amor.

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonía peruana (IIAP-SM) y al proyecto “Paisajes Sostenibles para la Amazonía” por haberme permitido desarrollar esta investigación.

A la Ing. Ivone Vásquez Briones por el asesoramiento durante la redacción del informe de tesis.

Al coordinador del proyecto biólogo Reynaldo Solis Leyva, quien dio pautas generales del proyecto.

A Absalón Zamora López y Jesús Marín por su apoyo, orientación al momento de establecer y dar pautas de inicio de la presente tesis.

Y a todas aquellas personas que estuvieron involucradas en la presente investigación.

Índice

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVII
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. El problema de investigación.....	19
1.2. Objetivos.....	21
1.2.1. Objetivo general.	21
1.2.2 Objetivos específicos.	21
1.3. Justificación	21
1.4. Presuposición filosófica.....	22
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA.....	24
2.1. Fundamentos de las reservas de carbono.....	24
2.1.1. Cambio climático.....	24
2.1.2. Ciclo del carbono.....	26
2.1.3. Stock de carbono	27
2.1.3.1. Diferencia entre el stock y flujos de carbono.....	28
2.1.3.2. Stock de carbono como indicador de la calidad del suelo y el cambio climático	29
2.1.4. Cobertura boscosa.....	30

2.1.5. Suelos de la Amazonia Peruana.....	31
2.1.6. Pendiente del Suelo.....	31
2.1.7. Textura del suelo.....	34
2.1.7.1. Clases de textura del suelo.....	35
2.1.7.2. Estimación de las clases texturales en campo.....	36
2.2. Métodos de Evaluación.....	36
2.2.1. Determinación del stock de carbono en sus diferentes compartimentos en el proyecto Paisajes transformados de la Amazonia (SAL).....	36
2.2.1.1. Diseño de muestra.....	37
2.2.1.2. Evaluación de carbono.....	40
2.2.1.3. Productos obtenidos.....	41
2.3. Instrumentos jurídicos de cambio climático.....	41
2.3.1. Protocolo de Kyoto.....	41
2.4. Antecedentes.....	42
2.4.1. Contexto internacional.....	42
2.4.2. Contexto nacional.....	47
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
3.1. Descripción del área de estudio.....	50
3.2. Población, muestra.....	53
3.2.1. Población.....	53
3.2.2. Muestra.....	53
3.3. Diseño de investigación.....	55
3.4. Formulación de la hipótesis.....	55

3.5. Identificación de variables.....	56
3.5.1. Variable independiente	56
3.5.2. Variable dependiente.....	56
3.5.3. Variable de caracterización.....	56
3.6. Instrumentos de Recolección de Datos	56
3.7. Técnicas de recolección de datos y validación de instrumentos.....	57
3.7.1. Técnicas de recolección.....	57
3.7.2. Criterios de Validez y Confiabilidad de los instrumentos.....	58
3.8. Plan de procesamiento de datos.....	58
3.8.1. Criterios de causalidad.....	58
3.8.2. Procesamiento estadístico.....	59
3.9. Metodología de la investigación	59
3.9.1. Etapa de Planificación.....	59
3.9.1.1. Elaboración cartográfica y formatos para la recolección de datos.....	59
3.9.1.2. Trámites administrativos.....	60
3.9.2. Etapa de campo.....	60
3.9.2.1. Reconocimiento y ubicación del área de estudio.....	60
3.9.2.2. Diseño y delimitación de las parcelas.....	60
3.9.2.3. Plaqueo y codificación de los árboles en parcela y subparcela.....	62
3.9.2.4. Evaluación de las variables.....	62
3.9.2.5. Transporte y conservación de la muestra.....	70
3.9.3. Etapa de laboratorio.....	70
3.9.3.1. Evaluación de las variables.....	70

3.9.4. Etapa de gabinete final.....	74
3.9.4.1. Medición de variables.....	74
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	79
4.1. Resultados.....	79
4.1.1. Cuantificación de las variables.....	79
4.1.1.1. Variable dependiente.	79
4.1.1.2. Variables independientes.	84
4.1.2. Influencia de las variables independientes frente a la dependiente	87
4.1.2.1 Bosques densos.	87
4.1.2.1.1 Pendiente vs Stock.	87
4.1.2.1.2 Textura vs Stock.	89
4.1.2.2 Bosques secundarios.	91
4.1.2.2.1 Pendiente vs Stock.	91
4.1.2.2.2 Textura vs Stock.....	92
4.1.2.3 Vegetación arbórea.....	93
4.1.2.3.1 Pendiente vs Stock.....	93
4.1.2.3.2 Textura vs stock.....	95
4.1.2.4 Vegetación boscosa	96
4.1.2.4.1 Pendiente vs Stock.....	96
4.1.2.4.2 Textura vs stock.....	98
4.2. Discusión	99
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
5.1. Conclusiones.....	102

5.2. Recomendaciones	103
REFERENCIAS	104
ANEXOS.....	114

Índice de Tablas

Tabla 1 Clases de gradiente de pendiente	32
Tabla 2 Descripción de variables en la evaluación de stock de carbono	40
Tabla 3 Tamaño de los compartimientos que conforman a la muestra.....	54
Tabla 4 Tamaño de parcela y número de unidades muestrales para alcanzar un error de ± 10 con 95% de intervalo de confianza en las estimaciones de carbono.	54
Tabla 5 Ecuaciones alométricas usadas en el proyecto de investigación para la estimación de biomasa aérea en los bosques primarios y secundarios.	66
Tabla 6. Grado de descomposición de la madera.	68
Tabla 7. Resumen del stock de carbono en coberturas de bosques densos.	80
Tabla 8 Resumen del stock de carbono en coberturas de bosques secundarios.	80
Tabla 9. Resumen del stock de carbono en coberturas de vegetación arbórea.....	82
Tabla 10. Resumen del stock de carbono en coberturas de vegetación boscosa.	84
Tabla 11 Pendiente en función de las parcelas evaluadas.	86
Tabla 12 Textura del suelo en función de las parcelas evaluadas	87
Tabla 13. Influencia de la pendiente en el stock de carbono en coberturas de bosques densos.	88
Tabla 14. Influencia de la textura en el stock de carbono en coberturas de bosques densos. .	90
Tabla 15. Influencia de la pendiente en el stock de carbono en coberturas de bosques secundarios.	91
Tabla 16. Influencia de la textura del suelo en el stock de carbono en coberturas de bosques secundarios.	93

Tabla 17 Influencia de la pendiente en el stock de carbono en coberturas de vegetación arbórea.	94
Tabla 18 Influencia de la textura en el stock de carbono en coberturas de vegetación arbórea.	96
Tabla 19.....	97
Tabla 20 Influencia de la textura del suelo en el stock de carbono en coberturas de vegetación boscosa.	99

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución de las emisiones totales de GEI (Gg CO ₂ eq) por categorías.	25
Figura 2. Diagrama de los stocks y flujos de carbono en un bosque tropical.	29
Figura 3. Corte transversal del terreno.	33
Figura 4. Relación de los constituyentes de tierra fina por tamaño,	35
<i>Figura 5. Diseño de la parcela de evaluación</i>	39
<i>Figura 6. Muestreo del carbono del suelo</i>	39
Figura 7. Cobertura boscosa de área de influencia del proyecto SAL.....	51
Figura 8. Distribución de la zona de influencia del proyecto SAL.....	52
Figura 9. Esquema de la distribución de la parcela de 50m x 50m.	62
Figura 10. Esquema correspondiente a los puntos de medición de pendiente.	63
Figura 11. Medición de las alturas de los árboles, mediante el uso del clinómetro.	65
Figura 12. Variación del stock de carbono en las parcelas con cobertura de bosques densos. 79	
Figura 13. Variación del Stock de carbono en coberturas de bosques secundarios.	81
Figura 14. Stock de carbono en coberturas de vegetación arbórea.....	82
Figura 15. Stock de carbono en coberturas de vegetación boscosa.	83
Figura 16. Pendientes de las parcelas en las coberturas boscosas.	85
Figura 17. Textura de las parcelas en las coberturas boscosas.....	86
Figura 18. Stock de carbono en relación a la pendiente en coberturas de bosques densos.....	89
Figura 19. Stock de carbono según la textura del suelo en coberturas de bosque denso.....	90
Figura 20. Stock de carbono en relación a la pendiente en coberturas de bosques secundarios.	92
Figura 21. Stock de carbono según la textura del suelo en coberturas de bosques secundarios	93

Figura 22. Stock de carbono en relación a la pendiente en coberturas de vegetación arbórea. 95

Figura 23. Stock de carbono según la textura del suelo en coberturas de vegetación arbórea. 96

Figura 24. Stock de carbono en relación a la pendiente en coberturas de vegetación boscosas.
..... 98

Figura 25. Stock de carbono según la textura del suelo en coberturas de vegetación boscosa.99

Índice de Anexos

Anexo 1. Panel Fotográfico.....	114
Anexo 2. Registro de datos de campo.....	115
Anexo 3. Ficha técnica del Clinómetro.....	118
Anexo 4. Ficha técnica de la brújula SUNNTO KB-14.....	119
Anexo 5. Ficha técnica del vernier.	120
Anexo 6. Factura de compra de equipos para la utilización en el presente estudio.	121
Anexo 7. Operacionalización de variables.....	122

Resumen

Se tuvo como objetivo determinar la influencia de la pendiente y textura del suelo en el stock de carbono en coberturas boscosas en el distrito de Yurimaguas. Se seleccionó 22 parcelas del área de influencia del proyecto paisajes sostenibles para la Amazonía, comprendidas entre bosques densos (BD), bosque secundario (BS), vegetación arbórea (VA) y vegetación boscosa (VB). Para calcular la biomasa se midió el diámetro, altura y densidad de los individuos vivos y muertos en pie con un DAP ≥ 10 cm en la parcela de 50m X 50m y los con DAP entre 2 a 10 cm dentro de la subparcela de 20m X 20m, la necromasa sobre el suelo se calculó midiendo el volumen, longitud, peso y densidad de todas las ramas y troncos caídos sobre cuatro transectos de 1m X 50m ubicados dentro de la parcela, las hojarasca se evalúa en cuatro cuadrantes de 1m X 1m. Los stocks de carbono en suelos, se determinó haciendo muestreos a tres profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm y de 20-50 cm, además de análisis físico-químico completo en muestras disturbadas para determinar la textura. Para calcular la pendiente se utilizó el clinómetro. El stock de carbono promedio varió según el tipo de cobertura, BD = 263.22 Mg C*ha⁻¹, BS = 154.73 Mg C*ha⁻¹, VA = 119.57 Mg C*ha⁻¹ y VB = 84.24 Mg C*ha⁻¹. De igual manera, las pendientes medias variaron según el tipo de cobertura boscosa, BD = 13.61%, BS = 8.41, VA = 5.17% y VB = 6.71%. La textura franca y arcilla fueron predominantes. La influencia de las variables pendiente del suelo y textura del suelo no fueron estadísticamente significativas con el stock de carbono; pero a nivel de parcela el carbono se incrementó en función de la pendiente, mientras que la textura franco arcillosa presentó mayor stock de carbono a nivel muestral.

Palabras Clave: Stock de carbono, coberturas boscosas, textura del suelo, pendiente y biomasa.

Abstract

The objective was to determine the influence of the slope and texture of the soil on the carbon stock in forest cover in the district of Yurimaguas. 22 plots were selected from the area of influence of the sustainable landscapes project for the Amazon, included between dense forests (BD), secondary forest (BS), arboreal vegetation (VA) and forest vegetation (VB). To calculate the biomass, the diameter, height and density of the living and dead individuals were measured with a WTP ≥ 10 cm in the 50m X 50m plot and those with WTP between 2 and 10 cm in the subplot of 20m X 20m, the necromass on the ground was calculated by measuring the volume, length, weight and density of all the branches and trunks fallen on four transects of 1m X 50m located within the plot, the litter is evaluated in four quadrants of 1m X 1m. Soil carbon stocks were determined by sampling at three depths: 0-10 cm, 10-20 cm and 20-50 cm, in addition to complete physical-chemical analysis in disturbed samples to determine the texture. The inclinometer was used to calculate the slope. The average carbon stock varied according to the type of cover, BD = 263.22 Mg C * ha⁻¹, BS = 154.73 Mg C * ha⁻¹, VA = 119.57 Mg C * ha⁻¹ and VB = 84.24 Mg C * ha⁻¹. Likewise, average slopes varied according to the type of forest cover, BD = 13.61%, BS = 8.41, VA = 5.17% and VB = 6.71%. Frankish texture and clay were predominant. The influence of soil slope variables and soil texture were not statistically significant with the carbon stock; but at the parcel level, the carbon increased according to the slope, while the clay loam texture presented a greater carbon stock at the sample level

Key words: Stock of carbon, forested cover, soil texture, slope and biomass

Capítulo I

Introducción

En los últimos años la preocupación por el cambio climático ha cobrado gran interés, razón por la cual se han realizado muchas investigaciones centradas especialmente en el aumento del CO₂ en la atmósfera, el incremento de este gas es rastreado por los investigadores principalmente en el aumento de las emisiones antropogénicas y en la reducción de la absorción de CO₂ por los océanos y la vegetación terrestre (Harde, 2017).

Es por ello que Honorio & Baker (2010) cita a Denman *et al.* (2007) quien menciona que en el ciclo del carbono los bosques tropicales juegan un papel trascendental debido a que contribuyen a regular la concentración de CO₂ en la atmósfera, y como resultado a esto el incremento del cambio climático.

El ciclo de carbono está definido tanto por la transferencia y almacenamiento entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos de moléculas constituidas por el elemento carbono, en este sentido el stock de carbono se define como todo aquello que se encuentra almacenado en los diferentes componentes del bosque sin que intervenga la variable tiempo (Honorio & Baker, 2010).

Los bosques tropicales funcionan como almacenes de carbono, cantidad que va a variar de acuerdo a la edad y tipo de bosque además de las condiciones climáticas y morfológicas como pendiente y textura del suelo (Fissore *et al.* 2017), es por ello que en la actualidad se incrementa la importancia del manejo forestal, de entender el concepto de captura de carbono y de asumir las responsabilidades de nuestras emisiones mediante el pago por servicios ambientales (Sosa, 2016).

En el Perú no existen trabajos de influencia de la pendiente y textura del suelo en el Stock de Carbono de todos los componentes de un bosque de la Amazonia, por tal motivo se tuvo como objetivo evaluar la influencia entre sí de estas variables dentro de las parcelas transitorias de muestreo, en el área de influencia del proyecto SAL.

1.1. El problema de investigación

En los últimos tres decenios, el cambio de temperatura se ha incrementado de manera considerable en comparación a cualquier decenio anterior a 1850. Las principales causas de este suceso son las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI), que ocasionan el calentamiento global (Benavides & León, 2007).

Estos GEI se han ido incrementando año tras año desde 1970 al 2010 donde los incrementos de mayor interés se dieron en el periodo 2000-2010. Los actos que generan el incremento de los GEI es la deforestación, el escaso control de emisiones, el uso indiscriminado de agentes químicos en la agricultura, ganadería, producción de alimentos, medicinas, cosméticos, desinfectantes, pinturas, barnices entre otros (Naciones Unidas, 2014). El Panel Intergubernamental del Cambio Climático, responsabiliza la pérdida desmesurada de hielo en los casquetes polares, al incremento de la temperatura consecuente a un incremento del nivel del mar.

Entre los GEI está el dióxido de carbono, responsable de más de la mitad de este problema (Chanchari, 2014). Y teniendo en cuenta la importancia de las coberturas boscosas Vieira *et al.* (2004), mencionan que las selvas tropicales desempeñan un papel importante en el ciclo global del carbono terrestre y 36% de la producción primaria neta terrestre.

Además Chanchari (2014) muestra que tanto bosques primarios, secundarios y purmas aprovechan este gas, contribuyendo a limpiar el aire de este agente contaminante. Existen

trabajos que determinaron la dinámica entre el stock de carbono y la topografía del suelo en el sur de California en el cual concluyeron que la topografía, a través de los procesos dinámicos de erosión y deposición del suelo, afecta tanto la cantidad como la calidad del carbono y que los atributos específicos del terreno, más que la posición de la ladera, son herramientas útiles para evaluar y predecir la acumulación y calidad del carbono (Fissore *et al.*, 2017). Además otro trabajo que muestra la importancia del tema fue realizado por Conforti *et al.* (2016) en un ecosistema forestal del sur de Italia, en el que el stock de carbono fue significativamente influenciado por el tipo de suelo, la textura del suelo y las características del paisaje, pues la concentración de carbono disminuyó significativamente con la profundidad de la superficie y se relacionó con la textura del suelo. Un trabajo realizado en el Perú, en el almacenamiento de carbono en relación con la topografía y edad de los sistemas agroforestales de la carretera Iquitos-Nauta, mostró que existe influencia en la captura de carbono en función de la posición topográfica ya que sus resultados fueron 7,34 Mg C/ha en la meseta y en la pendiente fue 6,76 Mg C/ha (Chanchari, 2014).

Si bien es cierto se han realizados trabajos del stock de carbono orgánico del suelo en relación con la topografía y características del mismo, no se encontraron trabajos realizados en relación a la pendiente y textura del suelo con la captura de carbono total en coberturas boscosas en el distrito de Yurimaguas, por lo que se espera que la pendiente y la textura del suelo intervengan en la variación del stock de carbono presente en la cobertura arbórea en estudio.

En el presente trabajo de investigación se estudió la influencia de la pendiente y la textura del suelo en el stock de carbono. El estudio se realizó de enero a mayo del 2018.

Por tanto, se formula la siguiente interrogante: ¿Cuál es la influencia de la pendiente y textura del suelo en el stock de carbono en coberturas boscosas del distrito de Yurimaguas?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general.

- Analizar la influencia de la pendiente y textura del suelo en el stock de carbono en coberturas boscosas en el distrito de Yurimaguas.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Cuantificar el stock de carbono en coberturas boscosas en el distrito de Yurimaguas.
- Cuantificar la pendiente y textura del suelo en coberturas boscosas en el distrito de Yurimaguas.
- Determinar la influencia de la pendiente del suelo en el stock de carbono en coberturas boscosas del distrito de Yurimaguas.
- Determinar la influencia de la textura del suelo en el stock de carbono en coberturas boscosas del distrito de Yurimaguas.

1.3. Justificación

El presente trabajo se realizó porque el crecimiento poblacional en los últimos años se ha incrementado de forma desmesurada; trayendo consigo la depredación insostenible de las coberturas boscosas, a causa de la expansión de las áreas urbanas y agrícolas. Producto de estas acciones se han generado cambios de uso de suelo y de cobertura que han promovido un 12,5% de las emisiones antropogénicas de carbono Houghton *et al.* (2012). Además, el cambio climático hoy en día se considera un problema severo, por lo que es importante la toma de conciencia y el cambio de actitudes y comportamiento en el cuidado de las coberturas boscosas puesto que el CO₂ es el GEI más peligroso (Harde, 2017), y que más incremento ha tenido debido a las actividades humanas y que una de las alternativas para disminuir su concentración es a través del secuestro de carbono y de su fijación en el suelo (en el cual influyen todo tipo

de vegetación, pendiente, textura y organismos vivos de todos los ecosistemas). Los árboles vivos son una de las principales reservas de carbono en los bosques tropicales, es por ello que se buscó comprender mejor las variaciones en la dinámica y la estructura de estos, para predecir la posibilidad de que pierdan o almacenen carbono en función de la pendiente y textura del suelo y para comprender cómo se recuperan de las perturbaciones. Este estudio se realizó para que mediante la identificación y estudio de las variables del presente proyecto, sirvan como base que permitan a instituciones involucradas implementar planes que permitan el mantenimiento o recuperación de las áreas perdidas o la mitigación de las grandemente impactadas, mediante acciones de manejo sostenible para con las coberturas boscosas y así se logre generar condiciones de vida adecuada, se brinden servicios ecosistémicos específicos, además del mejoramiento de la estabilidad del suelo mismo, que mitigará desastres naturales ocasionadas por actividades antrópicas, finalmente permitirá conservar fuentes hídricas, variedad genética, climas y microclimas.

1.4. Presuposición filosófica

En el presente trabajo las presuposiciones filosóficas están basadas en la biblia y cosmovisión cristiana; donde el propósito de Dios al crear el planeta tierra y todo cuanto lo conforma fue su preservación y cuidado, tal como detalla en las santas escrituras desde el génesis hasta el apocalipsis, por tanto, el universo y nosotros no somos resultado de una simple coincidencia. En génesis 1:6-8, 29,31 detalla que en el segundo día de la creación Dios separo las aguas de las aguas una debajo de otra y al espacio que quedo entre estas dos lo llamo cielo. Este fragmento de la santa escritura describe la creación de la capa de ozono representada con las aguas que quedaron por encima de espacio, la misma que nos protege de la radiación y rayos UV emitidos por el Sol, además en los versículos 29 y 31 describe que en el día sexto

Dios nos dio la flora, desde los que tienen semilla hasta los que dan fruto, al culminar tanto el día segundo y sexto de la creación Dios declaró que todo era bueno en gran manera, de allí que la creación tiene un valor propio, valioso en sí mismo, más allá de cómo o con que fines el hombre quiera utilizarla.

Adán y Eva estaban encargados del cuidado del jardín, para que lo guardaran y lo labrasen (White, 1975). Elena muestra la importancia y nuestra función en el cuidado del ambiente que nos rodea, tal como Dios se lo encargó a nuestros primeros padres en el edén, si bien es cierto nosotros tenemos potestad en el ambiente, no olvidemos que somos simples administradores es por ello tenemos un rol único que desempeñar y es de gobernar y administrarlo con responsabilidad, el verdadero dueño de todo cuanto podemos disfrutar, es Dios y en algún momento tendremos que rendir cuentas del cuidado y el estado en que lo encuentre en su segunda venida

Capítulo II

Revisión de literatura

2.1. Fundamentos de las reservas de carbono

2.1.1. Cambio climático

El cambio climático está íntimamente relacionado con el manejo irracional de los bosques, por tal razón la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo está vinculada a una gestión sostenible (FAO, 2010b).

Según Peñuelas, Sabaté, Filella & Gracia (2007) ante este problema surgen dos terminologías o respuestas básicas, la mitigación y la adaptación, referida a afrontar sus causas y a reducir sus impactos respectivamente. Las intervenciones destinadas a reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático de los bosques y de las poblaciones que de ellos dependen, están orientados a la mejora de la función de los bosques como sumideros de carbono y la sustitución de productos.

A nivel Nacional de acuerdo al informe realizado por el MINAM (2016) el cambio de uso de suelo y silvicultura genera 86 742 Gg CO₂ eq. Otra fuente de generación es la conversión de bosques y pasturas, con 79 772 Gg CO₂ eq, siendo los bosques sumideros de GEI de la atmósfera: Cambios en biomasa forestal y otros stocks leñosos que realizan una captura de 3 923 Gg CO₂ eq (donde se incluye Incremento de biomasa y cultivos perennes) y Abandono de tierras cultivadas, que capturan 12 301 Gg CO₂ eq, que dan paso a la natural formación de bosques secundarios.

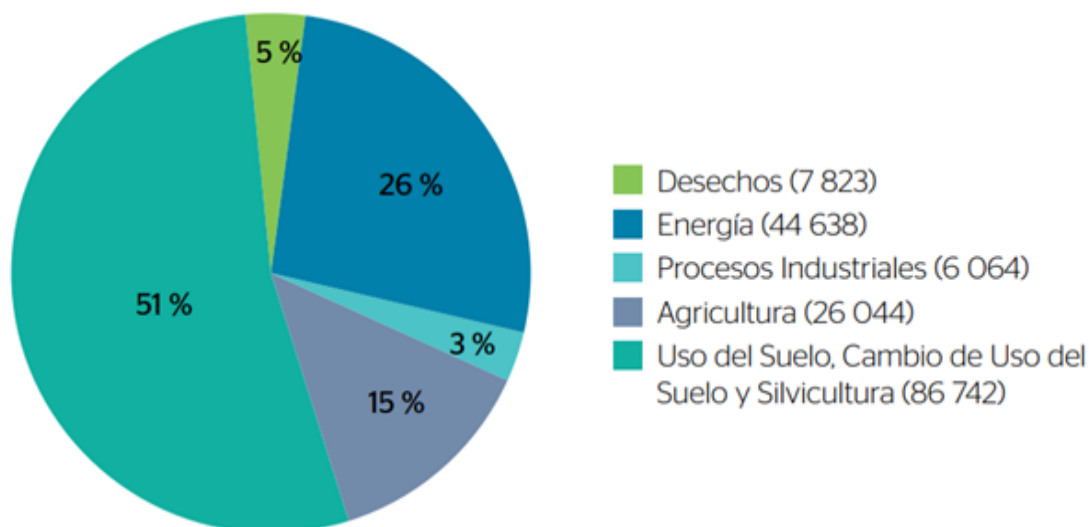


Figura 1. Distribución de las emisiones totales de GEI (Gg CO₂ eq) por categorías.
Fuente. (MINAM, 2016).

Otro término de gran interés es la resiliencia climática, que según el proyecto de ley propuesta por Megarejo, Vergara, & Aguilar (2016) lo definen como: “capacidad de los sistemas sociales, económicos, naturales y ambientales de afrontar un fenómeno, tendencia o perturbación peligroso asociado al cambio climático, respondiendo, recuperándose y reorganizándose de modo que mantengan su estructura y funciones esenciales, y conserven al mismo tiempo su capacidad de adaptación y transformación” (P. 2).

De acuerdo con Mathews (2017) detrás de toda la catástrofe sufrida en Perú a inicios del año está la destrucción de los equilibrios ecológicos, además menciona que hace 4 años atrás William Lau en su informe para la nasa sobre la relación entre las lluvias y el cambio climático afirmó que habrá lluvias más extremas a causa del calentamiento global, por cada grado Fahrenheit que la temperatura global aumente, las lluvias aumentarán un 3,9% en las zonas húmedas.

2.1.2. Ciclo del carbono

Porlles (2011) menciona que los ciclos biogeoquímicos de mayor importancia para la humanidad son el ciclo del carbono y el ciclo del agua. Pues una de sus características mutuas es que posee pozas muy activas, las mismas que son vulnerables a las perturbaciones artificiales, lo que a su vez puede modificar las condiciones meteorológicas y climáticas.

El carbono es un elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, el mismo que circula por el suelo, el subsuelo, los océanos y la atmósfera. Estos son considerados reservorios de carbono, el cual pasa de un reservorio a otro por procesos químicos, físicos y biológicos.

De acuerdo con Harde (2017) el ciclo del carbono puede entenderse como una serie de depósitos de carbono en el Sistema Tierra-Atmósfera, que están conectados entre sí por los flujos de intercambio de carbono y sus principales compuestos bioquímicos. Por consideraciones climáticas, especialmente el CO₂ atmosférico, es de gran importancia debido a sus propiedades activas por infrarrojos y su clasificación como el gas de efecto invernadero más peligroso. Por lo tanto, en particular, el aumento del CO₂ en la atmósfera, se remontan principalmente a las crecientes emisiones antropogénicas, así como una menor absorción de CO₂ por los océanos y la vegetación terrestre. Siendo este tema objeto de muchas investigaciones.

El CO₂ como un componente, es capturado por las plantas que posteriormente contribuirá en el proceso de fotosíntesis y seguir en la transferencia natural del mismo desde la atmósfera a las plantas, luego a los animales, el suelo y de nuevo a la atmósfera (Chanchari, 2014).

La intensificación del efecto invernadero en las últimas décadas, como consecuencia de los niveles más elevados de los GEI; han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono. Así pues, el dióxido de carbono constituye la vía principal de

transferencia de carbono en el ciclo del carbono, a través de los diferentes sistemas terrestres (biosfera, hidrosfera, atmósfera y litosfera). El resultado final es la distribución del carbono en varios componentes de estos sistemas, que reciben por ello el nombre de "sumideros" de carbono (Vallero, 2014).

Y son estos sumideros de carbono, una de las funciones importantes que desempeñan los ecosistemas forestales en el ciclo del carbono terrestre (C), estos acumulan compuestos orgánicos en la vegetación a través de la fotosíntesis y devuelven C a la atmósfera por medio de la respiración auto y heterotrófica, y fijan C en reservas estables de carbono orgánico del suelo (COS) (Conforti et al., 2016) citan a (Lorenz y Lal, 2010).

2.1.3. Stock de carbono

Según la guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono del Ministerio de agricultura, alimentos y medio ambiente de España, el stock o reservorio de carbono es un almacén del mismo, que puede funcionar como fuente o sumidero de este gas (MAGRAMA, 2015).

La amazonia consta de aproximadamente 6 millones de km² por consiguiente es el bosque tropical más grande del mundo, y alberga aprox. 86 Pg C, excluyendo el carbono en el suelo, la mayoría de este carbono está almacenado en la biomasa viva; la necromasa contribuye aprox. 9,6 Pg C (Saatchi, Halligan, Despain, & Crabtree, 2007). El carbono en el suelo es un componente importante de la reserva de carbono total y puede contribuir aproximadamente 50 – 70 % del carbono almacenado en los otros componentes del bosque (Vallero, 2014).

De acuerdo con Honorio & Baker (2010) los bosques tropicales juegan un papel muy importante en el ciclo global del carbono debido a su contribución en la regulación del dióxido de carbono en la atmósfera y, por lo tanto, la tasa del cambio climático, según estimaciones las

emisiones de carbono debido a la deforestación tropical representen aproximadamente el 20 % de las emisiones totales generadas por las acciones humanas. Teniendo en cuenta que el ciclo de carbono está determinado por el almacenamiento y la transferencia entre la atmósfera, biósfera, litósfera y océanos de moléculas constituidas por el elemento carbono; si queremos estudiar este ciclo debemos tener en cuenta la diferencia entre stock y flujos de carbono.

2.1.3.1. Diferencia entre el stock y flujos de carbono

El stock de carbono es todo aquello que se encuentra almacenado en los diferentes componentes: la biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces; la necromasa almacenada en la hojarasca y la madera muerta; y el carbono en el suelo. Mientras que los flujos comprenden procesos que alteran las reservas: la fotosíntesis de las hojas; la respiración autotrófica (p.e. árbol) y heterotrófica (p.e. hojarasca, madera muerta, suelo); la mortalidad de troncos, ramas, hojas y raíces; y la descomposición de la madera y la hojarasca causada por los organismos degradadores (Honorio & Baker, 2010).

Para la determinación de carbono en reservas o flujos se hacen uso de fórmulas alométricas, la diferencia entre estas es la variable tiempo que se establece en los flujos, además de la utilización de equipos infrarrojos entre los que se puede mencionar al EGM en sus diferentes versiones, equipo utilizado para realizar la respiración de fustes, respiración total, de componentes, etc. Para determinar las reservas de carbono se obvia la variable tiempo por ser el carbono que se encuentra en el instante de la evaluación, estos valores variarían por la influencia de los flujos (Porlles, 2011).

Fragoso (2003) indica que se considera carbón almacenado durante el tiempo en que el CO₂ se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol o se encuentra de manera permanente y hasta que es enviado nuevamente a la atmósfera. En el momento de su liberación (ya sea por la

descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa) el CO₂ fluye para regresar al ciclo del carbono.

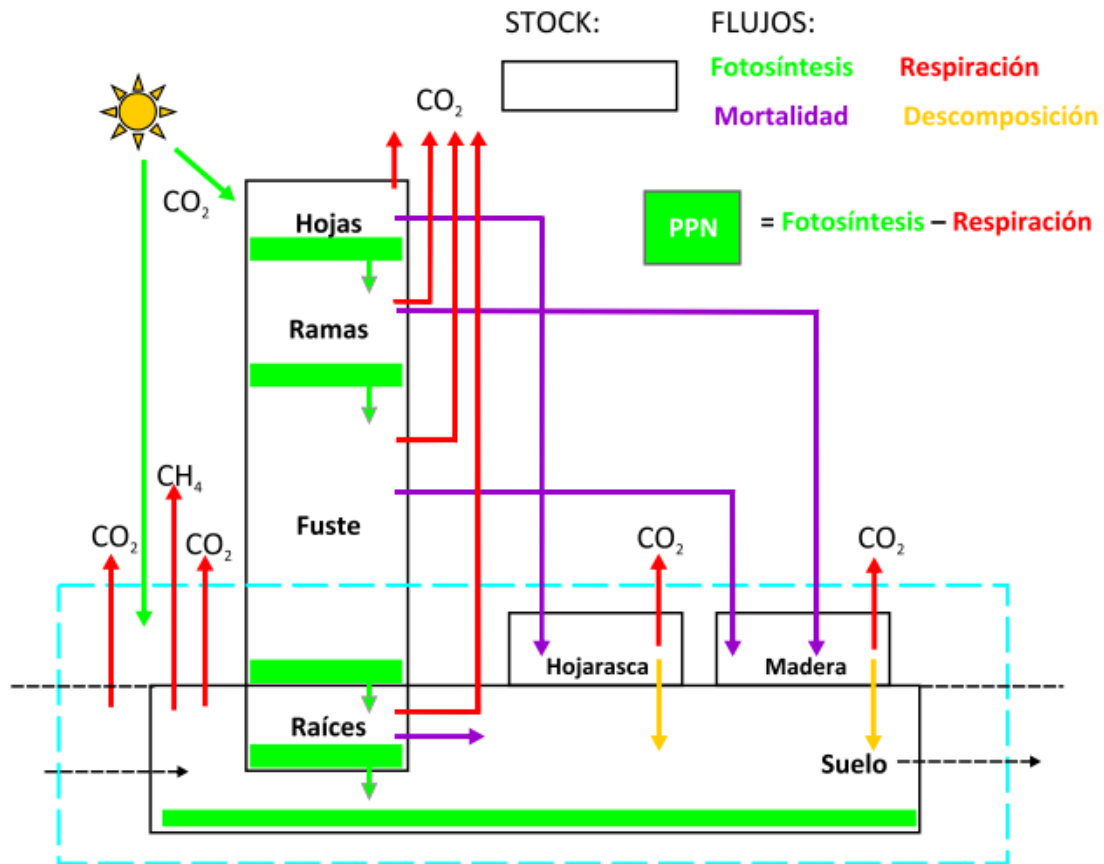


Figura 2. Diagrama de los stocks y flujos de carbono en un bosque tropical.
Fuente. Honorio C. & Baker (2010)

2.1.3.2. Stock de carbono como indicador de la calidad del suelo y el cambio climático

Como se venía mencionando con anterioridad el stock de carbono juega un papel muy importante en el cambio climático debido a los diferentes compartimentos de un bosque en los cuales este se almacena. Siendo el suelo uno de estos compartimentos y el indicador para la presencia de cobertura viva, es el segundo reservorio de carbono (C) a nivel global, y el primero a nivel terrestre, llegando a almacenar aproximadamente 1.500 Pg de C a un metro de profundidad, lo que equivale a casi el doble de la atmósfera (750 Pg de C) y de la cobertura

boscosa (650 Pg de C). Es por ello que los sistemas edáficos y cambios en la dinámica de almacenamiento de carbono se ven afectados por los cambios en la cobertura vegetal y el manejo de suelos (Gutiérrez, 2015).

Es primordial comprender el clima, el uso de tierra, la topografía, el material parental y las propiedades intrínsecas del suelo, debido a que son factores que controlan e intervienen en la acumulación del carbono orgánico del suelo (COS) y por ende del stock (Rodríguez, 2016).

Por tanto, el stock de carbono en sus diferentes compartimentos es uno de los principales indicadores de calidad del suelo, ya que su concentración determinante en un bosque o zona de estudio será susceptible a los factores antes mencionados, los mismos que a su vez son indicadores del cambio climático.

2.1.4. Cobertura boscosa

Están comprendidas por árboles de una altura superior a 5 m, una cubierta de dosel superior a 10 % y una extensión mayor a 0.5 hectáreas, en las coberturas arbóreas no están comprendidas tierras en el que predomina el uso agrícola o urbano. Además están incluidas las áreas que tienen la presencia de árboles jóvenes que aún no han alcanzado la altura y dosel respectivo, por lo general estos presentes en áreas temporáneamente desprovistas de árboles debido a talas realizadas como parte de prácticas de ordenación forestal o por causas naturales, las cuales se espera se regeneren dentro de 5 años, están incluidos las purmas (FAO, 2010a).

La función de la determinación de las unidades de paisaje del proyecto SAL de acuerdo con Argote, *et al.* (2017) convergen en la búsqueda de la productividad y los medios de vida rural, además de que aborda las amenazas a los bosques, el agua y la biodiversidad, mediante un enfoque paisajista. La creación de estas unidades se realizó en base a la información geográfica generada por el IIAP, análisis de superposición de capas temáticas en función de la fisiografía,

geología, geomorfología y suelos de la zona de estudio (BIODAMAZ, 2004). Las unidades climáticas no se toman en cuenta ya que el clima en esta área es relativamente homogéneo. Las principales unidades de paisaje de cobertura boscosa identificadas son: bosque denso, se consideran bosques primarios, caracterizados por árboles de gran tamaño. bosques secundarios, como su nombre lo dice están comprendidos aquellos bosques que han tenido intervención antropogénica. Vegetación arbórea y vegetación boscosa; son áreas en proceso de recuperación de las actividades antrópicas, es decir ambas son purmas pero difieren en la edad de la vegetación que presentan Argote, *et al.* (2017).

2.1.5. Suelos de la Amazonia Peruana

De acuerdo con Rodríguez (1995) quien a través del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) realizó el documento técnico número 14 en el cual describe que según trabajos preliminares realizados por el Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria (INIPA) en la selva peruana es posible encontrar 7 órdenes de suelos dominantes, de los cuales el 65% del territorio es cubierto por los Ultisoles, seguidos de Entisoles e Inceptisoles con el 17 y 14%, respectivamente. Los Alfisoles, Vertisoles, Molisoles y Espodosoles, en conjunto sólo cubren el 4% del territorio amazónico.

2.1.6. Pendiente del Suelo

Sin darnos cuenta la pendiente es una de las características más visible y motivo de la morfología montañosa, es por ello que en ingeniería es muy utilizado ya sea en temas de reforestación, construcción de carreteras, restauraciones hidrológicas, etc. Por tanto, la pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno, mediante el cálculo de la tangente de la superficie, la misma que se determina dividiendo el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal (Ibáñez, Gisbert, & Moreno, 2010).

La FAO (2009) menciona que uno de los términos de interés, en la determinación de la pendiente, es su gradiente, referida a la inclinación de la superficie. Se mide usando un clinómetro dirigido en la dirección de la pendiente más empinada. Si la lectura con el clinómetro no es posible, se deben de integrar las estimaciones de campo con el grado de pendiente calculado a partir de las curvas de nivel presentes en un mapa topográfico. Se menciona también que hay dos maneras de determinar el grado de pendiente: la primera y la más importante, es por medio de mediciones actuales en campo, y la segunda a través de la entrada en una de las siguientes clases; estas pueden requerir una modificación para adecuarse a condiciones topográficas locales ver tabla 1.

Tabla 1

Clases de gradiente de pendiente

Clase	Descripción	%
1	Plano	0-0.2
2	Nivel	0.2-0.5
3	Cercano al nivel	0.5-1.0
4	Muy ligeramente inclinado	1.0-2.0
5	Ligeramente inclinado	02-05
6	Inclinado	05-10
7	Fuertemente inclinado	10-15
8	Moderadamente escarpado	15-30
9	Escarpado	30-60
10	muy escarpado	> 60

Fuente. Tomado de (FAO, 2009)

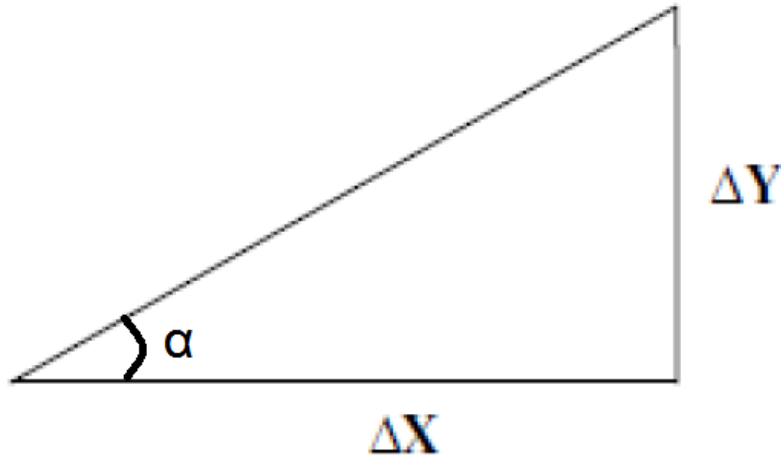


Figura 3. Corte transversal del terreno.
Fuente. Modificado de (Ibáñez et al., 2010)

Normalmente la pendiente es expresada en porcentaje (%) y en grados (°)

Porcentaje (%). Es muy común, pero al mismo tiempo un poco confuso, esto debido a que un valor de pendiente del 100% corresponde a un ángulo de 45°, esto debido a que la altura y la base de un ángulo de 45 grados coinciden y al dividirlos da como resultado 1 que si se multiplica por 100 es igual a una pendiente del 100%. De hecho, el porcentaje de pendiente tiende al infinito en tanto en cuanto la pendiente se aproxime a una superficie vertical (la distancia base se aproxima a 0). Ver figura 3.

$$\% \text{ Pendiente} = \frac{\Delta y}{\Delta x} * 100 \dots\dots a$$

Grados (°). Si lo queremos expresar en grados simplemente se aplicará el Arco tangente de la altura sobre la base. Ver figura 3.

$$\tan \alpha = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right) \rightarrow \alpha = \arctg \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right) \dots\dots b$$

La aplicación de las fórmulas *a* y *b* al terreno se basa en el control del desnivel existente en una ladera mediante las cotas, y su variación en el espacio.

Mientras que para Oropeza (2013) en zonas de estudio predominantemente plana recomienda utilizar categorías entre (0° - 1°) plana, (1° - 3°) ligeramente suave, (3° - 5°) suave, (5° - 15°) moderada y (mayor a 15°) fuerte.

Las características topográficas, tales como pendiente, curvatura y área de captación, controlan las tasas de redistribución del suelo a través de las ubicaciones de las colinas y tienen un efecto sobre la cantidad y calidad del carbono orgánico del suelo (COS) que se encuentra en todo el paisaje (Fissore et al., 2017).

En su investigación (Chanchari, 2014) corrobora lo indicado anteriormente, ya que el grado de la pendiente diferenciado por las características que estas forman (meseta y pendiente) influyo en el almacenamiento de carbono de los sistemas agroforestales evaluados en este investigación. Se observó que en la meseta menor grado de inclinación obtuvo 7,34 mg/ha y en la pendiente mayor grado de inclinación la concentración de carbono fue 6,76 mg/ha.

2.1.7. Textura del suelo

La textura es la característica física del suelo, conformado por el conjunto de arenas, limos y arcillas, referidos a estas como la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula en un volumen de suelo dado. De acuerdo con la FAO los nombres para las clases de tamaño de partícula corresponden al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), con pequeñas variaciones de acuerdo a los sistemas nacionales en cuanto al tamaño de las partículas y las clases texturales (diferentes fracciones de grano de arena, limo y arcilla) ver figura 4.

2.1.7.1. Clases de textura del suelo

Los nombres de las clases texturales se codifican de acuerdo a la figura 4, por el porcentaje de las clases texturales básicas (arena, limo y arcilla) que contenga el suelo.

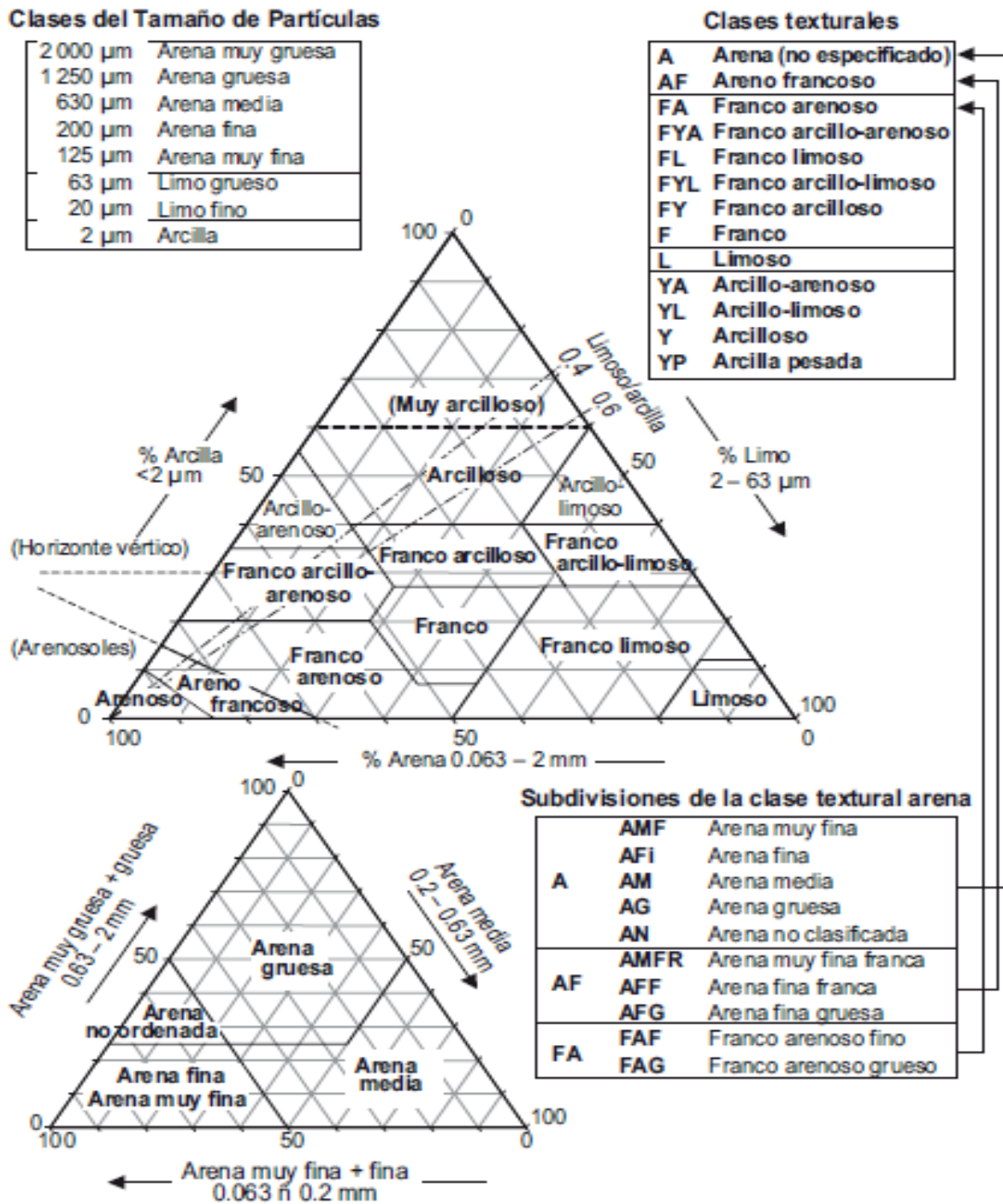


Figura 4. Relación de los constituyentes de tierra fina por tamaño, Fuente. Tomado de (FAO, 2009)

2.1.7.2. Estimación de las clases texturales en campo

Para estimar la clase textural en campo, se deben remover las gravas u otros constituyentes mayor a 2mm. Luego a través de pruebas simples y sintiendo los constituyentes del suelo, que presentan las siguientes sensaciones:

- **Arcilla:** Se adhiere a los dedos, es cohesivo (pegajoso), es moldeable, tiene una alta plasticidad y tiene una superficie brillante luego de apretar entre los dedos.
- **Limo:** Se adhiere a los dedos, no es pegajoso, es débilmente moldeable, tiene una superficie áspera y rasposa luego de apretarlo entre los dedos y una sensación harinosa (como el polvo del talco).
- **Arena:** No se puede moldear, no se adhiere a los dedos y se siente muy granuloso.

La evaluación consiste en recoger muestras de agua en recipientes apropiados para la sustancia que contienen concentraciones de metales y ver el índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua que proporciona una información de la calidad química general. Existen principales aniones inorgánicos disueltos como los carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos. Cationes como el amonio, sodio, calcio, magnesio y potasio. Los impactos ambientales están asociados a la elevada carga inorgánica las cuales a su vez son resultados de inadecuadas prácticas de manejo de la agricultura por parte de los agricultores (Barraa Guardado et al., 2014).

2.2. Métodos de Evaluación

2.2.1. Determinación del stock de carbono en sus diferentes compartimentos en el proyecto

Paisajes transformados de la Amazonia (SAL)

2.2.2. El Proyecto SAL es un proyecto binacional entre Perú y Colombia. En Perú los estudios se desarrollaron en el distrito de Yurimaguas donde su área de influencia fue de 720 km² (ver figura 8).

2.2.2.1. Diseño de muestra.

A. Tamaño

Se utilizará un tamaño estándar de 0.25 ha (50m x 50m) (Argote, Honorio, Castro, *et al.*, 2017)

B. Número

Se establecieron 40 parcelas, bajo un diseño de muestreo sistemático utilizando grillas cuadradas de 3 km. Estas parcelas contemplan Bosques Primarios, Bosques Secundarios, Pastos y Cultivos Permanentes (Argote, Honorio, Castrom, *et al.*, 2017).

C. Diseño de la parcela

La parcela de 50m x 50m (0,25 ha) fue dividida en 25 subcuadrantes de 10m x 10m.

- **En toda la parcela de 50m x 50m** fueron evaluados los individuos leñosos arbóreos vivos y muertos en pie con un DAP mayor o igual a 10cm.
- **En la sub-parcela de 20m x 20m**, ubicada en los subcuadrantes 8, 9, 13 y 12, fueron evaluados los individuos leñosos arbustivos vivos y muertos en pie con un DAP entre 2cm y 10cm.
- **En los transectos de 1m x 50m** fueron evaluados los troncos y ramas caídos sobre el suelo, separándolos en tres grados de descomposición (“1” representa el menos

descompuesto; “2”, el estado intermedio y “3”, el más descompuesto) y en dos categorías diamétricas ($DAP \geq 10\text{cm}$ y DAP entre 2cm y 10cm).

- **En las sub-parcelas de 1m x 1m** fue evaluada la biomasa aérea de individuos con menos de 2 cm de diámetro incluyendo herbáceas, gramíneas y otras especies. Además, se colectó toda la hojarasca contenida en esta área incluyendo todo lo que esté en proceso de descomposición como frutos, hojas, cáscaras y detritos. Ver figura 5.
- **En la sub-parcela de 30m x 30m** fue evaluado el contenido de carbono orgánico en el suelo, dentro de las parcelas temporales cuadradas de 50m x 50m, se estableció un diseño de cinco puntos, con una calicata central de 1m x 1m y cuatro laterales ubicados a 10 m del punto central en las direcciones 45° , 135° , 225° y 315° (ver figura 6). Las variables que se medirán el componente de suelos son la densidad aparente, humedad, curvas de retención, carbono orgánico y análisis fisicoquímico completo.

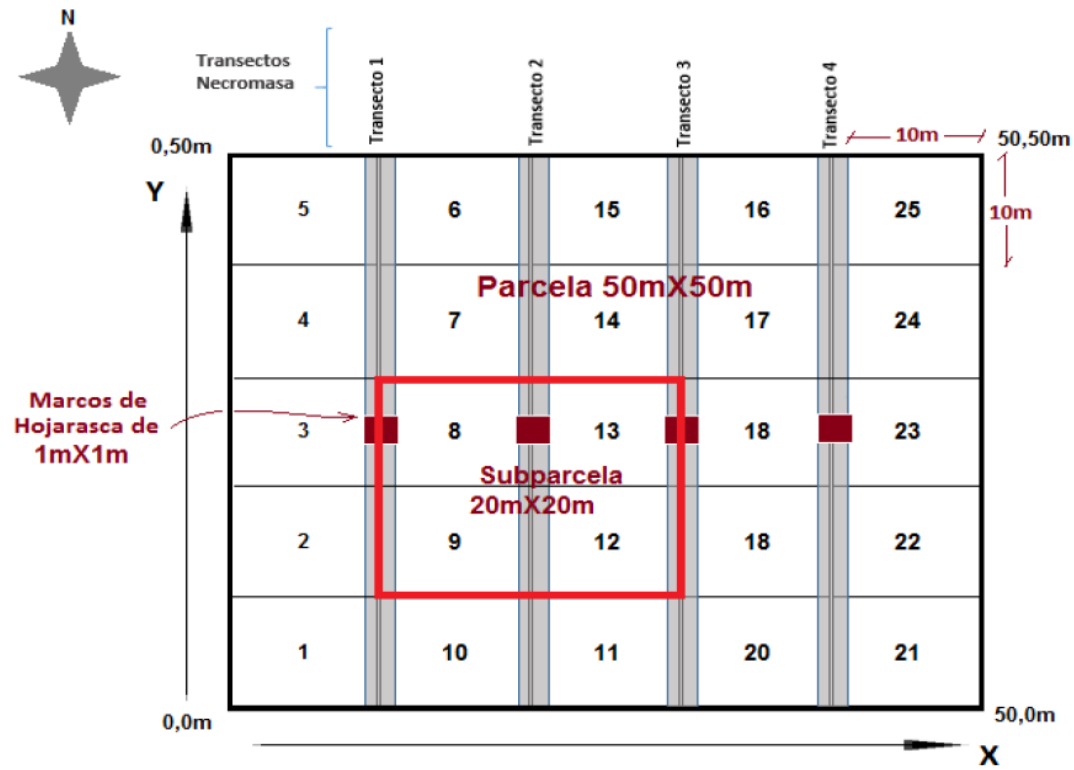


Figura 5. Diseño de la parcela de evaluación
Fuente. Tomado de (Argote, Honorio, Castrom, *et al.*, 2017)

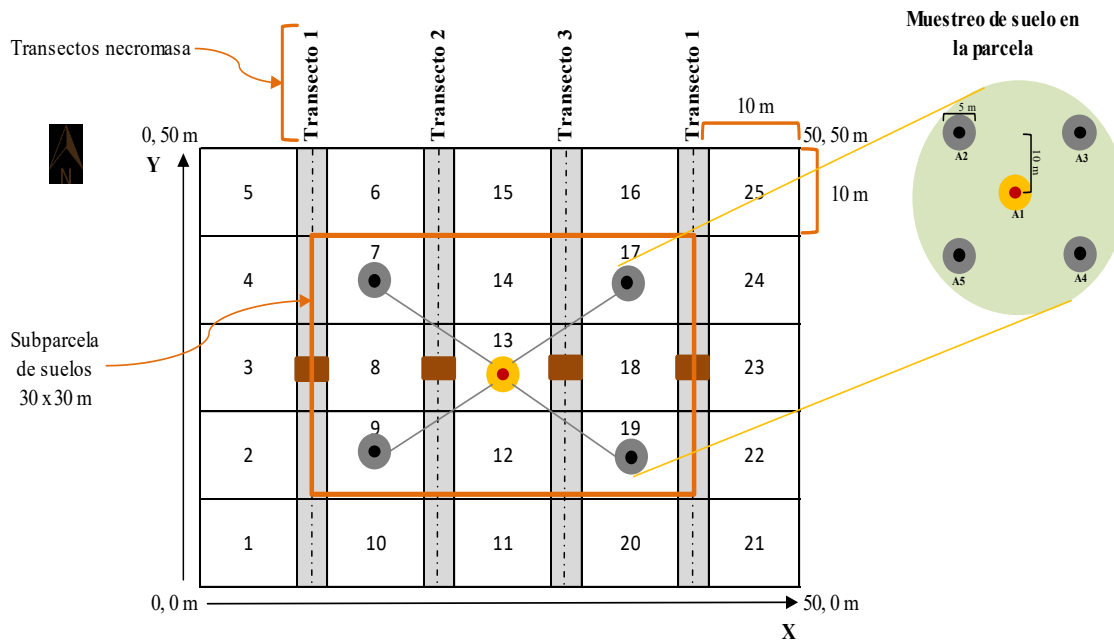


Figura 6. Muestreo del carbono del suelo
Fuente. Adaptado de (Argote, Honorio, Castrom, *et al.*, 2017)

Para determinar el carbono orgánico total (COT) se utilizaron el método de combustión seca. Método analítico que permite cuantificar el COT. Consiste en la combinación de la fumigación ácida con un sistema dinámico de combustión instantánea acoplado con un sistema de separación de cromatografía de gases (GC) y un sistema de detección de conductividad térmica (TCD). La fumigación ácida con vapor de HCl elimina el carbono inorgánico sin pérdida de carbono orgánico. El método analítico se basa en la oxidación completa e instantánea de la muestra por "combustión instantánea", que convierte todas las formas orgánicas e inorgánicas de carbono en dióxido de carbono (CO₂). El método tiene un límite de detección de aproximadamente 0,02% de carbono. Este método puede no es apropiado para suelos altamente calcáreos, lo cual no fue un limitante en las áreas de influencia del proyecto, ni en el presente trabajo de investigación.

2.2.2.2. Evaluación de carbono.

Tabla 2

Descripción de variables en la evaluación de stock de carbono

Compartimiento	Tamaño	Parámetro	Variables a medir
Biomasa aérea (árboles)	50m x 50m	Individuos leñosos con DAP \geq 10 cm	Diámetro a la altura del pecho (DAP, 1.3 m sobre el suelo) Altura total Densidad madera Det. Taxonómica DAP
Biomasa aérea (Arbustos)	20 m x 20 m	Individuos leñosos con DAP (\geq 2 a 10 cm DAP)	Altura total Densidad madera Determinación taxonómica Peso húmedo
Biomasa aérea (herbáceas: gramíneas y otras especies) Tamaño	1m x 1m	Individuos con DAP menor a 2cm	Peso seco
Madera muerta sobre el suelo (\geq 10cm DAP)	4 transectos lineales de 1mx50m (uno por faja)	Todos los troncos y ramas muertas caídas con DAP \geq 2cm	Diámetro Grado de descomposición Densidad de madera
Madera muerta en pie	20m x 20m		Diámetro

		Árboles muertos en pie (DAP \geq 10 cm)	Altura Grado de descomposición
Hojarasca	1m x 1m. Un marco en cada transecto de necromasa	Masa en descomposición: frutos, hojas, ramas, cáscaras y detritos	Peso húmedo Peso seco
Suelos	30m x 30m	Densidad Aparente, Carbono orgánico, física y química	Todas las variables- Análisis completo

Fuente. Adaptado de Argote et al. (2017)

2.2.2.3.Productos obtenidos.

El trabajo de campo se llevó a cabo durante el periodo de mayo del 2017 a marzo del 2018, la información recolectada fue recogida en una base de datos general que engloba los parámetros descritos anteriormente, esta será utilizada como insumo primario para la elaboración de este trabajo.

2.3. Instrumentos jurídicos de cambio climático

2.3.1. Protocolo de Kyoto.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático fue adoptada en la sede de las Naciones Unidas en New York, el 9 de mayo de 1992. La firma de este documento responde a una inquietud surgida en la década de los ochenta, cuando comenzaron a aportarse datos científicos que preveían un posible cambio climático permanente e irreversible a escala mundial, producto del aumento de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), como son el anhídrido carbónico (CO₂) y otros gases, provenientes principalmente de las actividades humanas relacionadas con la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural), la agricultura y el cambio de uso de la tierra (Vallecillo, 2005).

El objetivo de la creación del protocolo de Kyoto es la disminución de los GEI a un nivel tal que ya no existan interferencias antropogénicas significativas en el sistema climático (Matter, 2013).

El Protocolo de Kyoto abarca seis gases con efecto invernadero no cubiertos por el Protocolo de Montreal: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFCs), los perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF₆). Para los tres últimos, se determinó un año base de 1995, pues prácticamente no se producían en 1990; se trata de gases que se liberan en pequeñas cantidades, pero que no pueden ser absorbidos por los ecosistemas (no existen "sumideros" naturales) (Fronzizi, 2009).

El Protocolo de Kyoto está sujeto a negociaciones posteriores y busca: Formular programas nacionales y regionales para mejorar la calidad de los factores de emisión, aplicar y difundir tecnologías, cooperar en el plano internacional en la elaboración y la ejecución de programas de educación y capacitación, y por último proporcionar recursos financieros para cubrir la totalidad de los gastos convenidos que tengan los países en desarrollo al llevar adelante el cumplimiento de los compromisos del protocolo (Naciones Unidas, 1998).

De acuerdo con Fronzizi (2009) Este pacto también dictamina reglas de cumplimiento, establece penalidades para los países que no cumplan y tiene un sistema de intercambio de permisos que permite a los países más contaminantes comprar permisos de emisión a los países menos contaminantes o a invertir en tecnologías limpias.

2.4. Antecedentes

2.4.1. Contexto internacional.

Conforti *et al.* (2016) Desarrollo un estudio titulado “*Soil carbon stock in relation to soil properties and landscape position in a forest ecosystem of southern Italy (Calabria region)*” El

objetivo de este estudio fue investigar a escala de perfil la población de CPS en una zona boscosa del sur de Italia (Calabria) en relación con las propiedades del suelo y la posición del paisaje. Veintiocho perfiles de suelo fueron muestreados para cubrir todos los tipos de suelo y unidades fisiográficas del área de estudio y cada horizonte fue muestreado y caracterizado por sus propiedades fisicoquímicas (densidad aparente, textura, pH, SOC y nitrógeno). Además, se tomó muestras del horizonte orgánico (O) y se determinó la concentración de SOC. A continuación, se calculó el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (SOC) para la capa orgánica y los horizontes minerales. Las reservas del SOC para la capa orgánica variaron de 3 Mg/ha a 6 Mg/ha, mientras que para horizontes minerales osciló entre 20,2 Mg/ha y 310,9 mg/ha. Los resultados mostraron un comportamiento diferente de propiedades fisicoquímicas y almacenamiento de carbono para suelos de textura gruesa y suelos de textura más fina. Además, los tipos de suelo y las características topográficas como el gradiente de pendiente, la curvatura de pendiente y la posición del paisaje controlan el SOC almacenado en horizontes minerales a través de cambios en la variabilidad en profundidad de la concentración de SOC y el espesor del perfil.

Fissore *et al.* (2017) realizó una investigación titulada “*Influence of topography on soil organic carbon dynamics in a Southern California grassland*” el objetivo de estudio fue determinar la relación entre los atributos del terreno y la cantidad y las características espectroscópicas de SOC para un sistema de laderas en el sur de California. Trece núcleos de suelo fueron muestreados en posiciones representativas del paisaje con una historia de erosión intensa. Las pendientes moderadas (15%) combinadas con el perfil cóncavo y la curvatura del plan condujeron a una mayor acumulación de carbono orgánico del suelo SOC. El análisis espectroscópico de carbono orgánico extraíble en agua (WEOC) y SOC a granel muestra una

mayor presencia de aromáticos en sitios erosionados que en sitios de deposición, probablemente debido a la contribución de los materiales erosionados. Estas diferencias en SOC y WEOC son el resultado de los procesos a escala paisajística de la respiración SOC mediante la microflora del suelo.

Paz *et al.* (2016) desarrollo un trabajo titulado “Los tipos de suelo influyen en las predicciones de la recuperación del stock de carbono en los bosques secundarios tropicales” la finalidad de su trabajo fue investigar si las existencias de carbono orgánico del suelo (SOC) cambian con la edad forestal secundaria en dos tipos de suelo contrastantes (derivados de basalto o granito). Para tal fin se analizaron los parámetros del suelo y de la vegetación para determinar los mejores predictores de cambios en el stock del SOC en bosques secundarios. Las poblaciones de CPS de 24 bosques secundarios (hasta 69 años desde el abandono de las praderas) se compararon con las de pasturas activas y bosques maduros. Al término del trabajo se encontró que los suelos ricos en arcilla (originarios del material base de basalto) almacenan mayores cantidades de SOC, aunque estas reservas permanecen sin cambios a medida que maduran los bosques secundarios. Por el contrario, las reservas de COS en suelos de granito tienden a ser más bajas en bosques secundarios jóvenes y aumentan rápidamente a niveles comparables a los bosques maduros. Por otra parte, nuestro análisis indicó que el pH del suelo y la diversidad de plantas leñosas son fuertes candidatos como predictores de las variaciones de las reservas de SOC, sin embargo, parece que esto está dentro del contexto de tipo de suelo. A modo de recomendación este trabajo menciona que las predicciones de las poblaciones de SOC pueden mejorarse con la inclusión de información básica sobre la cubierta vegetal y el tipo de suelo (especialmente la textura del suelo).

Villegas (2014) se interesó por la “variación del carbono orgánico en suelos del altiplano potosino oeste” en su trabajo se planteó estimar los contenidos de carbono orgánico por tres métodos (ignición, Walkley y Black y autoanalizador) y carbono total, en suelos del Altiplano Potosino Oeste para varias topoformas y tipos de vegetación. Asimismo, determinar la relación del carbono con las propiedades físicas y químicas del suelo, en ecuaciones de predicción. Para cumplir con su objeto de estudio realizó un muestreo 41 sitios, donde se consideró: topoforma (planicie lacustre, planicie aluvial, loma, ladera y bajío), vegetación (zacatal, zacatal salino, zacatal- gobernadora, nopalera, gobernadora, gobernadora-izotal y barbecho). Se tomaron muestras del primer horizonte de cada sitio, donde la profundidad varió de 15 a 35 cm. Las muestras de suelo se secaron al aire y se tamizaron en malla número 100, para el análisis de carbono orgánico por autoanalizador y en mufla. Para las determinaciones de pH (1:2) (CaCl_2), conductividad eléctrica (dS/m (1:2) (H_2O)), densidad aparente (g/cm^3) y carbonatos (%), las muestras se tamizaron en malla 2 mm. Finalmente logro determinar que los contenidos de carbono (% y T/ha) en suelo estimados por tres métodos varían. Las concentraciones medias de carbono orgánico, más altas ($p < 0.05$) fueron obtenidos por el método de ignición 5.52%, seguido por el autoanalizador (TOC) 1.42% y el método de oxidación (Walkley y Black) 1.40%. Estos dos últimos no fueron diferentes ($p > 0.05$). Por tanto, la concentración (%) de carbono orgánico varía con la vegetación, específicamente el método Walkley y Black (COS% oxi) fue más sensible, en comparación con los otros métodos. Además, las concentraciones (%) y las reservas (T/ha) de carbono, no se afectaron por la topoforma. La única propiedad del suelo que no se relacionó con los contenidos de COS y C total, fue la densidad aparente; aunque esto debe tomarse con reserva, ya que con un mayor número de muestras se altera la correlación. Los valores medios obtenidos por los métodos autoanalizador (COS% TOC) y Walkley y Black

(COS% oxi) fueron similares, aunque la comparación 1:1 entre las determinaciones se obtuvo una baja correlación ($r^2=0.46$). Se pueden usar ambos métodos (TOC y oxi), para estimar el promedio de CO por tipo vegetación y topografía. El método de ignición sobrestimó los contenidos de CO, debido a los contenidos de carbonatos en el suelo.

Medrano, Chupan, & Vila (2012) desarrolló un estudio titulado “Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha” con el objetivo de evaluar la cantidad de carbono que almacenan las especies predominantes de flora del lago Chinchaycocha. La investigación fue de tipo básica, de corte transversal y con un nivel exploratorio-comparativo. El estudio se hizo en tres ecosistemas dentro del humedal: bofedal, pajonal y totoral, las áreas fueron identificadas con ayuda de imágenes satelitales Landsat. El procedimiento estuvo basado en la recolección de muestras divididas en: biomasa aérea, biomasa radicular y muestras de suelo, hallándose el contenido de carbono de cada una. En el totoral se obtuvo que *Schoenoplectus californicus* Var. *Tatora* almacena 30,65 tC/ha y *juncos arcticus* Var. *Andicola* 8,70 tC/ha. En el pajonal *Deyeuxia recta* Kunth almacena 7,02 tC/ha en su biomasa aérea y 8,41 tC/ha en su biomasa radicular. En el bofedal: *plántalo tubulosa* almacena 0,81 tC/ha en su biomasa aérea y 1,88 t C/ha en su biomasa radicular, y *Limosella australis* almacena 0,22 tC/ha en su biomasa aérea y 0,38 tC/ha en su biomasa radicular. En el almacenamiento de carbono en suelos se determinó 774,76 tC/ha en pajonales y 684,58 tC/ha en bofedales. Se concluye que en el lago Chinchaycocha el ecosistema que brinda mayor almacenamiento de carbono es el totoral, seguido por el pajonal y en menor proporción la bofedal. Así mismo los suelos son considerados los mayores sumideros de carbono.

Yohannes & Soromessa (2016) desarrollo su estudio en Etiopía uno de los países tropicales que posee importantes recursos forestales. Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar la variación de la cantidad de carbono a lo largo de la pendiente y el gradiente de aspecto de la pendiente en el bosque de Gedo. Los datos se recopilaron de un gráfico de 10 m × 20 m a lo largo del transecto en una parte de bosque estratificada sistemáticamente. La reserva de carbono media total más grande ($570.67 \pm 40 \text{ ton ha}^{-1}$) se encontró en la clase de pendiente más baja y la reserva de carbono media total más baja ($421.2 \pm 56.2 \text{ ton ha}^{-1}$) se encontró en la clase de pendiente más alta. La biomasa de la madera muerta solo se encontró en la clase de pendiente inferior. La reserva de carbono total media más alta se calculó en el aspecto de la pendiente este ($778.13 \pm 75.93 \text{ toneladas ha}^{-1}$) y la reserva de carbono total media más baja se calculó en el aspecto de la pendiente sudoeste ($358.58 \pm 73.45 \text{ toneladas ha}^{-1}$). La pendiente tiene un efecto significativo en el carbono de la biomasa de la hojarasca. El aspecto de la pendiente tiene un efecto significativo en la biomasa aérea y en el carbono de la biomasa subterránea, el carbono orgánico del suelo y la densidad total de carbono. Sobre la base del resultado general, se concluye que la reserva de carbono en un ecosistema forestal está determinada por el aspecto de la pendiente y el gradiente de la pendiente.

2.4.2. Contexto nacional.

Cruzado (2011) desarrolló un estudio titulado “Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de los bosques alto-andinos de la concesión para conservación alto Huayabamba - San Martín”, con el objetivo de determinar las reservas de carbono en la biomasa aérea de los bosques altoandinos de la Concesión para Conservación Alto Huayabamba - San Martín (CCAH). Se establecieron cuatro parcelas rectangulares de 0,5 ha, con sub-parcelas anidadas para realizar el inventario y registro dasométrico de la vegetación arbórea, sotobosque

y herbáceas; además se evaluó la madera muerta y hojarasca (Necromasa). Se realizó una estratificación de la cobertura boscosa de acuerdo a los tipos de paisaje determinados por la fisiografía del terreno tomando como base la clasificación del Índice de Posición Topográfica. La estimación de biomasa aérea se realizó mediante el empleo de ecuaciones alométricas. En promedio, se estima que la biomasa aérea almacenada en los bosques alto-andinos de la CCAH es $167,11 \pm 25,8$ mg/ha, donde la biomasa arbórea viva, que incluye el componente arbóreo ($DAP \geq 10$ cm), sotobosque (entre 2,5 cm y 10 cm), herbáceas (entre 1cm y 2,5 cm) y el dosel representa el 83,5 % y la necromasa (donde se incluye la necromasa mayor y hojarasca), representa el 16,5 % del total. Existiendo una variación que oscila entre 85,49 mg/ha y 248,67 mg/ha, con un coeficiente de variación de 30,6 %.

Chanchari (2014) desarrollo su investigación titulada “Almacenamiento de carbono en relación con la topografía y edad de los sistemas agroforestales carretera Iquitos-Nauta, Perú, 2012” con el objetivo de determinar la cantidad de biomasa y carbono en el fuste de los arboles diferenciado por su posición topográfica y edad de los sistemas agroforestales de la carretera Iquitos - Nauta. Así como para determinar la cantidad de carbono en la necromasa. Se tuvo en cuenta como población a todas las especies forestales y frutales instaladas en los sistemas agroforestales de la carretera Iquitos-Nauta kilómetros 21, de dos edades (4 y 6 años). En el análisis estadístico, calcularon los estadígrafos correspondientes a la media, desviación estándar, coeficiente de variación; el carbono de los fustes por posición topográfica y por edad, todo esto para probar la hipótesis de que existe relación de la captación de carbono aéreo con la posición topográfica y con la edad de los sistemas agroforestales de la carretera Iquitos – Nauta. En sus resultados se pudo observar que, el sistema agroforestal acumuló 29, 53 mg/ha de biomasa y 14,76 mg/ha a los 4 años y 67,39 mg/ha de biomasa y 33,69 Mg/ha de carbono a los 6 años de

la plantación. La biomasa de fustes en la meseta fue 0,11 mg/ha y en la pendiente 0,09 mg/ha. Además, en función de la posición topográfica fue 7,34 mg/ha en la meseta y en la pendiente fue 6,76 Mg/ha.

Manrique & Puerta (2015) investigó sobre el “Carbono almacenado en la biomasa aérea en plantaciones de palma aceitera (*Elaeis Guineensis* Jacq.) En shambillo-aguaytia” en su trabajo estimaron el carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de palma aceitera y así generar información técnica científica para la elaboración de proyectos de comercialización de créditos de carbono. Para lograr su objeto de estudio se evaluaron 5 plantaciones de edades diferentes en el ámbito del Valle de Shambillo en la región Ucayali, en plantaciones de palma aceitera con años de establecimiento 6, 9, 11, 12 y 13. Asimismo se determinó la ecuación alométrica (modelo de biomasa): $Biomasa = 0.0428 \text{ Edad}^{0.6749} \text{ Altura total}^{0.5891}$, con el fin de estimar la biomasa específica para la especie de palma aceitera en función a la información levantada mediante inventarios en el Valle de Shambillo, dicha ecuación fue elaborada en base a 15 palmeras de diferentes zonas con similares condiciones ambientales. Sus resultados mostraron que la plantación de 13 años de edad presentó una mayor acumulación de carbono almacenado en la biomasa aérea. Los flujos de carbono para cada una de las plantaciones fluctuaron desde 1.07 a 5.42 tC/ha/año. Este sistema resultó el más rentable para esta actividad con un ingreso anual aproximado de US\$ 43.03 dólares americanos, por tCO₂/ha/año

Capítulo III

Materiales y métodos

3.1. Descripción del área de estudio

La presente investigación se desarrolló dentro del área de influencia del proyecto denominado “Paisajes Sostenibles para la Amazonia (SAL, por sus siglas en inglés)”; el cual se encuentra localizado en las coordenadas WGS 84 UTM Zona 18 S entre los 344992 - 381967 este y los 9358712 - 9325624 norte en el departamento de Loreto, provincia de Alto Amazonas, distrito de Yurimaguas, ecorregión Amazonía. El área presenta una temperatura máxima promedio de 31° C y mínima de 21° C (Caritas del Perú, 2012). En la actualidad el distrito presenta una población de 59 500 habitantes según el censo 2017.

De acuerdo con la Agencia Agraria, Alto Amazonas dispone de un gran número de cultivos tanto permanentes como estacionarios siendo los más importantes el palmito, la yuca, maíz, arroz y en los últimos años el cacao. Cuenta con tres vías de transporte: aérea, acuática y terrestre. El aeropuerto Moisés Benzaquen Rengifo que realiza vuelos a Iquitos y Tarapoto. Además, Yurimaguas cuenta con un terminal portuario inaugurado el 2016 siendo este un punto de intercambio estratégico de productos entre ciudades de la costa, sierra y selva (Piura, Lambayeque, Cajamarca, Amazonas, San Martín y Loreto) con localidades de Brasil, Ecuador y Colombia (Andina, 2016) y la carreta a Tarapoto que es otra vía de acceso. A continuación, se presenta un mapa en el que se detalla el área de influencia (ver figura 8), además de la cobertura boscosa en el área de influencia (ver figura 7).

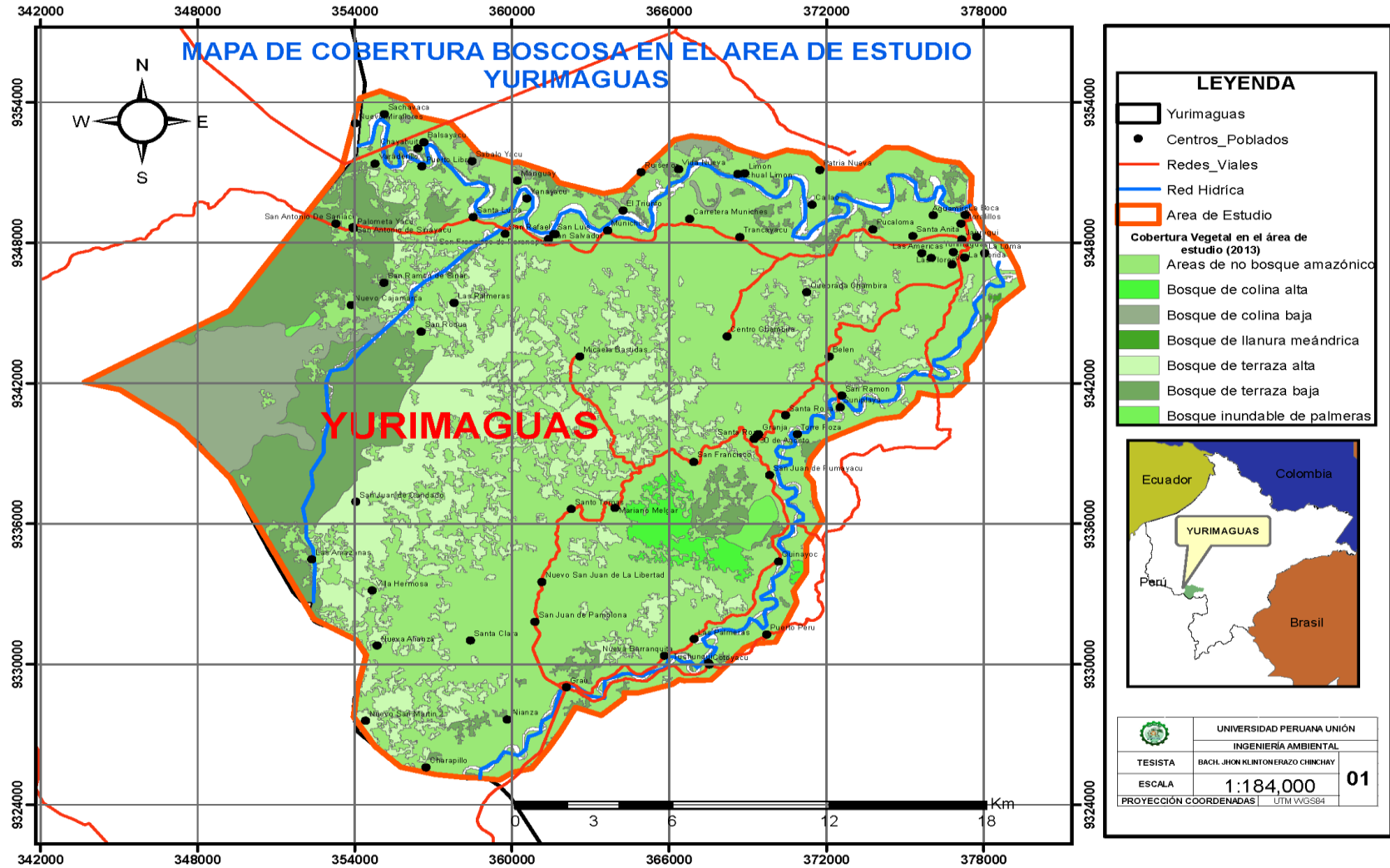


Figura 7. Cobertura boscosa de área de influencia del proyecto SAL.
Fuente. Elaboración propia, 2018

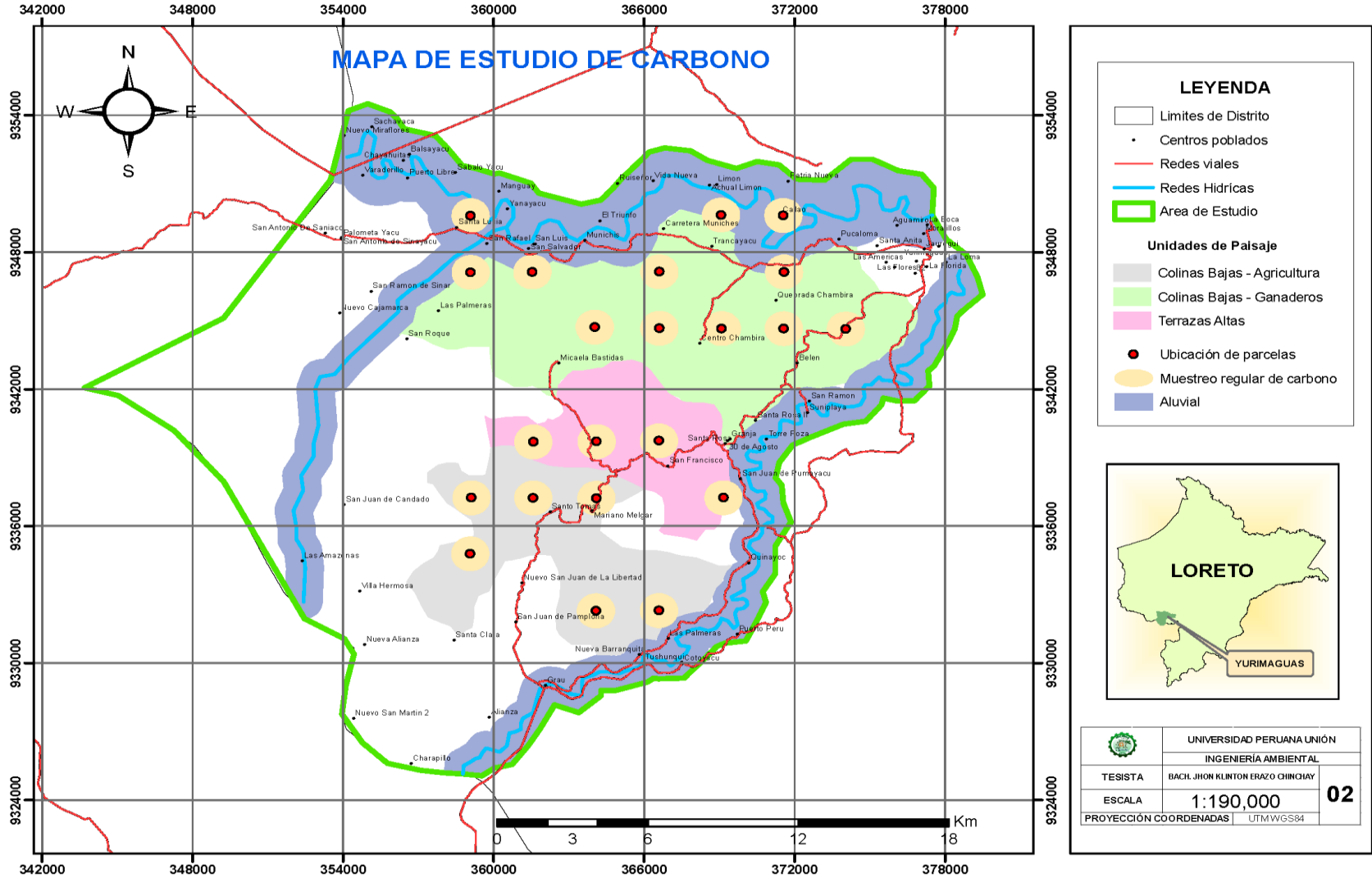


Figura 8. Distribuci3n de la zona de influencia del proyecto SAL.
 Fuente. Modificado de (Argote, Honorio, Castrom, *et al.*, 2017)

3.2. Población, muestra

3.2.1. Población.

En este estudio la población estuvo comprendida por la pendiente y textura del suelo y su influencia en el stock de carbono en 720 ha de superficie correspondiente al área de influencia directa pertenecientes al proyecto denominado “Paisajes Sostenibles para la Amazonia (SAL, por sus siglas en inglés)”.

3.2.2. Muestra

La muestra estuvo representada por 22 parcelas teniendo en cuenta el número de compartimientos preestablecidos, estas parcelas se tomaron del área de influencia del proyecto SAL teniendo en cuenta la clasificación de cobertura establecido por el mismo proyecto. La muestra se determinó mediante un muestreo probabilístico por conveniencia (Yepes *et al.*, 2011).

Según IPCC (2007) y GOF-C-GOLD (2010), se establece el criterio para determinar los compartimientos que conformarán la muestra para proyectos según su envergadura tal como se explica en la tabla 3.

Tamaño, forma y número de unidades de muestreo

El tamaño para las parcelas debe reflejar un equilibrio entre el error deseado y el costo de muestreo (Yepes *et al.*, 2011). Con distribución adecuada según la envergadura del proyecto (proyectos a escala sub-regional), se recomienda emplear parcelas de 0,25 Ha (50 m x 50 m) por considerarse el tamaño más apropiado para alcanzar el error requerido en las estimaciones de carbono [$\pm 10\%$ con 95% de confianza] (Biocarbonfund, 2008 y Rüginitz *et al.*, 2008). Ver Tabla 4.

Tabla 3

Tamaño de los compartimientos que conforman a la muestra

Compartimiento	Tamaño (m)
Biomasa aérea (árboles)	50 x 50
Biomasa aérea (arbustos)	20 x 20
Biomasa aérea (herbáceas)	1 x 1
Madera muerta sobre el suelo (≥ 10 DAP)	transectos lineales (1x50) /por faja (Tot. 4 transectos)
Madera muerta en pie	20 x 20
Hojarasca	1 x 1 (marco para necro-masa)
Suelos	30 x 30

Fuente: Modificado de (Argote et al., 2017).

Para calcular el número de unidades de muestreo (n) que a escala sub-regional nos permite alcanzar un error deseado de $\pm 10\%$, es necesario contar con información previa colectada en el área de estudio o seguir la recomendación establecida por (Yepes et al., 2011). Así, para un tamaño de muestreo seleccionado de 0.25 Ha, con un error de $\pm 10\%$ a una escala sub-regional, se requiere un mínimo de 37 parcelas por área de estudio. Ver tabla 4.

Tabla 4

Tamaño de parcela y número de unidades muestrales para alcanzar un error de ± 10 con 95% de intervalo de confianza en las estimaciones de carbono.

Escala	Área de la parcela (Ha)			
	0.04	0.063	0.25	1
Sub-regional	150	88	37	29
Local bosque alto-andino	39	24	9	4
Local bosque húmedo tropical no estacional	58	39	20	11
Local bosque húmedo tropical estacional	200	150	27	12

Fuente: Modificado de (Yepes et al., 2011)

Resumen del muestreo

- a) Número de parcelas consideradas por el proyecto: 40 Unidades.
- b) Número de parcelas obtenidas estadísticamente: 37 Unidades.
- c) Número de parcelas consideradas según costo - beneficio: 22 Unidades.

3.3. Diseño de investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, utilizó la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico. Se realizó con un diseño no experimental de corte transversal debido a la ausencia de manipulación de las variables de estudio y los instrumentos de medición se aplicaron en un solo momento. De tipo explicativo, ya que se buscó explicar la interacción de las variables independientes con la dependiente (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

Según Behar (2008) por propósito o finalidad que se persigue, la presente investigación fue básica, los resultados obtenidos servirán como fundamento para la implementación de planes que permitan el mantenimiento o recuperación de las áreas perdidas, por las instituciones correspondientes e involucradas. Por la clase de medios para obtener los datos, esta investigación es de campo ya que se apoya en otras investigaciones parecidas a la desarrollada.

3.4. Formulación de la hipótesis

H1₀: La pendiente del suelo no influyen en el stock de carbono de coberturas boscosas en el distrito de Yurimaguas.

H2₀: La textura del suelo no influyen en el stock de carbono de coberturas boscosas en el distrito de Yurimaguas

H1₁: La pendiente del suelo influyen en el stock de carbono de coberturas boscosas en el distrito de Yurimaguas.

H2₁: La textura del suelo influyen en el stock de carbono de coberturas boscosas en el distrito de Yurimaguas.

3.5. Identificación de variables

Las variables que se estudiaron en la presente investigación son:

3.5.1. Variable independiente

- **Pendiente del suelo.** Esta variable se midió con el clinómetro, mediante la toma de datos en campo y su respectivo registro en los formatos de campo y su posterior calculo en gabinete.
- **Textura del suelo.** Fue parte del análisis de suelos, el mismo que se realizó en el laboratorio analítico de suelos de la Universidad Agraria La Molina mediante el método de Bouyoucus.

3.5.2. Variable dependiente.

- **Stock de carbono.** Esta variable se midió mediante el uso de ecuaciones alométricas aplicadas a la biomasa, y para el carbono del suelo se realizó por el método de combustión seca.

3.5.3. Variable de caracterización

- **Cobertura boscosa.** La clasificación de las coberturas boscosas está en función a lo establecido por el proyecto Paisajes Sostenibles para la Amazonía (SAL por sus siglas en ingles), ya que el presente estudio de investigación se realizó siguiendo la metodología del proyecto en mención. El proyecto SAL clasifica cuatro coberturas de tipo boscosa: bosque denso (BD), bosque secundario (BS), vegetación arbórea (VA) y vegetación boscosa (VB).

3.6. Instrumentos de Recolección de Datos

En la presente investigación se utilizó los siguientes instrumentos para recolección de datos:

- **GPS.** De marca GARMIN 64S, Receptor GPS y GLONASS de alta sensibilidad con antena Cuadrifilar Helix. Se utilizó para la identificación de las parcelas y su georreferenciación.
- **Brújula.** Para la instalación de la parcela se hará uso de una brújula con mira ocular de marca SUUNTO "KB14" de alta precisión 0,5°, resistente al agua (uso marino). Óptica ajustable. (metal), graduación 360°, divisiones 1°, dimensiones (75x55x16 mm), sin corrección de declinación.
- **Vernier.** Calibrador vernier de acero inoxidable 4"/100 MM. Su utilización fue en la medición de madera muerta en el suelo y árboles con un DAP entre 2 cm a 10 cm
- **Cinta diamétrica.** Para la medición de los DAP se utilizó este instrumento de marca BEN MEADOWS, con cubierta de fibra de vidrio, 16mm de ancho, Cinta 5m/160cm, con botón.
- **Wincha.** de marca STANLEY (30 m y 50 m). Para la instalación y delimitación de la parcela.
- **Clinómetro.** De marca SUUNTO PM-5 /360 PC. Se utilizó en la medición de las alturas de los árboles, por un personal capacitado por un periodo de 20 días en la Universidad Nacional la Molina en el uso del instrumento de medición.

3.7. Técnicas de recolección de datos y validación de instrumentos

3.7.1. Técnicas de recolección.

En la primera parte se utilizó la técnica documental que consiste en obtener datos a partir de registros, se realizó en la revisión bibliográfica tanto de conceptos básicos, como de estudios afines al mismo. Mientras que en la segunda parte del estudio se utilizó técnicas observacionales,

ya que se observó en las reservas de carbono en relación a la topografía y las propiedades físicas del suelo (Cerde, 2011).

3.7.2. Criterios de Validez y Confiabilidad de los instrumentos.

Los instrumentos utilizados en el presente trabajo fueron de condición nueva adquiridos en el año 2017 y para verificar la eficacia de las mediciones, se adjuntó la ficha técnica de los instrumentos.

- Ficha técnica del GPS.
- Ficha técnica de la brújula con mira ocular.
- Ficha técnica del Clinómetro

3.8. Plan de procesamiento de datos

3.8.1. Criterios de causalidad.

Para analizar la influencia de la pendiente y textura del suelo en el stock de carbono, se utilizó los criterios establecidos por (Mattar, 2012). Este autor considera tres criterios de análisis de la investigación explicativa los cuales son:

- **Variación conjunta.**

Consiste en establecer una hipótesis en la cual existe una variación conjunta entre una posible causa (pendiente y textura del suelo) y un efecto (stock de carbono). La relación conjunta para cada par de variables se medirá mediante el coeficiente de correlación de Pearson y Spearman, previo análisis de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

- **Orden de ocurrencia de la variable en el tiempo.**

La causa (pendiente y textura del suelo), debe anteceder al efecto (stock de carbono), para que se pueda establecer relación entre las dos variables.

- **Control de variables.**

Para esta etapa no existe una regla en la aplicación de este criterio. El investigador debe usar su experiencia para controlar las variables que puedan interferir. Los factores a controlar son: tipo de cobertura, temperatura que en esta zona tropical fluctúa entre 22 y 26 °C (Paredes, 2013), la altitud promedio varía entre 140 y 160 msnm para el área de estudio (Argote, *et al.*, 2017).

3.8.2. Procesamiento estadístico

Para el análisis se utilizaron los siguientes procedimientos estadísticos.

- **r de Pearson.** También conocida como coeficiente producto-momento, es una prueba estadística que permite analizar una relación entre dos variables, medidas en un nivel por intervalos o de razón (Hernández *et al.*, 2014). Se cuantificó el coeficiente de correlación entre las variables pendiente del terreno y stock de carbono.
- **rho de Spearman.** Son medidas de correlación para variables en un nivel de medición ordinal; los individuos o unidades de la muestra pueden ordenarse por rangos (Hernández *et al.*, 2014).

3.9. Metodología de la investigación

El desarrollo del presente proyecto de investigación se dividió en cuatro etapas, las mismas que se detallan a continuación:

3.9.1. Etapa de Planificación.

3.9.1.1. Elaboración cartográfica y formatos para la recolección de datos.

- Elaboración del mapa correspondiente al área de influencia del proyecto SAL (Ver figura 8).
- Elaboración del mapa de identificación de cobertura boscosa del proyecto SAL (Ver figura 7).

- Elaboración del mapa de identificación de los puntos de muestreo, puntos de las unidades de muestreo con un bafer de 1 km (Ver figura 8).
- Elaboración del formato para recolección de datos de campo (Ver anexo 4)

3.9.1.2.Trámites administrativos.

- Coordinar con las instituciones involucradas como la Universidad Peruana Unión, el proyecto "Paisajes Sostenibles para la Amazonía" y el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP).
- Coordinar la adquisición de equipos, instrumentos y materiales de interés para el desarrollo del proyecto.

3.9.2.Etapa de campo

La estimación de contenido de carbono almacenado en los bosques de estudio se realizó siguiendo la metodología presentada por Honorio C. & Baker (2010) en el "Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques Amazónicos" y Argote *et al.* (2017) "Manual para la medición de stocks de carbono y biodiversidad en paisajes transformados de la Amazonía"

3.9.2.1.Reconocimiento y ubicación del área de estudio.

Teniendo como base el proyecto Paisajes sostenibles para la Amazonia (SAL), se seleccionaron las parcelas a conveniencia del investigador siguiendo la metodología empleada por el proyecto. Mediante la utilización de mapas tanto de las coberturas boscosas y las parcelas en el área de influencia.

3.9.2.2.Diseño y delimitación de las parcelas.

- El diseño de la parcela se realizó según la metodología establecida por (Argote, Honorio, Castrom, *et al.*, 2017) y (Honorio C. & Baker 2010)

- El tamaño de la unidad de muestreo para cada parcela se estableció 0.25 hectáreas. Esto permitió una caracterización eficiente y detallada de la composición florística, dispersión de las especies y de los parámetros volumétricos, biomasa de la vegetación además del posterior análisis de suelos de las 25 parcelas.
- Para el presente estudio, se utilizaron parcelas rectangulares de 50 m de ancho por 50 m de largo, dividida en 25 sub-parcelas o unidades de registro de 10 m x 10 m. El punto de inicio de las parcelas y la dirección (azimut) de esta se realiza de preferencia con el eje Y que debe apuntar en dirección norte (azimut 0°) (Ver figura 9).
- Se delimitó los cuadrantes que conforman la parcela, para tal fin se establecerán líneas perpendiculares (en los ejes X e Y) y luego se delimitó los cuadrantes con medida de 10 x 10 m, además de 4 transectos de 1 m de ancho por 50 m de largo (Ver figura 9).
- Una vez establecida la parcela se georreferenciarán los extremos haciendo uso un GPS de alta precisión (Ver figura 9).

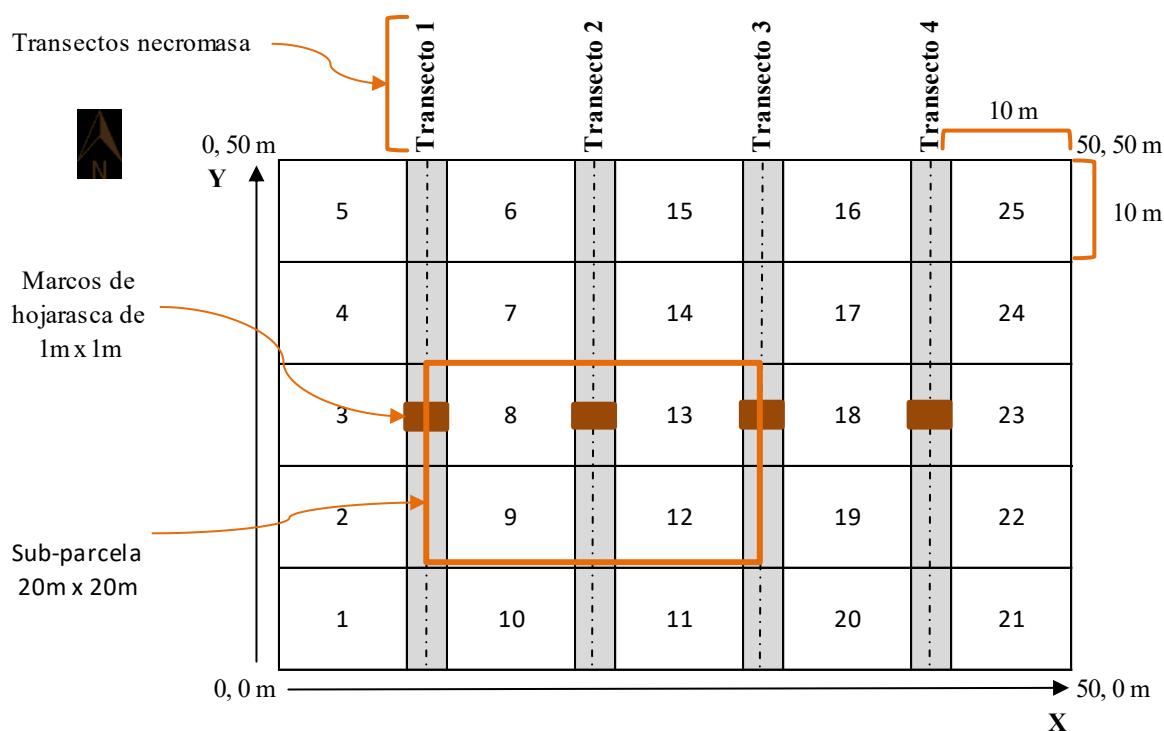


Figura 9. Esquema de la distribución de la parcela de 50m x 50m.

Fuente. Modificado de Argote *et al.* (2017)

3.9.2.3. Plaqueo y codificación de los árboles en parcela y subparcela.

- En la parcela de 50 x 50 m, se marcaron y enumeraron los árboles que presenten un DAP ≥ 10 cm iniciando en el cuadrante 1 y siguiendo la dirección según la figura 9.
- En la subparcela de 20 x 20 m, se marcaron a los árboles con un DAP de 2 a 10 cm; iniciando en el cuadrante 8 y siguiendo la dirección según la figura 9.
- Se tomó nota de las características del área de estudio (según las variables a medir en cada compartimento), ver tabla 3.

3.9.2.4. Evaluación de las variables.

a. Medición de la textura

- Esta variable se midió en el laboratorio de análisis de Suelos de la Universidad Agraria La Molina.

b. Medición de la pendiente

- Después de la instalación de la parcela, se procedió a medir su pendiente mediante el uso del clinómetro, tomando un punto cada 10 m (cada esquina de cada sub-cuadrante) (Ver figura 10).
- Se corrigió la distancia cuando se presentó zonas con pendientes medias o altas, para tener como área proyectada un total 0.25 ha, aplicando la siguiente formula (Argote, Honorio, Castrom, *et al.*, 2017):

$$d = \frac{10}{\cos \theta}, \theta \text{ es la inclinación de la pendiente en grados. (01)}$$

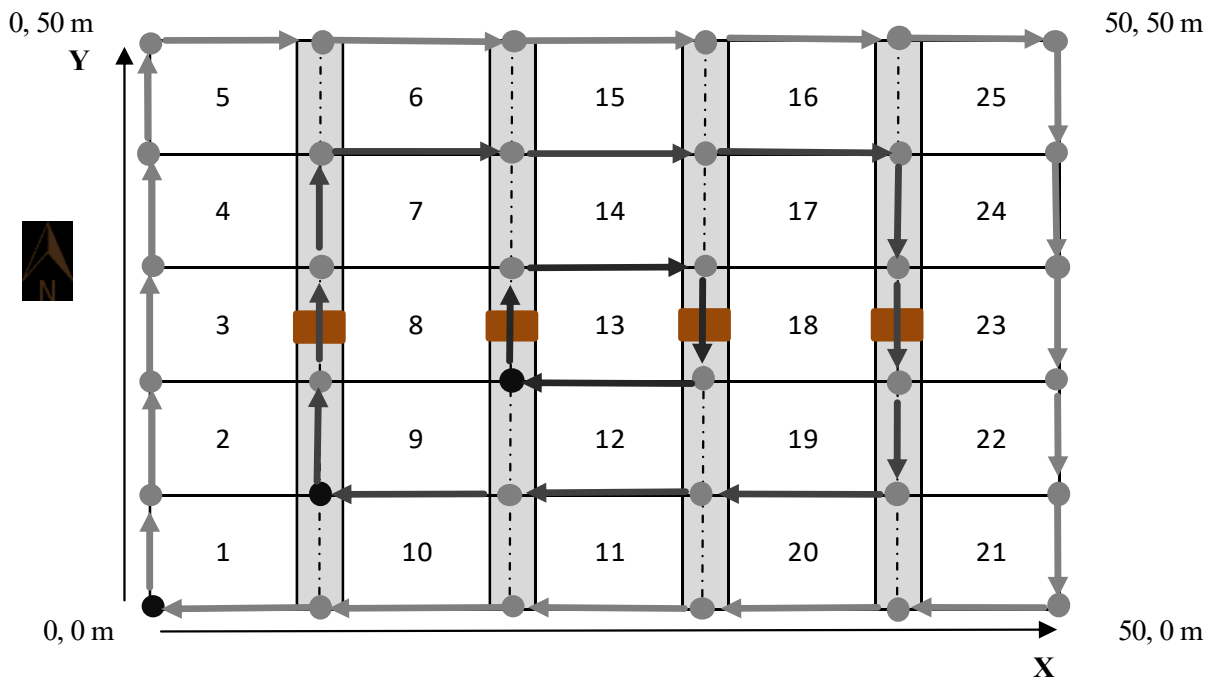


Figura 10. Esquema correspondiente a los puntos de medición de pendiente.
 Fuente. Modificado de Argote et al. (2017).
 Nota. Los puntos negros representan el inicio y el final de la georreferenciación para la determinación de la pendiente.

c. Muestreo de Biomasa aérea.

Teniendo en cuenta la investigación realizado por Pillaca & Flores (2014) el contenido de Carbono es igual al 50% de la biomasa total. Es por ello que a continuación, se especifica lo evaluado para determinar la biomasa presente en cada parcela evaluada.

- **Medición de diámetros.** Se utilizó cinta diamétrica en individuos con $DAP \geq 10$ cm y vernier en individuos con DAP entre 2 a 10 cm. Para la altura de medición sobre el individuo fue a 1,3 metros de altura del suelo.
 - Se retiró las lianas, plantas estranguladoras y raíces de epifitas del tronco a medir, permitiendo que la cinta diamétrica pase por debajo de éstas.
 - En la parcela de 50 x 50 m se midieron las circunferencias de los árboles con un DAP ≥ 10 cm, mientras que en la parcela de 20 x 20 se evaluó los individuos con un DAP entre 2 a 10 cm presentes en toda la subparcela.
 - Si los tallos están quebrados por debajo de 1,3 m, pero presenta rebrotes que cumplen con el DAP mínimo requerido a 1,3 m se deberán incluir con una notación en el formulario de campo.
 - Para aquellos individuos que presentaban raíces superficiales como contrafuertes, bambas o aletones, raíces fúlcreas o zancos, la medición se realizó 50 cm por encima de la última raíz.
 - Para estandarizar las medidas se utilizó un protocolo para medir el diámetro en los casos raros. Además, para verificar la precisión en las mediciones se realizó una medición control, al 20 % de los árboles evaluados, escogidos al azar.
- **Altura total del árbol.** Este compartimiento fue medido usando el clinómetro y una vara extensible.

- Para iniciar la medición de la altura el observador se colocó a una distancia tal que pueda ver (o estimar) la altura deseada y la base del árbol, seguido se tomó la distancia horizontal del observador al árbol
- Haciendo uso del clinómetro, se procedió a la determinación de la altura de los individuos presentes en la parcela de 50 x 50 m con $DAP \geq 10$ cm, mientras que para los árboles con DAP entre 2 a 10 cm en la subparcela de 20 x 20 m se utilizó la vara extensible (de ser posible) y/o el vernier (Ver figura 11).
- Para la medición de la altura (en el caso de las palmeras se toma también la altura de fuste o punto de inicio de desarrollo de las hojas o peciolos).

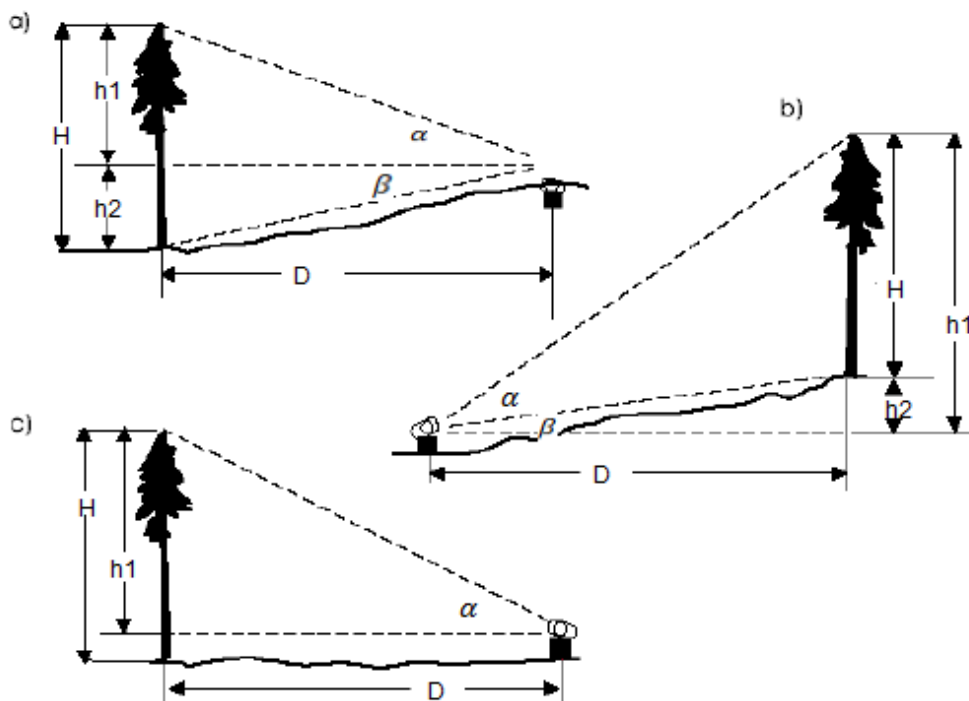


Figura 11. Medición de las alturas de los árboles, mediante el uso del clinómetro.

Fuente: Tomado de (Ramirez, 2013) apoyado en (User guide Sunnto, 2012)

Nota. a) Medición de pendiente añadiendo los resultados por encima y debajo de la medición horizontal $H = (\tan \alpha + \tan \beta)D$; b) sustrayendo del total la distancia entre la base del árbol y la línea horizontal $H = (\tan \alpha - \tan \beta)D$ y c) medición en terreno llano $H = (\tan \alpha + h2)D$.

- **Ecuaciones alométricas.** Para determinar el stock de carbono en el compartimento de la biomasa aérea se utilizó ecuaciones alométricas. En estas ecuaciones como variables independientes se utilizan el DAP y/o la altura total (H) y la densidad de madera (ρ). (Ver tabla 6).

Tabla 5

Ecuaciones alométricas usadas en el proyecto de investigación para la estimación de biomasa aérea en los bosques primarios y secundarios.

Individuo	Ecuación alométrica	Variable independiente	Rango de DAP y altura	Lugar de estudio	Cita
Árboles en Bosque húmedo tropical	$BA = 0.0673 \times (\rho \times DAP^2 \times H)^{0.976}$	DAP (1,3 m) y altura total y densidad	$DAP \geq 5 \text{ cm}$	África tropical incluido Madagascar, Latinoamérica, Sudeste de Asia y Australia.	Chave et al., (2014) citado por Argote et al. (2017)
Palmeras amazónicas BA=0,028	$BA^{0.25} = 0,55512 * 0,37(DAP^2 \times H_{\text{fuste}})^{0.25}$	DAP (1,3 m) y altura de fuste.	$\geq 10 \text{ cm}$	Loreto y Madre de Dios, Perú.	Goodman et al. (2013)
Biomasa en raíces	$BR = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln BA)$	Biomasa Aérea	-	Bosques tropicales, templados y boreales	(Cairns et al. 1997)

Fuente: Modificado de (Argote et al., 2017)

Para los valores de densidad de los individuos muestreados se utilizará la base de datos Global Wood Density Database elaborada por Zanne *et al.* (2009) que considera una densidad expresada en g/cm^3 , para tal fin se realizó colectas botánicas y poder identificar la densidad por especie, género o familias, así mismo cabe mencionar que si no se encontró el valor de ninguno en dicha base, se asumió el valor promedio para árboles de bosques tropicales, el cual es de 0.64 g/cm^3 .

d. Colecciones botánicas

- Mediante el uso de una tijera telescópica o pico de loro se colectó al menos una muestra por unidad taxonómica de los individuos evaluados.
- Las muestras fueron prensadas y transportadas al herbario asignado (Herbario de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana) para su posterior identificación

e. Muestreo de necromasa aérea

- **Árboles muertos en pie.** Los parámetros medidos fueron los mismos que para individuos vivos: DAP y altura total (H) teniendo en cuenta los individuos con $DAP \geq 10$ cm y DAP entre 2 cm y 10 cm en la parcela de 50 x 50 m y 20 x 20 m respectivamente.
 - Se evaluó los árboles muertos en pie para determinar la necromasa aérea.
 - Se midió el diámetro DAP a 1.3 m, si no es posible se cambiará el punto de medición y se anotará claramente en el formato de campo.
 - Se midió la altura total del árbol muerto en pie y anotará en el formato de campo.
- **Árboles y ramas caídas sobre el suelo.** Comprende toda la madera no viva caída sobre el suelo, se dividió en dos categorías diamétricas: Categoría diamétrica uno (CD1) individuos de diámetro entre 2 y 10 cm y categoría diamétrica dos (CD2) con individuos con diámetro promedio mayor o igual a 10 cm.
 - En cada transecto de 1 x 50 m se midió el diámetro y la longitud de todos los fragmentos de madera tales como troncos y ramas caídas con un diámetro mayor o igual a 2cm. Medir la longitud con la wincha y el diámetro con la cinta diamétrica o con el calibrador pie de rey (tomar dos medidas de diámetro, una a cada extremo del fragmento).

- Se tomaron muestras al azar hasta completar un total de 8 muestras por cada combinación (categorías diamétricas y grados de descomposición (ver tabla 9)). Con un total de seis (06) combinaciones (48 muestras).

Tabla 6.

Grado de descomposición de la madera.

Grado de descomposición	Descripción
GD1	Madera maciza, donde la corteza está empezando a caer
GD2	En malas condiciones que conserva un 50% de la corteza
GD3	Madera blanda, podrida, sin corteza donde el tronco se rompe fácilmente al ejercer una fuerza ligera externa.

Fuente. Adaptado de (Argote *et al.*, 2017)

- **Hojarasca.** Está comprendida por el carbono en la materia orgánica muerta acumulada sobre el suelo inorgánico. Incluye hojas caídas, flores, frutos, semillas, cáscaras y detrito fino cómo ramas con diámetro inferior a 2cm
 - En las 4 subparcelas de 1 x 1 m ubicados en la parte media de cada transecto (ver figura 9). Se evaluó el compartimento de hojarasca:
 - Sobre los cuatro transectos delimitados se colocó el marco de PVC de 1 x 1 m en el suelo y, se procedió a coleccionar la hojarasca encontrada dentro del recuadro (hacer uso de una tijera podadora para cortar el borde inmediatamente dentro del recuadro); se incluye la biomasa viva con diámetro menor a 2 cm.
- f. **Muestreo en suelos**
 - Se delimitó una subparcela de 30 x 30 m dentro de la parcela de 50 x 50 m (ver figura 6).

- Luego se hizo una calicata central de 1 x 1 m y cuatro laterales ubicadas a 10 m del punto central en las direcciones 45°, 135°, 225° y 315°. Se anotarán las características de las variables a medir (ver tabla 3).
- Se realizó la caracterización del suelo de la parcela, siguiendo el protocolo RASTA (Cock, Álvarez & Estrada; 2010).
- Se marcó y se georreferenciará un punto central (A1) ubicado en la subparcela 13.
- Posteriormente se marcaron los puntos A2, A3, A4 y A5 a 10 metros de distancia en las direcciones 45°, 135°, 225° y 315, ver figura 6.
- Se abrió una calicata en el punto A1 de 1 x 1m y 60 cm de profundidad, se anotarán los datos del perfil del suelo siguiendo el protocolo RASTA.
- En la calicata se tomó una muestra para determinar la densidad aparente, conductividad hidráulica saturada y curvas de retención de humedad.
- Se realizaron las descripciones y toma de muestras con anillos en dos caras de la calicata a 0-10 cm, 10-20 cm y de 20-50 cm.
- En los puntos A2, A3, A4 y A5 no se realizaron calicatas, solo se toman las muestras superficiales haciendo uso de un barreno.
- Se limpió la parte superior del suelo, se ubicará el anillo asegurándose que el extremo afilado sea el primero en entrar en contacto con el suelo.
- Con la ayuda del muestreador y el martillo se introdujo los anillos hasta la profundidad deseada haciendo golpes moderados para no provocar compactación (ver anexo 2 (b)).
- Luego se retiró el anillo tomándolo con cuidado por debajo y por encima. Quitando el exceso de suelo con la ayuda de un cuchillo sin dejar al ras la muestra en los extremos del anillo (ver anexo 3 (a y b)).

- Luego se tapó y rotularon las muestras bien sea con tapas de los anillos o con gasa y un plástico vinipel (ver anexo 3 (c)).

3.9.2.5. Transporte y conservación de la muestra.

- Las muestras botánicas, se colectaron de forma ordenada y se depositarán en bolsas plásticas para luego ser transportadas a las oficinas del IIAP en la ciudad de Yurimaguas. Se prensaron y se colocaron en papel periódico, luego se aplicó alcohol para matar los microorganismos (neutralizar la descomposición), se colocaron por bloques diferenciados por parcela y se enviran al Herbario Herrerense-HH en Perú.
- Para la necromasa, las muestras recogidas se depositaron en bolsas ziploc para luego ser transportadas hasta el laboratorio de la Universidad nacional de la Amazonia.
- Mientras que las muestras de suelo se rotularon y se transportaron al laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

3.9.3. Etapa de laboratorio

3.9.3.1. Evaluación de las variables

a. Muestreo de necromasa aérea

- **Procesamiento de los árboles y ramas caídas sobre el suelo**
 - Luego del trabajo de campo, se calculó el volumen de las muestras de necromasa obtenidas en los transectos, para ello se colocó un recipiente con agua en la balanza y se tara, luego, cada fragmento de madera fue sumergido totalmente en el recipiente con agua y con ayuda de unas pinzas se evitó que el fragmento toque el fondo o los lados del recipiente (ver anexo 1).
 - Luego de determinar el volumen se pesó en fresco se secó las muestras a una temperatura de 60-70 °C hasta que se obtuvo un peso constante.

b. Método para determinar la textura del suelo

A continuación, se describe el método utilizado por el laboratorio para determinar la textura del suelo.

- La determinación de la textura se realizó en el laboratorio de Suelos de la Universidad Agraria La Molina mediante el método de combustión seca. Este método consiste en la utilización de un hidrómetro, este medirá la cantidad de partículas en suspensión que permitirá medir la densidad de la suspensión (Medina, García, & Nuñez, 2007). Teniendo en cuenta lo explicado en (EddnaaCR, 2015) y (Cano, 2015) se presenta los pasos a seguir en laboratorio:
- Las muestras fueron secadas, molidas y tamizadas en una malla de 2 mm.
- A las partículas inferiores a 2 mm se les trató con agua oxigenada y se calienta la mezcla a la plancha para eliminar la materia orgánica.
- Debemos tener en cuenta que las partículas mayores a 2 mm de diámetro se eliminan; es decir. No se cuantifican y esta medida es útil para la caracterización de la pedregosidad.
- Teniendo en cuenta las bases teóricas se plasma el procedimiento del método.
- Se pesa la muestra 100 g de suelo y se agrega 5 g de oxadato de sodio
- Se agrega la tercera parte de agua destilada y mediante el uso de un agitador se procede a la mezcla durante 10 minutos.
- Se vierte a una probeta y se afora a 100 ml, y se homogeniza la muestra.
- Se tomaron 2 muestras a los 40 segundos y 2 horas. Se introduce el hidrómetro y se toma la lectura seguido de eso se procede a realizar la corrección por temperatura, el mismo proceso para el tiempo de 2 horas.

- Seguido se realizó el cálculo del % de arena, limo y arcilla. Para ello se utiliza las lecturas del hidrómetro y la temperatura en ambos tiempos.
- Para determinar el % de arena, se resta los 100 g de suelo, con la lectura del hidrómetro. Teniendo en cuenta la temperatura de 22 °C hay la regla menciona, por cada grado superior a 20 °C, se tiene que aumentar 0.11 a la cantidad excedente (ejemplo 22 °C = 2 x 0.11) de ser así el resultado de esta multiplicación se suma al cálculo anterior. El valor corregido nos dará el valor del % de arena.
- Para determinar el % de arcilla, se toma la segunda lectura del hidrómetro y se realiza el mismo proceso anterior dándonos el porcentaje de arcilla.
- Para él % de limo simplemente tendremos que restarle a 100 la suma de los porcentajes obtenidos anteriormente.
- Con los datos obtenidos en porcentajes de cada clase textural, se procede a ubicarlos en el triángulo de texturas. Obteniendo así la textura del suelo.

c. Método de laboratorio para la determinación de carbono orgánico del suelo

El carbono del suelo (COS) está presente en la forma orgánica e inorgánica. Esta forma equivale a la mayor reserva en interacción con la atmósfera (Rügnitz *et al.*, 2009). Debido su efecto benéfico sobre las propiedades físicas, químicas y el carbono orgánico total (COT) del suelo, es considerado como uno de los principales indicadores de calidad de suelo, por lo que es necesario determinarlo con suficiente exactitud. De acuerdo con Eyherabide *et al.* (2014), se han desarrollado una gran cantidad de técnicas analíticas que permiten cuantificar el COT. En el proyecto SAL como en el presente estudio se aplicará el método de combustión seca.

d. Cálculo de carbono orgánico en suelos con densidad aparente

- Para determinar la densidad aparente las muestras de suelo en cilindros serán secadas al horno a 105°C hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente se aplicará la siguiente ecuación 02:

$$Da = \frac{\text{masa del suelo seco (gr)}}{Vc (cm^3)} \dots\dots\dots (02)$$

Donde:

$$Vc = \pi * r^2 * h$$

Vc: Volumen del cilindro.

r: Radio del cilindro en cm.

h: Altura del cilindro en cm.

- Para determinar el carbono orgánico del suelo se aplicó el método de combustión seca.
- Las muestras serán enviadas al laboratorio de análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, para el análisis de la determinación de la concentración de carbono orgánico del suelo (COS), mediante el método de combustión seca.
- Para el carbono almacenado en el suelo se aplicó las siguientes formulas (Ver ecuación 03 y 04):

$$S = \sum_{\text{Horizonte 1}}^{\text{Horizonte n}} \text{COS}_{\text{Horizonte}} \dots\dots\dots (03)$$

$$\text{COS} = \sum_{\text{Horizonte 1}}^{\text{Horizonte n}} ([\text{COS}] * Da * \text{Profundidad} * 10)_{\text{Horizonte}} \dots\dots\dots (04)$$

Donde:

COS: Cc de C orgánico del suelo/parcela muestreada (tC/ha) – disturbadas.

COS horizonte: Cc de C orgánico del suelo para un determinado horizonte (tC/ha).

[COS]: Cc de C orgánico en suelo c/ muestra según la profundidad (gC/Kg de suelo)

Da: Densidad aparente, es la masa de suelo/volumen de muestra (t de suelo/m³)

Profundidad: Profundidad del horizonte en metros (m)

3.9.4. Etapa de gabinete final

- Los resultados del laboratorio serán transcritos y ordenados en formatos virtuales (Excel 2016) para ser analizados.

3.9.4.1. Medición de variables.

a. Muestreo de necromasa aérea

- **Árboles muertos en pie**
 - Cuando no sea posible medir el diámetro a la altura de pecho porque el árbol muerto en pie está quebrado, para determinar el d_2 en pie se puede aplicar la siguiente ecuación 05:

$$d_{2 \text{ en pie}} = 1.59 * d_{1 \text{ en pie}} * (h^{-0.091}) \dots\dots\dots (05)$$

Donde:

h: Altura de medición del diámetro en centímetros.

- De acuerdo con Baker & Chao (2011) el volumen del árbol muerto (V_{am}) en pie se determina empleando la fórmula de Smalian. Pero se debe tener en cuenta que la fórmula de Smalian da el volumen correcto si cada pieza es un tronco de un paraboloido cuadrático o un cilindro. Si el tronco se estrecha cómo un tronco de un cono, entonces la fórmula de Smalian hará una sobreestimación del volumen, proporcional a la longitud o grado del estrechamiento (Ver ecuación 06).

$$V_{am} = \left[\frac{\pi \left(\frac{d_{1 \text{ en pie}}}{2} \right)^2 + \pi \left(\frac{d_{2 \text{ en pie}}}{2} \right)^2}{2} \right] * H \dots\dots\dots (06)$$

Donde:

H: Altura total del árbol muerto en pie en metros

$d_{1 \text{ en pie}}$: Diámetro del extremo 1 en pie.

$d_{2 \text{ en pie}}$: Diámetro del extremo 2 en pie.

- La necromasa en pie (NA_{pie}) será iguala a la sumatoria de la necromasa de cada árbol muerto en pie, que se obtiene al multiplicar el volumen por la densidad de la madera (Ver ecuación 07):

$$NA_{\text{pie}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{am}} * \rho \dots \dots \dots (07)$$

Para calcular la necromasa en Mg/ha se debe considerar que 1 Mg = 1000000 g y el área de la parcela evalúa la madera muerta en pie para individuos con $DAP \geq 10 \text{ cm}$ es de 0.25 ha y el área de la subparcela para individuos con DAP entre 2 cm y 10 cm es 0.04 ha.

- **Determinación de la densidad de la madera**

- Para determinar este componente se utilizó el método de desplazamiento en agua (Método de Arquímedes). Se colocó un recipiente con agua sobre una balanza analítica (precisión 0,0001 gr); enseguida se introdujo cada muestra de madera sin que tocara las paredes ni el fondo del recipiente, de modo que se obtuvo el peso del agua desplazada, la misma que corresponde al volumen de la muestra (V_v) considerando la densidad del agua como 1 gr/cm³
- Luego de haber obtenido ambas muestras se pesó en fresco y seco, se calculó la de densidad de madera por muestra (para las 48 muestras). Empleando la siguiente ecuación 08:

$$\rho_i = \frac{P_s}{V} \dots \dots \dots (08)$$

Donde

ρ_i : Densidad de la madera para una muestra i (en g/cm³)

Ps: Peso seco (en g)

V: Volumen de la muestra obtenido por desplazamiento de agua (cm³).

- Luego, se calculó la densidad de madera promedio para cada combinación entre categoría diamétrica y grado de descomposición, son seis (06) combinaciones.

Empleando la siguiente ecuación 09:

$$\bar{\rho x} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n} \dots \dots \dots (09)$$

Donde

$\bar{\rho x}$: Densidad de madera promedio para una combinación x (en g/cm³)

n : Número de muestras por combinación.

- Para determinar el volumen de cada trozo de madera (V_{tm}) se aplicó como para los árboles muertos en pie, la ecuación de Smalian (Ver ecuación 10)

$$V_{tm} = \left[\frac{\pi \left(\frac{d_1 \text{ en pie}}{2} \right)^2 + \pi \left(\frac{d_2 \text{ en pie}}{2} \right)^2}{2} \right] * L \dots \dots \dots (10)$$

Donde

L: Longitud del trozo de madera.

d_1 : Diámetro del extremo 1 en pie.

d_2 : Diámetro del extremo 2 en pie.

- Finalmente, la necromasa sobre el suelo ($NA_{\text{sobre suelo}}$) en la parcela es igual a la sumatoria de la necromasa de cada combinación, que se obtiene al multiplicar el volumen por la densidad de la madera (Ver ecuación 11):

$$NA_{Sobre\ suelo} = \sum_{i=1}^n (V_{tm} * \bar{\rho x}) \dots \dots \dots (11)$$

▪ **Hojarasca**

- El muestreo de la hojarasca se realizó el mismo día de la recolección según el cronograma de evaluación de las parcelas, se reunió en un costal todo el material colectado por cuadrante, seguido se obtuvo el peso fresco total usando una balanza digital. Luego, se mezcló y extrajo cuatro (4) sub-muestras de 250 gramos
- Se secó las muestras en un horno a una temperatura de 60-70°C hasta obtener peso constante.
- Para calcular la necromasa sobre el suelo en Mg/ha se consideró que 1 Mg = 1000000 g y que el área de la subparcela es de 0.02 Ha (4 franjas de 1 x 50 m)
- La estimación de la materia seca en hojarasca se obtuvo calculando la humedad, según la ecuación 12:

$$CH = \frac{(Phs - Pss)}{Phs} \dots \dots \dots (12)$$

Donde

CH: Es el contenido de humedad de cada submuestra.

Phs: Peso húmedo submuestra (en g).

Pss: Peso seco submuestra (g).

- Finalmente, teniendo en cuenta que para calcular la necromasa en hojarasca por hectárea se considera que el área evaluada por parcela es de 4 m² (0.0004 Ha), se emplea la ecuación 13:

$$NA_{hojarasca} = \sum_{i=1}^n (Pht - (Pht * CH)) \dots \dots \dots (13)$$

Donde

Pht: Peso húmedo total.

CH: Contenido de humedad de cada submuestra.

- La biomasa y necromasa calculadas para cada compartimento fueron expresados en Megagramo por hectárea (Mg/ha).
- Posteriormente se calculó la biomasa total por medio de la suma de todos los compartimentos evaluados.

b. Procesamiento de resultados

- Para determinar el contenido de carbono total, se utilizó el factor de conversión trabajado por el IPCC (2003), equivalente a 0,5.
- Teniendo en cuenta el valor obtenido de la concentración de carbono, se determinó cuál de las hipótesis se aceptarán.
- Los datos fueron procesados estadísticamente mediante la aplicación R de Pearson y rho de Spearman en el software IBM SPSS Statistics v. 24.
- Los resultados del análisis fueron presentados en tablas o figuras según permita una mejor interpretación para su posterior se interpretación y discutirán.

Finalmente se concluyó y presentó el informe final según el cronograma de actividades en cumplimiento con el reglamento interno de la universidad.

Capítulo IV

Resultados y discusión

4.1. Resultados

4.1.1. Cuantificación de las variables

Las variables a cuantificar son el stock de carbono, la pendiente y textura del suelo; se utilizaron figuras y tablas.

4.1.1.1. Variable dependiente.

A. Stock de carbono total en bosques densos

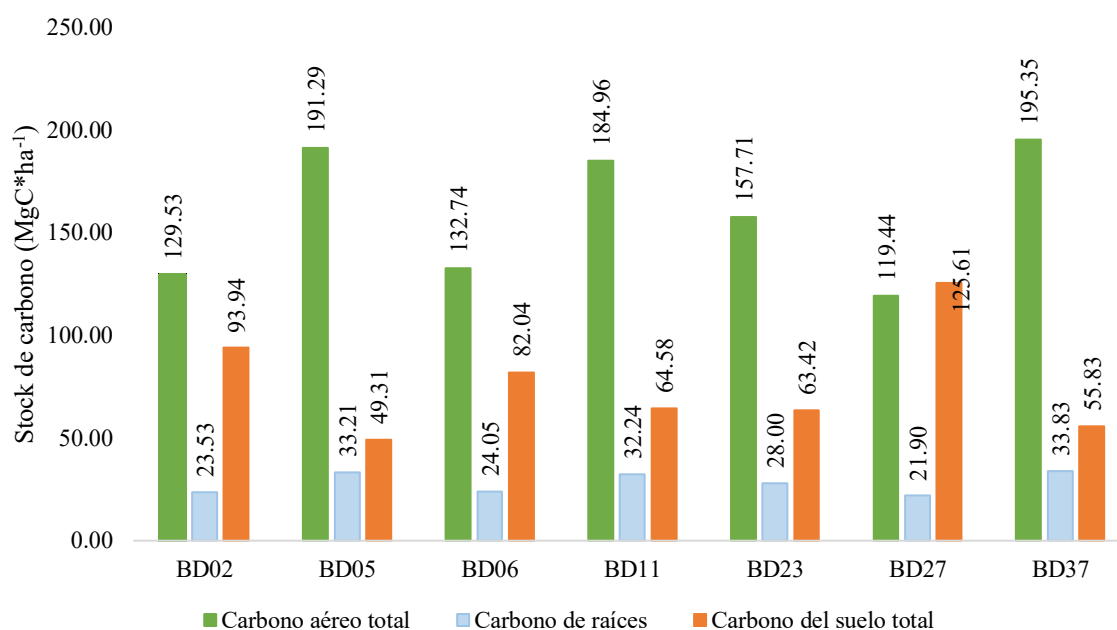


Figura 12. Variación del stock de carbono en las parcelas con cobertura de bosques densos. Fuente. Elaboración propia, 2018.

En las parcelas de coberturas de bosques densos, sobrepasaron los 200 Mg C*ha⁻¹ variando entre 247 Mg C*ha⁻¹ y 285.02 Mg C*ha⁻¹, con un promedio de 263.22 Mg C*ha⁻¹ (ver tabla7). La

figura 12 muestra el stock de carbono en los diferentes componentes evaluados. El componente que generó mayor aporte al stock de carbono total fue el carbono aéreo total (biomasa), ya que aportó un promedio de 60.02% al stock total, mientras que el carbono del suelo solo aportó un promedio de 29.34 %.

Tabla 7.

Resumen del stock de carbono en coberturas de bosques densos.

Parcela	Carbono Total (Mg C*ha ⁻¹)
BD02	247.00
BD23	249.12
BD27	266.95
BD05	273.81
BD11	281.78
BD37	285.02
BD06	238.83
Promedio	263.22

Fuente. Elaboración propia, 2018.

B. Stock de carbono total en bosques secundarios

En las coberturas de bosques secundarios se establecieron 7 parcelas de las cuales se detallan en la figura 13 y tabla 8 los valores del stock de carbono encontrados:

Tabla 8

Resumen del stock de carbono en coberturas de bosques secundarios.

Parcela	Stock de Carbono Total (MgC*ha ⁻¹)
BS03	181.40
BS28	120.21
BS38	176.02
BS39	174.58
BS30	192.79
BS32	131.34
BS26	106.73
Promedio	154.73

Fuente. Elaboración propia, 2018.

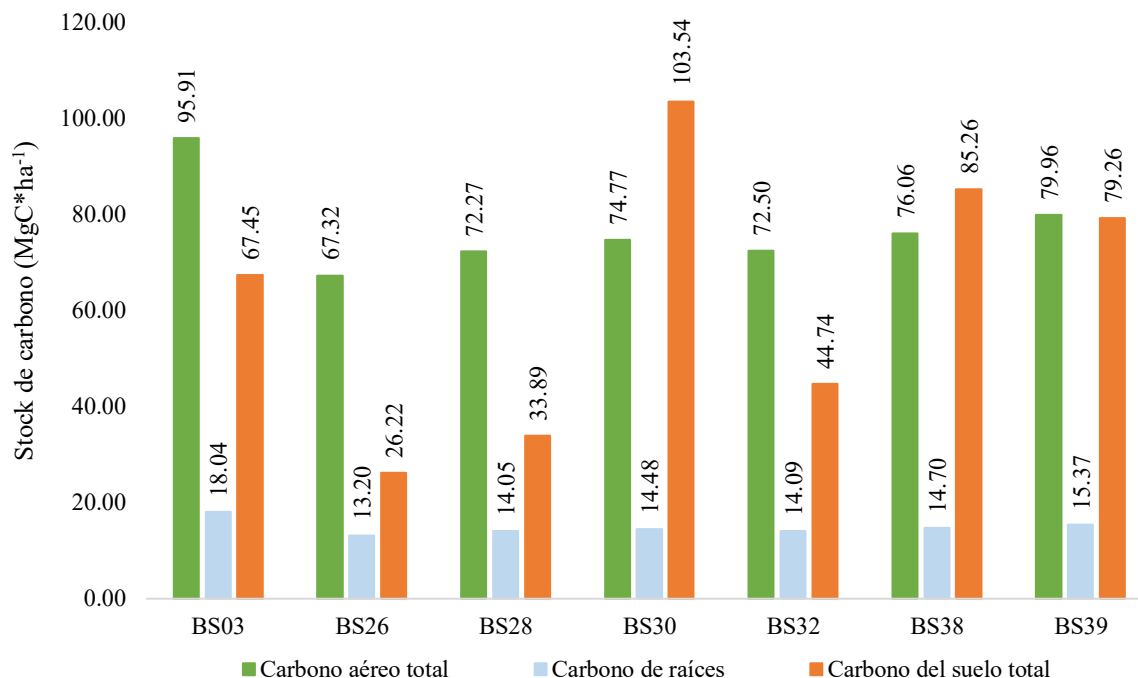


Figura 13. Variación del Stock de carbono en coberturas de bosques secundarios.
Fuente. Elaboración propia, 2018.

El stock de carbono total presente en las 7 parcelas de coberturas de bosques secundarios evaluadas, vario desde 106.73 Mg C*ha⁻¹ hasta 181.40 Mg C*ha⁻¹, con un promedio de 154.73 Mg C*ha⁻¹ (ver tabla 8). El carbono aéreo total (biomasa) fue el que mayor aportó al stock de carbono total representando un promedio de 51.29%, cabe resaltar que en las parcelas 30 y 38 el de mayor aporte fue del componente de suelo (ver figura 13).

C. Stock de carbono total en vegetación arbórea

En las coberturas de vegetación arbórea se establecieron 4 parcelas de las cuales se detallan en la figura 14 y tabla 9 los valores del stock de carbono encontrados:

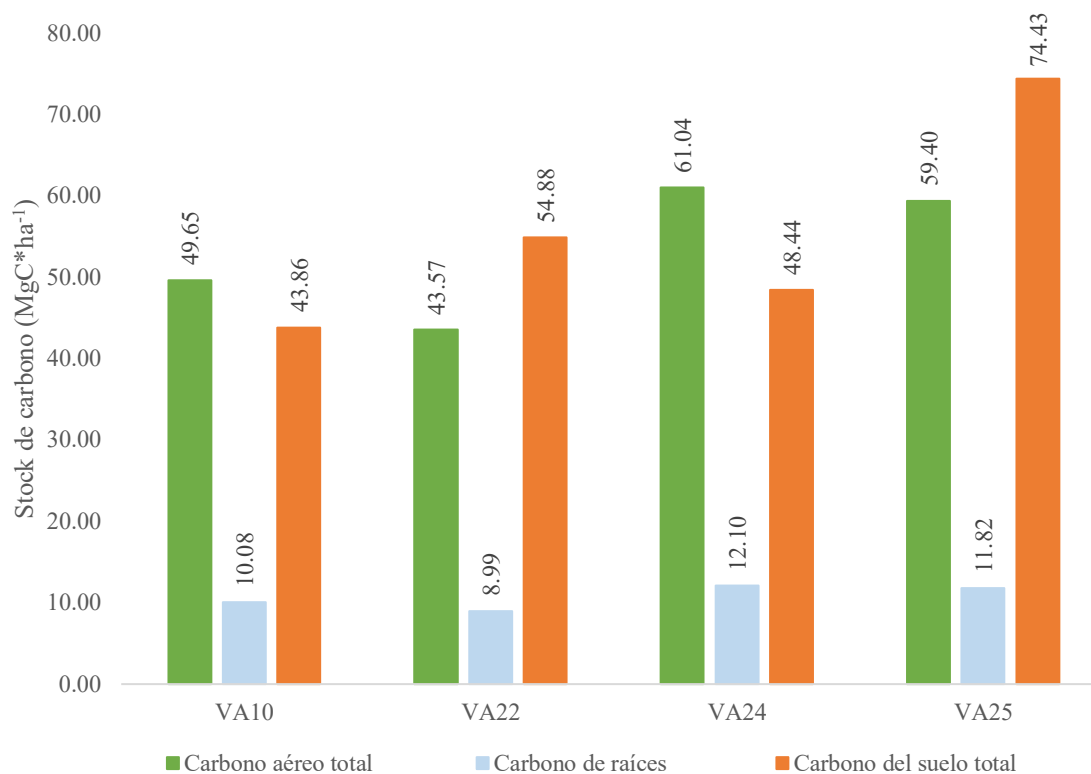


Figura 14. Stock de carbono en coberturas de vegetación arbórea
Fuente. Elaboración propia, 2018.

Tabla 9.

Resumen del stock de carbono en coberturas de vegetación arbórea.

Parcela	Stock de Carbono Total (Mg C*ha ⁻¹)
VA22	107.44
VA25	145.65
VA24	121.59
VA10	103.60
Prom	119.57

Fuente. Elaboración propia, 2018.

En las parcelas con coberturas de vegetación arbórea, el stock de carbono total vario desde 103.60 Mg C*ha⁻¹ hasta 145.65 Mg C*ha⁻¹, con un promedio de 119.57 Mg C*ha⁻¹ (ver tabla 9). La Figura 14 nos muestra, el stock de carbono en los diferentes componentes evaluados. En este caso a simple vista el aporte del carbono aéreo total (biomasa) y del carbono total del suelo fueron similares, pero llevados a análisis de porcentajes se determinó que el carbono aéreo

aporte un 44.87 %, mientras que el carbono del suelo suministro con un 46.09 % al stock de carbono total.

D. Stock de carbono total en vegetación boscosa

En las coberturas de vegetación boscosa se establecieron 4 parcelas de las cuales se detallan en la figura 15 y tabla 10 los valores del stock de carbono encontrados:

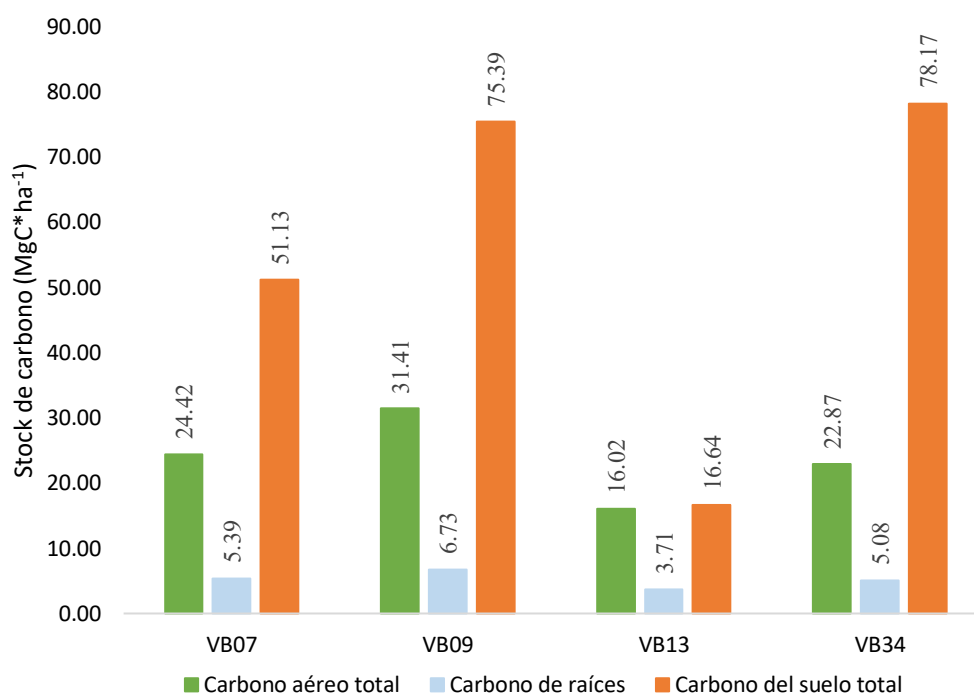


Figura 15. Stock de carbono en coberturas de vegetación boscosa.
Fuente. Elaboración propia, 2018.

Tabla 10.

Resumen del stock de carbono en coberturas de vegetación boscosa.

Parcela	Stock de Carbono Total (MgC*ha ⁻¹)
VB09	113.53
VB07	80.94
VB13	36.37
VB34	106.13
Prom	84.24

Fuente. Elaboración propia, 2018.

En las parcelas con coberturas de vegetación boscosa, el stock de carbono total vario desde 36.37 Mg C*ha⁻¹ hasta 113.53 Mg C*ha⁻¹, con un promedio de 84.24 Mg C*ha⁻¹ (ver tabla 10). La Figura 15 nos muestra, el stock de carbono en los diferentes componentes evaluados. En este caso a simple vista el aporte del carbono total del suelo es mucho mayor, aportando un 62.25 % al stock de carbono total.

4.1.1.2. Variables independientes.

A. Pendiente

Para la variable de la pendiente se decidió establecer 4 rangos o categorías que favorecieron el análisis, las categorías (ver tabla 11) fueron desde 0% hasta 25%, las mismas que variaron de acuerdo a la ubicación de las parcelas y tipo de coberturas establecidas por el proyecto SAL (ver figura 16).

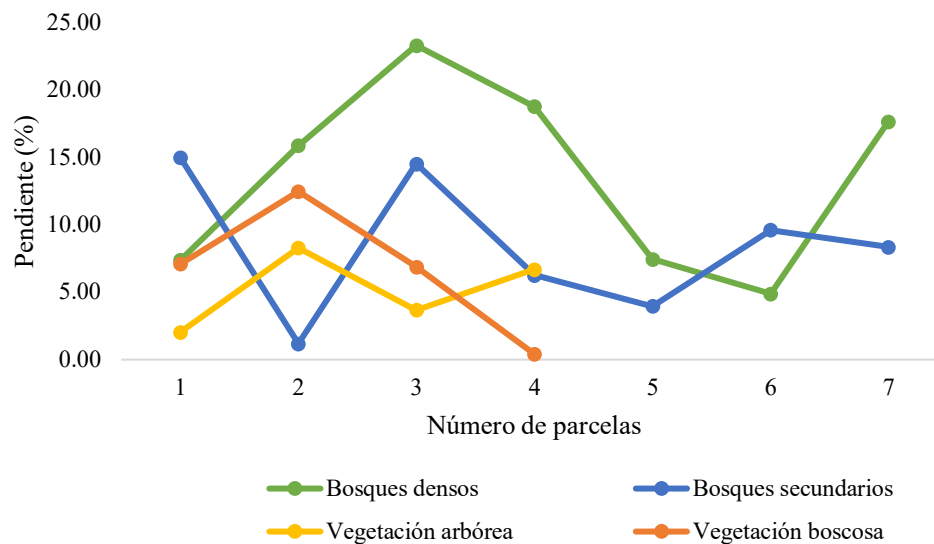


Figura 16. Pendientes de las parcelas en las coberturas boscosas.
Fuente. Elaboración propia, 2018.

Teniendo en cuenta los rangos de pendiente encontrados en las parcelas se utilizó la clasificación establecida por la (FAO, 2009), además, en la figura 16 se observa que las parcelas de bosque denso tuvieron una pendiente muy variada, desde los 4.88 % hasta 23.30% de inclinación, por consiguiente la máxima cantidad de parcelas se ubicaron en el rango de 15-30% considerada una pendiente moderadamente escarpado (ver tabla 1). Los bosques secundarios por el contrario las 7 parcelas fueron desde 1.19% hasta 14.99% de pendiente (ver figura 16), el rango 5-10 tiene la mayor cantidad de parcelas indicando así una pendiente inclinada (ver tabla 1). De acuerdo con la figura 16 en la vegetación arbórea se evaluaron 4 parcelas, que se ubicaron en los primeros rangos establecidos, el valor mínimo fue de 2.03% hasta 8.28% de inclinación que fue el máximo observándose dos tipos de pendiente ligeramente inclinado e inclinado (ver tabla 1). Por último, la vegetación boscosa de igual modo se evaluaron 4 parcelas ubicándose en los 3 primeros rangos establecidos con mayor incidencia en la pendiente inclinada (ver tabla

1). De manera general la pendiente mínima en todas las parcelas fue de 0.42% mientras que la máxima fue de 23.30%.

Tabla 11

Pendiente en función de las parcelas evaluadas.

Rangos de Pendiente		Bosques densos	Bosques secundarios	Vegetación arbórea	Vegetación boscosa
Ligeramente inclinado	0 a 5	1	2	2	1
Inclinado	5 a 10	2	3	2	2
Fuertemente inclinado	10 a 15	-	2	-	1
Moderadamente escarpado	15 a 30	4	-	-	-
Total		7	7	4	4

*Nota. (-) significa que no hubo parcela.

Fuente. Elaboración propia, 2018.

B. Textura

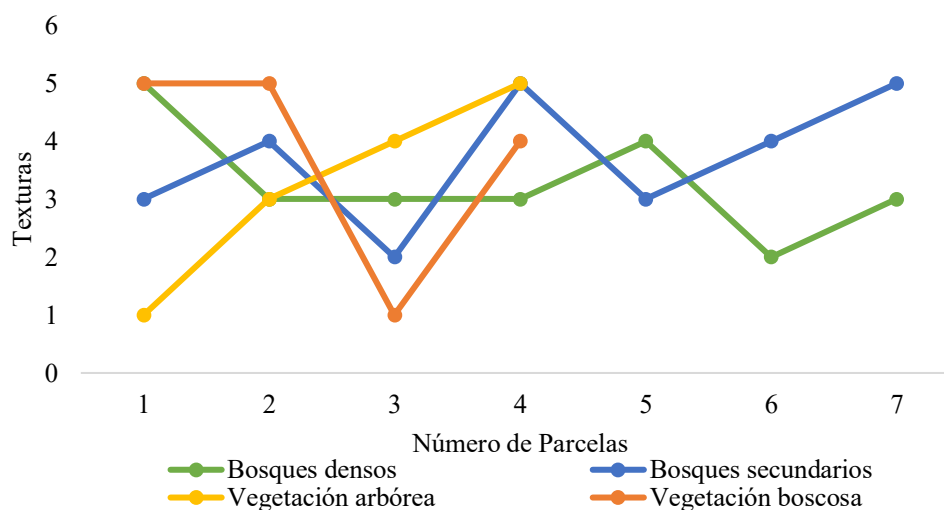


Figura 17. Textura de las parcelas en las coberturas boscosas

Fuente. Elaboración propia, 2018.

En la figura 17 se categorizo las texturas (ver tabla 12) para poder representarlo.

Tabla 12

Textura del suelo en función de las parcelas evaluadas

Cod	Texturas	Bosques densos	Bosques secundarios	Vegetación arbórea	Vegetación boscosa
5	Fr.Ar	1	2	2	2
4	Fr	1	2	-	1
3	Fr.Ar.A	4	2	1	-
2	Fr.A	1	1	-	-
1	A.Fr	-	-	1	1
	Total	7	7	4	4

*Nota. (-) significa que no hubo parcela

Fuente. Elaboración propia, 2018.

En la figura 17 la textura se determinó en función de cada parcela teniendo en cuenta el tipo de cobertura. Las texturas encontradas fueron: franco arcilloso (Fr. Ar), franco (Fr), franco arcillo arenoso (Fr. Ar. A), franco arenoso (Fr. Ar) y arena franca (A. Fr) (ver tabla 12). Estas texturas variaron según el tipo de parcela en función de la cobertura, la textura que mayor presencia tuvo fue la Fr. Ar. A; la clase textural franca estuvo presente en todas las clases texturales.

4.1.2. Influencia de las variables independientes frente a la dependiente

El análisis de la influencia de las variables independientes frente a la dependiente en los diferentes tipos de cobertura boscosa, se realizará según los tres criterios para inferir la causalidad entre dos variables, establecidos por Mattar, estos son:

4.1.2.1 Bosques densos.

4.1.2.1.1 Pendiente vs Stock.

a. Pruebas de normalidad de las variables

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilck para las variables pendiente y Stock de carbono para coberturas de bosque denso, los p-valor respectivos fueron 0.386 y 0.431, cumpliendo así el supuesto de normalidad, lo que nos permite utilizar la correlación de Pearson.

b. Variación conjunta

Esta variación conjunta se midió mediante un índice de relación entre las variables (Correlación de Pearson).

Tabla 13.

Influencia de la pendiente en el stock de carbono en coberturas de bosques densos.

Stock (Mg.Ha ⁻¹)	Pendiente (%)		
	r de Pearson	p-valor	N
	0.165	0.724	7

Fuente. Elaboración propia, 2018.

De acuerdo con la tabla 13, el coeficiente de correlación Pearson de las variables Pendiente vs Stock, fue 0.165 y un p-valor de 0.724, el cual no es significativo. Pero, a nivel de las parcelas se puede observar que en la pendiente ligeramente inclinada se obtuvo un stock de 266.95 MgC*ha⁻¹ siendo la pendiente que mayor stock registro en coberturas de bosque denso, esto según seguida Yohannes & Soromessa (2016) se debe a que tanto el carbono de la biomasa de la hojarasca y de la madera muerta se incrementa su almacenamiento, describe también que el aspecto de la pendiente tiene un efecto significativo en la biomasa aérea y en el carbono de la biomasa subterránea, el carbono orgánico del suelo y la densidad total de carbono; la pendiente moderadamente escarpada registro 260 MgC*ha⁻¹ y finalmente la pendiente inclinada con 248.06 MgC*ha⁻¹ (ver Figura 18).

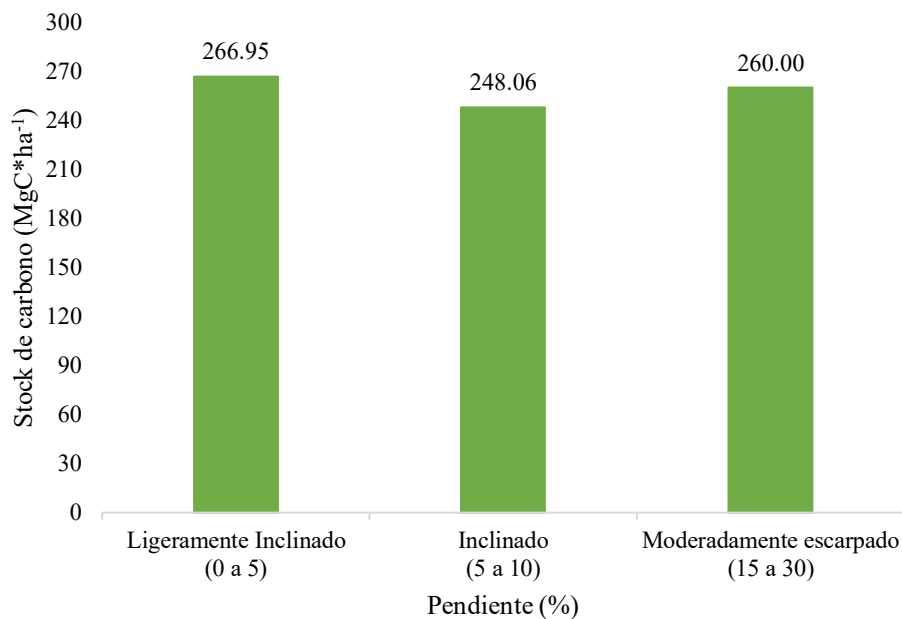


Figura 18. Stock de carbono en relación a la pendiente en coberturas de bosques densos.
Fuente. Elaboración propia, 2018.

En las tres pendientes se observó que la biomasa fue el compartimento que mayor stock aportó al stock total, esto apoyado por Medrano, Chupan, & Vila (2012) quien describe que en los bosques maduros el compartimento que registro mayor almacenamiento de carbono fue la biomasa viva y muerta

4.1.2.1.2 Textura vs Stock.

a. Variación conjunta

Esta variación conjunta se mide mediante un índice de relación entre las variables (Rho de Spearman). Asimismo, debido a que la variable textura es naturalmente categórica politómica, por tanto, también se realizó la prueba Chi cuadrado obteniendo un p-valor de 0.279.

Tabla 14.

Influencia de la textura en el stock de carbono en coberturas de bosques densos.

Stock (Mg.Ha ⁻¹)	Textura		
	Rho Spearman	p-valor	N
	374	0.408	7

Fuente. Elaboración propia, 2018.

Por otro lado, se midió la fuerza de asociación entre las variables, utilizando el coeficiente de correlación Rho de Spearman, obteniéndose un valor de 0.374 y un p-valor de 0.408 el cual no es significativo (ver tabla 14). Esto significa que no existe asociación entre las dos variables, aunque a nivel muestral los suelos Fr.Ar.A mostraron un stock de 269.86 MgC*ha⁻¹ seguido de los Fr.A con un valor de 266.95 MgC*ha⁻¹ y finalmente los Fr y Fr.Ar con un stock de 249.12 MgC*ha⁻¹ y 147 MgC*ha⁻¹ respectivamente (ver Figura 19).

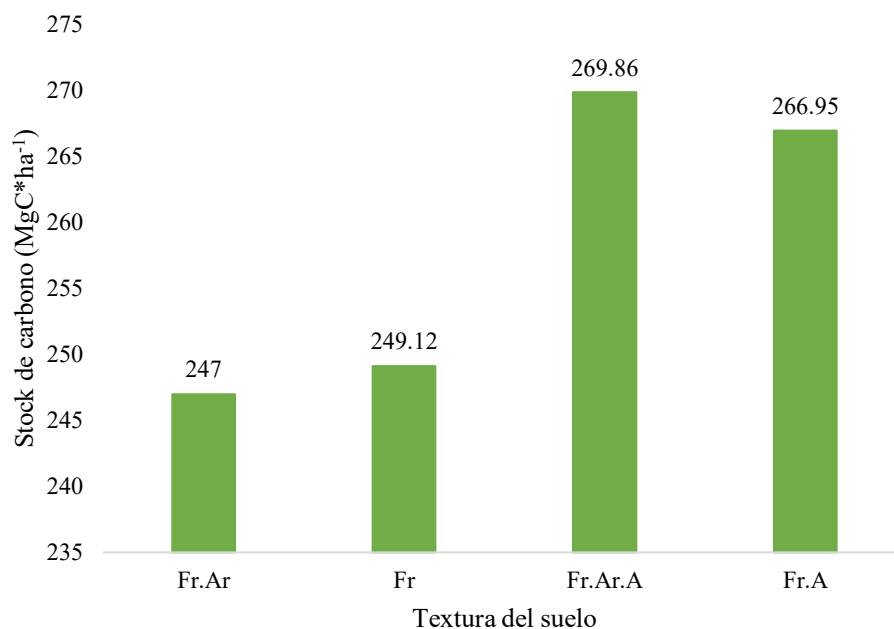


Figura 19. Stock de carbono según la textura del suelo en coberturas de bosque denso.

Fuente. Elaboración propia, 2018.

4.1.2.2 Bosques secundarios.

4.1.2.2.1 Pendiente vs Stock.

a. Pruebas de normalidad de las variables.

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilck para las variables pendiente y Stock de carbono para coberturas de bosque secundario, los p-valor respectivos fueron 0.000 y 0.199. por tanto, no se puede realizar el análisis de correlación de Pearson, debido a que la pendiente no cumple el supuesto de normalidad. Por esta razón se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman.

b. Variación conjunta

Esta variación conjunta se mide mediante un índice de relación entre las variables (Rho Spearman).

Tabla 15.

Influencia de la pendiente en el stock de carbono en coberturas de bosques secundarios.

Stock (MgC*ha ⁻¹)	Pendiente (%)		
	Rho Spearman	p-valor	N
	-0.357	0.432	7

Fuente. Elaboración propia, 2018.

De acuerdo con la tabla 15, el coeficiente de correlación de Rho de Spearman de las variables Pendiente vs Stock, fue -0.357 y un p-valor de 0.432, el cual no es significativo. Aunque a nivel de las parcelas existe una correlación media negativa en la cobertura de bosque secundaria, es decir a mayor pendiente menor stock de carbono esto analizado teniendo en cuenta la pendiente ligeramente inclinada frente a la fuertemente inclinada, los valores obtenidos en stock de las pendiente inclinada fue 161.13 MgC*ha⁻¹ seguido de la fuertemente inclinada con un stock de

150.81 $\text{MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ y finalmente la pendiente ligeramente inclinada con un stock de 119.04 $\text{MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ (ver figura 20).

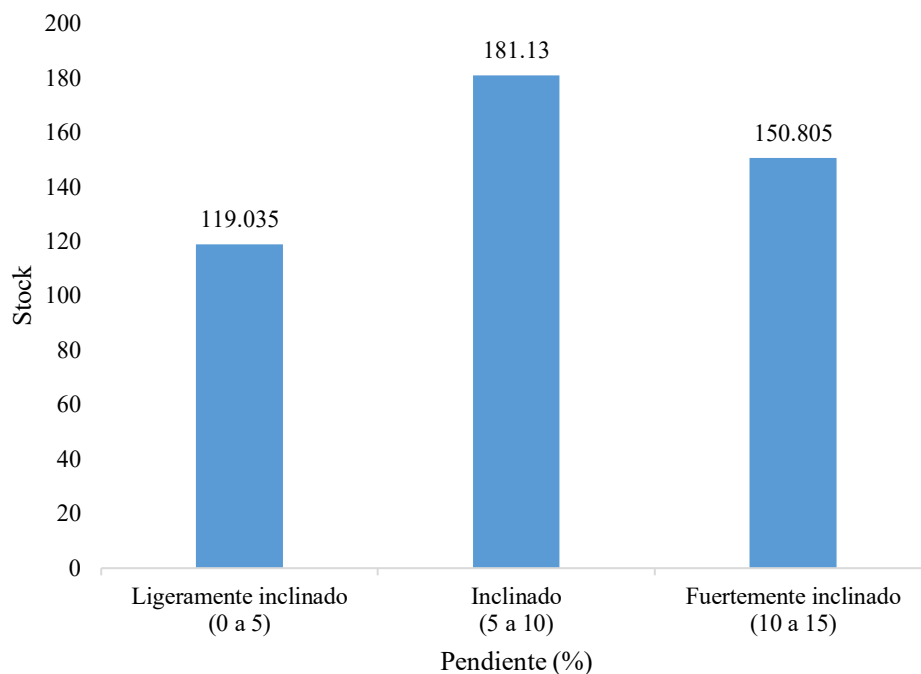


Figura 20. Stock de carbono en relación a la pendiente en coberturas de bosques secundarios. Fuente. Elaboración propia, 2018.

4.1.2.2.2 Textura vs Stock

a. Variación conjunta

Esta variación conjunta se mide mediante un índice de relación entre las variables (Rho de Spearman). Asimismo, debido a que la variable textura es naturalmente categórica politómica, por tanto, también se realizó la prueba Chi cuadrado. Al realizar esta prueba se obtuvo un p-valor de 0.279. Por otro lado, se midió la fuerza de asociación entre las variables, utilizando el coeficiente de correlación Rho de Spearman, obteniéndose un valor de -0.404 y un p-valor de 0.369 el cual no es significativo (ver tabla 16). Esto significa que no existe asociación entre las dos variables, aunque a nivel muestral los suelos Fr.Ar presentaron mayor cantidad de carbono

almacenado frente a los mostrados en la figura 21. Los valores para las texturas Fr.Ar, Fr, Fr.Ar.A y Fr.A fueron 183.69 MgC*ha⁻¹, 96.47 MgC*ha⁻¹, 156.37 MgC*ha⁻¹ y 12.21 MgC*ha⁻¹ respectivamente.

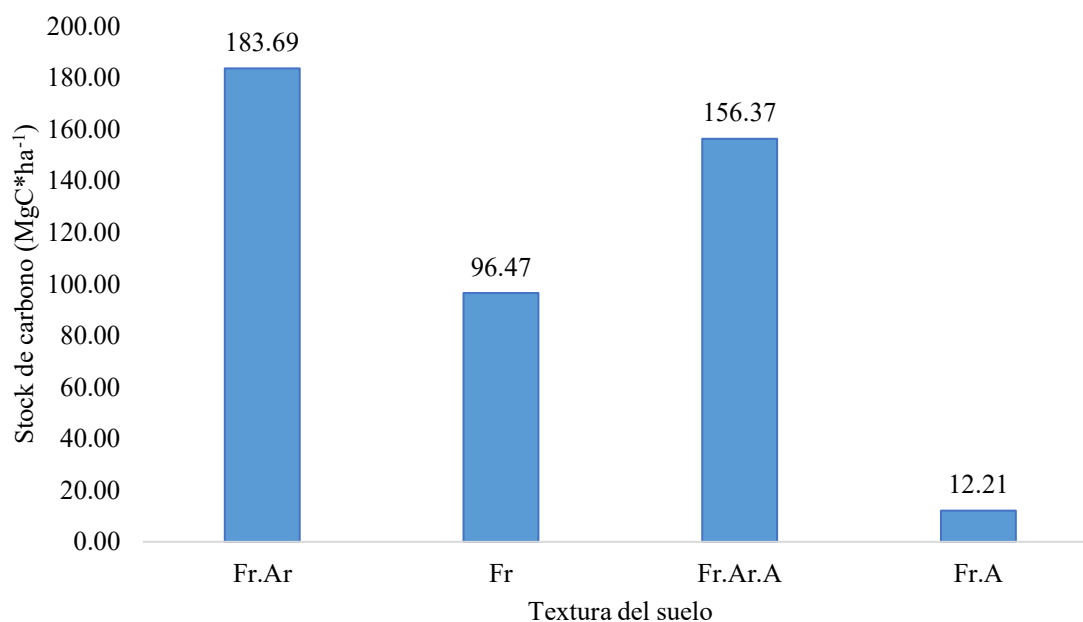


Figura 21. Stock de carbono según la textura del suelo en coberturas de bosques secundarios
Fuente. Elaboración propia, 2018.

Tabla 16.

Influencia de la textura del suelo en el stock de carbono en coberturas de bosques secundarios.

Stock (Mg.Ha ⁻¹)	Textura		
	Rho Spearman	p-valor	N
	-0.404	0.369	7

Fuente. Elaboración propia, 2018.

4.1.2.3 Vegetación arbórea.

4.1.2.3.1 Pendiente vs Stock

a. Pruebas de normalidad de las variables

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilck para las variables pendiente y Stock de carbono para coberturas de vegetación arbórea, los p-valor respectivos fueron 0.753 y 0.426, cumpliendo así el supuesto de normalidad, lo que nos permite utilizar la correlación de Pearson.

b. Variación conjunta

Esta variación conjunta se mide mediante un índice de relación entre las variables (Correlación de Pearson).

Tabla 17

Influencia de la pendiente en el stock de carbono en coberturas de vegetación arbórea.

Stock (Mg.Ha ⁻¹)	Pendiente (%)		
	r de Pearson	p-valor	N
	0.043	0.957	4

Fuente. Elaboración propia, 2018.

De acuerdo con la tabla 17, el coeficiente de correlación Pearson de las variables Pendiente vs Stock, fue 0.043 y un p-valor de 0.957, el cual no es significativo. Pero a nivel de las parcelas existe una relación media positiva en la cobertura de vegetación arbórea, pues en la pendiente inclinada se calculó 112.595 MgC*ha⁻¹ de stock, presentando una leve diferencia de la concentración de stock frente a la pendiente ligeramente inclinada 126.55 MgC*ha⁻¹ (ver figura 22).

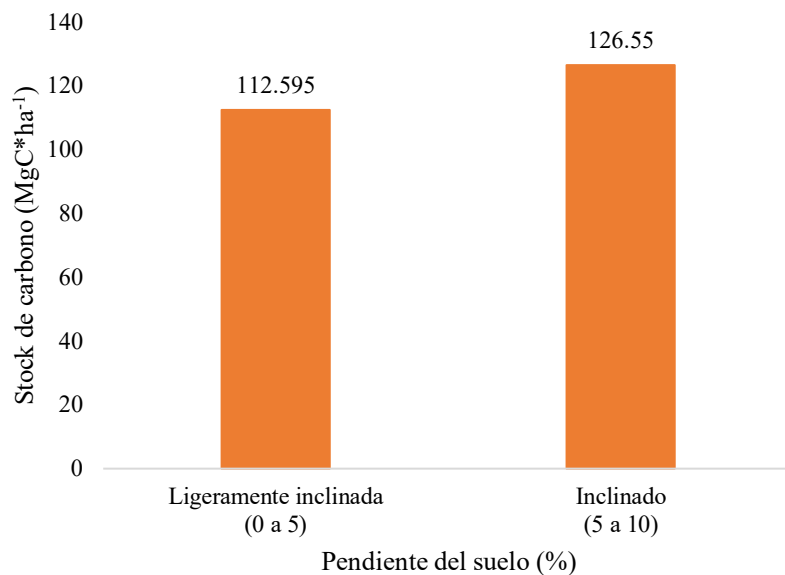


Figura 22. Stock de carbono en relación a la pendiente en coberturas de vegetación arbórea. Fuente. Elaboración propia, 2018.

4.1.2.3.2 Textura vs stock

a. Variación conjunta

Esta variación conjunta se mide mediante un índice de relación entre las variables (Rho de Spearman). Asimismo, debido a que la variable textura es naturalmente categórica politómica, por tanto, también se realizó la prueba Chi cuadrado. Al realizar esta prueba se obtuvo un p-valor de 0.238. Por otro lado, se midió la fuerza de asociación entre las variables, utilizando el coeficiente de correlación Rho de Spearman, obteniéndose un valor de -0.316 y un p-valor de 0.684 el cual no es significativo (ver tabla 18). Esto significa que no existe asociación entre las dos variables, aunque a nivel muestral los suelos Fr.Ar.A obtuvieron un stock de 145.65 MgC*ha⁻¹ frente a los 114.52 MgC*ha⁻¹ y 103.6 MgC*ha⁻¹ de las texturas Fr.Ar y A.Fr respectivamente (Ver figura 23).

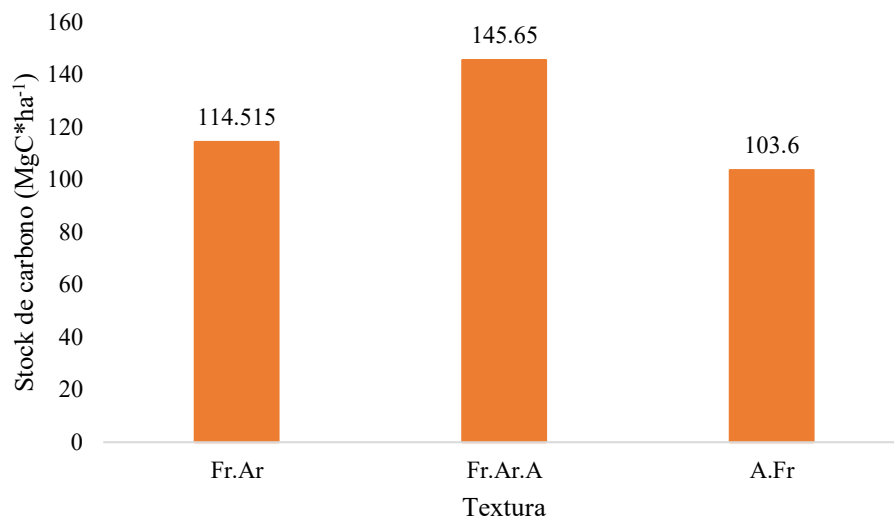


Figura 23. Stock de carbono según la textura del suelo en coberturas de vegetación arbórea.
Fuente. Elaboración propia, 2018

Tabla 18

Influencia de la textura en el stock de carbono en coberturas de vegetación arbórea.

Stock (Mg.Ha ⁻¹)	Textura		
	Rho Spearman	p-valor	N
	-0.316	0.684	4

Fuente. Elaboración propia, 2018.

4.1.2.4 Vegetación boscosa

4.1.2.4.1 Pendiente vs Stock

a. Pruebas de normalidad de la varianza

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilck para las variables pendiente y Stock de carbono para coberturas de vegetación boscosa, los p-valor respectivos fueron 0.711 y 0.429. por tanto, se cumple el supuesto de normalidad, lo que nos permite utilizar la correlación de Pearson.

b. Variación conjunta

Esta variación conjunta se mide mediante un índice de relación entre las variables (Correlación de Pearson).

Tabla 19.

Influencia de la pendiente en el stock de carbono en coberturas de vegetación boscosa.

Stock (Mg.Ha ⁻¹)	Pendiente (%)		
	r de Pearson	p-valor	N
	0.043	0.957	7

Fuente. Elaboración propia, 2018.

De acuerdo con la tabla 19, el coeficiente de correlación de Pearson de las variables Pendiente vs Stock, fue 0.043 y un p-valor de 0.957, el cual no es significativo. Aunque a nivel muestral existe diferencia entre las pendientes ligeramente inclinado, la inclinada y la fuertemente inclinada, el stock vario entre 106.13 MgC*ha⁻¹ , 58, 66 MgC*ha⁻¹ y 113.53 MgC*ha⁻¹ respectivamente (ver figura 24).

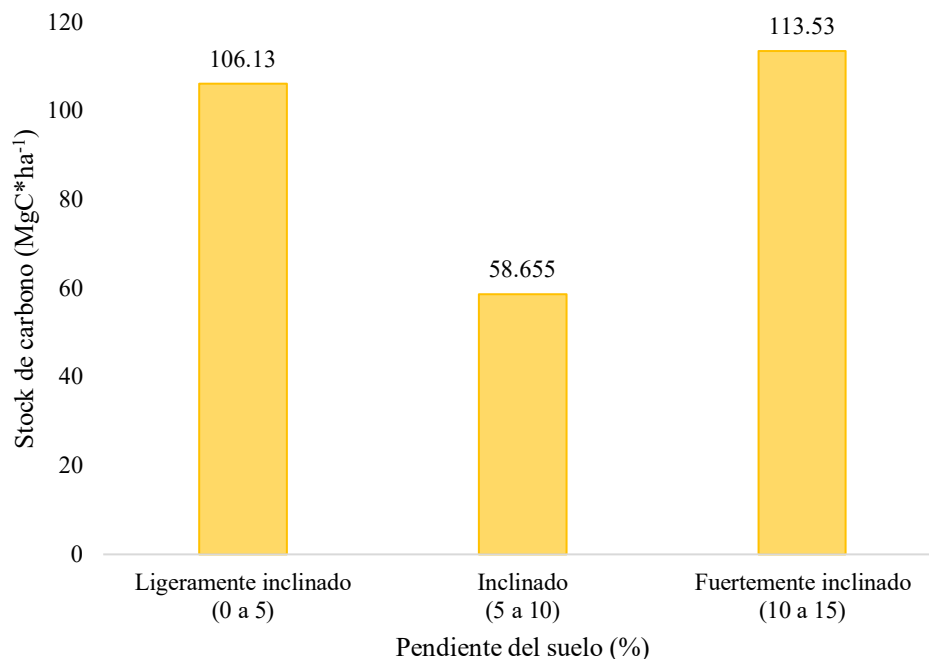


Figura 24. Stock de carbono en relación a la pendiente en coberturas de vegetación boscosas. Fuente. Elaboración propia, 2018.

4.1.2.4.2 Textura vs stock

a. Variación conjunta

Esta variación conjunta se mide mediante un índice de relación entre las variables (Rho de Spearman). Asimismo, debido a que la variable textura es naturalmente categórica politómica, por tanto, también se realizó la prueba Chi cuadrado. Al realizar esta prueba se obtuvo un p-valor de 0.238. Por otro lado, se midió la fuerza de asociación entre las variables, utilizando el coeficiente de correlación Rho de Spearman, obteniéndose un valor de -0.632 y un p-valor de 0.368 el cual no es significativo (ver tabla 20). Esto significa que no existe asociación entre las dos variables, aunque a nivel muestral los suelos Fr. presentaron mayor cantidad de carbono almacenado, frente a los suelos Fr.Ar y los A.Fr (ver figura 25).

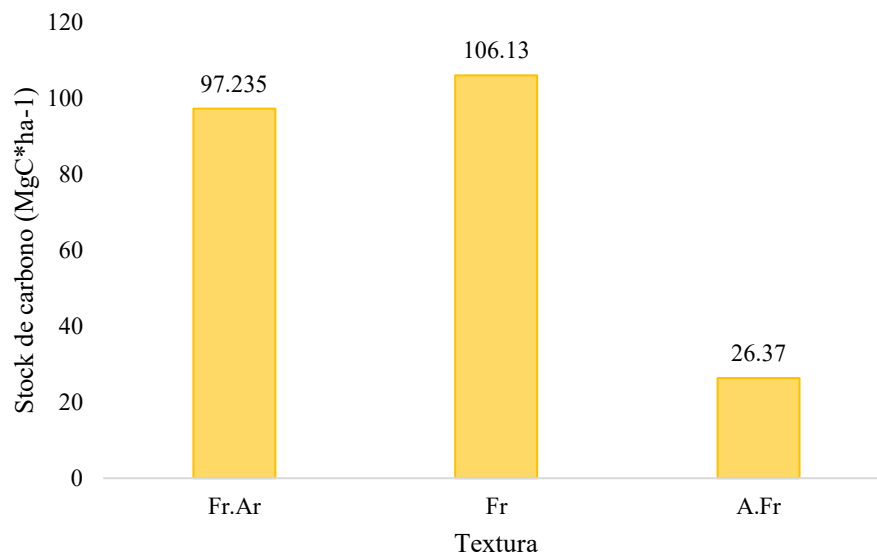


Figura 25. Stock de carbono según la textura del suelo en coberturas de vegetación boscosa.
Fuente. Elaboración propia, 2018

Tabla 20

Influencia de la textura del suelo en el stock de carbono en coberturas de vegetación boscosa.

Stock (Mg.Ha ⁻¹)	Textura		
	Rho Spearman	p-valor	N
	-0.632	0.368	4

Fuente. Elaboración propia, 2018.

4.2. Discusión

Si bien, en el presente estudio no se observó una influencia estadística significativa; a nivel de parcela, se puede observar que el stock se incrementa cierta cantidad a medida que la pendiente también lo hace, en las coberturas de vegetación arbórea y vegetación boscosa; estos hallazgos tienen similitud con Takahashi & Hirai (2019), quienes mencionan que el stock de carbono del bosque, se relaciona de manera directa con la pendiente, es decir a mayor inclinación del terreno, mayor almacén de carbono. De la misma manera, Chanchari (2014) reporta, que, a mayor pendiente, mayor stock de carbono almacenado en el dosel. Por otro lado,

en los bosques densos y bosques secundarios se observó que el stock de carbono, disminuye a medida que la pendiente se incrementa. Con respecto a ello, Blanchart & Roose (2009) y Conforti *et al.* (2016), indican que, en suelos con mínima pendiente, el carbono almacenado suele, ser mayor, debido a que las pérdidas por erosión, también son mínimas. Ambas variaciones están determinadas por la FAO (2018), que indica que las capacidades de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques varían considerablemente, siendo los factores de esta variación: la temperatura, la precipitación, la pendiente, la elevación, las condiciones del sitio, las tasas de crecimiento, la fertilidad y la edad del bosque

Para Zhu *et al.* (2014), las características del sitio, como la textura del suelo y el pH, influyen en el tipo de vegetación presente, y por ende estas propiedades, en interacción con la topografía podrían regular la acumulación de stock de carbono y la estabilización en el paisaje. Las texturas que mayor stock de carbono presentaron, en el presente estudio, fueron las francas y la combinación de estas con arcilla, este hallazgo, concuerda con Conforti *et al.* (2016) quien reporta que los valores más altos de carbono en el suelo se observaron en suelos francos, debido al mayor contenido de fracciones finas en la textura del suelo capaces de adsorber, proteger y almacenar más carbono. Además, Rodríguez (2016) y Paz *et al.* (2016) describen que la textura del suelo influye en la concentración de stock de carbono, pues de acuerdo a su porosidad estos permiten el almacenamiento de carbono, siendo los suelos francos y arcillosos los de mayor capacidad de almacenamiento de carbono.

De acuerdo con los resultados las coberturas también influyeron en la cantidad de carbono almacenado, Gutiérrez (2015) explica que estas variaciones se deben a que los sistemas edáficos

y cambios en la dinámica de almacenamiento de carbono se ven afectados por los cambios en la cobertura vegetal y el manejo de suelos.

Finalmente, el aporte de carbono aéreo, vario según el tipo de cobertura boscosa, los valores más altos se observaron en los bosques densos donde el promedio fue de $158.71 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$, además se pudo observar que las clases diamétricas superiores no siempre son las de mayor aporte de biomasa y por ende de stock de carbono. Pillaca & Flores (2014) reportan un valor de stock de carbono para una cobertura boscosa densa en el distrito de Tambopata, de $136 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$. Las ligeras variaciones pueden deberse a las especies vegetales que habitan las coberturas boscosas.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Con respecto a la investigación, se llegó a ciertas conclusiones que se derivan del presente estudio:

- El stock de carbono en los bosques densos tuvo una media de $263.22 \text{ MgC*ha}^{-1}$, (ver tabla 7), mientras que la media de los bosques secundarios fue $154.73 \text{ MgC*ha}^{-1}$ (ver tabla 8), en las coberturas de vegetación arbórea y vegetación boscosa se evaluaron 4 parcelas de las cuales su media fue $119.57 \text{ MgC*ha}^{-1}$ y $84.24 \text{ MgC*ha}^{-1}$ respectivamente.
- La pendiente en la presente investigación vario desde los 0.42 % hasta los 23.30 % de inclinación lo que nos indicó la presencia de pendientes levemente inclinadas, inclinadas, fuertemente inclinadas y moderadamente escarpadas; en las parcelas de bosques densos la pendiente media fue 13.61%, en los bosques secundarios la media fue 8.41%, en la vegetación arbórea obtuvo 5.17% de pendiente media y en las parcelas de vegetación boscosa la pendiente media fue 6.17%; en las parcelas en estudio las pendientes inclinadas (5% a 10%) tuvieron mayor incidencia, la mayor inclinación se localizó en las parcelas de bosques densos correspondiente a moderadamente escarpado.
- La textura del suelo presente en todas las coberturas boscosas fue la franca seguida de la arcilla y finalmente la arena, predominando la franca arcillosa (Fr. Ar). Es por ello que en las parcelas de vegetación boscosa (actividad antrópica) la mayor presencia de stock de carbono se localizó en el componente del suelo (ver figura 13).

- La influencia de la pendiente del suelo frente al stock de carbono estadísticamente no es significativa.
- La influencia de la textura del suelo frente al stock de carbono estadísticamente no es significativa.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar más investigaciones para comprender mejor las características ambientales locales que controlan la dinámica del stock de carbono, dada la complejidad de los factores que interactúan.
- Con el objeto de profundizar el estudio se recomienda, tener un control más estricto en las características geográficas de las parcelas, generando parcelas con pendientes específicas y con mayor porcentaje de inclinación, con un mismo número de parcelas con las mismas características que permita realizar un análisis estadístico más estricto. Tener en cuenta las condiciones climáticas durante el muestreo.
- Se sugiere realizar la investigación en diferentes zonas de la amazonia peruana, contrastando las condiciones geográficas y climáticas.
- Se recomienda realizar estudios en los flujos de carbono para determinar si el Stock es positivo o negativo.
- Por parte de las autoridades competentes se recomienda realizar planes de manejo para estos bosques en estudio tanto de recuperación como de conservación.

Referencias

- Argote, K., Honorio, E., Castro, S., Solis, R., Pulleman, M., & Quintero, M. (2017). Manual para la Medición de Stocks de Carbono & Biodiversidad en Paisajes transformados de la Amazonía.
- Argote, K., Honorio, E., Castrom, S., Solis, R., Pulleman, M., & Quintero, M. (2017). Manual para la estimación de stocks de Carbono y Biodiversidad en paisajes transformados de la Amazonia. Cali, Colombia. Retrieved from <https://amazonlandscapes.org/publicaciones/>
- Baker, T. R., & Chao, K. J. (2011). *Manual para medições de detritos de madeira grossa em parcelas RAINFOR* (Vol. 2). Retrieved from http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/CWD_protocol_RAINFOR_2011_ESP.pdf
- Barraa Guardado, R. H., Martínez Córdova, L. R., Enríquez Ocaña, L. F., Martínez Porchas, M., Miranda Baeza, A., & Porchas Cornejo, M. A. (2014). Efecto de efluentes de granjas camaronícolas sobre parámetros de la calidad del agua y del sedimento frente a la costa de Sonora, México. *Ciencias Marinas*, 40(4), 221–235. <https://doi.org/10.7773/cm.v40i4.2424>
- Behar, D. S. (2008). Introducción a la Metodología de la Investigación. *Shalom*, 1(978-959-212-783-7), 1–94. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Benavides, H. O., & León, G. E. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. <https://doi.org/IDEAM-METEO/008-2007>
- Biocarbonfund. (2008). Methodology for Estimating Reductions of GHG Emissions from

- Mosaic Deforestation. *World*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Methodology+for+Estimating+Reductions+of+GHG+Emissions+from+Mosaic+Deforestation#0>
- BIODAMAZ. (2004). *Diversidad de Vegetación de la Amazonía Peruana Expresada en un Mosaico de Imágenes de Satélite*. Iquitos. Retrieved from <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/DT012.pdf>
- Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., & Baumgardner, G. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, (May 2014), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s004420050201>
- Cano, A. (2015). Manual de Prácticas de la Materia de Edafología. Chiapas. Retrieved from <http://www.utselva.edu.mx/pai/8/7/25.1.pdf>
- Caritas del Perú. (2012). Reducción de riesgos en la amazonía. Yurimaguas. Retrieved from http://www.caritas.org.pe/documentos/reubicacion_Huatapi.pdf
- Cerda, H. (2011). Medios, Instrumentos, Técnicas y Métodos en la Recolección de Datos e Información. In *Dirección de Investigaciones y Postgrado* (Vol. 2, p. 106). Retrieved from <http://postgrado.una.edu.ve/metodologia2/paginas/cerda7.pdf>
- Chanchari, E. M. (2014). *Almacenamiento de carbono en relación con la topografía y edad de los sistemas agroforestales carretera Iquitos-Nauta, Perú, 2012*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Retrieved from <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4309>
- Cock, J. H., Álvarez, D. M., & Estrada, M. (2010). *RASTA Rapid Soil and Terrain Assessment:*

- Guía práctica para la caracterización del Suelo y del Terreno (Segunda)*. Cali, Colombia. Retrieved from [http://www.aclimatecolombia.org/download/agricultura-por-sitio/rasta-2011-121116071713-phpapp02\(2\).pdf](http://www.aclimatecolombia.org/download/agricultura-por-sitio/rasta-2011-121116071713-phpapp02(2).pdf)
- Conforti, M., Lucà, F., Scarciglia, F., Matteucci, G., & Buttafuoco, G. (2016). Soil carbon stock in relation to soil properties and landscape position in a forest ecosystem of southern Italy (Calabria region). *Catena*, 144, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.04.023>
- Cruzado, L. A. (2011). *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de los bosques altoandinos de la concesión para conservación alto Huayabamba - San Martín*. Universidad Agraria de la selva. Retrieved from http://www.academia.edu/9434656/INFORME_DE_TESIS_FINAL
- Eyherabide, M., Sainz Rozas, H., Barbieri, P., & Eduardo Echeverría, H. (2014). Comparación De Métodos Para Determinar Carbono Orgánico En Suelo. *Cienc Suelo (Argentina)*, 32(1), 13–19. Retrieved from <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v32n1/v32n1a02.pdf>
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- FAO. (2010a). FRA 2010 Términos y Definiciones Programa de Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales, 30. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-am665s.pdf>
- FAO. (2010b). La gestión de los bosques ante el cambio climático. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf>
- Fissore, C., Dalzell, J., Berhea, A., Voegtle, M., & Evans, M. (2017). Influence of topography on soil organic carbon dynamics in a Southern California grassland. *Elsevier*, 149, 140–

149. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.09.016>

Fragoso, P. (2003). *Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio “Cerro grande”, Municipio de Tancítaro, Michoacán. Repositorio Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Retrieved from <http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/414.pdf>

Fronzizi, I. (2009). *El Mecanismo de Desarrollo Limpio: Guía de orientación. Peacepalacelibrary.Nl*. Rio de Janeiro, Brasil. Retrieved from http://www.peacepalacelibrary.nl/ebooks/files/UNCTAD_CDM-2009_sp.pdf

GOFC-GOLD. (2010). *Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting*. (F. Achard, S. Brown, R. De Fries, G. Grassi, M. Herold, D. Mollicone, ... C. Souza, Eds.) (Vol. Report ver). Canada: GOFC-GOLD Project Office, hosted by Natural Resources Canada, Alberta, Canada. Retrieved from <http://www.gofc-gold.uni-jena.de/redd>.

Goodman, R. C., Phillips, O. L., Del Castillo Torres, D., Freitas, L., Cortese, S. T., Monteagudo, A., & Baker, T. R. (2013). Amazon palm biomass and allometry. *Forest Ecology and Management*, 310, 994–1004. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.045>

Gutiérrez, M. (2015). *Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el páramo de Guerrero*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/50818/1/53120928.2015.pdf>

Harde, H. (2017). Scrutinizing the carbon cycle and CO₂ residence time in the atmosphere.

Global and Planetary Change, 152, 19–26.

<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.02.009>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53).

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Honorio, E. N., & Baker, T. R. (2010). *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos*. Lima. Retrieved from

http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/Honorio_Baker2010 Manual carbono.pdf

Houghton, R. A., House, J. I., Pongratz, J., Van Der Werf, G. R., Defries, R. S., Hansen, M. C., ... Ramankutty, N. (2012). Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, 9(12), 5125–5142. <https://doi.org/10.5194/bg-9-5125-2012>

Ibáñez, S., Gisbert, J., & Moreno, H. (2010). La pendiente del terreno. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica Y Medio Rural*, 1, 5. Retrieved from

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10776/La_pendiente_del_terreno.pdf

IPCC. (2007). Orientación sobre las buenas prácticas en el sector de CUTS. In S. González, A. Herold, & A. Rosland (Eds.), *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS* (p. 325). <https://doi.org/10.1787/leo-2014-6-es>

MAGRAMA. (2015). *Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono*. España. Retrieved from http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_pa_v2_tcm7-379900.pdf

Manrique, M., & Puerta, R. (2015). Carbono almacenado en la biomasa aérea en plantaciones

- de palma aceitera (*Elaeis Guineensis* Jacq.) en shambillo-aguaytia. *Investigación Y Amazonía*, 4, 8–17. Retrieved from <http://www.unas.edu.pe/revistas/index.php/revia/article/view/59/49>
- Mathews, D. (2017). Perú: los efectos del cambio climático. Retrieved September 11, 2017, from <http://www.resumenlatinoamericano.org/2017/03/25/peru-los-efectos-del-cambio-climatico/>
- Matter, D. (2013). Protocolo De Kyoto. *ÁGORA Revista Eletrônica*, 1–4. Retrieved from http://agora.ceedo.com.br/ojs/index.php/AGORA_Revista_Eletronica/article/download/19/13
- Medina, H., García, J., & Nuñez, D. (2007). El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 19–24.
- Medrano, R., Chupan, L., & Vila, M. (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha Carbon storage in predominant species of flora in Chinchaycocha lake. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(2), 110–117. Retrieved from <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/viewFile/52/51>
- Megarejo, M. C., Vergara, E., & Aguilar, W. Ley marco del cambio climático (2016). Lima, Perú. Retrieved from http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL0154720170615.pdf
- MINAM. (2016). *El Perú y el Cambio Climático Tercera Comunicación Nacional del Perú a*

la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Lima, Perú.

Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/natc/pernc3.pdf>

Naciones Unidas. (1998). Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. *Protocolo de Kyoto, 61702*, 20. Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Naciones Unidas. (2014). *La situación demográfica en el mundo, 2014*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Nueva York. <https://doi.org/www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/.../es.pdf>

Oropeza, O. (2013). Pendiente del terreno. In *ATLAS REGIONAL - Pendiente del terreno* (p. 3). Mexico. Retrieved from <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/629/pendiente.pdf>

Paredes, M. (2013). *Zonificación ecológica y económica- temático geología provincia de alto amazonas gobierno regional de Loreto municipalidad provincial de alto amazonas provincia de alto amazonas temático de geología*. Iquitos. Retrieved from siar.regionloreto.gob.pe/download/file/fid/51282

Paz, C. P., Goosem, M., Bird, M., Preece, N., Goosem, S., Fensham, R., & Laurance, S. (2016). Soil types influence predictions of soil carbon stock recovery in tropical secondary forests. *Forest Ecology and Management, 376*, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.007>

Peñuelas, J., Sabaté, S., Filella, I., & Gracia, C. (2007). El cambio climático y la producción de

alimentos. *Ecología Del Bosque Mediterráneo En Un Mundo Cambiante*, 425–460.

Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i2906s.pdf>

Pillaca, J. Martín, & Flores, B. L. (2014). *Determinación del stock de carbono en la biomasa aérea y necromasa en diferentes tipos de vegetación en la comunidad de Puerto Arturo, distrito de Tambopata, Madre de Dios - Perú*. Universidad Nacional Amazónica de Madre

de Dios. Retrieved from

[http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/107/004-2-3-](http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/107/004-2-3-031.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[031.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/107/004-2-3-031.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Porlles, M. (2011). *Flujo y Stock de carbono de suelos en tres tipos de bosque de la Amazonia Peruana. Jenaro Herrera - Loreto*. Repositorio Universidad nacional Agraria La Molina.

Universidad nacional Agraria La Molina. Retrieved from

[http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1655/F60.P86-](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1655/F60.P86-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1655/F60.P86-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rodríguez, F. (1995). *El recurso del suelo en la Amazonia Peruana, diagnostico para su investigación*. Iquitos. Retrieved from

<http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/364.pdf>

Rodríguez, M. (2016). *Stock de carbono del suelo, a escala local, en ocho sistemas de uso agrícola del piedemonte llanero*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from

<http://www.bdigital.unal.edu.co/51731/>

Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. (Centro Mundial Agroforesta (ICRAF), Ed.), *Consortio Iniciativa Amazónica (IA) y Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)* (1. ed.). Lima, Perú.

<https://doi.org/ISBN:978-92-9059-254-9>

Sosa, J. O. (2016). *VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SECUESTRO DE CO₂ EN TRES TIPOS DE BOSQUE EN EL DISTRITO DEL ALTO NANAY, LORETO-PERÚ-2014*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Retrieved from <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4283>

User guide Sunnto. (2012). Precision Instruments. *Environmental Design & Construction*. Retrieved from <http://ezproxy.leedsbeckett.ac.uk/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=73875105&site=eds-live&scope=site>

Vallecillo, C. G. (2005). Protocolo de Kioto Situación actual y perspectivas. *WWF*, 16. Retrieved from [http://www.ceida.org/prestige/Documentacion/Protocolo Kioto.pdf](http://www.ceida.org/prestige/Documentacion/Protocolo%20Kioto.pdf)

Vieira, S., Barbosa de Camargo, P., Martinelli, Selhorst, D., da Silva, R., Hutyra, L., ... Martinelli, L. A. (2004). Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia*, 140, 468–479. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-004-1598-z>

Villegas, V. (2014). *Variación del carbono orgánico en suelos del altiplano potosino oeste*. Universidad autónoma de San Luis Potosí. Retrieved from <http://ninive.uaslp.mx/jspui/bitstream/i/3417/1/IAZ1VAR01401.pdf>

White, E. G. (1975). *La Educación Cristiana. Biblioteca del Espiritu de Profecía* (Ellen G. W). Retrieved from [ellenwhiteaudio.org/ebooks/sp/ellenwhite/La Educación Cristiana.pdf](http://ellenwhiteaudio.org/ebooks/sp/ellenwhite/La%20Educaci%20n%20Cristiana.pdf)

Yepes, A., Navarrete, D., Duque, a. J., Phillips, J., Cabrera, K. R., Alvarez, E., ... Ordoñez, M.

- (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia*. Colombia. Retrieved from http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Protocolo+para+la+estimación+nacional+y+subnacional_1.pdf/11c9d26b-5a03-4d13-957e-0bcc1af8f108
- Yohannes, H., & Soromessa, T. (2016). Carbon Stock Analysis along Slope and Slope Aspect Gradient in Gedo Forest: Implications for Climate Change Mitigation. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 6(9). <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000305>
- Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G. ., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., ... Chave, J. (2009). *Global wood density database*. Retrieved from www.nature.com/nature/journal/v428/n6985/full/nature02403.html
- Zhu, H., Wu, J., Guo, S., Huang, D., Zhu, Q., Ge, T., & Lei, T. (2014). Land use and topographic position control soil organic C and N accumulation in eroded hilly watershed of the Loess Plateau. *Catena*, 120, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.007>

Anexos

Anexo 1. Panel Fotográfico



Delimitación de parcelas, mediante el uso de clinómetro.



Determinación del diámetro en arboles con DAP ente 2 a 10 cm (a) y arboles con un DAP \geq 10 cm (b).




Medición del diámetro de madera muerta dentro de los transectos. (a) medición de diámetro y (b) medición de longitud




Colecta de la subparcela de 1 x 1 m.

Anexo 2. Registro de datos de campo.



FORMATO ESTABLECIMIENTO DE PARCELA

Código de Parcela: P010539	Nombre de Parcela: 8539	Fecha de Inicio: 20-07-17	Fecha de Terminación: 21/7/17
Líder de Inventarior: Abelón Zamora	Equipo de Trabajo: Marco Leares, Reynar Sánchez, Misael Soldado, Greca Guillén, Víctor Sánchez, Rober Flores, Clinton Grao		
Área de la Parcela: 50 X 50m	Forma de Parcela: Cuadrada		
Orientación en la Parcela			
Latitud: 5,87771° S	Longitud: 76,15862° W	Latitud: 5,87775° S	Longitud: 76,15814° W
Altitud (m): 162	GPS/Precisión: ± 3	Altitud (m): 163	GPS/Precisión: ± 3
			
Subparcelas y Mapeo de árboles			
Latitud: 5,87817° S	Longitud: 76,15854° W	Latitud: 5,87817° S	Longitud: 76,15813° W
Altitud (m): 152	GPS/Precisión: ± 3	Altitud (m): 164	GPS/Precisión: ± 3
Descripción (Tache la opción que caracteriza la parcela)			
Humedad: Secco	Terrestres: Terrestres	Montaña Baja	Montaña Alta
Composición (Bosque): Bosque Primario	Composición (Suelo): Bamboo-dominante	Palma-dominante	
Uso del Suelo: Vegetación Secundaria Alta	Uso del Suelo: Vegetación Secundaria Baja	Bosque Inundable	Bosque Galería-Ripario
Pendiente: Moderadamente inclinada (10 a 20°)	Pendiente: Casi plana (2 a 5°)	Pastizales	Cultivos Perennes
Alteraciones Antropogénicas (Tache la opción que caracteriza la parcela)			
A	B	C	D
Signos de campo: Cosecha de productos forestales no maderables (Yacina) Senderos Tala y/o Quemado actual o reciente Deforestación consolidada - Sin bosques (>10 años)			

Formato de campo para el establecimiento de la parcela (bosques secundarios 39).

Código del Predio:		Código de la Parcela:		Fecha:					
		BPII		23/6/17					
Equipo Responsable:		Cobertura:		Especie					
Joaquín Karcin, Robinson Díaz		Bosque Primario							
N° árbol	Subparc.	X	Y	Especie	DAP1	DAP2	POM	Condición	N° colecta
1	1	0.2	1.9		12	-	1.3	a	.
2	1	1.9	1.9		15	-	1.3	a	.
3	1	1.5	3.8		20.9	-	1.3	a	.
4	1	6.9	3.5		11.7	-	1.3	a	.
5	1	4.4	6.5		18	-	1.3	a	.
6	1	8.9	5.0		15.2	-	1.3	a	.
7	1	1.0	7.3		40.5	-	1.3	a	.
8	2	4.0	0.9		11.8	-	1.3	ca	.
9	2	3.0	0.6		26.2	-	1.3	ca	.
10	2	4.5	2.0		13	-	1.3	a	.
11	2	1.5	7.8		24.3	-	1.3	ca	.
12	2	0.6	0.0		34.4	-	1.3	ca	.
13	2	9.0	8.0		11.3	-	1.3	a	.
14	3	3.5	2.1		10.3	-	1.3	a	.
15	3	6.8	0.0		12	-	1.3	ca	.
16	3	3.0	3.7		16.4	-	1.3	a	.
17	4	4.0	1.3		26	-	1.3	ca	.
18	4	6.8	2.8		43.3	-	1.3	ca	.
19	4	7.3	2.0		64.1	-	1.6	ca	.
20	4	5.8	5.5		13.4	-	1.3	a	.
21	4	1.3	1.0		25	-	1.3	ca	.
22	4	1.1	1.0		23.9	-	1.3	ca	.
23	4	1.9	5.6		50.8	-	1.3	ca	.
24	4	1.1	5.8		19.2	-	1.3	ca	.
25	4	8.6	6.0		29.1	-	1.3	ca	.
26	5	6.6	1.0		45.0	36.0	3.85	e	811040
27	5	7.4	0.3		19.9	-	1.3	e	.
28	5	7.5	4.9		21	-	1.3	ca	.
29	5	5.8	2.0		12.9	-	1.3	ca	.
30	5	0.9	3.0		17.4	-	1.3	ca	.
31	5	1.9	1.6		11.2	-	1.3	ca	.
32	5	0.5	9.3		32.9	-	1.3	ca	.
33	5	4.4	7.6		3.0	-	1.7	ca	.
34	5	5.6	6.0		20.3	-	1.3	e	.
35	5	9.8	4.0		37.2	-	1.3	54.6	.
36	6	2.5	6.2		16.1	-	1.3	e	.
37	6	3.4	6.3		16.1	-	1.3	ca	.
38	6	3.2	6.4		10.2	-	1.3	ca	.
39	6	6.5	9.5		29.1	-	1.7	ca	.
40	6	6.5	7.0		4.2	-	1.3	ca	.
41	7	5.8	8.5		15.9	-	1.4	e	.
42	7	2.0	5.0		19.5	-	1.7	e	.
43	7	7.4	2.8		15.8	-	1.3	ca	.
44	7	6.0	3.0		73.2	-	e	ca	.
45	7	7.5	2.6		64.0	-	2.8	ca	.
46	7	1.0	2.5		12.5	-	1.3	e	.
47	8	2.4	6.8		26.3	-	2.1	e	.
48	8			60-1	1.3	-	1.3	ca	60-1
49	8	9.0	6.5		16.0	-	1.3	ca	.
50	8	0.1	4.8		43.7	-	1.3	ca	.
51	8	7.8	2.5		35.8	-	1.3	ca	.
52	9	9.5	1.9		42.0	-	2.2	e	.
53	9	9.0	4.5		12.1	-	1.3	e	.
54	9	2.0	1.6		11.6	-	1.3	ca	.
55	10	8.5	1.7		33.9	-	1.3	ca	.
56	10	3.7	3.9		10.5	-	1.3	e	.

Formato de campo para el mapeo de árboles de la parcela (bosque primario 11).

Anexo 3. Ficha técnica del Clinómetro





APPAREIL

Soluciones en Tecnología de Medición

SUUNTO

Clinómetro PM5-360 PC

Su resistente diseño de bolsillo hace que el INCLINÓMETRO SUUNTO sea idóneo para todo tipo de trabajos. Su diseño permite una lectura rápida y sencilla a través de un visor sin paralaje. La observación y la lectura de la escala se hacen simultáneamente. No requiere girar ningún mando, centrar ninguna burbuja ni realizar ajuste alguno. En las situaciones con poco espacio disponible, como en los trabajos geológicos y mineralógicos, la inclinación de los estratos y otras formaciones puede medirse situando el instrumento a lo largo del contorno de la superficie de la formación y leyendo el ángulo directamente a través de la ventana lateral.









Especificaciones
 Peso: 120 g / 4,2 onzas. Dimensiones: 74 x 52 x 15 mm / 2 3/4 x 2 x 5/8 pulg. Las escalas ópticas están graduadas en grados, de 0° a ±90° y del 0% al ±150%. La parte trasera del instrumento tiene impresa una tabla de cosenos.

Resolución
 Permite leer directamente con una exactitud de un grado o un 1%. Permite obtener estimaciones de 10 minutos o 1/5 de 1%, en este último caso aplicando naturalmente las lecturas cercanas al nivel cero.



www.appareil.d appareil@appareil.d (562) 2218 4434

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Medidas	77 x 52 x 15 mm / 3.03 x 2.05 x 0.59 "
Peso	93 g / 3.28 oz
Material de la lente:	Acrílico
¿Qué incluye la caja?	Brújula Suunto KB-14/360R G, con colgante para el cuello, bolsa de nailon y Guía de referencia rápida

- Exactitud 1/3°
- Intervalo de graduación 0,5°
- Escala: acimutal 360°, inversa 360°
- Dioptría ajustable
- Cojinete de zafiro
- Cápsula rellena de líquido para mayor estabilidad
- Carcasa de aleación ligera anodizada
- Bolsa de nailon con lazo para cinturón
- Colgante para cuello
- Garantía de 2 años
- Fabricada en Finlandia

Anexo 5. Ficha técnica del vernier.

**CALIBRADOR VERNIER ANALÓGICO
STANDARD Y MILIMÉTRICO**

El contenido de las fichas técnicas está sujeto a cambios sin previo aviso



Código	Clave
14394	CAL-6MP

ESPECIFICACIONES

Tolerancia	0.001" (0.02mm)
Capacidad máxima	6" (152mm)
Capacidad mínima	0.001" (0.02mm)
Longitud total	230 mm
Ancho de la bayoneta	3 mm
Dureza	52 HRc
Peso	143 g
Empaque	Blister

CARACTERÍSTICAS

- ▶ Fabricado en acero inoxidable
- ▶ Perilla de fijación
- ▶ Control de ajuste manual
- ▶ Practico estuche de plástico para guardar la herramienta

USOS

- ▶ Para mediciones que requieran gran exactitud

Información confidencial. Prohibida su reproducción o divulgación total o parcial, así como su uso o aprovechamiento sin autorización escrita de Truper Herramientas, S.A. de C.V.

Generado: 04/Mayo/2010

Anexo 6. Factura de compra de equipos para la utilización en el presente estudio.



ALTA MONTAÑA
 ALTA MONTAÑA S.A.C.
 Equipos y Servicios para Andarismo,
 Exploración Minera, Petrolera,
 Ecoturismo y Rescate
 Cal. Felipe Bergna 1982 Urb. Las Vistas, Lima - Lima - San Luis Central - (51) 1 325-7005
 E-mail: ventas@altamontana.com.pe Web: www.altamontana.com.pe

R.U.C. N° 20456673083

FACTURA

001 - N° 0012340

Señor(es) *Fundación para el Desarrollo Agrario* Fecha *19* / *12* / *2016*
 Dirección *Jr. Camilo Carrillo Uro. 325 Lima - Lima - Jesus Maria*
 R.U.C. *20101259014* Orden de compra N° _____ Guía N° _____

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	P.UNIT.	TOTAL
1	09295	GPS Garmin Map 64s	1	1,675.40	1,675.40
2	01566	Hipsometro Suunto P9-S/1520 opti	1	680.50	680.50
3	00373	Brujula Metalica Harbin DAL-8	1	336.10	336.10
4	02351	Cinta Diametrica Forestry Suppliers 10MT	1	284.80	284.80
5	01438	Hojas Royales Rite in the Rain bag. x200 und	2	63.20	126.40

Don: tres mil ciento tres con 20/100 Soles

CANCELADO		SUB TOTAL	5/	2,629.83
Lima, de del		I.G.V. 18%	8/	473.37
		TOTAL	3/	3,103.20

ADQUIRENTE O USUARIO

Fuente. Paisajes sostenibles para la Amazonía, 2016

Anexo 7. Operacionalización de variables.

	Variable	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Independiente	Pendiente del suelo	Grado de inclinación	de Grado de inclinación del terreno. (Ligeramente inclinado, inclinado, fuertemente inclinado y moderadamente escarpado)	Categórica ordinal
	Textura del suelo	Granulometría.	Fino/grueso. Franco arcillosa (Fr.Ar), franca (Fr), franca arcillo arenosa (Fr.Ar.A), franca arenosa (Fr.A)y arena franca (A.Fr).	Categórica nominal
Dependiente		Concentración de carbono en compartimento vivo.	Biomasa aérea.	Numérica de razón Mg/ha
	Stock de carbono	Concentración de carbono en compartimento muerto	Necro masa aérea	Numérica de razón Mg/ha
		Concentración de carbono en el suelo	Carbono del suelo.	Numérica de razón Mg/ha
Variable de caracterización	Cobertura boscosa	Tipo de cobertura	Bosque Denso (BD), Bosque Secundario (BS), Vegetación Arborea (VA) y Vegetación Boscosa (VB)	Categórica nominal

Fuente. Elaboración propia, 2019