UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"Evaluación de carbono total en bosque de Tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntze): Centro Poblado Señor de los Milagros, distrito Magdalena, provincia Chachapoyas – Amazonas, 2017"

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

AUTOR : Br. Melissa Lucerito Epquin Rojas

ASESOR : M. Sc. Segundo Manuel Oliva Cruz

CO-ASESOR: M. Sc. Wagner Guzmán Castillo

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"Evaluación de carbono total en bosque de Tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntze): Centro Poblado Señor de los Milagros, distrito Magdalena, provincia Chachapoyas – Amazonas, 2017"

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

AUTOR : Br. Melissa Lucerito Epquin Rojas

ASESOR : M. Sc. Segundo Manuel Oliva Cruz

CO-ASESOR: M. Sc. Wagner Guzmán Castillo

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios quién me ha guiado por el buen camino, dándome fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi madre Madeleine Rojas Grández, por darme la vida, por su coraje de criar una hija sola y ser mi modelo a seguir en todo momento, por su lucha constante, esfuerzo por educarme y darme lo mejor, por todo su apoyo, sus consejos y su amor incondicional. Te amo mamá, sin ti este logro no hubiera sido posible.

A mi hermanita Ariana Baldera Rojas quién siempre me ha apoyado en todo, a pesar de su corta edad.

A mi hija Valeri Brigitte Valdivia Epquin por ser esa personita que día a día me llena de alegría y me impulsa a no rendirme y seguir adelante. A mi novio Jhordy Michael Valdivia Culqui quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir. Los amo son mi motivación, inspiración y felicidad.

Melissa Lucerito Epquin Rojas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyendo en mí en todo momento y sin dudar de mis capacidades y habilidades.

Agradezco también a mi asesor M. Sc. Segundo Manuel Oliva Cruz y co-asesor M.Sc. Wagner Guzmán Castillo por su paciencia y orientación desde la elaboración hasta la culminación de esta investigación. Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), que por medio del Proyecto SNIP N°312252 "Creación de los servicios de Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal" de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, financiaron las etapas de campo y laboratorio de esta investigación. A mis amigos, quienes me apoyaron para la finalización de esta tesis.

Finalmente un eterno agradecimiento a esta casa superior de estudios, la cual abrió sus puertas a jóvenes como nosotros, para ser gestora de nuestra superación, formándonos como profesionales.

Melissa Lucerito Epquin Rojas

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI
RECTOR

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES
DECANO DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

VISTO BUENO DEL ASESOR

El **M. Sc. Segundo Manuel Oliva Cruz**, Director Ejecutivo del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, deja constancia que ha asesorado el proyecto de investigación y la ejecución de la tesis titulada: "**Evaluación de carbono total en bosque de Tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntze): Centro Poblado Señor de los Milagros, distrito Magdalena, provincia Chachapoyas – Amazonas, 2017".**

Asimismo, avala a la **Br. Melissa Lucerito Epquin Rojas,** egresada de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas para la presentación del informe de tesis y me comprometo a orientarla en el levantamiento de las observaciones y la sustentación de la tesis.

Se le expide la presente, a solicitud de la interesada para los fines que estimen conveniente.

Chachapoyas 27 de abril del 2018

M. Sc. Segundo Manuel Oliva Cruz

Director INDES-CES

VISTO BUENO DEL CO ASESOR

El **M.Sc. Wagner Guzmán Castillo**, profesor de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, deja constancia que ha asesorado el proyecto de investigación y la ejecución de la tesis titulada: "**Evaluación de carbono total en bosque de Tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntze): Centro Poblado Señor de los Milagros, distrito Magdalena, provincia Chachapoyas – Amazonas, 2017".**

Asimismo, avala a la **Br. Melissa Lucerito Epquin Rojas,** egresada de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas para la presentación del informe de tesis y me comprometo a orientarla en el levantamiento de las observaciones y la sustentación de la tesis.

Se le expide la presente, a solicitud de la interesada para los fines que estimen conveniente.

Chachapoyas 27 de abril del 2018

M. Sc. Wagner Guzmán Castillo
Docente FICIAM

JURADO EVALUADOR DE TESIS

_____

Lic. José Luis Quispe Osorio

PRESIDENTE

_____

M.Sc. Rosalynn Yohanna Rivera López

SECRETARIO

_____

Ing. M.Sc. Elí Pariente Mondragón

VOCAL

UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Secretaría General
OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS

ANEXO 2-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 27 de abril del año 2018, siendo las 4:00 pm horas, el aspirante: EPQUIN ROJAS, MELISSA LUCERITO

defiende públicamente la Tesis titulada: "Evaluación de Carbono Total en bosque de Tara (Caesalpinia spinosa Molina Kuntze): Centro Poblado Señor de los Milagros, distrito Magdalena, provincia Chachapoyas - Amazonas, 2017"

para optar el Título Profesional en Ingeniería Ambiental

otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado, constituido por:

Presidente : Lic. José Luis Quispe Osorio

Secretario : M.Sc. Rosalynn Yohanna Rivera López

Vocal : M.Sc. Eli Pariente Mondragón

OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS UNTRM

Procedió el (los) aspirante (s) a hacer la exposición de los antecedentes, contenido de la tesis y conclusiones obtenidas de la misma, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la tesis presentada, los miembros del jurado pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones u objeciones consideran oportunas, las cuales fueron contestadas por el los aspirante (s).

Tras la intervención de los miembros del jurado y las oportunas contestaciones del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los miembros del jurado presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el jurado determinará la calificación global concedida a la tesis, en términos de:

Notable o sobresaliente ( ) Aprobado (X) No apto ( )

Otorgada la calificación el presidente del Jurado comunica, en sesión pública, la calificación concedida. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las horas 5:03 pm del mismo día, el jurado concluye el acto de sustentación del Trabajo de Investigación.

PRESIDENTE SECRETARIO VOCAL

OBSERVACIONES: Levantar observaciones

ANEXO 2-O

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo Melissa Lucerito Epquin Rojas

identificado con DNI N° 72805049 Estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis titulada: "Evaluación de carbono total en bosque de Tara (Caesalpinia spinosa Molina Kuntze): Centro Poblado Señor de los Milagros, distrito Magdalena, provincia Chachapoyas - Amazonas, 2017"

   La misma que presento para optar: Título Profesional de Ingeniero Ambiental

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 01 de Mayo de 2018

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....i

AGRADECIMIENTO ii

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS iii

VISTO BUENO DEL ASESOR iv

VISTO BUENO DEL CO ASESOR v

JURADO EVALUADOR DE TESIS.....vi

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS……..vii

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO……..viii

ÍNDICE DE TABLAS.....xi

ÍNDICE DE FIGURAS..... xii

RESUMEN xiii

ABSTRACT.....xiv

I. INTRODUCCIÓN.....1

II. OBJETIVOS.....2

2.1. Objetivo general.....2

2.2. Objetivos específicos 2

III. MARCO TEÓRICO.....3

3.1. Antecedentes del problema 3

3.2. Base teórica.....5

3.3. Definición de términos básicos 10

IV. MATERIAL Y MÉTODOS.....15

4.1. Ubicación del área de estudio 15

4.2. Diseño de contrastación de la hipótesis.....15

4.3. Población, muestra y muestreo 16

4.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos 16
4.5. Procedimiento 18
4.6. Análisis de datos 25
V. RESULTADOS 26
5.1. Caracterización de áreas con árboles de Tara 26
5.2. Cálculo de almacenamiento de carbono en el suelo 26
5.3. Cálculo de carbono total 28
5.4. Ecuación alométrica 30
VI. DISCUSIÓN 33
VII. CONCLUSIONES 36
VIII. RECOMENDACIONES 37
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 38
X. ANEXOS 43
10.1. **Anexo 01:** Mapa de pendiente del área del estudio 44
10.2. **Anexo 02:** Ficha de recolección de información de muestras de suelo para análisis de densidad. 45
10.3. **Anexo 03:** Resultados de análisis de suelo 46
10.4. **Anexo 04:** Prueba t de Student para ver diferencias significativas del contenido de CO_2 en las diferentes profundidades del suelo. 49
10.5. **Anexo 05:** Ficha de recolección de información de árboles de Tara en campo. 50
10.6. **Anexo 06:** Ficha de recolección de información de hojarasca de los árboles de Tara en campo. 51
10.7. **Anexo 07:** Análisis de laboratorio de muestras de suelo y árboles de Tara 52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caracterización de suelo 26
Tabla 2: Carbono orgánico en el suelo (COS) 27
Tabla 3: Biomasa seca por árbol de Tara y por toneladas por hectárea 28
Tabla 4: Biomasa de hojarasca por árbol de Tara y por toneladas por hectárea 29
Tabla 5: Biomasa Vegetal Total (BVT) y Carbono en la Biomasa Vegetal (CBV) 29
Tabla 6: Proyección de CO_2 30
Tabla 7: Estadísticas descriptivas de biomasa, DAP y altura de fuste en árboles de Tara 30
Tabla 8: Evaluación de los estimadores para el DAP y AF para la estimación de biomasa total de Caesalpinia spinosa 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de estudio de carbono 17
Figura 2: Identificación de parcelas. 19
Figura 3: Recolección de muestras en campo de suelo y árboles de Tara. 21
Figura 4: Densidad aparente por parcelas. 27
Figura 5: Porcentaje de biomasa aérea de cada uno de los componentes de la Tara 28
Figura 6: Relación entre DAP y BS 32

RESUMEN

En el Centro Poblado Señor de los Milagros, distrito de Magdalena, se han deforestado los bosques naturales de Tara, generando su degradación; sin embargo, estos parches ecológicos están siendo reforestados con la misma especie; razón por la cual se creyó conveniente evaluar el carbono total en bosque de Tara, tanto en suelo y biomasa aérea, para conocer su potencial como alternativa a obtener fondos y conservar estos bosques. Para realizar esta investigación se utilizaron 15 unidades muestrales; se tomaron 2 muestras de suelo al pie de cada unidad muestral, una de 0-0.15m y otra de 0.15-0.30m; las cuales fueron llevadas al laboratorio para su análisis. Antes del derribo se realizó la medición de variables dasométricas y se tomaron muestras de hojarasca, hojas, ramas, fuste, se pesó en campo y secó en estufa en laboratorio a 75°C. Los resultados obtenidos en el componente suelo fue de 15.49tC/ha y biomasa aérea de 64.39tC/ha, equivalente a 56.81tCO_2/ha y 236.12tCO_2/ha respectivamente. En la determinación de ecuaciones alométricas, se obtuvo que el mejor predictor de biomasa es el DAP, con un R^2 mayor a 0.873. La ecuación que mejor se ajusta para estimar el contenido de biomasa seca en Tara es la ecuación cuadrática $Bt_{(kg)=}$-190.982+61.743*DAP-1.991*DAP^2. Finalmente se calculó que los bosques de Tara secuestran un aproximado de 34,565.74tCO2/118ha en el distrito de Magdalena, que en términos económicos equivaldría a US$446,243.70 aproximadamente, demostrando tener potencial para el mercado de carbono, lo cual sería una fuente de ingresos futura en caso se establezcan negociaciones o créditos de carbono.

Palabras clave: *Caesalpinia spinosa*, carbono, biomasa seca, hojarasca, ecuación alométrica

ABSTRACT

In the Señor de los Milagros Populated Center, Magdalena district, the natural forests of Tara have been deforested, generating their degradation; however, these ecological patches are being reforested with the same species; which is why it is believed that it is the only total of the Tara forest, both in soil and aerial biomass, to know its potential as an alternative. To carry out this research, 15 sample units were used; 2 soil samples were taken at the foot of each sample unit, one of 0-0.15m and another of 0.15-0.30m; which were taken to the laboratory for analysis. Before the felling, the measurement of dasometric variables was carried out and leaves, leaves, branches, stem samples were taken, weighed in the field and dried in a laboratory oven at 75°C. The results obtained in the soil component were 15.49tC / ha and aerial biomass of 64.39tC / ha, equivalent to 56.81tCO2 / ha and 236.12tCO2 / ha respectively. In the determination of allometric equations, it was obtained that the best predictor of biomass is the DAP, with an R^2 greater than 0.873. The equation that best fits to estimate the dry biomass content in Tara is the quadratic equation Bt (kg) = - 190.982 + 61.743 * DAP-1.991 * DAP^2. Finally, it was calculated that the Tara forests sequester an approximate of 34,565.74tCO2 / 118ha in the district of Magdalena, which in economic terms would be equivalent to US $ 446,243.70, demonstrating potential for the carbon market, which would be a future source of income in case negotiations or carbon credits are established.

Keywords: *Caesalpinia spinosa*, carbon, dry biomass, litter, allometric equation.

I. INTRODUCCIÓN

La concentración de gases efecto invernadero (GEI) va en aumento, incrementando el calentamiento de la tierra y causando preocupación a nivel mundial. Uno de los principales responsables de este efecto invernadero es el CO_2 en la atmósfera, causado por las actividades antropogénicas, afectando el equilibrio de radiación del planeta (IPCC, 2001). Razón por la cual se deben tomar medidas para reducir las emisiones de este gas e incrementar su captura en los suelos y biomasa, adoptando nuevas tecnologías y políticas apropiadas en el manejo de bosques y agricultura (FAO, 2002).

Los sistemas forestales y agroforestales son algunos de los grandes sumideros de CO_2; porque son las especies y su manejo adecuado que contribuyen al secuestro de carbono atmosférico para la realización de fotosíntesis y acumulación de biomasa; recuperando simultáneamente áreas degradadas (Douterlungne *et al.*, 2013).

Los países industrializados son los que emiten mayores cantidades de GEI, y países en desarrollo como el Perú con grandes bosques y áreas degradadas localizadas para la reforestación, se pueden ver beneficiados ambiental y económicamente por la venta de bonos de carbono que es de interés para el mercado mundial. Sin embargo; no solo por este motivo la población se puede beneficiar, sino también, puede ser por la selección de plantaciones que generen ingresos económicos a largo, mediano o corto plazo, como son los árboles de tara (*Caesalpinia spinosa*), del cual, sus frutos tienen gran demanda en el mercado exterior, tanto para la industria de fármacos, curtiembres y cosméticos; logrando de esta manera el desarrollo sostenible y la mitigación de los efectos globales del cambio climático.

En el centro poblado Señor de los Milagros se ha venido deforestado gran parte de los bosques naturales de Tara, siendo utilizado en su gran mayoría como fuente de energía. En la actualidad estos parches ecológicos están siendo reforestados con la misma especie, por los grandes beneficios económicos que les generan los frutos a la población, además, de ser una planta nativa que se adapta a cualquier tipo de terreno teniendo por ende una tasa alta de supervivencia y crecimiento en áreas degradadas. Razón por la cual

la provincia de Magdalena cuenta con 118 hectáreas de plantaciones con Tara, representando de esta manera el 31% de las áreas de tara cosechadas a nivel de la región.

En base a lo mencionado, mediante esta investigación se busca determinar cuánto es la capacidad de captura de carbono total del suelo y biomasa aérea de Tara, el cual será una base de información técnica científica para la implementación de planes de reforestación y comercialización de bonos de carbono; no solo para esta zona, sino también para cualquier área que se encuentre degradada o que se quiera conservar con esta especie.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la cantidad de carbono almacenado por el suelo y biomasa aérea del bosque de Tara en el Centro Poblado Señor de los Milagros, distrito Magdalena, provincia Chachapoyas, Amazonas.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar áreas con árboles de Tara en el Centro Poblado Señor de los Milagros.
- Determinar el contenido de carbono en árboles de Tara presentes en el suelo y biomasa aérea.
- Calcular el almacenamiento de carbono por hectárea sembrada con árboles de Tara.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes del problema

A nivel internacional no son muy numerosas las investigaciones relacionadas con captura de carbono en árboles de tara, sin embargo encontramos algunas investigaciones como la de Díaz *et al*. (2015) en la cual evaluó la *Caesalpinia platyloba* como una alternativa para la retención de carbono atmosférico y como una actividad económica factible y viable en términos de ingresos para los campesinos de bosque caducifolio tropical (TDF) en los mercados de carbono. En esta investigación se tomaron muestras de un total de 110 plantaciones de árboles de esta especie y un TDF en el noroeste de México. Se registró el crecimiento de individuos (altura, DAP, edad y cobertura de copa del árbol); y se utilizó el modelo de Schumacher ($H = \beta_0 e^{\beta 1 \cdot E\text{-}1}$), por medio del método de la curva guiada, para ajustar los modelos de crecimiento. Este cultivo alcanza una altura mayor a 8m con 12cm de diámetro y 550cm^3 de volumen, presentando el mayor aumento a los 11 años, el cual es considerado como la edad basal. La densidad de madera más alta se encontró en sitios de buena calidad (0,80 g • cm^{-3}), con un contenido de carbono promedio de 99,15 tC • ha^{-1} e ingresos promedio de US $ 483.33tC • ha^{-1}. Con lo que se concluyó que el cultivo de *Caesalpinia platyloba* es una actividad viable y rentable, considerando un esquema de gestión de los ingresos derivados de la venta de madera y créditos de carbono.

Pérez *et al.* (2015), en su investigación con *Caesalpinia velutina*; de 0.994 g/cm^3 de densidad de la madera y un diámetro aproximado de 25 cm; presentó un alto contenido de carbono y por ende alto costo asociado al control de la temperatura y almacenamiento de carbono a escala de calle y casco urbano. Reportando de esta manera valores de 423.8 kgC/árbol y US $33.3/tC respectivamente.

A nivel nacional se puede citar diferentes autores como Quispe *et al.* (2012), el cual determinó el almacenamiento de carbono atmosférico de la especie *Caesalpinia spinosa* (Tara), cuantificando la producción de biomasa y el contenido de carbono en el tallo, ramas y follaje, en cultivos del sistema agroforestal del campus de la Universidad Peruana Unión. El diseño muestral de la investigación, consistió en dividir 4 parcelas principales en 9 cuadrantes, de los cuales se escogieron aleatoriamente 3, y posteriormente se obtuvieron 2 especies por cuadrante. Caracterizando así, 24 muestras de los 322 árboles de tara de 8 meses de edad. Se identificó la biomasa aérea, utilizando la ecuación alométrica general para árboles de sombra agroforestales citada por ICRAF (Centro Internacional de Investigación Agroforestal), simulando el stock de la tara por hectárea y obteniendo el resultado de 0.113143949 tC/ha. De esta manera, se determinó el buen potencial que tiene esta especie para almacenar carbono atmosférico. Y se puede decir que, si existiera un incremento de plantaciones de tara, la representación anual aproximada en el sistema agroforestal, tendría un ingreso superior a la variable de US$ 0.4865189807 tC/ha identificada en la investigación. Considerando que, el precio por tonelada de carbono fijada esta valorizada en US$4.30 dólares por ha/año. Por lo tanto, trasformar zonas áridas a sistemas agroforestales generaría ingresos socio-económicos y reduciría las emisiones de efecto invernadero, aportando de esta manera al Desarrollo Sostenible, así como a la mitigación de los efectos globales del Cambio Climático.

A nivel local encontramos estudios como la de Pérez & Oliva (2013), en su estudio determinó el carbono en la biomasa aérea de un sistema agroforestal de producción de *Coffe arabica* "café", en asociación con *Myrsine oligophylla* "morocho", *Caesalpnia spinosa* "tara", *Inga edulis* "guaba" y *Acacia macracantha* "huarango" en la cuenca media del río Utcubamba, en la cual se concluyó que la biomasa seca promedio de la tara es de 21.21 Kg y el dióxido de carbono proyectado fue de 27.13 Kg promedio. La línea de tendencia generada por las ecuaciones potenciales se ajusta a los datos de biomasa seca respecto al DAP; a medida que el diámetro aumenta, la biomasa seca se incrementa de forma proporcional.

3.2.Base teórica

a) Captura de carbono

- **Captura de carbono en suelo**

La captura de carbono se efectúa en los ecosistemas forestales mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo.

El carbono cumple un papel fundamental en los procesos fisicoquímicos y biológicos del planeta a través del ciclo de carbono. Los procesos de captura y emisión de carbono son parte de un sistema de cuatro reservorios de carbono (vegetación aérea y radical, materia en descomposición, suelos, productos forestales), con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes y estrechamente interrelacionados (Aguinaco, 2008).

Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO_2 (FAO, 2002). Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). En informes de la FAO (2002), se han analizado la distribución del total de las existencias de carbono del suelo según las principales zonas ecológicas; dichas zonas muestran diferencias significativas en el almacenamiento del carbono orgánico sobre todo en relación a la lluvia y temperatura.

- **Captura de Carbono en la biomasa arbórea**

La acumulación de la biomasa en plantaciones es uno de los indicadores de la productividad ecosistémica, la complejidad estructural y el secuestro de carbono (Douterlungne *et al.*, 2013). El almacenamiento de carbono en árboles, es un servicio ambiental que valoriza la incorporación de especies arbóreas en sistemas agroforestales, y se suma así a posibles beneficios para el productor que adopta estos sistemas alternativos, beneficios hídricos en relación con el

incremento productivo de pastizal y bosque, y beneficios al nivel de fijación de carbono por medio de “bonos verdes” o “de carbono” o su equivalente en impuestos, etc. Los árboles están compuestas de aproximadamente 50% de agua, la biomasa contiene hasta 25% de carbono, siendo este el motivo por el cual, el carbono constituye aproximadamente la mitad del total de la biomasa seca de un árbol; este carbono se encuentra en cantidades grandes en los tallos, hojas, ramas, y raíces (Walker, 2011).

Existen dos métodos para calcular la biomasa arbórea; el método directo o destructivo y el método indirecto o no destructivo. El método directo consiste en cortar el árbol, pesar biomasa directamente y determinar el contenido de carbono pesando cada componente de la biomasa seca; y el método indirecto consiste en estimar la biomasa de acuerdo a sus datos de variables dasométricas tomados en campo o de inventarios forestales los cuales servirán para hacer un análisis de regresión para encontrar las ecuaciones y modelos matemáticos (Schlegel, 2001).

b) Plantaciones de Tara

Es una leguminosa de porte arbustivo, oriunda de Sudamérica, se desarrolla en climas subtropicales y semitropicales y se puede encontrar en Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. (Suárez, 2014). La Tara o Taya, comúnmente conocida, es una especie nativa de Perú, que se adapta a cualquier tipo de terreno; es un árbol que resiste a plagas y enfermedades, necesita muy poca agua, para una óptima producción, requiere de 400 a 600 mm de lluvia anual. Los frutos se cosechan a partir del cuarto año en promedio de 20 a 40 kg por cosecha; además si se tiene manejo agroforestal tecnificada se puede cosechar dos veces al año.

La tara es un cultivo que se desarrolla desde el nivel del mar hasta 2 800 m s. n. m.; pero el rango de mayor producción está entre los 800 y 2 600 m s. n. m., a una temperatura de 12° a 28°C; sin embargo, para cada fenológico del cultivo existe un óptimo pero aún se desconoce (CooperAcción Acción Solidaria para el Desarrollo Programa de Desarrollo Costero, 2014; Suárez, 2014). Además, para que la Tara crezca bien es necesario la eliminación de las malezas, arbustos y árboles que le

quitan los nutrientes, el agua de suelo y la luz del sol. El raleo en el cual se elimina definitivamente las plantas más débiles o demasiado juntas, permitiendo asegurar un distanciamiento adecuado entre las mejores plantas. La poda que sirve para eliminar las ramas menos productivas y más viejas, mejorar la conformación del árbol, eliminar las ramas enfermas y eliminar las ramas que son rebrotes viejos. La eliminación de plantas parásitas, en el cual se destruyen todas las plantas parásitas y hospederas como achupallas, tuyos, salvajina, líquenes, que se encuentran en las ramas de la copa del árbol o en su tronco (Programa Desarrollo Rural Sostenible de la Cooperación Técnica Alemana, 2006). El ciclo productivo es prolongado en terrenos con riego, llega en promedio hasta los 85 años; comienza a producir prematuramente a los 4, alcanza su mayor producción a partir de los 15 años, empieza a disminuir a los 65 y resulta prácticamente improductiva a los 85 años (GTZ, 2006).

En la región Amazonas la Tara es de origen silvestre y se encuentra en las provincias de Luya, Bongará, Chachapoyas, y en menor medida Utcubamba; sin embargo, esta última es la que tiene mayor densidad de producción por hectárea. (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, 2007). La Tara silvestre en el distrito de Magdalena existe en tierras marginales comunales y de propiedad privada, a una altitud de 1500 a 2300 m s. n. m., y cada productor maneja aproximadamente entre 1 a 10 ha de tara, con un rendimiento de 10 a 14 kg por árbol, equivalente a unos 2,400 kg/ha (MINCETUR, 2007).

- **Aspectos taxonómicos**

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Fabales
Familia	: Caesalpiniaceae
Género	: Caesalpinia
Taxón	: Caesalpinia spinosa (Mol.) Kuntze

Fuente: The fiel museum, 2017.

- **Etimología e historia**

  El género está dedicado al italiano Andrea Caesalpino (1519-1603), botánico, naturalista, recolector de plantas, filósofo y médico. El epíteto específico *spinosa* procede del latín *spinosus-a-um* = espina, en alusión a las espinas de sus ramas.

  La Tara es una planta originaria del Perú utilizada desde la época prehispánica en la medicina folclórica o popular y en años recientes, como materia prima en el mercado mundial de hidrocoloides alimenticios.

- **Descripción botánica**

  Árbol pequeño, de 2 a 3 metros de altura, puede llegar a medir hasta 12 m, fuste corto, cilíndrico y a veces tortuoso, está provisto de una corteza gris espinosa, ramillas densamente pobladas, dando la impresión de varios tallos. La copa de la Tara es irregular, aparasolada y poco densa, con ramas ascendentes. Sus hojas son en forma de plumas, parcadas, ovoides y brillantes ligeramente espinosa de color verde oscuro y miden 15 cm de largo. Sus flores son de color amarillo rojizo dispuestos en racimos de 8 a 15 cm de largo. Sus frutos son vainas explanadas e idehiscentes color naranja de 8 a 10 cm de largo y 2 cm de ancho aproximadamente, contienen de 4 a 7 granos de semilla redondeadas de 0.6 a 0.7 cm de diámetro y son de color pardo negruzco al madurar.

  Inflorescencia con racimos terminales de 15 a 20 cm de longitud con flores ubicadas en la mitad distal. Flores hermafroditas, zigomorfas; cáliz irregular provisto de un sépalo muy largo de alrededor de 1 cm, con numerosos apéndices en el borde, cóncavo; corola con pétalos libres de color amarillento, dispuestas en racimos de 8 a 20 cm de largo, con pedúnculos pubescentes de 5 cm de largo, articulado debajo de un cáliz corto y tubular de 6 cm de longitud, los pétalos son aproximadamente dos veces más grandes que los estambres.

Generalmente un árbol de tara da frutos a los tres años, y si es silvestre a los cuatro años. Su promedio de vida es de cien años y el área que ocupa cada árbol es de 10 m^2.

- **Suelo**

  La Tara es un cultivo muy rustico, por ende se puede desarrollar en una amplia gama de tipos de suelos; sin embargo, reporta los mejores resultados de rendimientos en suelos de textura franco, franco arenoso y franco arcilloso; además se puede desarrollar a una humedad relativa de 60 a 80%; sin embargo, responde bien en un amplio rango de humedad relativa (Suárez, 2014).

- **Usos**

  La Tara posee un inmenso potencial médico, alimenticio e industrial, siendo de gran utilidad para la producción de hidrocoloides o gomas, taninos y ácido gálico, entre otros. La vaina representa el 62% del peso de los frutos y es la que precisamente posee la mayor concentración de taninos, que oscila entre 40 y 60%. Estos taninos se utilizan en la industria para el curtido de cueros, fabricación de plásticos y adhesivos, galvanizado y galvanoplásticos, conservación de aparejos de pesca de condición bactericida y fungicida, como clarificador de vinos, como sustituto de la malta para dar cuerpo a la cerveza; en la industria farmacéutica por tener un amplio uso terapéutico, para la protección de metales, cosmetología, perforación petrolífera, industria del caucho, mantenimiento de pozos de petróleo y como parte de las pinturas dándole una acción anticorrosiva.

  Otro elemento que se obtiene de los taninos de la Tara, es el ácido gálico, que es utilizado como antioxidante en la industria del aceite, en la industria cervecera como un elemento blanqueante o decolorante, en fotografía, tintes, como agente curtiembre, manufactura del papel, en productos de farmacia y otros relacionados al grabado y litografía.

  Las semillas, de uso forrajero, tienen en su composición porcentual en peso el 40% de cáscara, 27% de gomas, 26.5% de germen (almendra) con altísimo contenido de proteínas de gran concentración de metionina y triftofano de

buena calidad; grasa y aceites que podrían servir para el consumo humano y 7.5% de humedad. De esta parte del fruto, se obtienen aceites, goma usada para dar consistencia a los helados, harina proteica y derivados como: jabones, pinturas, barnices, esmaltes, tintes de imprenta, mantecas y margarinas comestibles, pues presenta un contenido de ácidos libres de 1,4% (ácido oleico) es aceptable comercialmente aceptable por su baja acidez.

Es utilizada, muy frecuentemente en la medicina tradicional para aliviar malestares de la garganta; sinusitis; infecciones vaginales y micóticas; lavado de los ojos inflamados; heridas crónicas y en el diente cariado; dolor de estómago; las diarreas; cólera; reumatismo y resfriado; depurativo del colesterol.

La madera sirve para la confección de vigas, viguetas o chaclas, para construir viviendas; mangos de herramientas de labranza de buena calidad y postes para cercos. Así como leña y carbón debido a sus bondades caloríficas. En la agroforestería la tara es usada como cerco vivo y para el manejo de rebrotes. Así como también es usada como plaguicida; ya que, el agua de la cocción de las vainas secas es efectivo contra piojos e insectos.

3.3.Definición de términos básicos

a) Dióxido de carbono

El dióxido de carbono, es un gas de efecto invernadero que se encuentra en la atmósfera. Las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y otros procesos, aumentan significativamente su concentración en la atmósfera contribuyendo al calentamiento global del planeta. De acuerdo con los estudios realizados por universidades y organizaciones, el incremento del CO_2 atmosférico en los últimos 200 años es significativamente mayor que el evaluado para toda la vida del hombre sobre la tierra, previo a la industrialización, pasando de un promedio de 280 partes por millón (ppm) a casi 380ppm en 2005 (Aguinaco, 2008).

Este gas es el que sirve de referencia frente al que se miden otros gases de efecto invernadero, por esta razón tiene un potencial de calentamiento mundial de 1 (Lopez, 2017).

b) Carbono orgánico

El C orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental. En condiciones naturales, el C orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO_2 a la atmósfera, erosión y lixiviación. Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo (55 Pg C $año^{-1}$ a nivel global) es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable (0,4 Pg C $año^{-1}$). El CO_2 emitido desde el suelo a la atmósfera no solo se produce por la mineralización de la materia orgánica del suelo donde participa la fauna edáfica (organismos detritívoros) y los microorganismos, sino también se genera por el metabolismo de las raíces de las plantas (Martínez, *et al.*, 2008).

c) Biomasa

Es la masa total de organismos vivos de una especie dadas o zona identificada, que suele expresarse como peso en seco (IPCC, 2006).

d) Biomasa aérea

Es la vegetación viva encontrada encima del suelo; aquí se incluye tallos, tronco, ramas, la corteza, semillas y las hojas (IPCC, 2006).

e) Hojarasca

Biomasa no viva que yace muerta, en diversos estados de descomposición por encima o dentro del suelo mineral u orgánico, con un tamaño mayor de 2 mm, el cual es el límite establecido para materia orgánica del suelo y menor que el diámetro mínimo elegido para madera muerta (IPCC, 2006).

f) Reservorio de carbono

Sistema con capacidad de acumular o liberar carbono, expresándose en unidades de masa (IPCC, 2006). Por intermedio de los reservorios de carbono los árboles absorben CO_2 que subsana las pérdidas de este gas que sufren por la respiración y lo que se emite en otros procesos naturales como la descomposición de materia orgánica (Lopez, 2017).

Las reservas terrestres de carbono de todo el carbono almacenado en los ecosistemas se encuentran en:

- Biomasa de plantas vivas (aérea y subterránea)
- Biomasa de plantas muertas (aérea y subterránea)
- Suelo (en materia orgánica de la tierra y, en cantidades ínfimas, como biomasa animal y de microorganismos)

c) Cambio climático

En el Boletín de la Organización Meteorológica Mundial (2015) sobre los gases de efecto invernadero se señala que entre 1990 y 2014 el forzamiento radiactivo el cual tiene un efecto de calentamiento del clima experimento un incremento del 36% a causa de los gases de efecto invernadero de larga duración, tales como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) o el óxido nitroso (N_2O), resultantes de las actividades industriales, agrícolas y domésticas.

Además se habla sobre la interacción entre los niveles crecientes de dióxido de carbono y vapor de agua, que es uno de los principales gases de efecto invernadero. El aire más caliente retiene más vapor de agua y, así, el alza de las temperaturas en superficie causada por el CO_2 provoca un aumento de los niveles globales de vapor de agua, lo cual aumenta todavía más el efecto invernadero. Un nuevo incremento de las concentraciones de CO_2 llevaría a un aumento desproporcionado de la energía térmica y del calentamiento resultante del vapor de agua.

En 2014 la concentración atmosférica de CO_2 alcanzó 397,7 ppm. En ese mismo año, en el hemisferio norte, las concentraciones de CO_2 sobrepasaron el valor simbólico de 400 ppm en primavera, época en la que el CO_2 es más abundante; y, en la primavera de 2015, la concentración atmosférica media mundial de CO_2 cruzó también la barrera de 400 ppm (OMM, 2015).

d) Protocolo de Kyoto

En torno al problema del calentamiento global se ha generado en la última década una interesante corriente de términos de coordinación de acciones internacionales para mitigar este problema y de esta manera evitar graves consecuencias que esto traería para la vida en la tierra. Por esta razón las naciones firmaron el Convenio Marco sobre Cambio Climático, que posteriormente llevó a la firma del Protocolo de Kyoto, en el que la mayoría de países industrializados se comprometieron a reducir cuantificadamente sus emisiones de GEI.

De esos dos documentos se desprende la necesidad de establecer a nivel mundial, programas que dirijan las acciones de los países en dos direcciones: adaptación y mitigación. Este último campo es donde se ha desarrollado el mayor trabajo a nivel mundial, el cual se ha manifestado en cuatro grandes políticas:

- Disminución de la participación del uso de combustibles fósiles.
- Incremento en la participación de energías renovables.
- Incremento en la eficiencia energética.
- Captura y Almacenamiento de carbono, como Mecanismo de Desarrollo Limpio.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es uno de los mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto; siendo estos mecanismos diseñados para buscar abaratar los costos y facilitar a los países industrializados el cumplimiento de los compromisos de reducción de emisiones de GEI acordados bajo el Protocolo. El MDL también debe apoyar a los países en desarrollo en la búsqueda del desarrollo sustentable.

En la base del Protocolo de Kyoto, el requisito principal para la aprobación de proyectos de Desarrollo Limpio es que éstos deben demostrar su contribución al desarrollo sustentable del país que los acoge. Si éste fuera el caso, existiría en los proyectos MDL el objetivo prioritario de desarrollar uno o varios mecanismos orientados hacia el mejoramiento de las condiciones de vida de las poblaciones locales, si tales proyectos tuvieran énfasis en asegurar que las comunidades reciban beneficios reales (Ledezma & Caballero, 2013).

e) Método de Walkley & Black

Método de Walkley & Black es uno de los métodos más eficientes en la determinación de Carbono Orgánico en el suelo; ya que, tiene como principio oxidar la materia orgánica con una mezcla de K2CrO7 más H2SO4. El exceso K2CrO7 es determinado por titulación con Sal de Mohr. El porcentaje de materia orgánica es igual al porcentaje de carbono orgánico multiplicado por el factor de 1.724 por 58% de carbono de la materia orgánica (Bazán, 1996).

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

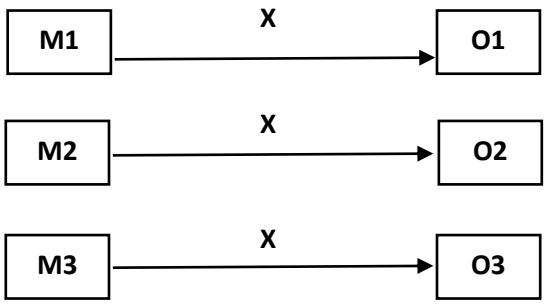
4.1. Ubicación del área de estudio

La investigación se realizó en el Centro Poblado Señor de los Milagros del distrito de Magdalena; perteneciente a la provincia de Chachapoyas (Figura 1); este caserío es uno de los que se encuentra a orillas del río Utcubamba.

La provincia de Chachapoyas tiene 21 distritos, uno de ellos es el distrito de Magdalena, limita por el norte con el distrito de Levanto y el distrito de San Isidro de Maino; por el este con la provincia de Rodríguez de Mendoza; por el sur con el distrito de La Jalca y; por el oeste con la provincia de Luya. Abarca una superficie de 135.47 km², tiene una densidad poblacional de 6,5 hab/km^2, equivalente a 880 hab. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007); y se ubica a una altitud media de 1980 m s. n. m.

4.2. Diseño de contrastación de la hipótesis

El diseño será de comparación con varios grupos y casillas, los cuales serán sometidos al mismo estímulo (X), en tiempos y lugares diferentes.



Donde:

M1: Muestra de suelo de 0 – 0.15 m.

O1 : Diagnóstico del contenido de carbono

X : Análisis químicos.

M2: Muestra de suelo de 0.15 – 0.30 m.

O2 : Diagnóstico del contenido de carbono

M3: Muestra de biomasa aérea de Tara.

O3 : Diagnóstico del contenido de carbono

4.3. Población, muestra y muestreo

La población estuvo constituida por todas las áreas con árboles de Tara del Centro Poblado Señor de los Milagros, distrito Magdalena. Se utilizó un muestreo no probabilístico, en el cual, la selección de las muestras fue de tres parcelas, en cada parcela para la toma de datos se seleccionó cinco unidades muestrales de Tara al azar. Para la toma de muestras en hojarasca y suelo, se utilizó el método del cuadrante y se tomó calicatas de 0.30 m de profundidad en cada uno de las unidades muestrales respectivamente.

4.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el estudio se utilizó el método destructivo que incluye mediciones en campo y toma de muestras de la totalidad de la vegetación, teniendo en cuenta algunos criterios de evaluación; ya que este método arroja resultados de alta confiabilidad. Para la recolección de datos se utilizó fichas de colecta de información de muestras tomadas en campo y fichas de colecta de información de laboratorio.

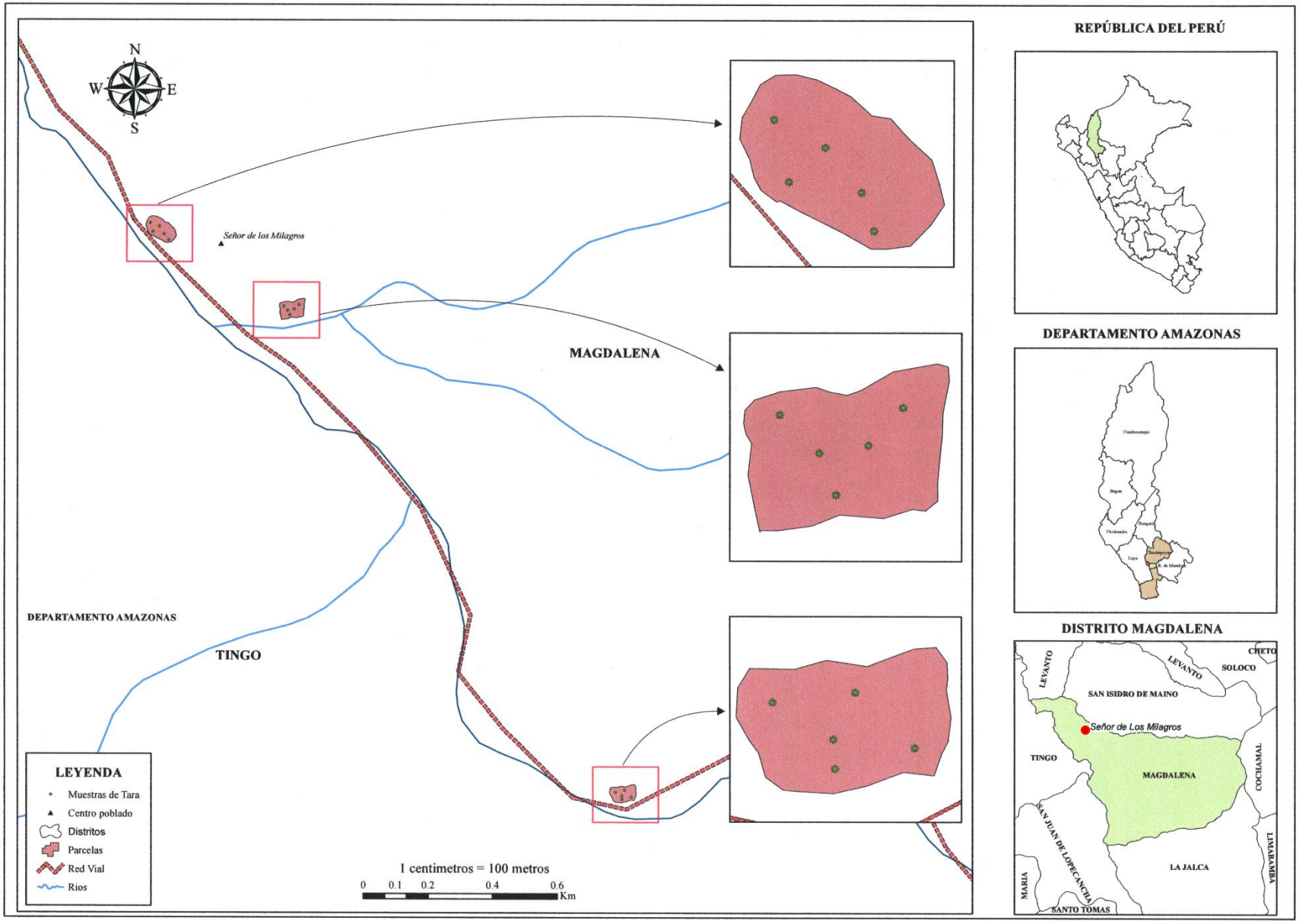


Figura 1: Ubicación del área de estudio de carbono

4.5. Procedimiento

La investigación se desarrolló en cuatro fases que se detallan a continuación:

Fase Preliminar

Se realizó la recolección de información bibliográfica referente a estudios anteriores. Además se elaboró los mapas de ubicación del área de estudio.

Fase de Campo

- **Selección de parcelas experimentales**

  Las parcelas seleccionadas tuvieron el mismo microclima (temperatura, precipitación, altitud), condiciones de uso de suelo, estado de conservación agronómico y perturbación de la vegetación (Figura 2).

- **Caracterización de parcelas experimentales**

  Se realizó la identificación y caracterización de parcelas experimentales mediante el sistema de Geoposicionamiento Global (GPS); se midió pendiente con ayuda de un distanciómetro Leica Disto D8 y por último se hizo una caracterización físico-química del suelo (Figura 2).

- **Toma de muestras de suelo para análisis de materia orgánica**

  Para el muestreo de suelo se utilizó la metodología propuesto por el Reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos, establecido mediante el Decreto Supremo Nº 013-2010-AG (El Peruano, 2010). Por ello se tomaron calicatas de 0.30 m de profundidad, al pie de cada uno de las unidades muestrales; logrando de esta manera tener definidos los horizontes entre 0 – 0.15 m y 0.15 – 0.30 m (Figura 3). Las muestras tomadas en campo fueron recolectadas en bolsas de polipropileno y codificadas de la siguiente manera: Código de la parcela, N° de muestra, horizonte; para luego ser trasladados al laboratorio.

Figura 2: Identificación de parcelas: (A) Parcela 1, (B) Parcela 2, (C) Parcela 3, (D) Medición de pendiente con ayuda de un distanciometro.

- **Toma de muestras de suelo para densidad aparente**

  Con un martillo de pico se clavó un cilindro muestreador hasta una profundidad de 10 cm, se extrajo la muestra con cuidado, evitando pérdidas de suelo. Se retiró el exceso de suelo para que este quede nivelada siguiendo los bordes del anillo del cilindro; por último, se colocó en una bolsa de polipropileno para ser pesados en campo y posteriormente llevados a laboratorio codificadas con el código de la parcela y N° de muestra.

- **Toma de muestras de biomasa aérea**

  Se utilizó la metodología empleada por Picard *et al.* (2012); para ello se extrajo la parte aérea de 5 unidades muéstrales en cada una de las parcelas. Antes del derribo se realizó la medición de diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura del fuste limpio. Se seccionó el fuste y las ramas, el fuste se seccionó en tamaños de 2 m de largo, del cual se extrajo rodajas de 5 cm de espesor. Las ramas y el fuste fueron pesados en campo; de estas se tomó muestras para ser llevados al laboratorio y se codificó de la siguiente manera: Código de la parcela, N° de muestra (Figura 3 y 4).

- **Toma de muestras de hojarasca**

  Se cuantificó los materiales muertos procedentes de los árboles de Tara como hojas, flores, frutos; en cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m. La hojarasca fue pesada en campo y codificada de la siguiente manera: Código de la parcela, N° de muestra; para ser trasladado al laboratorio (Figura 4).

Figura 3: Recolección de muestras en campo de suelo y árboles de Tara: (A) Toma de muestras de suelo, (B) Derribo de árboles de Tara, (C) Limpieza del fuste y recolección de ramas secundarias y terciarias, (D) Medición del fuste limpio, (E) Pesado del fuste limpio (F) Limpieza de ramas secundarias y terciarias y recolección de biomasa. (G) Extracción de rodajas del fuste limpio de 5cm de espesor, (H) Recolección de hojarascas.

Fase de Laboratorio

- **Análisis de suelo**

  Para el análisis de materia orgánica (M.O) del suelo se utilizó el método de Walkley y Black, el cual se realizó en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (LABISAG).

- **Análisis de muestras de biomasa y hojarasca**

  Las muestras de ramas, fuste, hojas y hojarasca fueron secadas en la estufa a 75°C hasta obtener peso constante (González, 2008). Para ello se utilizó el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (LABISAG).

Fase de Gabinete

En la elaboración de mapas de ubicación, delimitación y pendiente de parcelas experimentales se utilizó el Software ArcGis v. 10.2. y Google Earth.

Para la determinación de carbono orgánico de suelo y biomasa aérea se realizó lo siguiente:

- **Estimación del Carbono Orgánico en el Suelo (COS)**

  La estimación del carbono orgánico almacenado en suelo se calculó por hectárea (Gorbitz, 2001).

$$\mathbf{Ws = a * p * da}$$

Donde:

Ws= Peso del suelo

a = Área (ha)

p = Profundidad

da = Densidad aparente del suelo (Kg/m^3)

Luego:

$$\textbf{C.O (t/ha) = Ws * \% CO}$$

Donde:

CO = Carbono orgánico

Ws = Peso del suelo calculado

- **Determinación de Biomasa Seca (BS)**

  La biomasa seca de cada componente del árbol de Tara se determinó mediante la relación peso seco - peso fresco de las muestras en cada componente (González, 2008).

$$\textbf{BSc = (PS / PH) * BHc}$$

Donde:

BSc = Biomasa seca del componente (kg)

PS = Peso seco de la muestra (g)

PH = Peso húmedo de la muestra (g)

BHc = Biomasa húmeda del componente (kg)

La biomasa seca total de cada árbol es determinada sumando la biomasa seca de cada uno de sus Componentes (González, 2008).

$$\textbf{BS total = BS fuste + BS ramas + BS hojas}$$

- **Determinación de biomasa de hojarasca (Bh)**

  La biomasa de hojarasca se determinó por medio se la relación de peso fresco total, peso fresco de toda la muestra y el peso seco (Gorbitz, 2001).

  Bh (t/ha) = ((PSM/PFM)*PFT)*0.004

  Donde:

  Bh = Biomasa de hojarasca

  PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)

  PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)

  PFM = Peso fresco total por metro cuadrado (g)

  0.004 = Factor de conversión

- C**álculo de la Biomasa Vegetal Total (BVT)**

  La biomasa vegetal total se calcula sumando la biomasa arbórea y la biomasa de hojarasca (Gorbitz, 2001).

  BVT (t/ha) = BS + Bh

  Donde:

  BVT = Biomasa vegetal total (t/ha)

  BA = Biomasa arbórea

  Bh = Biomasa de hojarasca

- **Determinación de Carbono Total (CT)**

  La determinación de carbono total en la parte aérea se realiza multiplicando la biomasa seca por el factor 0.5, el factor promedio de carbono registrado en especies vegetales (Gorbitz, 2001).

  CBV individuo = BS total individuo * 0.5

  Donde:

  CBV = Carbono total en la Biomasa Vegetal

  BS = Biomasa seca

  0.5 = Factor de conversión

  El resultado del carbono total en la biomasa se multiplica por el factor de conversión de 3.666, el cual es resultado de la división del peso molecular del CO_2 (44) entre el peso molecular del carbono (12) para obtener la proyección de CO_2 capturado por los árboles de Tara (Valenzuela, 2001).

- **Formulación de ecuaciones alométricas – método indirecto:**

  Se formuló ecuaciones, en base a variables dasométricas como altura de fuste, DAP y biomasa, para estimar las reservas de carbono en función de la masa seca de materia orgánica.

4.6. Análisis de datos

Los resultados de carbono en suelo se analizaron mediante la prueba T de Student al 5 % de significancia para ver las diferencias significativas del contenido de CO_2 en las diferentes profundidades del suelo.

Además para la formulación de ecuaciones alométricas, se hizo un análisis estadístico que consiste en pruebas de regresión múltiple, con el objetivo de definir la mejor correlación (R^2) entre la variable dependiente respecto a las independientes, utilizando el software estadístico SPSS 20.0.

V. RESULTADOS

5.1. Caracterización de áreas con árboles de Tara

Se identificaron tres parcelas con bosque de Tara, las cuales se encontraban en un valle interandino, con un relieve accidentado y montañoso, a una altura aproximada de 1827 m s. n. m., y una pendiente de 36°. Estas parcelas son partes de bosques naturales pero que se encuentran conservados por los mismos dueños, dándoles un manejo agronómico de deshierbas y podas continuas.

Los análisis de caracterización de suelo a diferentes profundidades arrojaron que son suelos franco arcillo arenosos, moderadamente alcalinos, con una fertilidad media, con alta materia orgánica y una densidad de 0.99 g/m^3 aproximadamente (Tabla 1).

Tabla 1: *Caracterización de suelo*

N° Par.	Muestra (cm)	pH (1:1)	C.E. (1:1)	P	K	C	M.O	N	Análisis Mecánico		
									Arena	Limo	Arcilla
			(dS/ m)	ppm		%	%	%	%	%	%
1	0 – 15	7.90	0.24	9.97	189.15	3.21	5.53	0.28	61.28	12.88	25.84
	15 – 30	8.09	0.30	8.05	154.88	3.14	5.42	0.27	60.08	14.08	25.84
2	0 – 15	8.17	0.33	15.89	342.67	3.02	5.21	0.26	62.08	12.88	25.04
	15 – 30	8.18	0.33	12.87	273.21	2.61	4.50	0.23	57.28	14.88	27.84
3	0 – 15	7.87	0.39	19.14	450.01	3.49	6.02	0.30	76.48	8.48	15.04
	15 – 30	7.96	0.46	17.82	430.21	2.53	4.37	0.22	69.28	11.68	19.04

5.2. Cálculo de almacenamiento de carbono en el suelo

- **Densidad Aparente**

  El Figura 4 nos muestra que los valores de densidad aparente del suelo de la parcela 1 fue de 0.89 g/m^3, menor a la parcela 3 que fue de 1.06 g/m^3.

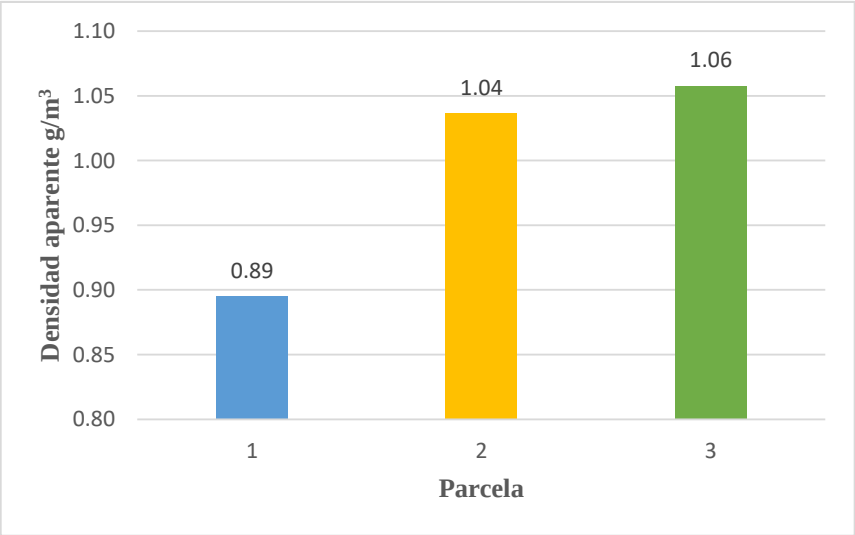


***Figura 4*:** Densidad aparente por parcelas.

- **Carbono en suelo**

Para el cálculo de carbono en suelo se realizó la conversión de la densidad en kg/m^3 para que de esta manera se encuentre el valor del peso de suelo por hectárea y con el resultado obtenido se halle la cantidad de carbono almacenado por el suelo por parcela. El resultado de COS fue de 15.49 tC/ha aproximadamente, equivalente a 56.81 tCO_2/ha. Como se observa en la tabla 2 en las muestras de 0 – 0.15m el carbono orgánico es mayor a las de 0.15 – 0.30m, obteniendo valores promedios de 7.99 tC/ha y 7.50 tC/ha respectivamente. Estos valores de acuerdo a la prueba T de Student al 5% de significación, no mostraron diferencias significativas con respecto a la profundidad de muestreo.

Tabla 2: *Carbono orgánico en el suelo (COS)*

N° Parcela	Muestra (m)	COS (tC/ha)
1	0 – 0.15	7.35
	0.15 - 0.30	6.00
2	0 – 0.15	9.52
	0.15 - 0.30	9.29
3	0 – 0.15	7.11
	0.15 - 0.30	7.21

5.3. Cálculo de carbono total

Con los datos obtenidos en campo y laboratorio se aplicó las fórmulas anteriormente propuestas y se obtuvo lo siguiente:

- **Biomasa seca (Bs)**

  Para determinar la biomasa arbórea se calculó la biomasa seca de las hojas, fuste, ramas secundarias y ramas terciarias. Los resultados de estos cálculos fueron sumados y se obtuvo los datos de biomasa por árbol de Tara; así como también por hectárea. El resultado obtenido fue que los árboles de Tara tienen un aproximado de 115.93 Kg de biomasa seca por árbol, equivalente a 128.79 t/ha (Tabla 3).

Tabla 3: *Biomasa seca por árbol de Tara y por toneladas por hectárea*

N° parcela	Biomasa seca (Kg)	Biomasa seca (t/ha)
1	127.85	142.04
2	80.28	89.19
3	139.65	155.15
PROMEDIO	**115.93**	**128.79**

En la figura 5 se muestra el porcentaje de biomasa aérea de cada uno de los componentes de la Tara, en el cual se obtuvo como resultado el almacenamiento de carbono se encuentra distribuido en mayor cantidad en el fuste (69.87%), seguido de las ramas (24.02%) y por último en las hojas (6.10%).

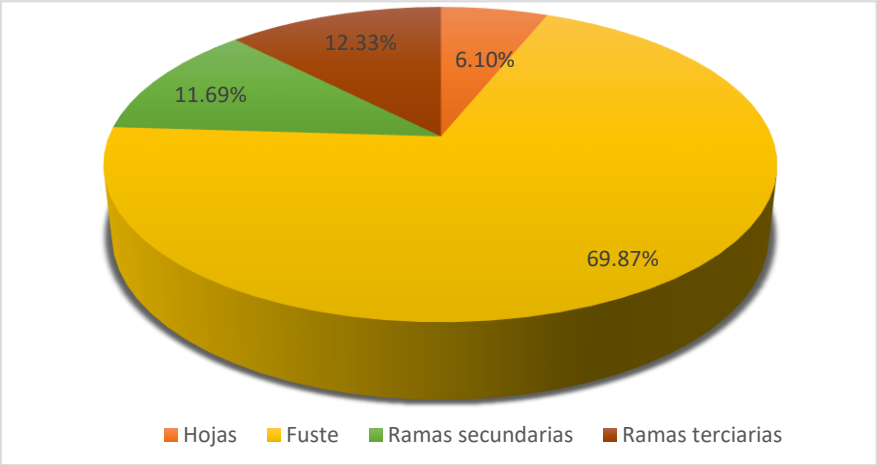


Figura 5: *Porcentaje de biomasa aérea de cada uno de los componentes de la Tara*

- **Biomasa de hojarasca (Bh)**

  En la determinación de biomasa de hojarasca se obtuvo que un árbol de Tara tiene 0.0832 g de biomasa de hojarasca, el cual equivale a 9.24×10^{-5} t/ha (Tabla 4).

Tabla 4: *Biomasa de hojarasca por árbol de Tara y por toneladas por hectárea*

N° Parcela	Biomasa de hojarasca (g)	Biomasa de hojarasca (t/ha)
1	0.0544	6.04×10^{-5}
2	0.1136	12.62×10^{-5}
3	0.0816	9.07×10^{-5}
PROMEDIO	**0.0832**	**9.24×10^{-5}**

- **Carbono total (CT)**

  Para determinar el carbono total se calculó la biomasa total del componente sumando la biomasa seca más la biomasa de hojarasca y este resultado se multiplicó por el factor de conversión. Dándonos como resultado que cada árbol de Tara tiene 57.96 Kg de carbono en su biomasa vegetal, equivalente a 64.39 tC/ha (Tabla 5).

Tabla 5: *Biomasa Vegetal Total (BVT) y Carbono en la Biomasa Vegetal (CBV)*

N° Parcela	BVT (Kg)	BVT (t/ha)	CBV (Kg C)	CBV (tC/ha)
1	127.85	142.04	63.92	71.02
2	80.28	89.19	40.14	44.59
3	139.65	155.15	69.83	77.58
PROMEDIO	**115.93**	**128.79**	**57.96**	**64.39**

Para hallar la proyección de CO_2 se multiplica el carbono de biomasa vegetal por 3.666, el cual es el resultado de la división entre el peso molecular del CO_2 (44) por el peso molecular del carbono (12). En tabla 6 se observa que los árboles de Tara capturan un aproximado de 212.53 Kg de CO_2 por árbol, haciendo un promedio de 236.12 t/ha de CO_2.

Tabla 6: *Proyección de CO_2*

N° Parcela	CO_2 (Kg)	CO_2 (t/ha)
1	234.38	260.39
2	147.18	163.52
3	256.03	284.45
PROMEDIO	**212.53**	**236.12**

La cantidad aproximada de carbono que secuestra el bosque de Tara es de 34,565.74tCO_2/118ha del distrito de Magdalena, que en términos económicos equivale a US$446,243.70 aproximadamente, considerando que la tonelada capturada de CO_2 equivale a US$ 12.91 (SENDECO_2, 2018).

5.4. Ecuación alométrica

Las ecuaciones alométricas se construyeron en base a 15 unidades muestrales de Tara; se evaluó DAP y altura de fuste, estas variables se correlacionaron para ver cuál era la que presentaba la regresión más alta. En la tabla 7 se puede observar los datos de las estadísticas descriptivas de las variables de biomasa, DAP y altura de fuste; las cuales indican que los árboles de Tara tienen en promedio un aproximado de 115.93 Kg de biomasa seca, 6.33 cm de DAP y 5.02 m de altura.

Tabla 7: *Estadísticas descriptivas de biomasa, DAP y altura de fuste en árboles de Tara*

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Biomasa total (Kg)	40.08	235.46	115.9254	52.92812
DAP (cm)	4.46	10.50	6.3293	1.49426
Altura de fuste (m)	4.00	7.60	5.0167	0.94189

Para realizar la construcción de las ecuaciones alométricas se hizo una ecuación lineal simple con dos variables, utilizando la variable DAP y la variable Altura Fuste (AF) tal y como se observa en tabla 8, obteniendo como la ecuación:

Bt = -94.396 + 32.708 * DAP + 0.655 * AF, con un p=0.000 (DAP) y p=0.918 (AF)

Demostrándonos que es altamente significativo y que existe suficiente evidencia estadística para concluir que la variable DAP puede ser usada para predecir la biomasa seca siendo esta una variable de medición y mayor precisión que la altura; ya que, para la altura el nivel de significancia es mayor a 0.05 y por ende no influye significativamente en la estimación de biomasa total.

Tabla 8: *Evaluación de los estimadores para el DAP y AF para la estimación de biomasa total de Caesalpinia spinosa*

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-94.396	36.950		-2.555	0.025
	DAP	32.708	3.903	0.924	8.381	0.000
	Altura de fuste	0.655	6.197	0.012	0.106	0.918

La tabla 9 nos muestra los estadísticos de ajuste de los modelos probados con una variable (DAP) para estimar la biomasa total de Tara, con la cual se puede llegar a la conclusión que, la significancia de los modelos es altamente significativa en todos los casos; sin embargo, el R^2 de la ecuación cuadrática es relativamente mayor y por ende existe suficiente evidencia estadística para poder utilizar la ecuación cuadrática como la ecuación que más se ajusta para estimar la cantidad de carbono en tara.

Tabla N° 09: *Ecuaciones alométricas probados para la estimación de biomasa total de Caesalpinia spinosa*

Tipo de ecuación	Ecuación alométrica	R^2	p
Ecuación Lineal Simple	Bt = - 91.521 + 32.774 * DAP	0.858	0.000
Ecuación Logarítmica	Bt = - 295.351 + 225.737 Ln (DAP)	0.871	0.000
Ecuación Cuadrática	Bt = -190.982+61.743*DAP– 1.991*DAP^2	0.873	0.000
Ecuación Inversa	Bt = 29.154 – 117.987 * 1/DAP	0.843	0.000

Por lo tanto la ecuación elegida para estimar la cantidad de biomasa total en plantaciones de Tara y para su posterior estimación a carbono y CO^2, por árbol en una determinada área en el distrito de Magdalena es la siguiente:

$$\mathbf{Bt_{(kg)} = -190.982 + 61.743 * DAP - 1.991 * DAP^2}$$

Esta ecuación toma como variable regresora al DAP, presentando un coeficiente de determinación del 0.873 lo que significa que el DAP expresa la cantidad de carbono en un 87 %, cuyo valor tiene un nivel de confianza aceptable; tal y como se aprecia en la figura 4, donde a mayor DAP la biomasa va en aumento en la curva de la ecuación.

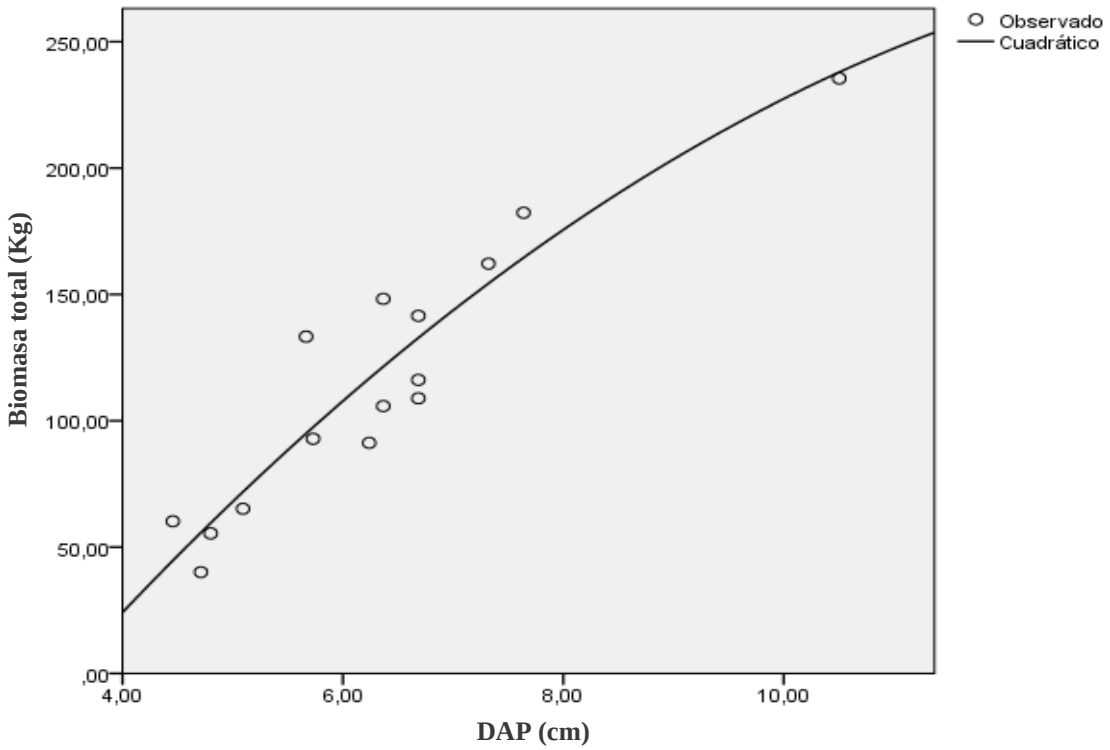


Figura 6: Relación entre DAP y BS

VI. DISCUSIÓN

Los análisis de caracterización de suelo, proyectan resultados de una textura franco arcillo arenoso predominante, un pH moderadamente alcalino, con una fertilidad media y un porcentaje alto de materia orgánica; estos son algunos factores que influyen en la descomposición de la materia orgánica y así en las reservas de carbono en el componente suelo. Las reservas de carbono orgánico en un suelo está íntimamente relacionado al contenido de materiales finos (arcillas y limos) del mismo; ya que, estas preservan la materia orgánica (Romanya *et al*., 2007). Además, mientas mayor sea el contenido de carbono orgánico del suelo mayor será el tamaño de los agregados, existiendo de esta manera una relación entre ambos (Martínez *et al*, 2008). Por otro lado el pH da las condiciones para aumentar los parámetros de carbono y nitrógeno y por ende también el porcentaje de materia orgánica (Luza, 2015).

La materia orgánica es capaz de aumentar la capacidad tampón del suelo, debido a los grupos activos presentes, los cuales proporcionan ciertos grados de acidez a las bases (Martínez *et al*, 2008).

Los resultados de los análisis de C y N en el suelo es mayor en las muestras de 0 a 0.15 m, esta tendencia tiene bastante similitud con la de Luza (2015) quien menciona que la mayor cantidad de C y N en el suelo se encuentra entre los 0 – 10 cm. Sin embargo estos componentes en suelo pueden variar, dependiendo del tipo de uso del suelo, la cobertura vegetal y prácticas de manejo (Carvajal *et al*, 2009).

Los valores de densidad aparente estuvieron entre 0.89 y 1.06 g/m^3, que corresponden a valores bajos y por la relación directamente proporcional que existe entre la densidad aparente y la compactación se puede decir que se tratan de suelos no compactados (Blanco, 2009). Esta condición favorable de suelo se debe a las cantidades altas de materia orgánica, ya que esta mejora propiedades como la porosidad del suelo, evitando problemas como la compactación (Martínez *et al*., 2008).

Los valores de materia orgánica encontrados en el suelo van desde 4.53 a 6.07%, lo que indica que se tiene un suelo de buena calidad, ya que la materia orgánica del suelo es un indicador clave, tanto para temas de productividad como para la provisión de servicios ambientales como la captura de carbono y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (García *et al*., 2012). Además, los valores encontrados de materia orgánica superan el 4% necesario para ser considerados como suelos orgánicos (Vela *et al*., 2011).

El promedio de carbono orgánico en suelo para la capa superficial (0 - 0.15 m) fue de 7.99 tC/ha y para la capa de 0.15 – 0.30 m fue de 7.50 tC/ha, estos resultados coinciden con Carvajal *et al* (2009), quien menciona que la profundidad influye en el contenido de materia orgánica. Sin embargo, los depósitos de carbono almacenados son mayores y varían en los primeros 30 cm del suelo, por lo que se presume que este va disminuyendo conforme aumenta la profundidad del mismo y se prefiere evaluar solo en este espesor (Cifuentes *et al*., 2004). Estos resultados concuerdan con Zambrano *et al.* (2004) quien menciona que existe una mayor concentración de carbono cerca a la superficie del suelo; es decir, en los macroagregados, proveniente de la biomasa microbiana y el carbono mineralizable.

La cantidad de carbono capturado por los árboles de Tara de esta investigación fue de 64.39 tC/ha, el cual equivale a 236.12 tCO_2/ha; estos resultados se pueden comprar con los obtenidos por Quispe *et al.* (2012) quien obtuvo un valor de 0.1131 tC/ha en plantaciones de *Caesalpinia spinosa* de 8 meses de edad. También existen investigaciones con otras especies pero que pertenecen a la misma familia, como la de Díaz *et al.* (2015), quienes evaluaron plantaciones de *Caesalpinia platyloba*, reportando un contenido de carbono promedio de 99.15 tC/ha; Pérez *et al.* (2015) quien reportó en su investigación un valor de 423.8 KgC/árbol en *Caesalpinia velutina*. Siendo de esta manera una buena opción para almacenamiento de carbono atmosférico a largo plazo por sus tasas altas de supervivencia y crecimiento rápido (Kanowski y Catterall, 2010).

Las ecuaciones con términos cuadráticos o cúbicos son útiles (Chave et al., 2005) y reflejan cambios en las tasas de acumulación de biomasa, probablemente debido a la proporción cambiante de tejidos lignificados y blandos durante los estados juveniles y maduros (Douterlungne *et al.*, 2013). En el caso de la ecuación cuadrática resultante para esta investigación, se tiene como variable regresora al DAP que es una variable más fácil de medir en comparación a la altura total del árbol. La validez de la ecuación alométrica está fundamentada en el hecho de que existe una relación proporcional entre los crecimientos relativos de los componentes de un individuo (Sola, *et al.*, 2012).

VII. CONCLUSIONES

- La caracterización de las áreas con árboles de tara permitió la evaluación de parámetros físico-químicos del suelo, como resultado se obtuvo un pH alcalino, una conductividad eléctrica de 0.34 aproximadamente, 13.96 ppm de P, 306.69 ppm de K, 3% de C, 5.18% M.O, 0.26% de N y una clase textural franco arcillo arenoso.

- La cantidad de carbono almacenado en suelo fue de 15.49 tC/ha equivalente a 56.81 tCO_2/ha, y en la biomasa vegetal fue de 57.96 KgC/árbol de Tara equivalente a 212,53 $KgCO_2$/árbol. Además se estimó que los árboles de Tara contienen un promedio de 115.926 Kg/árbol de biomasa vegetal total. Los cuales se encuentran distribuidos en mayor cantidad en el fuste con 69.87%, seguido de las ramas terciarias con 12.33%, ramas secundarias con 11.69% y por último en las hojas con 6.10%.

- Se evaluó el almacenamiento de carbono por hectárea sembrada con árboles de Tara dándonos como resultado 64.39 tC/ha equivalente a 236,12 tCO_2/ha.

- En cuanto a la ecuación alométrica seleccionada para estimar el contenido de biomasa total en árboles de Tara que posteriormente describirá el comportamiento del carbono en el distrito de Magdalena está definida por la ecuación cuadrática $Bt_{(kg)} = - 190.982 + 61.743 * DAP – 1.991 * DAP^2$; la cual tiene como variable regresora al DAP y un coeficiente de determinación del 0.873; es decir que, el 87% de la variación del carbono se debe al DAP.

- La cantidad secuestrada de carbono del bosque de tara es de 34,565.74tCO_2/118ha del distrito de Magdalena, equivalente a US$446,243.70 aproximadamente, demostrando de esta manera que los árboles de Tara tienen un gran potencial de almacenamiento y captura de carbono.

VIII. RECOMENDACIONES

- Estudiar al bosque natural de Tara en asociación con otras plantas en el distrito de Magdalena para elevar la precisión de las ecuaciones alométricas, y de esta manera continuar con la determinación de carbono obteniendo datos estratificados por zonas aproximándose mejor a los valores reales por territorio y realizar las ventas de bonos de carbono.

- Hacer el registro de plantaciones forestales de Tara en la región Amazonas para que de esta manera se pueda acelerar el proceso de la venta de bonos de carbono.

- Generar proyectos para pagos de bonos de carbono en la región Amazonas, en donde se utilicen investigaciones como la presente para promover la conservación y el mantenimiento de bosques y áreas de reserva; y de esta manera los pequeños productores también participen y mejoren sus condiciones socioeconómicas.

- Teniendo en cuenta la diversidad de ecosistemas presentes en el Perú, es necesario realizar investigaciones de estudios de otros servicios ambientales de ecosistemas forestales, relacionado a la recuperación de suelos, erosión de laderas, entre otros; los cuales serán beneficiosos para el ámbito local así como mundial.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguinaco, V. J. (2008). Captura y almacenamiento de dióxido de carbono. Obtenido de: http://www.ai.org.mx/ai/archivos/coloquios/6/Captura_y_Almacenamiento_de_Dioxido_de_Carbono.pdf

Bazán, R. (1996). *Manual para el análisis químico de suelos y aguas y plantas. Universidad Nacional Agraria la Molina*. Lima. Perú.

Blanco, R. (2009). La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia* 43(3): 231-239.

Carvajal A. F., Feijoo A., Quintero H., Rondón M. A. (2009). Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos. *Rev. Cienc. Suelo Nutr.* 9(3): 222-235.

Chave, J., C. Andalo, S. Brown, and M. A. Cairns. (2005). Tree allometric and improved estimation of carbono stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99.

Cifuentes M.,Jobse J., Watson V. & Kauffman B. (2004). Determinación de carbono en suelos de diferentes tipos de uso de tierra a lo largo de una gradiente climática en Costa Rica. OregonStateUniversity. Centro Científico Tropical de Costa Rica.

CooperAcción Acción Solidaria para el Desarrollo Programa de Desarrollo Costero. (2014). *Manual de reforestación con tara como alternativa de mitigación del cambio climático en ecosistemas costeros protegidos.* Lima: Ed. Grafick-art.

Díaz-Gustavo N, Martínez-Salvador M, García-Hernández JL, Norzagaray-Campos M, Luna-González A, González-Ocampo HA. (2015). Carbon Sequestration of Caesalpinia platyloba S. Watt (Leguminosae) (Lott 1985) in the Tropical Deciduous Forest. *PLoS ONE* 10(5): e0125478. doi:10.1371/journal.pone.0125478.

Douterlungne, D., Herrera Gorocica, A. M., Ferguson, B. G., Siddique, I., y Soto Pinto, L. (2013). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia*, 47(4): 385-397.

El Peruano. (2010). Decreto Supremo N° 013-2010-AG. MINAGRI. Lima, Perú.

FAO. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelo. Obtenido de: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/Y2779S/y2779s06.htm

García, Y.; Ramírez, W.; Sánchez, S. 2012. Indicadores de calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes* 35(2): 125-138.

Gorbitz, G. (2001). Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea en Plantaciones de 8 años de *Calycophyllum spruceanum* b. en el Valle del Aguaytía. Lima - Perú

González, M. (2008). Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, *Pinus oocarpa* var. Ochoterenai Mtz. y Quercus sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. CATIE. Turrialba, Costa Rica, 97 pp.

GTZ (Programa Desarrollo Rural Sostenible de la Cooperación Técnica Alemana), Sede Cajamarca. (2006). Manual El cultivo de Tara en Cajamarca. Cajamarca.

Kanowski, J., & C. P. Catterall. (2010). Carbon stocks in above-ground biomass of monoculture plantations, mixed species plantations and environmental restoration plantings in north-east Australia. *Ecol. Manage. Restor*. 11: 119-126.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). Censos Nacionales 2007 XI de población y VI de vivienda. Sistema de Consulta de Datos de Censos Poblados (CCPP) y Población Dispersa. 2007.

IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2001). El Cambio Climático (en línea). Wembley. Obtenido de: https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-spm/synthesis-spmes.pdf.

IPCC. (2006). Tierras Forestales. Capítulo 4. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Obtenido de http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_ Land.pdf.

IPCC. 2006. Asentamientos. Capítulo 8. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Obtenido de: http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_08_Ch8_Settlem ents.pdf.

Ledezma, M., & Caballero, Y. (2013). Marco de análisis del mecanismo de desarrollo limpio y las oportunidades del mercado del carbono para el desarrollo de Colombia. *Producción + Limpia, 8*(1), 48-79.

Lopez Guzman, H. G. (2017). Estimación de carbono aéreo en plantaciones de Teca (Tectona grandis L.f.) de catorce y quince años de edad. Guatemala: Tesis para optar el grado de Ingeniero Forestal. Universidad Rafael Landívar.

Luza, I. (2015). Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en bosques andinos, Huancayo, Perú. *ECIPerú* 11(2): 33-41.

Martínez E., Fuentes J. P., Acevedo E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 8(1): 68-96.

MINCETUR (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo). (2007). Plan estratégico regional de exportación Región Amazonas.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (9 de noviembre de 2015). Obtenido de: https://www.wmo.int/media/es/content/las-concentraciones-de-gases-de-efecto-invernadero-vuelven-batir-un-r%C3%A9cord.

Pérez, M. E., López, A., Asturías, M., López, J., Zuñiga, E., Velásquez, W., Monroy, B., Méndez, R., Calderón, T., Castillo, M., Hernández, G., Franco, C., Roldan, D., Sánce, S., Marcos, J., Velásquez, S. (2015). Los árboles como reguladores de temperatura y almacenaje de carbono: Estudio preliminar sobre los servicios ecosistémicos y percepción social en el municipio de Chiquimula. *Ciencia & Conservación*, 6(1): 25-40.

Pérez, R. J., & Oliva, S. M. (2013). Determinación de carbono en la biomasa aérea de sistema agroforestal de producción *Coffe arabica* "café", en asociación con *Myrsine oligophylla* "morocho", *Caesalpnia spinosa* "tara", *Inga edulis* "guaba" y *Acacia macracantha* "huarango" en la cuenca media del rio Utcubamba. Amazonas.

Picard N., Saint-André L., Henry M. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier, 223 pp.

Quispe, K.; Mamani, M.; Rodríguez, J. I.; Marcas, S.; Romero, M.; Meza, D.; Quispecuro, J.; Soto, J.; Rodrigo, D. (2012). Simulación de la remoción de carbono en la especie: Caesalpinia Spinosa (Tara). Lima.

Romanya J., Rovira P., Vallejo R. (2007). Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la conservación a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo. *Ecosistemas* 16(1): 50-57.

Schlegel, B. (2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*, 13.

SENDECO$_2$. (2018). Disponible en: http://www.sendeco2.com/es/precios-co2. Fecha de revisión: 26/03/2018.

Sola, G., Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). Resumen del manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Rome, Montpellier: Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

Suárez M, M. (2014). *Manual de reforestación con tara como alternativa de mitigación del cambio climático en ecosistemas costeros protegidos.* Lima: Ed. Grafik-art.

The field museum. (2017). Neotropical Herbarium Specimens. Obtenido de: http://fm1.fieldmuseum.org/vrrc/?page=view&id=62550&PHPSESSID=a77ba2982bbfac1e138127846c8130ea.

Valenzuela, H. 2001. Estimación de secuestro de carbono en bosques naturales de oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Distrito Federal. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

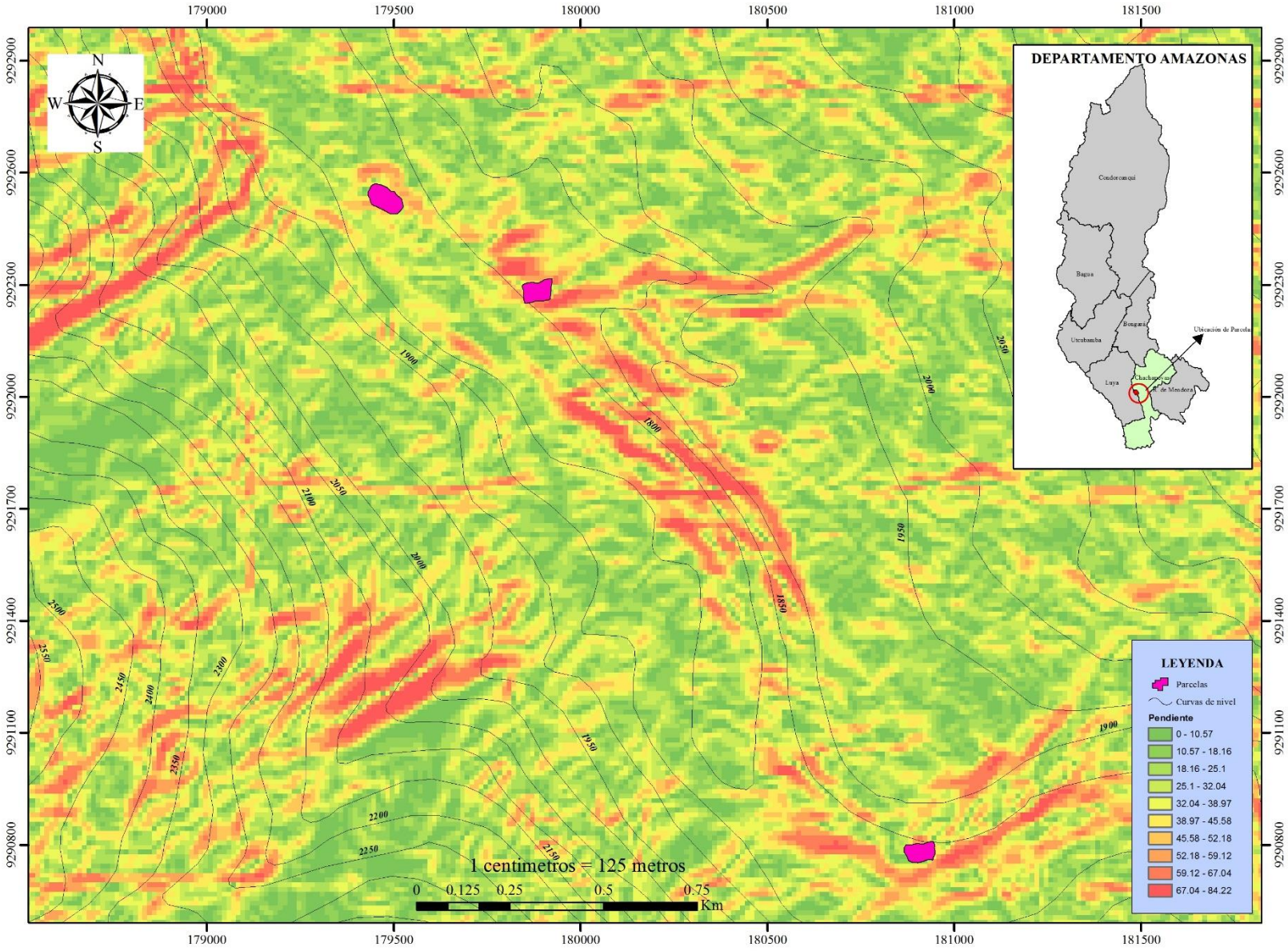
Vela, G.; López, J.; Rodríguez, M.L. 2011. Niveles de carbono orgánico total en el suelo de conservación del distrito federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 77: 18-30.

Walker, W. (2011). Guía de Campo para la Estimación de Biomasa y Carbono Forestal. Massachusetts, USA. 49 p. Obtenido de: https://es.scribd.com/document/262772474/ESTIMACION-DE-BIOMASA-Y-CARBONO-VEGETAL-pdf

Zambrano, A., Franquis F., Infante A. (2004). Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales. *Rev. For. Lat.* 35: 11-20.

x. ANEXOS

10.1. Anexo 01: Mapa de pendiente del área del estudio.



10.2. Anexo 02: Ficha de recolección de información de muestras de suelo para análisis de densidad.

Parcela	Código	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Volumen del cilindro (m^3)	Densidad (g/m^3)
1	A1 - S1 (0 - 15)	227	205	237.58	0.86
	A1 - S1 (15 -30)	236	215	237.58	0.90
	A1 - S2 (0 - 15)	249	251	237.58	1.06
	A1 - S2 (15 -30)	249	242	237.58	1.02
	A1 - S3 (0 - 15)	207	196	237.58	0.82
	A1 - S3 (15 -30)	178	166	237.58	0.69
	A1 - S4 (0 - 15)	237	219	237.58	0.92
	A1 - S4 (15 -30)	217	210	237.58	0.88
	A1 - S5 (0 - 15)	197	179	237.58	0.75
	A1 - S5 (15 -30)	251	243	237.58	1.02
2	A2 - S1 (0 - 15)	275	261	237.58	1.09
	A2 - S1 (15 -30)	266	253	237.58	1.06
	A2 - S2 (0 - 15)	204	191	237.58	0.80
	A2 - S2 (15 -30)	282	267	237.58	1.12
	A2 - S3 (0 - 15)	251	239	237.58	1.01
	A2 - S3 (15 -30)	281	263	237.58	1.11
	A2 - S4 (0 - 15)	240	228	237.58	0.96
	A2 - S4 (15 -30)	259	249	237.58	1.05
	A2 - S5 (0 - 15)	267	251	237.58	1.06
	A2 - S5 (15 -30)	275	261	237.58	1.09
3	A3 - S1 (0 - 15)	268	249	237.58	1.05
	A3 - S1 (15 -30)	278	262	237.58	1.10
	A3 - S2 (0 - 15)	262	246	237.58	1.04
	A3 - S2 (15 -30)	277	261	237.58	1.09
	A3 - S3 (0 - 15)	255	241	237.58	1.01
	A3 - S3 (15 -30)	278	267	237.58	1.12
	A3 - S4 (0 - 15)	253	236	237.58	0.99
	A3 - S4 (15 -30)	232	213	237.58	0.89
	A3 - S5 (0 - 15)	282	268	237.58	1.13
	A3 - S5 (15 -30)	285	270	237.58	1.14

10.3. Anexo 03: Resultados de análisis de suelo.

UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, INDES-CES
Laboratorio de Investigación de Suelos Y Aguas

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Chachapoyas, 19 de diciembre del 2017

CARTA Nº 357-2017-UNTRM/INDES-CES/LABISAG/SUELOS

Solicitante:

MELISSA LUCERITO EPQUIN ROJAS

Presente;

Asunto: Alcanza resultados de muestras de suelo

De mi consideración;

Me dirijo a usted para expresarle un cordial saludo y al mismo tiempo alcanzar, en 02 folios hábiles, el resultado del análisis de las muestras de suelo realizado en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la UNTRM, correspondiente al anexo Señor de los Milagros, distrito Magdalena, provincia Chachapoyas, departamento Amazonas.

Seguro de la atención al presente y sin otro en particular, aprovecho la oportunidad para testimoniarle las muestras de mi consideración y estima.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL "TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS" LABISAG
Blgo. FERNANDO CORROTO DE LA FUENTE
RESPONSABLE

C.c
Archivo.

"UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE CEJA DE SELVA"
LABORATORIO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y AGUAS

Labisag

ANALISIS DE SUELOS : FERTILIDAD

1. DATOS :

Solicitante : MELISSA LUCERITO EPQUIN ROJAS

Departamento : AMAZONAS
Provincia : CHACHAPOYAS
Distrit : MAGDALENA

Anexo : SEÑOR DE LOS MILAGROS
Fecha : 19/12/2017

2. RESULTADO DEL ANALISIS SOLICITADO

Número de Muestra		pH	C.E.	P	K	C	M.O	N	Análisis Mecánico			Clase
Lab	Muestra		(1:1)						Arena	Limo	Arcilla	Textural
		(1:1)	dS/m			%	%	%	%	%	%	
1126	A1 T1 (0-15)	7.84	0.20	7.74	132.90	1.81	3.11	0.16	59.3	9.3	31.4	Fr.Ar.A.
1127	A1 T1 (15-30)	8.19	0.20	5.33	70.30	3.15	5.43	0.27	57.3	15.3	27.4	Fr.Ar.A.
1128	A1 T2 (0-15)	8.04	0.29	13.03	252.12	3.56	6.14	0.31	61.3	15.3	23.4	Fr.Ar.A.
1129	A1 T2 (15-30)	8.11	0.30	11.49	142.79	3.54	6.10	0.30	63.3	13.3	23.4	Fr.Ar.A.
1130	A1 T3 (0-15)	7.68	0.27	11.49	260.38	4.13	7.12	0.36	59.3	11.3	29.4	Fr.Ar.A.
1131	A1 T3 (15-30)	7.69	0.35	9.76	295.41	2.32	4.00	0.20	63.3	15.3	21.4	Fr.Ar.A.
1132	A1 T4 (0-15)	8.18	0.24	9.56	197.76	3.35	5.78	0.29	63.3	13.3	23.4	Fr.Ar.A.
1133	A1 T4 (15-30)	8.27	0.38	7.49	159.49	3.87	6.67	0.33	59.3	13.3	27.4	Fr.Ar.A.
1134	A1 T5 (0-15)	7.75	0.21	8.02	102.57	3.20	5.52	0.28	63.3	15.3	21.4	Fr.Ar.A.
1135	A1 T5 (15-30)	8.19	0.28	6.20	106.42	2.84	4.89	0.24	57.3	13.3	29.4	Fr.Ar.A.
1136	A2 T1 (0-15)	8.18	0.41	18.32	412.65	2.32	4.00	0.20	69.3	9.3	21.4	Fr.Ar.A.
1137	A2 T1 (15-30)	8.28	0.33	16.97	403.53	1.81	3.11	0.16	61.3	11.3	27.4	Fr.Ar.A.
1138	A2 T2 (0-15)	8.23	0.32	15.05	407.96	3.48	6.01	0.30	59.3	17.3	23.4	Fr.Ar.A.
1139	A2 T2 (15-30)	8.16	0.36	11.58	385.12	2.84	4.89	0.24	55.3	19.3	25.4	Fr.Ar.A.
1140	A2 T3 (0-15)	8.14	0.26	9.95	242.42	3.10	5.34	0.27	53.3	13.3	33.4	Fr.Ar.A.

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
LABORATORIO DE INVESTIGACION DE SUELOS Y AGUAS - LABISAG

Tec. Elder Chiliquis Vela
RESPONSABLE DEL AREA DE SUELOS

"UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE CEJA DE SELVA"
LABORATORIO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y AGUAS

ANALISIS DE SUELOS : FERTILIDAD

1. DATOS :

Solicitante : MELISSA LUCERITO EPQUIN ROJAS

Departamento : AMAZONAS
Provincia : CHACHAPOYAS
Distrit : MAGDALENA

Anexo : SEÑOR DE LOS MILAGROS
Fecha : 19/12/2017

2. RESULTADO DEL ANALISIS SOLICITADO

Número de Muestra		pH	C.E.	P	K	C	M.O	N	Análisis Mecánico			Clase Textural
Lab	Muestra		(1:1)						Arena	Limo	Arcilla	
		(1:1)	dS/m			%	%	%	%	%	%	
1141	A2 T3 (15-30)	8.21	0.23	8.50	125.32	1.55	2.67	0.13	53.3	15.3	31.4	Fr.Ar.A.
1142	A2 T4 (0-15)	8.21	0.31	16.87	428.11	3.07	5.29	0.26	63.3	11.3	25.4	Fr.Ar.A.
1143	A2 T4 (15-30)	8.18	0.30	12.35	222.40	3.20	5.52	0.28	55.3	13.3	31.4	Fr.Ar.A.
1144	A2 T5 (0-15)	8.07	0.34	19.28	222.19	3.15	5.43	0.27	65.3	13.3	21.4	Fr.Ar.A.
1145	A2 T5 (15-30)	8.07	0.42	14.95	229.69	3.66	6.32	0.32	61.3	15.3	23.4	Fr.Ar.A.
1146	A3 T1 (0-15)	7.67	0.45	19.28	438.42	3.87	6.67	0.33	79.3	7.3	13.4	Fr.A.
1147	A3 T1 (15-30)	7.79	0.44	22.26	455.64	2.84	4.89	0.24	75.3	11.3	13.4	Fr.A.
1148	A3 T2 (0-15)	7.90	0.40	19.57	437.86	4.10	7.07	0.35	77.3	9.3	13.4	Fr.A.
1149	A3 T2 (15-30)	8.00	0.46	17.85	435.21	2.84	4.89	0.24	75.3	9.3	15.4	Fr.A.
1150	A3 T3 (0-15)	7.95	0.42	11.78	447.36	3.20	5.52	0.28	67.3	13.3	19.4	Fr.A.
1151	A3 T3 (15-30)	8.20	0.50	11.78	417.66	3.12	5.38	0.27	51.3	17.3	31.4	Fr.Ar.A.
1152	A3 T4 (0-15)	7.85	0.47	24.86	465.75	3.17	5.47	0.27	79.3	7.3	13.4	Fr.A.
1153	A3 T4 (15-30)	8.05	0.45	20.05	381.48	1.29	2.22	0.11	69.3	9.3	21.4	Fr.Ar.A.
1154	A3 T5 (0-15)	7.98	0.21	20.24	460.65	3.10	5.34	0.27	79.3	5.3	15.4	Fr.A.
1155	A3 T5 (15-30)	7.75	0.45	17.16	461.08	2.58	4.45	0.22	75.3	11.3	13.4	Fr.A.

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

UNIVERSIDAD NACIONAL "TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS" LABORATORIO DE INVESTIGACION DE SUELOS Y AGUAS - LABISAG

Ing. Elder Chichipe Vela
RESPONSABLE DEL AREA DE SUELOS

10.4. Anexo 04: Prueba t de Student para ver diferencias significativas del contenido de CO_2 en las diferentes profundidades del suelo.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra			
		Profundidad	**COS**
N		30	30
Parámetros normales[a,b]	Media	1.5000	7.7467
	Desviación típica	.50855	2.05553
Diferencias más extremas	Absoluta	.337	.130
	Positiva	.337	.079
	Negativa	-.337	-.130
Z de Kolmogorov-Smirnov		1.847	.710
Sig. asintót. (bilateral)		.002	.695
a. La distribución de contraste es la Normal.			
b. Se han calculado a partir de los datos.			

Estadísticos de grupo					
Profundidad		**N**	**Media**	**Desviación típ.**	**Error típ. de la media**
COS	0-0.15	15	7.99	1.87	0.48
	0.15-0.30	15	7.50	2.26	0.58

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		**Prueba T para la igualdad de medias**						
		F	**Sig.**	**t**	**gl**	**Sig. (bilateral)**	**Diferencia de medias**	**Error típ. de la diferencia**	**95% Intervalo de confianza para la diferencia**	
									Inferior	**Superior**
COS	Se han asumido varianzas iguales	0.54	0.47	0.65	28	0.52	0.49	0.76	-1.06	2.04
	No se han asumido varianzas iguales			0.65	27	0.52	0.49	0.76	-1.06	2.05

10.5. Anexo 05: Ficha de recolección de información de árboles de Tara en campo.

Parcela	Código	Sur	Norte	Altura m s.n.m.	DAP (cm)	Fuste		Biomasa (Kg)	Ramas Secundarias (Kg)	Ramas Terciarias (Kg)
						Altura (m)	Peso (Kg)			
1	A1 - T1	180917	9290767	1835	21	7.6	16.32	2.2	2.22	1.56
	A1 - T2	180904	9290763	1838	31	4.4	24.36	2.2	4.06	1.76
	A1 - T3	180903	9290774	1835	12	4	4.1	0.48	0.52	0.28
	A1 - T4	180915	9290772	1837	19	4.77	9.36	0.68	0.84	0.92
	A1 - T5	180921	9290773	1836	14	5.5	6.5	0.66	0.8	0.62
2	A2 - T1	179487	9292515	1815	19	5.2	8.12	1.3	3.06	1.88
	A2 - T2	179476	9292518	1814	17.6	6.2	8.9	0.8	0.68	1.72
	A2 - T3	179473	9292523	1812	13.08	4.35	5.36	0.56	0.22	1.26
	A2 - T4	179472	9292526	1814	12.8	4.05	4.07	0.42	0.6	0.48
	A2 - T5	179471	9292536	1816	18	4.58	8.1	1.36	2.82	2.5
3	A3 - T1	179869	9292280	1839	22	4.4	15.08	1.22	3.64	4.92
	A3 - T2	179873	9292285	1834	16	5.5	9.58	1.08	0.94	0.92
	A3 - T3	179872	9292284	1828	19	5.2	11.28	1.36	2.48	2.2
	A3 - T4	179866	9292287	1830	15.8	4.4	13.76	1.76	1.6	0.76
	A3 - T5	179889	9292283	1835	18	5.1	11.92	1.68	3.12	2.39

10.6. Anexo 06: Ficha de recolección de información de hojarasca de los árboles de Tara en campo.

Parcela	Código	Hojarasca húmeda (g)
1	A1 - H1	20
	A1 - H2	14
	A1 - H3	9
	A1 - H4	14
	A1 - H5	18
2	A2 - H1	15
	A2 - H2	28
	A2 - H3	27
	A2 - H4	12
	A2 - H5	19
3	A3 - H1	30
	A3 - H2	11
	A3 - H3	13
	A3 - H4	11
	A3- H5	17

10.7. **Anexo 07:** Análisis de laboratorio de muestras de suelo y árboles de Tara

Fase de laboratorio: (A) Secado de muestras de suelo para analizar densidad, (B) Pesado de suelo para determinación de carbono, (C) Determinación de carbono, (D) Seguimiento del secado de muestras de biomasa, (E) Seguimiento del secado de ramas, (F) Seguimiento del secado de rodajas del fuste.