

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DEMAYOLO”**

ESCUELA DE POST GRADO

**DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS TOTALES DE
CARBONO EN EL BOSQUE DE *Polylepis spp.*,
QUEBRADA DE LLACA – PARQUE NACIONAL
HUASCARÁN, 2014.**

Tesis para optar el grado de Maestro
en Ciencias e Ingeniería
Mención en Gestión Ambiental

RICARDO MOSQUERA DE LA CRUZ

ASESOR: Dr. PRUDENCIO CELSO HIDALGO CAMARENA

Huaraz – Perú

2018



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DEMAYOLO”**

ESCUELA DE POST GRADO

**DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS TOTALES DE
CARBONO EN EL BOSQUE DE *Polylepis spp.*,
QUEBRADA DE LLACA – PARQUE NACIONAL
HUASCARÁN, 2014.**

Tesis para optar el grado de Maestro
en Ciencias e Ingeniería
Mención en Gestión Ambiental

RICARDO MOSQUERA DE LA CRUZ

ASESOR: Dr. PRUDENCIO CELSO HIDALGO CAMARENA

Huaraz – Perú

2018

Nº de Registro: T0597

MIEMBROS DEL JURADO

Doctor Fernando Castillo Picón

Presidente

Magister Javier Cotos Vera

Secretario

Doctor Prudencio Celso Hidalgo Camarena

Vocal

ASESOR

Doctor Prudencio Celso Hidalgo Camarena

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo que me ha permitido estudiar y culminar mis estudios de Maestría en Gestión Ambiental.
- A mi asesor, Dr. Prudencio Celso Hidalgo Camarena, por su apoyo incondicional y por impulsar la culminación de la presente tesis.
- A los colegas de la maestría quienes me apoyaron para culminar la maestría y con la ejecución de la presente tesis.
- A los colegas forestales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, asentados en la ciudad de Huaraz, con quienes compartimos nuestras actividades profesionales.

A OLGA Y DOMINGO TEÓFILO, mis queridos
padres, que con esfuerzo y dedicación me dieron la
oportunidad de formarme como persona y como
profesional.

A YOMIRA y JHAIR, mis preciosos hijos, quienes
le dan sentido a mi vida.

A YULI, mi querida esposa, quien es mi fuerza de
empuje para seguir hacia adelante.

A JESÚS, MOISÉS, RITA, RAFAEL y MOISÉS

ALEJANDRO, mis queridos hermanos, con
quienes siempre mantenemos la unidad familiar.

INDICE

Resumen	xiv
Abstract.....	xv
I. INTRODUCCIÓN	xv
1.1 Objetivos.....	7
1.2 Hipótesis	7
1.3 Variables.....	8
II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Bases teóricas	15
2.3 Definición de términos.....	49
III. METODOLOGÍA	55
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	55
3.2 Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico.....	55
3.2.1. Población	55
3.2.2. Muestra	58
3.3 Instrumento (s) de recolección de la información	60
3.4 Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información.	61
IV. RESULTADOS.....	72
V. DISCUSIÓN	85
VI. CONCLUSIONES	100
VII. RECOMENDACIONES	102
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	104
ANEXOS	

**ANEXO A: FORMATO DE REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS
DE CAMPO**

ANEXO B: RESULTADOS DE LABORATORIO

ANEXO C: PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO D: PLANOS

ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro N° 01:** Resultados cantidad de biomasa
- Cuadro N° 02:** Coordenadas UTM de las parcelas de muestreo
- Cuadro N° 03:** Promedio del contenido de biomasa por estrato del bosque de *Polylepis spp.*
- Cuadro N° 04:** *Contenido* de carbono en el componente arbóreo por estrato del bosque de *Polylepis spp.*
- Cuadro N° 05:** *Biomasa* de la vegetación arbustiva/herbácea y carbono orgánico almacenado en t/ha
- Cuadro N° 06:** *Biomasa* y carbono orgánico almacenado en la vegetación arbustiva y herbácea en t por estrato
- Cuadro N° 07:** Biomasa y carbono orgánico de la hojarasca almacenado en t/ha
- Cuadro N° 08:** *Biomasa* y carbono orgánico almacenado en hojarasca en t por estrato
- Cuadro N° 09:** Biomasa vegetal total en t/ha
- Cuadro N° 10:** Biomasa *vegetal* total en t/ha y carbono orgánico en biomasa seca en t/ha.
- Cuadro N° 11:** Biomasa subterránea en t por estrato
- Cuadro N° 12:** Carbono orgánico de la biomasa vegetal total en (tC)
- Cuadro N° 13:** *Cálculo* de la densidad aparente en g/cc porcentaje de carbono en el estrato Bosque muy denso
- Cuadro N° 14:** *Cálculo* de la densidad aparente en g/cc porcentaje de carbono en el estrato Bosque denso

Cuadro N° 15: Cálculo de la densidad aparente en g/cc y porcentaje de carbono (%) en el estrato Bosque disperso

Cuadro N° 16: Peso de suelo por horizonte de muestreo en t/ha en el estrato bosque muy denso

Cuadro N° 17: Peso de suelo por horizonte de muestreo en t/ha en el estrato bosque denso

Cuadro N° 18: Peso de suelo por horizonte de muestreo en t/ha en el estrato bosque disperso

Cuadro No. 19: Contenido de carbono orgánico en el suelo por horizonte de muestreo (0.25 y 0.50 cm) en t/ha en el estrato Bosque muy denso

Cuadro No. 20: Contenido de carbono orgánico en el suelo por horizonte de muestreo (0.25, 0.50 y 0.75 cm) en t/ha en el estrato Bosque denso

Cuadro No. 21: Contenido de carbono orgánico en el suelo por horizonte de muestreo (0.25, 0.50 y 0.75 cm) en t/ha en el estrato Bosque disperso

Cuadro No. 22: Contenido promedio de carbono orgánico total/estrato del bosque de *Polylepis spp.* en t/ha

Cuadro No. 23: Contenido de carbono orgánico en la biomasa vegetal total y el suelo (tC)

Cuadro N° 24: Carbono orgánico almacenado en todas las fuentes en tC

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Ciclo global del carbono

Figura N° 02: Diseño de parcelas de evaluación de los diferentes componentes de la biomasa vegetal

Figura N° 03: Contenido de carbono en el componente arbóreo por estrato del bosque de *Polylepis spp.*

Figura N° 04: Contenido de biomasa y carbono en el componente arbustivo y herbáceo por estrato.

Figura N° 05: Contenido de biomasa y carbono en la hojarasca por estrato.

Figura N° 06: Contenido de biomasa y carbono en la biomasa subterránea por estrato.

Figura N° 07: Contenido de carbono en la biomasa vegetal total por estrato.

Figura N° 08: Carbono total en el bosque de quenual

ABREVIATURAS

°C	Grados centígrados
<i>pmh-SAT</i>	<i>paramo muy húmedo Sub Andino Tropical</i>
<i>bh-MT</i>	<i>bosque húmedo Montano Tropical</i>
CE	Comercio de emisiones
CERs	Certificado de emisiones reducidas
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
DAP	Diámetro a la altura de pecho
E	Este
g	Gramo
GEI	Gases de efecto invernadero
GPS	Sistema de posicionamiento global
Gt	Giga tonelada
ha	Hectárea
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
LULUCF	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y forestación
m	Metro
m. s. n. m.	Metros sobre el nivel del mar
MDL	Mecanismo de desarrollo limpio
Mg	Mega gramo
cm	Centímetro
mm	Milímetro

N	Norte
N ₂ O	Óxido nitroso
pH	Medida de alcalinidad o acidez de una solución
Pg	Petagramo
ppm	Parte por millón
PSA	Pago por servicios ambientales
SA	Servicio ambiental
SUT	Sistema de uso de la tierra
t	Tonelada
TSBF	Tropical Soil Biology and Fertility
tC	Tonelada de carbono
VET	Valor económico total

SIGLAS INSTITUCIONALES

CIN	Comité Intergubernamental de Negociación de un Convenio
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNUMAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo
CONAM	Comisión Nacional Ambiental
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
ICRAF	Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
IPCC	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
MINAGRI	Ministerio de agricultura
MINAM	Ministerio del ambiente
ONERN	Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
PCM	Presidencia del concejo de ministros
PK	Protocolo de Kioto
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SMM	Sociedad Mundial de Metereología
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina
UNASAM	Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

RESUMEN

El propósito del presente trabajo fue cuantificar las reservas totales de carbono en la biomasa vegetal y el suelo del bosque de quenual ubicado en la Quebrada Llaca – Parque Nacional Huascarán y estimar el valor económico del servicio ambiental de captura de carbono. Para lo cual se realizó una investigación descriptiva - comparativa, donde se determinó la acumulación de carbono en la biomasa a través de un proceso de observación y evaluación comparativa.

En los estratos identificados se instaló las parcelas de medición de 25 m x 4 m, que se han seleccionado a partir de un muestreo aleatorio simple de cuadrantes rectangulares o parcelas. En estas parcelas se realizó la evaluación de la biomasa arbórea, arbustiva – herbácea, hojarasca, subterránea, y carbono en el suelo. Con los datos obtenidos se calculó las reservas totales de carbono almacenado en este tipo de bosques, utilizando la metodología estandarizada del ICRAF; y estimaciones del valor económico de captura de carbono a partir de las cifras de valoración económica

Los resultados son: 364.85 tC/ha en el estrato bosque denso, corresponde 50.73 tC/ha a la biomasa vegetal total y 313.62 tC/ha al suelo. 460.80 tC/ha en el estrato bosque muy denso, corresponde 84.75 tC/ha a la biomasa vegetal total y 376.05 tC/ha al suelo. 485.41 tC/ha en el estrato bosque disperso, correspondiendo 9.28 tC/ha a la biomasa vegetal total y 476.13 tC/ha al suelo. Conclusiones: el carbono almacenado en la biomasa vegetal total y en el suelo es de 57,834.75 t, el volumen total de CO₂ es de 31,105.60 t. y el valor total promedio del servicio ambiental de captura de carbono de este ecosistema es de US \$ 111,412.81/año.

Palabras clave: biomasa, ecuación alométrica, carbono.

ABSTRACT (Key Words)

The purpose of this work was to quantify the total carbon reserves in the plant biomass and the quenal forest soil located in the Quebrada Llaca - Huascarán National Park and estimate the economic value of the environmental service of carbon capture. For which a descriptive - comparative research was carried out, where the accumulation of carbon in the biomass was determined through a process of observation and comparative evaluation.

In the identified strata the measurement plots of 25 m x 4 m were installed, which have been selected from a simple random sampling of rectangular quadrants or plots. In these plots the evaluation of arboreal, shrub-herbaceous biomass, litter, subterranean, and carbon in the soil was carried out. With the data obtained, the total carbon reserves stored in this type of forest were calculated, using the standardized methodology of the ICRAF; and estimates of the economic value of carbon capture based on economic valuation figures

The results are: 364.85 tC / ha in the dense forest stratum, corresponds to 50.73 tC / ha to the total vegetable biomass and 313.62 tC / ha to the soil. 460.80 tC / ha in the very dense forest stratum corresponds 84.75 tC / ha to the total vegetable biomass and 376.05 tC / ha to the soil. 485.41 tC / ha in the dispersed forest stratum, corresponding 9.28 tC / ha to the total vegetable biomass and 476.13 tC / ha to the soil. Conclusions: the carbon stored in the total vegetable biomass and in the soil is 57,834.75 t, the total volume of CO₂ is 31,105.60 t. and the total average value of the environmental carbon sequestration service of this ecosystem is US \$ 111,412.81 / year.

Key words: biomass, allometric equation, carbon.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, orientado a determinar las reservas totales de carbono en el bosque de quenual en la quebrada de Llaca del Parque Nacional Huascarán, es de suma importancia porque al interior de la comunidad internacional existe el interés por monitorear el ciclo del carbono en los bosques tropicales, para estimar el papel de estos ecosistemas en el ciclo del carbono a nivel global y los posibles impactos causados por el cambio climático. Por otro lado, es necesario implementar sistemas de monitoreo de carbono como parte de los proyectos que buscan recibir financiamiento para aumentar el stock de carbono en el paisaje o reducir la tasa de emisiones de dióxido de carbono.

Asimismo, la investigación se justifica porque al determinar las reservas totales de carbono en este ecosistema, conocemos la tasa de captura de CO₂ atmosférico y su incidencia en la mitigación del cambio climático global, que está asociado al incremento de la temperatura superficial del planeta, representando uno de los problemas ambientales más críticos que enfrentamos actualmente, producto del rápido aumento en la emisión y concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, entre ellos el CO₂, debido entre otras causas a la deforestación y al cambio de uso de la tierra (Hidalgo, 2009).

Otro aspecto a resaltar es que a través de la presente investigación se complementa el estudio realizado por Ortiz y Quispe (2013) en el que se halló la ecuación alométrica que permitió determinar las reservas de carbono concentrado sólo en la biomasa aérea de *Polylepis spp.* de la Quebrada Llaca del Parque

Nacional Huascarán. En el presente trabajo, además de conocer la biomasa y el carbono almacenado en la vegetación de quenual, se evaluó la biomasa y el carbono orgánico almacenado en los demás componentes vegetales (árboles de otras especies, arbustos, hierbas, hojarasca y raíces), así como el volumen de carbono almacenado en el suelo; con los cuales se determinó las reservas totales de carbono del ecosistema en estudio. También, consideramos sumamente importante la cuantificación y posterior valorización económica del servicio ambiental de captura de carbono a fin de estimular la conservación y manejo sostenible de la biodiversidad y los recursos forestales dentro del área natural protegida; por los que se puede recibir compensación económica en el futuro en función de la cantidad y calidad del servicio ambiental generado.

Para la determinación de la biomasa arbórea se ha empleado los datos obtenidos por Espinoza y Quispe, 2013, quienes han obtenido una ecuación alométrica en base a las principales medidas dasométricas como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles, cuyos diámetros sean mayores a 2.50 cm y que estén dentro de las parcelas o cuadrantes de medición de 25 m x 4 m, que han sido seleccionados a partir de un muestreo aleatorio simple. En estas parcelas también se realizó la evaluación de la biomasa arbustiva – herbácea, hojarasca, biomasa subterránea y suelo.

Para determinar los volúmenes de biomasa arbórea se utilizó la ecuación alométrica $Y = 0.069411 * DAP^{2.35996}$ (Espinoza y Quispe, 2013), determinado en base a sus principales medidas biométricas. Para calcular el volumen de la

biomasa arbustiva/herbácea y hojarasca se colectó muestras en dos cuadrantes de 1 m x 1 m y de 0.5 m x 0.5 m respectivamente, distribuidos al azar dentro de cada parcela de medición (Arévalo *et al.*, 2003). Asimismo, se tomó muestras de suelo a diferentes profundidades de acuerdo a la variación textural hasta 75 cm de profundidad, en calicatas ubicadas en los cuadrantes donde se tomaron muestras de biomasa arbustiva/herbácea, para determinar en el laboratorio la densidad aparente y los porcentajes de carbono.

Con los datos obtenidos se estimó las reservas totales de carbono almacenado en este tipo de bosque utilizando la metodología estandarizada desarrollada por el Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería - ICRAF (Arévalo *et al.*, 2003) en un área de 140.35 ha (Espinoza y Quispe, 2013); y estimaciones de la valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono en el ámbito de la Quebrada de Llaca a partir de las cifras de valoración económica encontradas por Baldoceca (2002).

El Cambio Climático es una de las amenazas más complejas, múltiples y serias que el mundo enfrenta. En la actualidad ya se están produciendo cambios ambientales sin precedentes a nivel regional que se hacen evidentes por el incremento promedio de la temperatura del aire y de los océanos, por el derretimiento creciente de los glaciares, la elevación del promedio global del nivel del mar, así como la recurrencia e intensidad de los desastres naturales que causan miles de daños y pérdidas a nivel mundial (Amat *et al.*, 2008)

El Cuarto Informe de Evaluación (2007) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), en el que trabajaron científicos expertos de todo el mundo, ha dejado establecido que la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero se ha incrementado como resultado de la actividad humana desde 1750 y ahora excede largamente los valores pre-industriales. La concentración del CO₂ en la atmósfera global se ha incrementado de un nivel pre-industrial de 280 ppm a 379 ppm en el 2005 (Amat et al, 2008).

La capacidad de fijación y almacenamiento de carbono es reconocido como un servicio que brindan los bosques naturales y plantaciones a nivel global; de ahí la recomendación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de utilizar los bosques para mitigar el aumento de la concentración de gases con efecto invernadero.

Los cambios globales en la composición de la atmósfera, como consecuencia de las emisiones de gases con efecto invernadero, han sido provocados e incrementados por actividades del ser humano: la producción, la transformación, el manejo y el consumo de energía; el cambio de uso de la tierra; los procesos industriales; la agricultura y la producción de desechos; entre otros. Los ecosistemas tropicales representan una opción para mitigar las emisiones de los gases con efecto invernadero, ya que tienen la capacidad de almacenar y fijar el carbono emitido a la atmósfera debido, entre otras cosas, al rápido ritmo de sucesión y el elevado consumo neto de CO₂ (Segura M., 1997).

El problema del cambio climático global tiene su origen en la ruptura del equilibrio en el ciclo del carbono. Las emisiones de GEI a la atmósfera provocada por el ser humano, han sobrepasado la capacidad del planeta para almacenar carbono en los bosques, los océanos y la biomasa viva y muerta. Del total de emisiones, las industriales representan alrededor del 70% del total y las áreas no industriales, que incluyen actividades forestales y agrícolas, representan en torno al 30% de las emisiones (Harris *et al*, 2011). Según el informe de 2007 del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), la deforestación supone alrededor del 17%-18% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero antropogénicos (Harris *et al*, 2011).

La solución al problema debe basarse en la reducción de las emisiones de carbono originadas por el ser humano y en el aumento de la capacidad de absorción de carbono o en ambas opciones (Harris *et al*, 2011).

Por este motivo se ha empezado a prestar atención a los temas relacionados con el uso de la tierra, la silvicultura y la agricultura – algunas veces denominadas como REDD (reducción de emisiones de la deforestación y la degradación) o, más ampliamente, como LULUCF (Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura) (Harris *et al*, 2011).

Los bosques a pesar de ser fuentes netas de emisión de GEI, tienen la posibilidad de mitigarlos a través de la captura de carbono en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como sumideros (Ordóñez 1999). En efecto, la vegetación y los

árboles en particular, asimilan y almacenan grandes volúmenes de carbono atmosférico, por medio de la fotosíntesis, durante toda su vida, en consecuencia, los bosques del mundo capturan y almacenan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y la superficie terrestre (Brown *et. al.*, 1993, citado por Hidalgo, 2006).

Estimar con precisión la dinámica de los flujos netos de carbono entre los bosques y la atmósfera (es decir, el balance emisión – captura) es uno de los problemas más importantes en la discusión del cambio climático (IPCC, 1990) debido al complejo ciclo biogeoquímico del carbono en los ecosistemas forestales. En efecto, los procesos de captura – emisión son parte de un sistema de cuatro tipos generales de reservorios de carbono: vegetación aérea y radicular, materia orgánica en descomposición, suelos y productos forestales con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes; estos reservorios se encuentran estrechamente interrelacionados, lo que obliga efectuar un enfoque sistémico conocido como “método del sistema total del carbono”, (Apps *et. al.*, 1993; Dixon *et. al.*, 1994, citado por Hidalgo, 2006) y la aplicación de modelos matemáticos de simulación.

En tal sentido, la propuesta del proyecto de investigación se basa en determinar el stock de carbono en los diferentes compartimentos de los bosques de quenual, ubicados en la quebrada Llaca; es decir, biomasa viva, biomasa muerta y suelo. Además de valorar económicamente este importante servicio ambiental que brindan estos ecosistemas altoandinos.

¿Cuál es el stock total de carbono almacenado en los bosques altoandinos de quenuales (*Polylepis spp.*) ubicados en la quebrada Llaca – Parque Nacional Huascarán, 2014?

1.1 Objetivos

Objetivo general

- Determinar las reservas totales de carbono en el bosque de quenual (*Polylepis spp.*) en la quebrada Llaca – Parque Nacional Huascarán.

Objetivos específicos

- Determinar el carbono almacenado en la biomasa vegetal total en el bosque altoandino de quenual (*Polylepis spp.*) en la quebrada Llaca – Parque Nacional Huascarán.
- Determinar el carbono almacenado en el suelo del bosque altoandino de quenual (*Polylepis spp.*) en la quebrada Llaca – Parque Nacional Huascarán.
- Estimar el volumen de CO₂ fijado por el ecosistema en estudio.
- Estimar el valor económico del servicio ambiental de captura de carbono en base del carbono gestionable por determinar.

1.2 Hipótesis

La hipótesis está implícita.

Por el tipo de estudio, la investigación es de tipo descriptivo no requiere hipótesis, suficiente con plantear preguntas de investigación.

1.3 Variables

Variable independiente

Bosque de
quenuales

Variable dependiente

Reservas de
carbono

Variables	Definición conceptual	Definición operacional		
		Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
(VI) Variable independiente Bosque de quenual	Bosques que se desarrollan en las partes altas, generalmente sobre los 3,400 msnm. y están conformados por especies de los géneros <i>Polylepis</i> , <i>Buddleja</i> , principalmente, y especies de <i>Gynoxis</i> , <i>Escallonia</i> , <i>Eugenia</i> , <i>Senecio</i> , etc.	Composición de la cubierta vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Peso de la biomasa arbórea • Peso de la biomasa arbustiva/herbácea • Peso de la biomasa de hojarasca • Peso de la biomasa subterránea 	<ul style="list-style-type: none"> • Inventario forestal • Muestreo de vegetación arbustiva/herbácea y hojarasca • Cálculos mediante el método estandarizado del ICRAF, según guías desarrolladas por el programa de Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF)
		Características del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Profundidad efectiva • Pendiente • Pedregosidad • Reacción 	<ul style="list-style-type: none"> • Calicata, cinta métrica • Eclímetro • Observación Perfil del suelo (calicata) • Determinador de pH
(VD) Variable dependiente Reservas de carbono	Cantidad de carbono existente en un depósito, o sea un recipiente o sistema capaz de almacenar o liberar el carbono existente. Éstas pueden ser biomasa aérea, subterránea, detritos, madera muerta, carbono orgánico en el suelo y productos vegetales.	<ul style="list-style-type: none"> • Carbono almacenado en el bosque de quenuales 	<ul style="list-style-type: none"> • Carbono de la biomasa viva • Carbono de la necromasa • Carbono del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio • Aplicación de metodología estandarizada del ICRAF

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En el año 2013, Espinoza y Quispe, realizaron un trabajo de investigación sobre la determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de *Polylepis spp.* en la quebrada Llaca del PNH, en el cual determinaron la siguiente cantidad de carbono en la biomasa aérea:

Estrato	Área (ha)	Promedio de contenido de carbono (tC/ha)	Contenido de carbono en el estrato (tC)
Bosque muy denso	54.56	52.77	2884.14
Bosque denso	73.94	27.09	2003.20
Bosque disperso	11.76	5.06	59.46
TOTAL			4946.80

Cuadro N° 01. Resultados cantidad de biomasa

Del cuadro anterior se puede deducir que multiplicando la biomasa total por el factor 0.45 se determinó que la cantidad de carbono en la biomasa aérea es de 4,946.80 tC, equivalente a 18138.26 t de CO₂. Asimismo, con los muestreos destructivos de 10 plantas del quenual, donde se relaciona el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la biomasa, Espinoza y Quispe, 2013, determinaron la siguiente ecuación alométrica para esta especie: $Y = 0.06941 \text{ DAP}^{2.36}$, el cual permite estimar la biomasa total de este tipo de bosques.

Hidalgo (2004), en un trabajo de investigación sobre “Determinación de las reservas totales de carbono en plantaciones forestales de *Eucalyptus*

globulus L. en Marcará – Carhuaz, 2003” determinó la existencia de 195.436 tC/ha en este sistema de uso forestal de la tierra, distribuido de la siguiente manera: 71.693 tC/ha en la biomasa vegetal total (51.768 tC/ha en la biomasa arbórea, 0.492 tC/ha en la biomasa arbustiva/herbácea, 2.889 tC/ha en la biomasa de la hojarasca y 16.544 tC/ha en la biomasa subterránea) y 123.743 tC/ha en el suelo.

En el año 2009 Hidalgo, realizó un trabajo sobre la determinación de las reservas totales de carbono en un sistema agroforestal en la selva alta de Tingo María, teniendo como resultado que el carbono total almacenado en el sistema agroforestal del Banco de Germoplasma de Cacao de la Universidad Nacional Agraria - UNAS Tingo María asciende a 217.565 t/ha, de los que 94.384 t (43.38%) corresponde al carbono almacenado entre los diferentes componentes de la biomasa vegetal y 123.181 t (56.62%) corresponde al carbono almacenado en el suelo. Por lo cual el investigador infiere que el sistema estudiado tiene una alta capacidad de almacenamiento de carbono y por tanto, de reducción de emisiones de GEI, entre ellos CO₂, debido a la presencia permanente de vegetación arbustiva y arbórea, principal sumidero superficial que intensifican los procesos de secuestro y liberación dentro del ciclo de la materia y la energía; lo que contribuye a un cambio climático global favorable superior a lo que podrían contribuir los bosques “climáticos” que han “congelado” su capacidad de transformación de carbono atmosférico a biomasa y a los barbechos tradicionales que aportan menores volúmenes de biomasa. En tal sentido el investigador,

manifiesta que el suelo es la fuente más importante de almacenamiento de carbono, seguida de la biomasa arbórea, que incluye árboles forestales y de cacao, con 66.603 toneladas de carbono por hectárea, equivalente al 70.56% del carbono total almacenado en la biomasa vegetal. Le siguen la biomasa subterránea, constituida por raíces, que aporta con 21.781 tC/ha (23.08% del carbono total almacenado en la biomasa vegetal); la biomasa de la hojarasca que aporta con 5.627 toneladas de carbono por hectárea (5.96% de la BVT) y finalmente la biomasa arbustiva/herbácea que aporta con 0.373 tC/ha (0.40% de la BVT).

Lapeyre, Alegre y Arevalo, 2004, en un trabajo de investigación determinaron la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en la región de San Martín-Perú, con la finalidad de conocer el potencial de captura de carbono. Los sistemas de uso de la tierra evaluados fueron: Bosque primario, Bosque secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas locales maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza Sativa*), pastos (*Brachiaria*) y sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica*) bajo sombra y cacao (*Cacao spp.*). También se comparó este potencial con otros sistemas de uso de la tierra de otras regiones del Perú y se monitoreó la pérdida de reservas de carbono después del corte de la foresta y su reemplazo por cultivos. En cada uno de éstos sistemas se establecieron al azar cinco transectos, donde se evaluó la biomasa arbórea. Dentro de éstos transectos se establecieron cuadrados también al azar para cuantificar la biomasa herbácea y la biomasa de hojarasca. El carbono total en el bosque primario fue de 485 tC ha⁻¹,

superando ampliamente las reservas del bosque secundario de 50 años y de bosque descremado de 20 años (243.30 tC/ha y 62.10 tC/ha respectivamente). Con relación al bosque primario se observa una reducción de reservas en más de 50% del bosque secundario de 50 años (234 tC/ha). El bosque descremado de 20 años perdió más del 80% de reservas (62 tC/ha). El nivel de reservas de carbono en la biomasa de hojarasca de los sistemas boscosos, no es significativo al compararlo con el total de las reservas de carbono de la biomasa aérea; sin embargo si es significativo para sistemas agroforestales. Los sistemas agroforestales secuestraron entre 19 a 47 tC/ha (17.3 tC/ha en café-guaba y 47.2 tC/ha en cacao), dependiendo de la cantidad de especies forestales, tipo de cultivo, edad y tipo de suelo y recuperan el potencial de captura en forma productiva. Los sistemas agrícolas capturaron poco (arroz 1.7 tC/ha, maíz 4.4 tC/ha y pastos 2.3 tC/ha), además generan fugas de gases efecto invernadero (GEI) cuando se usan agroquímicos y quema de rastrojos, entre otros.

Dávila, Retamozo y Suarez, (2010), en una investigación realizada sobre almacenamiento de carbono y flujo de CO₂ en los suelos con plantaciones de tres especies forestales – Valle del Mantaro, encontraron que plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill tiene mayor contenido de carbono con 234,22 tC/ha, seguido del bosque de *Polylepis incana* H&B con 156,45 tC/ha y por último, el bosque de *Pinus radiata* D. Don con 141,50 tC/ha. Por ello consideran que esta diferencia es estadísticamente significativa y se debe a varios factores. Uno de ellos es la edad de los

bosques, los dos primeros tienen más de 40 años, tiempo en el que han capturado una mayor cantidad de carbono y lo han depositado en el suelo, a diferencia del tercer bosque que tiene una edad de 25 años. El inventario de carbono en el suelo confirma esta teoría (*Eucalyptus globulus* Labill: 83,27 tC/ha, *Polylepis incana* H&B: 53,08 tC/ha y *Pinus radiata* D. Don: 51,26 tC/ha en el suelo).

Martel y Cairampoma, 2012, en un estudio desarrollado en la estación Biológica del Centro de Investigación y Capacitación Río Los Amigos (CICRA) – Madre de Dios, identificaron tres formaciones vegetales principales, el bosque de terraza, el bosque inundable y el aguajal. El bosque de terraza fue la formación vegetal con mayor cantidad de carbono almacenado con 335.11 tC ha⁻¹, seguido por el bosque inundable con una cantidad almacenada de 141.81 tC ha⁻¹. El aguajal ha sido registrado con una biomasa aérea de 115.40 tC ha⁻¹; mientras, las formaciones con menor cantidad de carbono almacenado fueron el carrizal y el pacal con 13.55 y 39.87 tC ha⁻¹, respectivamente. La cantidad total de carbono almacenado dentro del área (2 977.896 ha) fue de 776 603.28 tC. Siendo el promedio por hectárea de 260.79 tC. Como resultado se valorizó la vegetación presente en el CICRA, en alrededor de 11 649 049.2 millones de dólares americanos, considerando 15 dólares americanos por tonelada de carbono almacenado. El ingreso a la oferta de los bonos de carbono promovería la conservación de los bosques.

Pinazo, Martiarena, Von Wallis y Otros, 2007 en un estudio realizado en la localidad de Wanda, departamento de Puerto Iguazú, provincia de Misiones, Argentina, evaluaron el efecto de diferentes intensidades de raleo sobre la compartimentalización del carbono contenido en la biomasa, mantillo y suelo en plantaciones de *Pinus taeda* L. de 20 años de edad. El trabajo se realizó sobre un ensayo de intensidad de raleo con tres tratamientos y tres repeticiones dispuestas en bloques completos al azar en los cuales se raleó el 33 y 66% del área basal de la parcela, respecto al testigo, cada 4 años. Los tratamientos presentaron diferentes contenidos totales y patrones de distribución del carbono en los distintos compartimentos analizados. El testigo acumuló mayor proporción de carbono en fuste, mientras que los tratamientos con raleo acumularon más carbono en los compartimentos correspondientes a la copa. El sotobosque del tratamiento intenso acumuló más carbono que los tratamientos restantes. Las cantidades de carbono en mantillo y suelo, no resultaron significativamente diferentes. El testigo totalizó 306 Mg.ha⁻¹ de carbono, mientras que los tratamientos de raleo suave e intenso acumularon 262 Mg.ha⁻¹ y 207 Mg.ha⁻¹ de carbono, respectivamente.

En Perú, Callo-Concha (2000), en un estudio de cuantificación del carbono total secuestrado por algunos sistemas agroforestales en tres pisos ecológicos de la región Ucayali, encontró que el bosque primario en promedio almacena 232.02 tC/ha y el bosque secundario 180.06 tC/ha (citado por Hidalgo, 2009).

En plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus*, Gamarra (2001) reportó la existencia de 137.05 tC/ha en el bosque de la comunidad campesina de Hualhuas – Huancayo de 35 años de edad, correspondiendo 73.03 tC a la biomasa arriba del suelo, 21.64 a la biomasa bajo el suelo, 4.99 tC a la hojarasca y 37.39 tC al suelo.

El ICRAF (1998), al realizar el estudio de las reservas totales de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Yurimaguas – Perú (biomasa y suelo), determinó la existencia de 360.30 tC/ha en el bosque tropical de más de 40 años con ligera extracción de madera.

En un estudio que se realizó en la zona de Neshuya – Curimaná – Pucallpa – Perú, sobre tasas de secuestro de carbono en ecosistemas de bosque tropical (Baldoceña, 2001), reporta que la tasa general de secuestro de carbono en bosques de dos a diez años de edad es de 9.26 tC/ha/año. Otro estudio similar efectuado en el área de influencia de la carretera Iquitos – Nauta – Perú por tipo de bosque (Malca, 2001) determinó que la tasa de secuestro de carbono en bosques reforestados es de 4.82 tC/ha /año y la tasa de secuestro en purmas enriquecidas es de 8.45 tC/ha/año

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Carbono almacenado

Las plantas tienen la capacidad de almacenar el dióxido de carbono de la atmósfera basado en el hecho de que durante la fotosíntesis se

fija el carbono, que luego utiliza para generar el alimento necesario para su crecimiento, estimándose que una hectárea de plantación arbórea puede absorber alrededor de 10 t de C por ha/año de la atmósfera, dependiendo de las condiciones del lugar (Arévalo *et al*, 2002).

Se asume que el 45% de la biomasa vegetal seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar entre 150 y 382 t/ha, por lo tanto el carbono almacenado varía entre 67,5 a 171 t/ha (Arévalo *et al*, 2002).

2.2.2 Cambio de usos de la tierra y pérdidas de carbono almacenado

El cambio de uso de la tierra, ocurre cuando una tierra originalmente cubierta de bosques, pasa a ser utilizado para fines agropecuarios, produciéndose, desde el punto de vista forestal, una degradación o como mínimo un cambio del uso de la tierra. Estos cambios se dan por procesos de deforestación, sin considerar su reposición; lo que conlleva a una disminución de la cantidad total de biomasa vegetal, y por ende la cantidad de carbono secuestrado por los nuevos sistemas de uso de la tierra (Arévalo *et al*, 2002).

2.2.3 Dióxido de carbono, efecto invernadero y cambio climático

El Dióxido de carbono es un gas que se produce de forma natural, y como subproducto del uso de combustibles fósiles y biomasa, cambios en el uso de las tierras y otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta al equilibrio de radiación del planeta (IPCC, 2007). La tierra está cubierta por capas de gases que permiten la entrada de la energía solar que calienta la superficie de la tierra, algunos de estos gases en la atmósfera, denominados GEI, impiden el escape de este calor hacia el espacio. Este es un efecto natural que mantiene la tierra a una temperatura promedio arriba del punto de congelación y permite la vida tal como la conocemos, sin embargo las actividades humanas producen un exceso de GEI principalmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) que están potencialmente calentando la tierra. (Begon *et al.*, 1996; Alexander *et al.*, 1998; Beaumont, 1999; Tattenbach y Pedroni, 1999; citados por Hidalgo, 2009).

Las concentraciones atmosféricas mundiales de CO_2 , metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales, determinados a partir de núcleos de hielo que abarcan muchos milenios (IPCC, 2007). Las concentraciones atmosféricas de CO_2 (379 ppm) y CH_4 (1774 ppm)

en 2005 exceden con mucho el intervalo natural de valores de los últimos 650.000 años. Los aumentos de la concentración mundial de CO₂ se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra. Es muy probable que el aumento observado de la concentración de CH₄ se deba predominantemente a la agricultura y a la utilización de combustibles de origen fósil. El aumento de metano ha sido menos rápido desde comienzos de los años 90, en concordancia con las emisiones totales (como suma de fuentes antropógenas y naturales), que han sido casi constantes durante ese período. El aumento de la concentración de N₂O procede principalmente de la agricultura (IPCC, 2007)

Se estima que en el siglo XXI la temperatura aumentará entre 1.4 y 5.8 grados centígrados por encima de la actual temperatura promedio. Ello dará lugar a un aumento en el nivel de los mares de entre 15 y 94 centímetros, debido en particular a la expansión térmica de los océanos y al deshielo de los polos, los sistemas naturales como arrecifes de coral y atolones, glaciares, los manglares, los bosques boreales y tropicales son vulnerables al cambio climático y algunos quedarán irreversiblemente dañados, muchos sistemas humanos, como la agricultura y silvicultura, zonas costeras y sistemas marinos, asentamientos humanos, energía e

industria, verán incrementada su sensibilidad y vulnerabilidad al cambio climático (CONAM, 2002).

El problema del cambio climático global se origina en la ruptura del equilibrio del ciclo del carbono. Las emisiones a la atmósfera provocadas por el ser humano, junto con otras emisiones de efecto invernadero (H₂O, CO₂, N₂O, CH₄, O₃, entre otros), han sobrepasado la capacidad del planeta para almacenar carbono en los bosques, los océanos y la biomasa viva y muerta. La mayoría de las discusiones sobre política climática centran el tema en la reducción de las emisiones industriales que representan alrededor del 70% del total de gases de efecto invernadero (GEI) y es prácticamente imposible imaginar formas de absorber y almacenar tanto exceso de carbono. También es cierto que áreas no industriales, que incluyen actividades forestales y agrícolas, representan en torno al 30% de las emisiones. En ese sentido la agricultura y la silvicultura poseen un importante potencial para almacenar el exceso de carbono, pero no es suficiente para resolver el problema, pero sí puede contribuir significativamente a cualquier política sistemática de solución. Por ello se presta mayor atención a los temas relacionados con el uso de la tierra, la silvicultura y la agricultura – algunas veces denominadas como REDD (reducción de emisiones de la deforestación y la degradación) o, más ampliamente, como LULUCF (Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura) (Harris, J, *et al*, 2011).

En el Perú, en el año 2003 se aprueba la Estrategia Nacional de Cambio Climático, la cual establece como parte de sus objetivos principales la reducción de los impactos adversos del cambio climático a través de estudios integrados de vulnerabilidad y adaptación, y el control de las emisiones de contaminantes locales y de gases de efecto invernadero; estableciendo 11 líneas de acción estratégicas para orientar la gestión del cambio climático en el Perú (Presidencia del Consejo de Ministros, 2003).

En el año 2009, el Ministerio del Ambiente aprueba la Política Nacional del Ambiente, que establece lineamientos de política relacionados con la adaptación y mitigación al cambio climático, entre los cuales se incluyen el incentivo para la aplicación de medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático con un enfoque preventivo (MINAM, 2009).

2.2.4 Reservas de carbono

Esta referida a la cantidad de carbono en un “depósito”, o sea una reserva o sistema capaz de almacenar o liberar el carbono, algunos ejemplos de depósitos de carbono son: la biomasa viva que comprende la biomasa por encima del suelo y la biomasa por debajo del suelo; la materia orgánica muerta que comprende la madera muerta y la hojarasca; los suelos (materia orgánica del suelo) (FAO, 2005).

La foresta de los trópicos húmedos contiene las concentraciones más grandes de biomasa y biodiversidad en la tierra y su destrucción tiene consecuencias ambientales directas en todo el mundo. Esta foresta es actualmente la más extensa en la cuenca Amazónica de Sudamérica. Cuando estos bosques son destruidos con las quemadas y convertidos para otros usos gran parte del carbono que está almacenado en la vegetación es perdido hacia la atmósfera principalmente como CO₂. Este proceso de pérdidas de carbono es la mayor causa de la acumulación de CO₂ en la atmósfera seguido después de los causados por la combustión de los carburantes fósiles (Arévalo et al., 2003).

2.2.5 Secuestro de carbono

Proceso de aumento del contenido en carbono de un depósito de carbono que no sea la atmósfera. Desde un enfoque biológico incluye el secuestro directo de dióxido de carbono de la atmósfera mediante un cambio en el uso de las tierras, forestación, reforestación, y otras prácticas que mejoran el carbono en los suelos agrícolas (IPCC, 2007).

Se refiere al carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de fijar en un periodo determinado (Segura, 1997). Estas intervenciones pueden ser programas de manejo de suelos con reforestación, agroforestería o conservación de suelos.

Generalmente, para hacer el estimado de estos flujos de carbono que se dan en toneladas de carbono por hectárea y año (tC/ha/año), se seleccionan diferentes sistemas de uso de la tierra cuyos antecedentes (tiempo de uso principalmente) son conocidos por los agricultores. Estos van desde el bosque primario, áreas quemadas para cultivos anuales o plantaciones perennes, bosques secundarios de diferentes edades, pasturas; sistemas agroforestales, barbechos mejorados y sistemas silvopastoriles (Arévalo *et al.*, 2003).

2.2.6 El papel de los ecosistemas forestales en el almacenamiento y fijación de CO₂

Los bosques son un medio para mitigar los gases de efecto invernadero (GEI), considerados los causantes del cambio climático, particularmente el dióxido de carbono (CO₂), el gas con mayor participación y que se fija a través de la fotosíntesis. Así para contrarrestar las emisiones de carbono (C), un número creciente de empresas y agencias de gobiernos de diferentes países están considerando planes para establecer plantaciones, mejorar el manejo de bosques y preservar bosques naturales (Schlegel, Gayoso, Guerra, 2005).

Los bosques del mundo almacenan más de 650,000 millones de toneladas de carbono: el 44 por ciento en biomasa; el 11 por ciento en madera muerta y hojarasca, y el 45 por ciento en el suelo. Según

el informe de 2007 del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), la deforestación supone alrededor del 17%-18% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero antropogénicos, la mayor contribución sin contar el suministro energético (electricidad y combustibles fósiles), que representa alrededor del 26 por ciento de las emisiones (IPCC 2007).

La ampliación más viable de sumideros de GEI es la forestación de nuevas áreas con potencial para ello. Las variables a considerar, para elevar al máximo la fijación de carbono, incluyen las especies de árboles a plantar, las tasas de crecimiento y la longevidad de las mismas, las características del sitio a forestar, los periodos de rotación y la duración y uso de los productos forestales a extraer. La forestación y la reforestación son las actividades forestales mencionadas explícitamente en el Protocolo de Kyoto como aquellas que permiten mejorar y ampliar los sumideros de GEI (Beaumont, 1999, citado por Hidalgo, 2009).

2.2.7 Cambio de uso de la tierra y pérdidas de carbono almacenado

El cambio en el uso o gestión de las tierras puede llevar a un cambio en su cubierta. Estos cambios en el uso de las tierras y en la cubierta pueden tener un impacto en el albedo, la evapotranspiración, y las fuentes y los sumideros de gases de efecto invernadero, u otras propiedades del sistema climático, y puede tener igualmente

consecuencias en el clima, ya sea de manera local o mundial (IPCC, 2007).

La conversión de bosques en tierras de cultivo y pasturas, resulta en un flujo neto de carbono a la atmósfera debido a que la concentración del carbono en los bosques es más alta que en las tierras agrícolas que las reemplazan. La deforestación incrementa el contenido de los gases que afectan el cambio climático. Una forma de mitigar estos efectos y reducir las emisiones, es fijándolo o capturándolo y manteniéndolo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal y en el suelo. En el primer caso se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo caso a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica (Arévalo *et al.*, 2003).

El cambio de uso de la tierra, ocurre cuando una tierra originalmente cubierta de bosques, pasa a ser utilizado para fines agropecuarios, produciéndose, desde el punto de vista forestal, una degradación o como mínimo un cambio del uso de la tierra. Estos cambios se dan por procesos de deforestación, sin considerar su reposición; lo que conlleva a una disminución de la cantidad total de biomasa vegetal, y por ende la cantidad de carbono retenido por los nuevos sistemas de uso de la tierra (Arévalo *et al.*, 2003).

2.2.8 Volúmenes de fijación de CO₂ en ecosistemas forestales

El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales de la fotosíntesis y respiración, y de la emisión de gases causada por la acción humana. La captura de carbono por medio de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO₂ de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de carbono (azúcares como la glucosa), que sirven de base para su crecimiento. Por medio de este proceso las plantas fijan el carbono en la biomasa de la vegetación, y consecuentemente constituyen, junto con sus residuos (madera muerta y hojarasca), un stock natural de carbono. El proceso inverso ocurre con la emisión de carbono por medio de la respiración de las plantas, animales y por la descomposición orgánica (forma de respiración de las bacterias y hongos). A ésta se suman las emisiones de GEI debido a la deforestación, incendios, gases industriales y quema de combustibles: acciones antropogénicas que contribuyen con el desequilibrio del ciclo de carbono (Rügnitz, Chacón y Porro, 2009).

Los bosques acumulan carbono de la atmósfera por descomposición de dióxido de carbono en carbono y oxígeno. El carbono así producido es almacenado en los troncos de los árboles, ramas, hojas y otras partes de las plantas, así como en los suelos en forma de biomasa viva y muerta. La biomasa seca de un árbol supone dos

toneladas aproximadamente, que pueden contener alrededor de una tonelada de carbono. Un bosque tropical húmedo puede almacenar hasta 430 toneladas de carbono por hectárea en la biomasa aérea (CIFOR 2009, citado por Harris, *et al.*, 2011).

La cantidad de biomasa acumulada por el crecimiento de los árboles en los bosques disminuye gradualmente conforme aumenta la edad del bosque (Finegan, 1997; Kyrklund, 1990). Estudios efectuados por el IPCC (1996) sobre biomasa en pie por encima del suelo para varios tipos de bosques en toneladas de materia seca/ha, dan cuenta de los siguientes resultados: en Guatemala en bosques cerrados determinaron 242 t; en Nicaragua, en bosques de Orifino 240 t; en bosques mixtos de tierras bajas 235 t; en bosques maduros 240 t y en bosques secundarios 183 t; en Panamá, en bosques mixtos de alta densidad evaluaron entre 239 y 366 t y en bosques mixtos de baja densidad de 169 a 245 t.

2.2.9 Flujos de carbono

Un bosque, o cualquier ecosistema, es un conjunto de flujos de carbono. Los bosques absorben dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y lo transforman en reservas de carbono a través del proceso de la fotosíntesis. Otros flujos devuelven CO₂ a la atmósfera, a través de la respiración y la mineralización del suelo. Los productos que se extraen del ecosistema, como la madera,

también provocan flujos de carbono (Harris, Birjandi y García, 2011).

Las reservas totales de carbono almacenado es un indicativo del grado de captura de carbono de un sistema, pero no especifica la dinámica de este carbono, por lo que se deben elaborar los flujos anuales de captura de carbono por hectárea. Estos flujos anuales son los que expresan el dinamismo en acumular el carbono y es el que la comunidad internacional está considerando para el otorgamiento de créditos por este servicio ambiental. Cabe destacar que los flujos presentados son un promedio de captura anual en el tiempo de vida del sistema, dado que el crecimiento de una población vegetal no se realiza de manera uniforme en el tiempo, existiendo un mayor crecimiento en los primeros años (Lapeyre *et al.*, 2004).

Dentro de este panorama, una de las tareas prioritarias es hacer estudios de emisión-captura de carbono a nivel regional en ecosistemas forestales que presenten procesos muy dinámicos de cambio de uso del suelo. Estos estudios deberán permitir, por un lado, estimar más precisamente las densidades de carbono asociadas a las distintas clases de vegetación y, por el otro, desarrollar métodos de cuantificación y predicción sobre el comportamiento de los procesos de emisión-captura de carbono bajo diferentes dinámicas de cambio de uso del suelo y de esta forma poder ofrecer opciones de mitigación de gases de efecto invernadero en el corto, mediano y

largo plazo, aunado a la posible venta de un servicio ambiental (Ordoñez *et al.*, 2001).

2.2.10 El ciclo global del carbono

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. En un bosque tropical, el stock de carbono es todo aquello que se encuentra almacenado en los diferentes componentes y los flujos son todos aquellos procesos que afectan el stock (Honorio y Baker, 2010). Un área de bosque es considerada como sumidero de carbono, si la cantidad almacenada de carbono aumenta con el tiempo, es decir, si el cambio en el stock de carbono es positivo. En un bosque, esto ocurre si los flujos que agregan carbono al stock, como el crecimiento, son más altos que los flujos que disminuyen el stock, como la mortalidad, por un periodo dado. (Honorio y Baker, 2010). Por otro lado, un área de bosque es considerado como fuente de carbono cuando el stock de carbono disminuye con el tiempo. En general, los cambios en el stock de carbono ocurren debido al balance entre todos los flujos que entran o salen del componente. Por tanto, es importante estudiar los stocks y los flujos de carbono para tener una idea completa del ciclo de carbono de un bosque (Honorio y Baker, 2010).

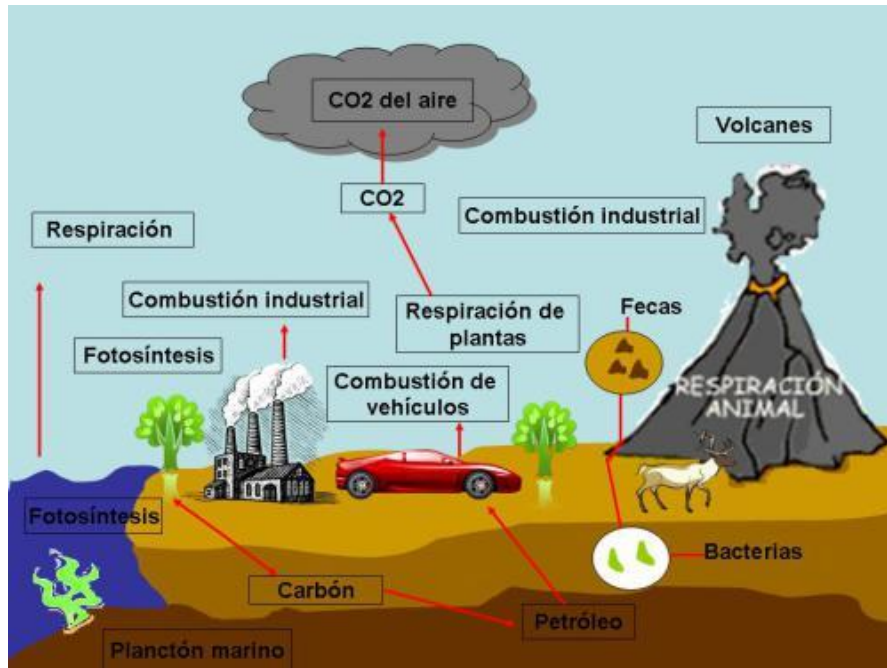


Figura N° 01: Ciclo global del carbono

Fuente: www.natubelalcazar.wordpress.com

Las rocas sedimentarias, con sus carbonatos y querógenos (materia orgánica sedimentaria) (Salisbury *et al.*, 1994); constituyen la reserva más importante de carbono, si bien el tiempo de retorno es tan largo que el flujo a partir de este comportamiento resulta despreciable a escala humana, si no ha sido en el sistema global (Porta *et al.*, 1994).

Las pruebas observadas muestran que la composición de la atmósfera está cambiando (por ejemplo, las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero, como el CO₂ y el metano (CH₄), así como el clima de la Tierra (la temperatura, las precipitaciones, el nivel del mar, las capas de hielo marino, y en

algunas regiones los fenómenos climáticos extremos tales como olas de calor, fuertes precipitaciones y sequías). Por ejemplo, la concentración de CO₂ en la atmósfera afecta al nivel y eficiencia de la fotosíntesis y al uso de las aguas, lo que puede afectar a la productividad de las plantas y a otros procesos de los ecosistemas. Los factores climáticos también afectan a la productividad vegetal y animal, así como a otras funciones del ecosistema (IPCC, 2002).

2.2.11 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.

A fines de la década del 70 el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y luego la Sociedad Mundial de Meteorología (SMM), alertan de la inminencia de una drástica variación climática (UNEP y GMS, 1992), esta sería consecuencia de la gradual y creciente acumulación de GEI en la atmósfera, provenientes de la actividad industrial y deforestación masiva fundamentalmente (IUCC y PNUMA, 1995). La presencia de estos gases y su permeabilidad diferencial a las radiaciones, redundaría en un acumulativo calentamiento biosférico (UNEP y GMS, 1992; IUCC y PNUMA, 1995).

En razón de ello, en 1988, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) creó el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático IPCC). Dos años después la Asamblea de las

Naciones Unidas estableció el Comité Intergubernamental de Negociación de un convenio (CIN), que en mayo de 1992 aprobó el texto de una Convención. En junio del mismo año, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), 162 países firmaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), la que entró en vigor el 21 de marzo de 1994 con la ratificación de los 50 primeros países (Gamarra, 2001).

La preocupación de algunos gobiernos, comunidad científica y ambientalista, llevó en 1992 a que 155 países firmaran la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Desde entonces, los gobiernos del mundo se reúnen cada año para evaluar los avances de los acuerdos. A estas reuniones se les llama “conferencia de las partes” y por eso escuchamos hablar sobre las “COPs”, que son las iniciales en inglés (IUCN, 2009).

2.2.12 La implementación conjunta, el Protocolo de Kyoto y el mecanismo para un desarrollo limpio

La entrada en vigor del Protocolo de Kyoto (PK) en febrero del 2005 marcó el inicio formal de una serie de acciones para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los países industrializados (Anexo I de la Convención), con la finalidad de

mitigar los efectos e impactos del cambio climático (Comunidad Andina, 2007).

De acuerdo al PK, los países Anexo I deberán reducir durante el primer periodo de compromiso (entre el 2008 y el 2012) aproximadamente un 5% con respecto a sus emisiones de GEI de 1990. Para contribuir a ello, el protocolo estableció tres mecanismos de reducción: el Comercio de Emisiones, la Implementación Conjunta y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Entre estos tres mecanismos, el MDL es el único que incluye a los países en vías de desarrollo, basándose en el desarrollo y la implementación de proyectos que contribuyan a reducir emisiones o a incrementar su absorción por sumideros, y que al mismo tiempo permitan el desarrollo sostenible local en los países donde se pongan en práctica. Los países pueden intercambiar reducciones certificadas de emisiones, resultantes de la ejecución de estos proyectos.

La Implementación Conjunta define los mecanismos mediante el cual los países del anexo I pueden transferir o adquirir entre ellos Unidades de Reducción de Emisiones (Emission Reduction Units – ERUS) que pueden resultar de proyectos de reducción de emisiones antropogénicas o de sumideros de GEI (artículo 6 del PK) (Black, 2003).

La base teórica de los proyectos de IC es que las acciones dirigidas a disminuir los GEI, tienen el mismo impacto sobre la capacidad de la atmósfera para atrapar calor, independientemente de donde esté la fuente y el sumidero de los gases, adaptándose desde entonces fuertemente el concepto de implementación conjunta, que es el marco mediante el cual se puede vender internacionalmente el servicio ambiental de la fijación y almacenamiento de carbono (Mora, 1998; Beaumont, 1999).

El Protocolo de Kyoto estableció el MDL para permitir a los países industrializados financiar, a través de un mecanismo internacional de reducción de emisiones certificadas (CER), proyectos en países en vías de desarrollo recibiendo así crédito. Los CERs pueden ser usados por los países desarrollados para cumplir con sus obligaciones de reducciones (Naciones Unidas, 1998).

2.2.13 Opciones de mitigación del cambio climático

Por mitigación se entiende la reducción de las emisiones de Gases de efecto invernadero (GEI), cuya acumulación en la atmósfera es la causa del cambio climático y de sus respectivos impactos (PLANCC, 2014). Las opciones de mitigación son aquellas actividades, acciones o proyectos orientados a disminuir la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI). Esto se logra mediante la reducción de las fuentes de GEI o intensificación de los sumideros -

depósitos que absorben CO₂ como son los bosques (PLANCC, 2014).

El tiempo desde que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura de la planta hasta que es enviado al suelo o la atmósfera, se considera almacenado (Rodríguez et al., 2006). Por otro lado, la capacidad de los ecosistemas para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos, la densidad de la población de cada estrato y de la comunidad vegetal (Alegre et al., 2000). La capacidad de fijación de carbono por los ecosistemas forestales aún es desconocida, debido al uso de diferentes métodos que miden diferentes flujos del ciclo terrestre del carbono (Schulze et al., 2000; Díaz et al., 2007).

En todos los casos, las actividades encargadas de mitigar la acumulación de GEI en la atmósfera deberán cumplir ciertas condiciones básicas, tales como ser ecológicamente sostenibles; económicamente factibles; fácilmente reproducibles; flexibles frente a posibles cambios políticos, sociales, ecológicos o climáticos; y socialmente aceptables.

2.2.14 Costos de reducción de emisiones en países industrializados y en países en desarrollo

La motivación que originó la idea de establecer mecanismos de mitigación de carácter internacional entre países industrializados y países en desarrollo (AIC, MDL), fue la ventaja relativa de estos últimos en los costos de reducción de emisiones. Es precisamente este margen de diferencia el que ofrece a la comunidad internacional la oportunidad de reducir los costos globales de mitigación (Hidalgo, 2009).

Por otra parte, los “precios sombra” utilizados para realizar evaluaciones sociales de proyectos de inversión consideran tres rangos de precios para la tonelada de carbono emitido por proyectos energéticos: 5.20 y 40 US \$/tC (Banco Mundial, 1998). También se han realizado estimaciones basadas en combinar la capacidad de almacenamiento de carbono de una hectárea de selva amazónica con los valores actuales o propuestos para “impuestos de carbono” en países industrializados, llegando a valores potenciales de 700 a 5,000 US \$ por hectárea frente a valores de mercado para las tierras forestales de 2 a 300 US \$ por hectárea.

De lo descrito, se percibe un auspicioso campo para la planificación de actividades ligadas al sector forestal y agroforestal que contribuyan a la mitigación de la acumulación de GEI en la

atmósfera. Debe tenerse en cuenta sin embargo que, como tecnologías de mitigación, las actividades forestales deberán disputar por los fondos disponibles con otras tecnologías en un mercado competitivo. No bastará saber que existen opciones basadas en la silvicultura o que su potencial técnico es grande: será necesario determinar cómo pueden responder efectivamente estas opciones a las necesidades de los potenciales compradores de “servicios de mitigación”, cómo pueden ajustarse a un eventual mercado de reducción de emisiones de GEI, y si pueden competir de una manera económicamente viable con las otras tecnologías de mitigación (Gamarra, 2001, citado por Hidalgo, 2009).

2.2.15 Definición del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono

El almacenamiento y fijación de carbono, es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agrícolas (Brown *et al.*, 1984b; Segura, 1997). Se genera en el proceso de fotosíntesis realizada por las plantas, que capturan el CO₂ de la atmósfera y lo desdoblan para liberar el oxígeno y dejar carbono que se utiliza para formar la biomasa de la planta, o madera en los árboles. En ese sentido, los bosques tropicales, las plantaciones forestales y las prácticas agroforestales, y en general, aquellas actividades que lleven a la ampliación de una cobertura vegetal permanente pueden cumplir la función de “sumideros de carbono” (Cuellar *et al.*, 1999).

La Ley Forestal peruana define como servicios ambientales del bosque, las que tienen por objeto la protección del suelo, regulación del agua, conservación de la diversidad biológica, conservación de ecosistemas y de la belleza escénica, absorción de dióxido de carbono y en general el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales. Así podemos decir que existen servicios ambientales que brindan beneficios de tipo: global, como la regulación de la composición química de la atmósfera, los océanos y la regulación del clima; nacional, como recreación y turismo, generación de energía; local o regional, como la protección del recurso hídrico, captación y calidad de agua y control biológico, entre otros (Hidalgo, 2009).

La Ley N° 28611, Ley General del Ambiente en su Artículo 94, Inciso 94.1, considera que los recursos naturales y demás componentes del ambiente cumplen funciones que permiten mantener las condiciones de los ecosistemas y del ambiente, generando beneficios sin retribución o compensación, por lo que el Estado establece mecanismos para valorizar, retribuir y mantener la provisión de dichos servicios ambientales (Congreso de la República, 2005). En el inciso 94.2 define los servicios ambientales, como la protección del recurso hídrico, la protección de la biodiversidad, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la belleza escénica, entre otros. Finalmente en el inciso 94.3 manifiesta que la Autoridad Ambiental Nacional

promueve la creación de mecanismos de financiamiento, pago y supervisión de servicios ambientales (Congreso de la República, 2005).

En el Perú los mecanismos de pago por servicios ambientales (PSA) presentan enorme potencial para generar empleo e ingresos para poblaciones locales que brinden estos servicios. Sin embargo, hasta ahora no existen ejemplos prácticos de un mecanismo de PSA ya establecido, porque son procesos complicados y largos (Veen, 2007).

2.2.16 Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono

La valoración ambiental puede definirse formalmente como un conjunto de técnicas y métodos que permiten medir las expectativas de beneficios y costes derivados de algunas de las siguientes acciones: a) uso de un activo ambiental; b) realización de una mejora ambiental y c) generación de un daño ambiental (Romero, 1997, citado por Hidalgo, 2009).

El servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono beneficia a la comunidad local y nacional, pero es generalmente aceptado que los países desarrollados son los que más se benefician de ese servicio, al compensar la concentración de carbono en la

atmosfera producto de las emisiones de gases de efecto invernadero (Ávila, 2000).

Desde el punto de vista económico, los bienes y servicios ambientales son tratados como bienes públicos, bienes de libre acceso, y en su mayoría son bienes que sufren de algún tipo de externalidad. Estas características han impedido que el mercado sea una buena guía para determinar el nivel eficiente de precio y de cantidad a asignar en la sociedad, y son estas “fallas” en el sistema de mercado que crean la necesidad de utilizar medidas alternativas de valoración económica (Clave y Pizarro, 2001, mencionado por Hidalgo, 2009).

Los bosques son algo más que carbono. Son el hogar de las comunidades locales y suministran servicios esenciales al ecosistema, además de almacenar carbono. Los recursos forestales proporcionan directamente el sustento de un 90% de los 1,200 millones de personas que viven en extrema pobreza y constituyen el hogar de casi el 90% de la biodiversidad terrestre mundial. Los pueblos indígenas dependientes de los bosques son sus administradores, proporcionando al resto de la humanidad los servicios vitales de los ecosistemas (ES). Además, los bosques prestan a los ecosistemas servicios como la protección de cuencas, la regulación del caudal de agua, el reciclaje de nutrientes, la

generación de lluvias y la regulación de enfermedades, los cuales se verían seriamente afectados por la deforestación global reciente y por las tendencias a la degradación del bosque.” (Parker et al. 2008, citado por Harris *et al.*, 2009)

Al darle un valor monetario a los servicios ambientales, que “el que contamine pague y el que conserve gane”, se establecen los castigos e incentivos para conservar el entorno natural. La internalización de estos beneficios está basado en el principio de “el que contamina paga” que expresado de otra forma sería “el que se beneficia paga”. Con base en este principio se está implementando en algunos países, últimamente, el mecanismo de “pagos por servicios ambientales” de tal forma que se garantice la sostenibilidad de la generación de los mismos en el tiempo (Herrador, 1999).

Los problemas derivados de la ausencia de mercados reales para los daños o beneficios ambientales pueden resolverse siguiendo dos caminos alternativos: el primero consiste en construir artificialmente un mercado que subrogue al inexistente mercado para el bien o el mal ambiental; el otro camino sería de un enfoque de tipo indirecto el cual pretende estimar el valor del activo ambiental a través de comportamientos que se revelan en mercados reales (Romero, 1997).

Las interacciones dentro de un ecosistema no hacen posible que se pueda pagar cada bien por separado, como la conservación de la biodiversidad, producción y protección del recurso hídrico, belleza escénica natural para fines científicos y turísticos, dada la difícil cuantificación física por unidad de área que podría resultar del bien (Montenegro y Abarca, 1999; Otárola y Venegas, 1999). Sin embargo, el servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono por un determinado ecosistema puede ser cuantificado en forma física y por componente dentro del mismo (árbol, planta, materia orgánica depositada arriba del suelo, suelo, etc.). Servicio ambiental que, por consiguiente, resulta de sumo interés dado que es posible realizar negociaciones al conocer la cantidad de carbono retenido o almacenado por diferentes ecosistemas.

En Costa Rica, actualmente se otorgan a la sociedad civil, por medio de pago de servicios ambientales, diferentes montos de dinero los cuales reflejan una valoración total por servicios ambientales brindados conjuntamente y no por servicio ambiental en forma individual, lo que hace difícil la identificación del servicio y expresión monetaria por el cual se le debe de compensar al propietario del bien (Otárola y Venegas, 1999).

2.2.17 Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono

Para establecer la valoración del servicio de sumidero de carbono se han utilizado varios precios de referencia, por ejemplo el gobierno de Costa Rica, en una negociación con el gobierno de Noruega, acordó un precio de US \$ 10.00 por tonelada de carbono para las opciones de carbono almacenado, parqueado o retenido y secuestro de carbono para todas sus negociaciones de ejecución conjunta (Ávila, 2000; Ortiz *et al.*, 1998; citado por Baldoceca, 2001).

Los precios del Gobierno de Costa Rica eran mucho menores que los encontrados por Segura (1999), los cuales varían para la zona de Corinto entre US\$ 18.30 y US\$ 43.50 por tonelada de carbono; mientras que para Tirimbina el precio mínimo reportado fue de US\$ 20.00 y el monto máximo de US\$ 20.00 por tonelada de carbono. Es importante remarcar que esta valorización fue hecha en terrenos de aptitud de conservación, los cuales son exclusivos para este uso, por lo que no existe verdaderamente un costo de oportunidad. Estos montos, indica la autora, pueden ser considerados como ínfimos, debido a la baja capacidad de producción de biomasa que mostraron.

El IPCC (1996) hizo una revisión de los costos de protección de bosques y deforestación omitiendo los costos de oportunidad del terreno, y en función de ellos, determinó el costo del secuestro de

carbono. Los resultados mostrados varían alrededor de US\$ 0.50/tC y US\$ 15.00/tC (Hidalgo, 2009).

Frankkhauser y Tol (1995, citado por Baldoceca, 2001) indican que el costo social marginal de la emisión de una tonelada de carbono a la atmósfera es muy variable. Por ejemplo, Nordhaus (1991, citado por Baldoceca) encontró valores entre US\$ 0.30 y US\$ 65.90, y en promedio fue de US\$ 7.30.

Smith et al. (1998) aplicando el método de valorización contingente (MVC) con agricultores de Pucallpa estimó que el costo/tC fue de US\$ 0.51, a US\$ 1.88 para agricultores dispuestos a preservar sus bosques, y de US\$ 1.14 a US\$ 1.36 para agricultores dedicados a la agroforestería. Estos valores son comparables con costos estimados de otros proyectos forestales de secuestro de carbono para países en desarrollo.

De un análisis de ocho proyectos forestales de secuestro de carbono, en países en desarrollo, el costo/tC fue de US\$ 12.00, y fluctuaba entre US\$ 3.00 y US\$ 35.00 (Ridley, 1997, citado por Baldoceca, 2001). Swisner y Masters (1992, citado por Baldoceca) presentan valores similares que fluctúan entre US\$ 3.00 y US\$ 25.00.

Ramírez et al. (1994) estimó la valoración del almacenamiento de carbono entre distintos métodos de manejo sostenible de bosques secundarios, comparando un bosque secundario sin tratamiento con bosques sometidos a tratamientos bajo dosel con aprovechamiento comercial y con tratamientos de liberación y otros con refinamiento, reportando que, desde el punto de vista social (económico - ambiental), el bosque sin tratamiento es la mejor alternativa para una propuesta de sumidero de carbono en comparación con las otras opciones que no ofrecen adecuados rendimientos si se planteara una compensación por secuestro de carbono.

Comparando estos datos con los de otros autores, para emisiones que ocurran en los períodos de 1991 a 2010, el promedio general de todas las estimaciones es de aproximadamente US\$ 20.00 por tonelada. Por lo tanto debería ser éste el precio del servicio de sumidero de carbono atmosférico, es decir, secuestro y almacenamiento permanente de carbono (Ramírez et al., 1994, citado por Hidalgo, 2009).

2.2.18 El mercado del carbono

Con el Protocolo de Kyoto, los países en desarrollo (países no incluidos en el Anexo I) no están obligados a reducir sus emisiones de GEI, mientras que los países industrializados tienen que cumplir objetivos específicos, que pueden ser logrados reduciendo las

emisiones de GEI en su propio país, implementando proyectos para reducir las emisiones en otros países, o comerciando. Esto significa que los países que han satisfecho sus obligaciones con Kyoto pueden vender sus excesos de créditos de carbono a países que encuentran más caro cumplir sus objetivos (FAO, 2010).

Para los países en desarrollo, el MDL es el más interesante entre los mecanismos del mercado regulado. Un país industrializado implementa un proyecto de reducción de emisiones en un país en desarrollo. Puede tratarse de un proyecto de forestación, de eficiencia energética o de energía renovable. Porque de la retención o recortes de GEI se generan créditos de carbono (RCE). Estos pertenecen al país industrializado y serán utilizados para compensar parte de sus emisiones internas de GEI y cumplir, así, sus objetivos de emisión. Los proyectos apoyan el desarrollo sostenible en el país en el que se ejecutan a medida que se lanza un proyecto nuevo o adicional, lo que contribuye a ralentizar el calentamiento global. Con el proyecto se transfiere nueva tecnología al país en el que se realiza, se hacen inversiones, se crean puestos de trabajo adicionales y se reducen los impactos medioambientales (FAO, 2010).

En este contexto, América Latina se ha convertido en la región de países en desarrollo más activa en este mercado emergente con alrededor de US\$ 210.6 millones de créditos de carbono en

negociación en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio, y ha mostrado un optimismo basado en la convicción de que este mercado puede significar una herramienta útil para promover el desarrollo sostenible de la región (Eguren, 2004).

El comercio de carbono puede convertirse en un mercado de compradores donde el mundo industrializado se quede con la mayor parte de los ahorros potenciales. O puede consolidarse como un instrumento de transferencia de recursos financieros de los países del Norte a los del Sur. Y, por tanto, como uno de los primeros casos exitosos de la globalización de la economía mundial. Se considera asimismo que el mercado mundial de carbono ofrece a los países en desarrollo y a los organismos dedicados a la conservación ecológica un instrumento para financiar la ampliación de sus áreas ecológicamente frágiles, y mejorar la situación económica y política de muchas de sus zonas rurales ya que representa una fuente de ingresos completamente nueva que aumentaría la rentabilidad de algunas actividades actuales, frenando así la migración (Castro, 2002).

Costa Rica ha sido uno de los primeros países reconocidos a escala mundial en desarrollar políticas públicas orientadas a favorecer el manejo y conservación de los recursos forestales, en desarrollar un marco legal e institucional y crear una valoración de los costos de los

servicios ambientales. En especial, el costo de mitigación de GEI, y la internalización de estos costos por medio del PSA a la actividad forestal privada, así como la comercialización internacional de las reducciones de emisiones certificadas de GEI, generadas en la ejecución de proyectos de AIC (Asumadu, 1998; Mora, 1998; Segura, 1999; citados por Ávila, 2000).

Latinoamérica se ha convertido en el principal proveedor de proyectos MDL en el mundo, se estima que cerca del 50% de las negociaciones del MDL son en Latinoamérica y el Caribe (LAC). Aparentemente esto se debe al apoyo institucional por parte de los gobiernos de la región a la implementación del Protocolo de Kyoto, tener sistemas de aprobación de proyectos MDL funcionando favorablemente y a la presencia de expertos locales en las instituciones de promoción del MDL. Brasil es de lejos el país más importante potencial exportador de créditos de carbono de la región con el 20% del total de créditos de carbono. Luego le siguen a distancia, Colombia, Panamá, Costa Rica y Perú con similares montos de exportación entre ellos (Eguren, 2004, mencionado por Hidalgo, 2009).

2.2.19 Bosques andinos y cambio climático

El estudio del calentamiento global y sus efectos directos sobre los bosques tropicales, incluyendo los bosques andinos, continúa siendo

uno de los aspectos más abandonados en las investigaciones concerniente al cambio climático. Sus efectos suponen un bajo impacto respecto a lo que se presentaría en los bosques boreales. Por lo tanto, no se ha tomado como solución prioritaria frente al cambio climático, la cual se ha fundamentado en el estudio de los cambios de uso del suelo y otros impactos humanos (Markham, 1998). Sin embargo, algunos estudios de ecología tropical han mostrado que muchos de los bosques ubicados en el trópico pueden ser muy sensibles a los cambios climáticos, conociendo que no sólo el aumento de la temperatura es el resultado del cambio climático, sino también los cambios en los patrones de las precipitaciones, la frecuencia e intensidad de las tormentas y los incendios, la frecuencia de los eventos extremos son efectos también relacionados con el cambio climático y pueden ser considerados de alta gravedad (Markham, 1998).

2.2.20 Parque Nacional Huascarán

El Parque Nacional Huascarán, es un área natural protegida de mucha importancia para el Perú. Cuenta con diversidad biológica de montaña, bosques en buen estado de conservación, complejos arqueológicos y valores paisajísticos extraordinarios, por lo que ha sido declarado Reserva de Biosfera y Patrimonio Natural de la Humanidad. Está localizado en la zona norte-centro del territorio peruano, en el departamento de Ancash, sobre un área de 340 mil

hectáreas. Entre los principales objetos de conservación del área protegida se encuentran la diversidad biológica y valores naturales, la calidad paisajística y de sus ecosistemas y el suplemento de agua para el desarrollo de la región (SERNANP, 2010).

2.3 Definición de términos

2.3.1 Cambio climático:

Para el IPCC, el término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. Este significado difiere del utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), que describe el cambio climático como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables (IPCC, 2007).

2.3.2 Fotosíntesis:

Proceso donde las plantas absorben dióxido de carbono (CO₂) del aire (o bicarbonato del agua) para producir carbohidratos, emitiendo

oxígeno (O₂) en el proceso. Existen varias vías para fotosíntesis con diferentes respuestas a las concentraciones atmosféricas de CO₂ (IPCC, 2001). La fotosíntesis es un proceso mediante el cual los organismos fotoautótrofos son capaces de transformar la energía de la luz solar en energía química (adenosin trifosfato – ATP y la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato – NADPH) y utilizarla para sintetizar compuestos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos (<http://es.wikipedia.org>).



2.3.3 Biomasa

Masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dados; el material vegetal recientemente muerto suele estar conceptualizado como biomasa muerta. La cantidad de biomasa se expresa mediante su peso en seco o mediante su contenido de energía, de carbono o de nitrógeno. (IPCC, 2007)

2.3.4 Biomasa aérea

Toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, con inclusión de tallos, tocones, ramas, corteza, semillas y follaje. (IPCC, 2005, citado por Espinoza et. al., 2013).

2.3.5 Bonos de carbono

Los bonos de carbono son un componente clave de los esfuerzos nacionales e internacionales para mitigar el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI). Un bono de carbono equivale a una tonelada de equivalentes de carbono. La idea es permitir que los mecanismos de mercado encausen a los procesos industriales y comerciales hacia bajas emisiones o a enfoques de carbono “menos intensivos” que podrían utilizar cuando no haya costo alguno en la emisión del dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera. Puesto que los proyectos de mitigación de gases de efecto invernadero generan bonos, este acercamiento puede ser utilizado para financiar proyectos de reducción del carbono entre socios comerciales y en todo el mundo (<http://www.intracen.org>). Hay dos tipos distintos de Bonos de carbono:

- Bonos compensatorios de carbono o COC (del inglés Carbón Offset Credits) generados por medios limpios para producir energía: el viento, el sol, el agua y los combustibles biológicos (<http://www.intracen.org>).
- Los Bonos de Reducción de carbono o CRC (del inglés Carbón Reduction Credits), generados por la recolección y el almacenamiento de carbono de la atmósfera por medio de la biosecuestación (embosquecimiento, florestación), los

esfuerzos de recolección y almacenamiento en el océano y en la tierra (<http://www.intracen.org>).

2.3.6 Diámetro a la altura del pecho

Es el diámetro del árbol a la altura del pecho (1.3 m), con la excepción de casos particulares. La medición puede realizarse con la ayuda de una cinta diamétrica o con el uso de una forcípula. A fin de evitar una estimación excesiva del volumen y compensar los errores de medición, se mide el diámetro en centímetros y se ajusta en sentido decreciente (FAO, 2005)

2.3.7 Ecuación alométrica

Las ecuaciones alométricas permiten predecir la biomasa de un árbol a partir de las características dendrométricas más fáciles de medir, como su diámetro o su altura, elementos clave para estimar la contribución de los ecosistemas forestales al ciclo del carbono (Picard et al, 2012).

2.3.8 Gas de efecto invernadero

Gas que absorbe radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación emitido por la superficie de la tierra y por las nubes. El gas, a su vez, emite radiación infrarroja desde un nivel en que la temperatura es más baja que en la superficie. El efecto neto

consiste en que parte de la energía absorbida resulta atrapada localmente, y la superficie del planeta tiende a calentarse. En la atmósfera de la tierra, los gases de efecto invernadero son, básicamente: vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y ozono (O₃) (IPCC, 2007).

2.3.9 Materia seca

La materia seca o extracto seco es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio. Es una noción usada principalmente en biología y agricultura (<http://es.wikipedia.org>).

2.3.10 Reserva de carbono

Es la cantidad de carbono en un “depósito”, o sistema capaz de almacenar o liberar el carbono (GIEC, 2003). Ejemplos de depósitos de carbono son: la biomasa viva (comprende la biomasa por encima del suelo y la biomasa por debajo del suelo); la materia orgánica muerta (comprende la madera muerta y la hojarasca); los suelos (materia orgánica del suelo). Las unidades son el peso (FAO, 2005).

2.3.11 Biomasa arbórea Viva

Comprende toda la biomasa (troncos, ramas, hojas, flores, frutos) de los árboles con diámetros mayores de 2.5 cm (Arévalo *et. al.*, 2002).

2.3.12 Biomasa arbustiva y herbácea:

La biomasa arbustiva (BA) y herbácea (BH), está compuesta por la biomasa sobre el suelo (epigea) de arbustos menores de 2.5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas (Arévalo et. al, 2002).

2.3.13 Género *Polylepis*

El género *Polylepis* pertenece a la familia Rosaceae, caracterizada por su polinización anemófila y por sus frutos secos (Kessler et al, 2006). Este género incluye entre 15 y 28 especies, en su mayoría árboles de 5-10 m altura, pero también con algunas especies comúnmente arbustivas (Bitter, 1911, Simpson 1979, Kessler 1995b, Kessler & Schmidt-Lebuhn, 2005, citado por Kessler, 2006). Los bosques de *Polylepis* representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales a altitudes entre 3.500 m y 5.000 msnm (Kessler et al, 2006).

2.3.14 Dióxido de carbono

Gas que existe espontáneamente, y como subproducto del quemado de combustibles fósiles procedentes de depósitos de carbono de origen fósil, como el petróleo, gas o el carbón, del quemado de biomasa, o de los cambios de uso de la tierra y otros procesos industriales. Es el gas invernadero antropógeno que más afecta al equilibrio radiactivo de la Tierra. Es también el gas de referencia para la medición de otros gases de efecto invernadero y, por consiguiente, su potencial de calentamiento mundial es igual a 1 (IPCC, 2007).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Descriptivo-comparativo. En el inventario forestal se utilizó el diseño estratificado por la heterogeneidad del bosque de quenual. Las parcelas de muestreo fueron de 100 m² (4 m de ancho por 25 m de largo).

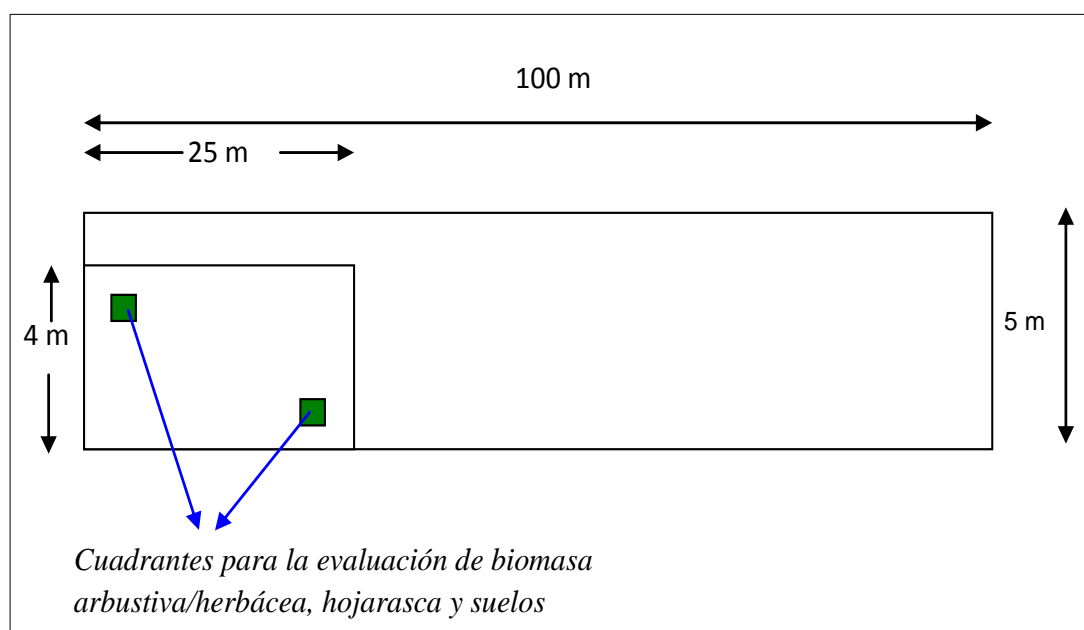


Figura N° 02: Diseño de parcelas de evaluación de los diferentes componentes de la biomasa vegetal

3.2 Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico

3.2.1 Población

La población está constituida por el bosque de quenual ubicado en la quebrada Llaca, perteneciente al Parque Nacional Huascarán, cuya área total es de 140.35 ha (Espinoza y Quispe, 2013).

a) **Ubicación política:** La Quebrada Llaca se ubica políticamente en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Ancash.

b) **Localización geográfica:** La Quebrada Llaca geográficamente está localizada en la vertiente oriental de la Cordillera Blanca, dentro del ámbito del Parque Nacional Huascarán, el bosque se encuentra a una altura promedio de 3900 msnm y el Ranrapalca es el nevado más alto de esta quebrada, cuya altitud es de 6162 msnm.

c) **Accesibilidad:** Para llegar al área de estudio se accede por una trocha carrozable que parte desde la ciudad de Huaraz, cuya distancia hasta la quebrada Llaca es de 12 km, con dirección hacia el este.

d) **Fisiografía:** La Quebrada Llaca presenta un valle en forma de U, con artesas verticales y fondo del valle fluvioglaciárico. A lo largo del valle se observan depósitos como cono de gelifracción y conos derrumbados aparentemente formados a partir de actividad sísmica. En muchos sectores del fondo del valle se encuentran restos de material residual transportado por remoción en masa y que han quedado temporalmente estabilizados. Estos procesos han provocado que el bosque de *Polylepis spp.* de la quebrada Llaca esté conformado por ejemplares jóvenes.

e) **Zonas de vida y Clima:** En el área de estudio se encuentran dos zonas de vida de las siete que se han identificado en el PNH (Park y Watch, 2005), son las siguientes:

páramo muy húmedo Sub Alpino Tropical (pmh-SAT), que es un ecosistema de clima muy húmedo y frío, con un promedio de precipitación total anual variable entre 500 mm y 1200 mm, con una temperatura anual que oscila entre 6°C y 3°C, con una ocurrencia de temperaturas de congelación diarias. Esta zona de vida cubre una porción mayor en el área de estudio, desde la portada hasta la laguna de Llaca.

bosque húmedo Montano Tropical (bh-MT), ecosistema de clima húmedo y semi frío, con un promedio de precipitación total anual variable entre 380 a 948 mm, con una temperatura promedio que oscila entre 12 °C y 6°C. Esta zona de vida cubre un área mucho menor del área de estudio; se ubica principalmente en la entrada de la quebrada Llaca hasta la portada.

f) **Vegetación:** La vegetación presente en la quebrada Llaca es una flora única, caracterizada por hábitats especiales y altos niveles de endemismo. En el área de estudio se puede distinguir claramente el bosque y los pajonales. El bosque está conformado principalmente por árboles de *Polylepis spp.*, aunque existen otras especies arbóreas y arbustivas asociadas con el quenual. Asimismo, abunda, dentro del bosque, epifitas y musgos, adheridos a las rocas y árboles.

Dentro de la vegetación los géneros más comunes son: *Baccharis*, *Senecio*, *Arenaria*, *Buddleja*, *Ginoxys*. Las familias que predominan son: *Rosaceae*, *Asteraceae*, *Scrophulariaceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*, *orchidaceae*, *Bromeliaceae*, entre otros.

g) Fauna silvestre: Los bosques de *Polylepis spp.* albergan una gran cantidad de fauna silvestre, esto ha impulsado los estudios de estos bosques y la conservación de los mismos. Existen escasos estudios sobre este tema, pero se sabe que en el PNH se tiene un total de 241 especies verificadas, con un grupo mayoritario de aves (210), seguido por mamíferos (25), reptiles (4) y anfibios (2) (SERNANP, 2010).

En cuanto a los mamíferos reportados, por los guardaparques, en la Quebrada Llaca se han encontrado las siguientes especies: *Pseudalopex culpaeus* (zorro andino), *Conepatus chinga* (Zorrillo), *Hippocamelus antisensis* (Taruca) y *Legidium peruanum* (vizcacha).

3.2.2 Muestra

Según los lineamientos y formatos para la formulación de planes de manejo forestal y los manuales para la planificación y ejecución de inventarios forestales, elaborados por la DGFFS, del Ministerio de agricultura, el coeficiente de variación debe estar entre 40 y 50%, con un error de muestreo para el inventario menor al 20% referido al

volumen maderable por hectárea. En base a ello se determinó el número de parcelas de muestreo o inventario y que sea representativa de la población materia de evaluación. En ese sentido para el cálculo del tamaño de muestra se emplearon 16 parcelas de muestreo que utilizó Espinoza y Quispe, 2013, que cumple con los requisitos antes mencionados. Cabe resaltar que para el presente estudio las parcelas han sido rectangulares de 4m x 25 m. Las muestras fueron obtenidos de cada uno de los estratos del bosque: bosque muy denso (BMD), bosque denso (BDE) y bosque disperso (BDI). Como instrumentos de recolección de la información se utilizaron formatos preestablecidos, los que ayudaron a registrar los datos de campo.

Cuadro N° 02: Coordenadas UTM de las parcelas de muestreo

PARCELA	ESTRATO	COORDENADAS UTM – DATUM HORIZONTAL WGS 84 ZONA 18 L		
		ESTE	NORTE	ALTITUD (msnm)
P-01	Bosque denso (B-DE)	230121	8954157	4264
P-02	Bosque muy denso (B-MD)	229198	8952205	4050
P-03	Bosque denso (B-DE)	231336	8956078	4497
P-04	Bosque denso (B-DE)	230220	8954394	4306
P-05	Bosque denso (B-DE)	231287	8955998	4489
P-06	Bosque muy denso (B-MD)	230872	8955510	4394
P-07	Bosque disperso (B-DI)	230070	8953529	4237
P-08	Bosque denso (B-DE)	229409	8952453	4140
P-09	Bosque muy denso (B-MD)	230253	8954510	4322
P-10	Bosque muy denso (B-MD)	229717	8953576	4305
P-11	Bosque muy denso (B-MD)	229652	8953630	4377
P-12	Bosque muy denso (B-MD)	229934	8953187	4258
P-13	Bosque denso (B-DE)	229328	8952863	4066
P-14	Bosque muy denso (B-MD)	229326	8952749	4059
P-15	Bosque muy denso (B-MD)	229039	8952310	3988
P-16	Bosque denso (B-DE)	229121	8952117	4045

3.3 Instrumento (s) de recolección de la información

Como instrumentos de recolección de la información se utilizaron formatos preestablecidos, los que ayudaron a registrar los datos de campo. Los instrumentos de recolección fueron los siguientes:

- Libreta de campo
- Imagen satelital Landsat
- Barreno de golpe
- Cilindro Uhland
- Botas de jebe
- Wincha de 3 m
- Wincha de 100 m
- Tijera de podar
- Pala recta
- Barreta
- Escobilla
- Rastrillo
- Materiales de escritorio
- Bolsas de papel
- Sobre manila
- Bolsas de plástico 12" x 17"
- Marco de madera 0.50 x 0.50 m
- Marco de madera 1 m x 1 m
- Cinta de Embalaje
- Soga de Nylon de 100 m

- Lampa cuchara
- Pico
- Rafia
- Plumón indeleble diferentes colores
- Pintura spray
- Cámara fotográfica
- GPS
- Alquiler de brújula
- Alquiler de hipsómetro
- Balanzas de 10 kg
- Forcípula
- Equipos de laboratorio

3.4 Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información.

En las parcelas seleccionadas se tomaron medidas del diámetro normal a la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles y arbustos mayores de 2.5 cm de diámetro , se colectaron también en superficies de 1 m x 1 m todas las especies arbustivas y herbáceas menores de 2.5 cm de diámetro y en superficies de 0.5 m x 0.5 m toda la hojarasca; también se tomaron muestras de suelo de los diferentes horizontes, a los que se evaluaron el contenido de carbono en laboratorio (en la biomasa y en el suelo) (Arévalo et al., 2003).

3.4.1 Descripción de las fuentes medidas

Biomasa aérea y subterránea

La biomasa aérea está compuesta por la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea del bosque de quenual de la quebrada Llaca. La biomasa subterránea se refiere, en general, a las raíces de la vegetación del ecosistema forestal (Hidalgo, 2009).

Hojarasca y materia vegetal muerta.

La hojarasca y otros materiales vegetales muertos se refieren a la vegetación que se encuentra en contacto con el suelo y en proceso de descomposición dentro del bosque (Hidalgo, 2009).

Suelo

Los suelos, por ser importantes fijadores de carbono, también han sido medidos con el fin de determinar el contenido de carbono orgánico en los primeros 75 centímetros de profundidad, para luego ser extrapolado al metro de profundidad (Arévalo *et al.*, 2003). Para ello se determinó el contenido de materia orgánica y la densidad aparente, que permitió calcular el contenido de carbono orgánico por unidad de superficie (Hidalgo, 2009).

3.4.2 Procedimiento

Para determinar el tamaño de las parcelas de muestreo en el área de estudio, se tomó en consideración el diámetro de las especies arbóreas y arbustivas, según lo estipulado en la metodología estandarizada del ICRAF utilizada (Arévalo *et al.*, 2003). Se trazaron

parcelas de 4 m x 25 m en aquellos lugares donde los árboles y arbustos inventariados no superaron los 30 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP); y en los lugares donde éstos superaron los 30 cm de DAP se tuvieron que trazar parcelas de 5 m x 100 m (superpuestas a las de 4 m x 25 m).

Para efectos de cálculos de la biomasa vegetal se realizó un muestreo no destructivo, tomando medidas diamétricas de las especies arbóreas y arbustivas presentes, así como muestras de la vegetación herbácea y de la hojarasca encontrada (Malca, 2001). Para determinar el carbono fijado (o indirectamente CO₂ capturado) se aplicó la relación propuesta por Arévalo *et al.*, (2003) asumiéndose que el carbono fijado representa un 45% del peso seco de la biomasa total.

a) Biomasa arbórea Viva

Para el presente trabajo se asumió lo determinado por Espinoza y Quispe, 2013, quienes han determinado una ecuación alométrica para el quenual. La estimación del volumen de la biomasa arbórea se efectuó por inferencia de las principales medidas biométricas de cada uno de los árboles circunscritos dentro de las parcelas de muestreo, entre ellos altura, DAP y densidad de la madera o especie arbórea, utilizando el modelo propuesto por Arévalo *et al.*, (2003).

b) Biomasa arbustiva y herbácea (BAH)

La biomasa arbustiva y herbácea (BAH), está compuesta por la biomasa sobre el suelo (epigea) de arbustos menores de 2.5 cm de diámetro, gramíneas, leguminosas, tuberosas, etc., de cultivos, y otras hierbas. La biomasa se calculó por muestreo directo en dos cuadrantes de 1 m x 1 m, distribuidas al azar dentro de las parcelas de muestreo establecidas. Para ello se cortó toda la vegetación a nivel del suelo y se registró el peso fresco total por metro cuadrado; de éstas, se colectó una sub – muestra, se registró el peso fresco y luego se colocó en bolsas de papel correctamente identificadas para finalmente ser secadas en estufas de aire caliente a 75 °C hasta obtener su peso seco constante (Arévalo *et al.*, 2 003). El peso seco así obtenido se proyectó a toneladas por hectárea (t/ha) y dicho valor se multiplicó por el factor 0.45, obteniéndose la cantidad de carbono en dicha biomasa (Ricse *et al.*, 2001).

c) Biomasa de la hojarasca (Bh)

La biomasa de la hojarasca se cuantificó en base a la capa de mantillo y otros materiales muertos procedentes de los diferentes estratos del bosque (ramillas, ramas, hojas, flores) en cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1 m x 1 m. Se colectó toda la hojarasca, se registró el peso fresco total por 0.25 m²; de esto se sacó una muestra y se registró su peso; se colocó en bolsas de papel debidamente codificadas y se procedió al

secado en estufas a 75°C hasta obtener el peso seco constante (Arévalo *et al.*, 2003). El peso seco así obtenido se llevó a t/ha y multiplicado por el factor 0.45 se logró obtener la cantidad de carbono por hectárea (C/ha).

d) Biomasa de árboles muertos en pie y árboles caídos muertos

En el área de estudio, se registraron los árboles muertos en pie y los árboles caídos muertos. El procedimiento es similar a la biomasa arbórea viva.

e) Muestreo de suelos y medición de la densidad aparente

En los cuadrantes señalados para el muestreo de la biomasa herbácea, se han aperturado calicatas de 0.75 m de profundidad (Gutiérrez *et al.*, 2001). De manera general, se definió los horizontes entre 0 –0.25 m, 0.25 – 0.50 m y 0.50 – 0.75 m; que podrían variar según la textura del suelo (Arévalo *et al.*, 2003; Ricse *et al.*, 2001).

En cada uno de estos horizontes, utilizando cilindros uhlands de volumen conocido, se estimó la densidad aparente del suelo, que viene a ser el peso seco de un volumen determinado de suelo expresado en gramos por centímetro cúbico (g/cc). Se tomó una muestra de 500 gramos en promedio por cada 25 cm de profundidad del perfil, las mismas que fueron correctamente identificadas,

codificadas y enviadas al Laboratorio para la determinación del porcentaje de carbono en el suelo.

f) Cálculos

Cálculos de la Biomasa Vegetal Total

La biomasa vegetal total (Mac Dicken, 1997, citado por Hidalgo), es equivalente a la sumatoria de la biomasa arbórea viva total, biomasa arbustiva/herbácea, biomasa de la hojarasca y la biomasa subterránea.

$$\mathbf{BVT \text{ (t/ha)} = (BAVT + BA/H + Bh + Bs)}$$

Dónde:

BVT = Biomasa vegetal total

BAVT = Biomasa total árboles vivos

BA/H = Biomasa arbustiva y herbácea

Bh = Biomasa de la hojarasca

Bs = Biomasa subterránea

Biomasa arbórea Viva (kg/árbol)

Se utilizó el siguiente modelo determinado por Espinoza y Quispe, 2013:

$$\mathbf{BA = 0.069411 \text{ DAP}^{2.35996}}$$

Dónde:

BA = Biomasa arbórea viva

0.06941 = Constante

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm).

2.35996 = Constante

Biomasa arbórea viva (t/ha)

La biomasa arbórea en toneladas por hectárea, se obtuvo sumando las biomásas de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) en las parcelas de muestreo (Arévalo *et al.*, 2003), es decir:

$$\mathbf{BAVT (t/ha) = BTAV * 0.01}$$

$$\mathbf{BAVT (t/ha) = BTAV * 0.02}$$

Dónde:

BAVT = Biomasa de árboles vivos en t/ha

BTAV = Biomasa total en la parcela de muestreo

0.01 = Factor de conversión en parcelas de 4m x 25 m.

0.02 = Factor de conversión en parcelas de 5 m x 100m.

Cálculo de la biomasa arbustiva/herbácea (t/ha)

La biomasa arbustiva/herbácea en toneladas por hectárea (Arévalo *et al.*, 2003), se calculó mediante la ecuación:

$$\mathbf{BA/H (t/ha) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.01}$$

Dónde:

BA/H = Biomasa arbustiva/herbácea, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada

PFM = Peso fresco de la muestra colectada

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado

0.01= Factor de conversión

Cálculo de la biomasa de hojarasca (t/ha)

La biomasa de la hojarasca (Arévalo *et al.*, 2003), se calculó con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Bh (t/ha) = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.04}$$

Dónde:

Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada

PFM = Peso fresco de la muestra colectada

PFT = Peso fresco total por 0.25 m²

0.04 = Factor de conversión

Biomasa subterránea y carbono orgánico almacenado

La biomasa subterránea, conformada por el sistema radicular de la vegetación existente, se estimó como un porcentaje de la biomasa aérea (Gamarra, 2001). Para las diferentes especies forestales existentes, la literatura reporta que la proporción entre la biomasa arriba del suelo y la de las raíces es de aproximadamente 30% (Mac Dicken, 1997, citado por Hidalgo, 2009).

$$\mathbf{Bs = BVTa * 0.30 (t/ha) (1)}$$

Dónde:

Bs = Biomasa subterránea

BVTa = Biomasa vegetal total aérea

0.30 = Factor de conversión

$(BVT_a = BAVT + BA/H + Bh)$

CO – Bs = Bs * 0.45 (2)

Dónde:

CO-Bs = Carbono orgánico- biomasa subterránea

Bs = Biomasa subterránea

0.45 = Factor de conversión

Cálculo del carbono en el suelo

El carbono del suelo (Arévalo *et al.*, 2003) se determinó mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

CS (t/ha) = (PVs * %CLAB)/100

Donde,

CS (t/ha) = Carbono en el suelo

PVs = Peso del volumen de suelo

%CLAB = Carbono encontrado en laboratorio (%)

100 = Factor de conversión

Cálculo del peso del volumen del suelo (t/ha) por horizonte de muestreo

Para determinar el peso del volumen del suelo por hectárea, ha sido necesario evaluar la densidad aparente del suelo por cada uno de los horizontes evaluados (Ricse *et al.*, 2001; Arévalo *et al.*, 2003) según la siguiente ecuación:

$$\mathbf{PVs (t/ha) = DA * Ps * 10000}$$

Dónde:

PVs = Peso del volumen de suelo

DA = Densidad aparente

Ps = Espesor del horizonte del suelo

10000 = Constante

Cálculo de la densidad aparente del suelo (g/cc)

La densidad aparente del suelo (Arévalo *et al.*, 2003) se calculó mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{DA (g/cc) = PSN/VCH}$$

Dónde:

DA = Densidad aparente, en g/cc

PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH = Volumen del cilindro (constante)

Cálculo del carbono total del ecosistema (t/ha)

El carbono total se determinó mediante la sumatoria del carbono almacenado en la biomasa vegetal total y en el suelo (Arévalo *et al.*, 2003), según la siguiente ecuación:

$$\mathbf{CT (t/ha) = CBV + CS}$$

Dónde:

CT = Carbono total del SUT

CBV = Carbono en la biomasa vegetal total

CS = Carbono en el suelo

Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t/ha)

El carbono de la biomasa vegetal total (Arévalo *et al.*,2003), se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{CBV \text{ (t/ha)} = BVT * 0.45}$$

Dónde:

CBV = Carbono en la biomasa vegetal

BVT = Biomasa vegetal total

0.45 = Constante

Análisis químicos

Las muestras de suelo fueron enviados al laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para la determinación del contenido del carbono orgánico total, mediante el método Walkley – Black.

IV. RESULTADOS

4.1 Carbono orgánico almacenado en las diferentes fuentes

4.1.1 Biomasa arbórea y carbono almacenado

En la evaluación de campo, Espinoza y Ortiz, 2013, registraron los árboles vivos, con lo cual determinaron la biomasa arbórea total para el presente estudio que está referido a los árboles vivos, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 03: Promedio del contenido de biomasa por estrato del bosque de *Polylepis spp.*

Estrato	Promedio de biomasa/ha
Bosque muy denso	117.26
Bosque denso	60.21
Bosque disperso	11.24

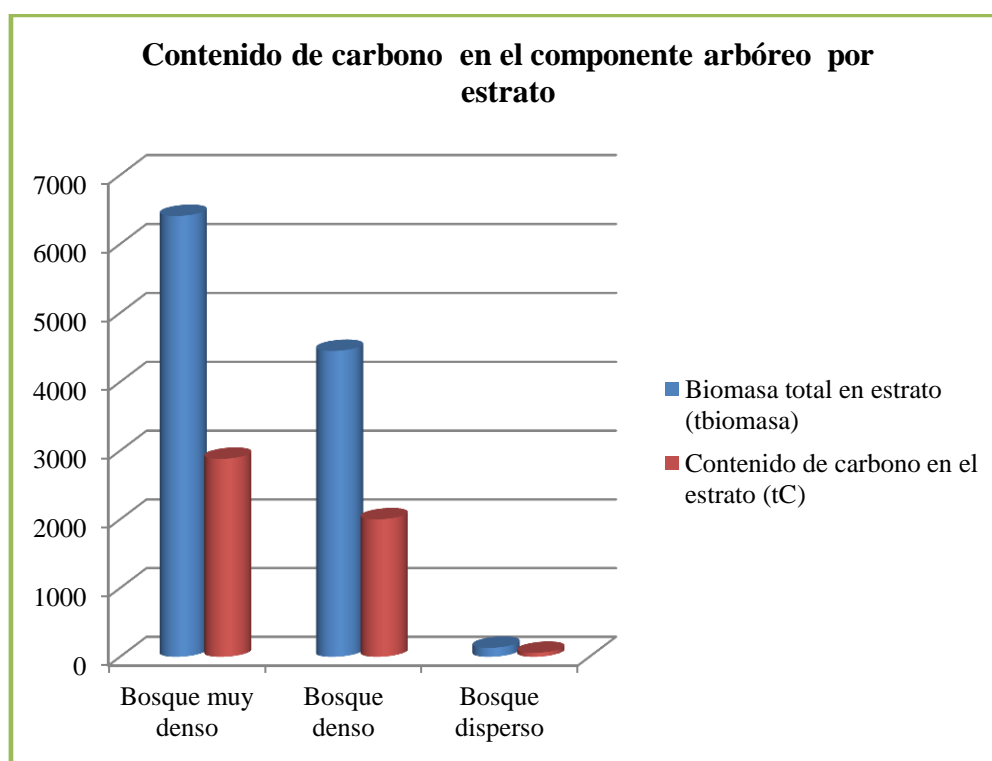
Fuente: Espinoza y Ortiz, 2013

Con estos promedios calcularon la biomasa total en cada estrato, seguidamente estimaron las reservas totales de carbono en el *Polylepis spp.* en la totalidad del bosque de la quebrada llaca, habiendo aplicado para ello el factor de contenido de carbono en madera, que de acuerdo a la literatura consultada varía entre 0.45 y 0.50, empleando para este estudio 0.45.

Cuadro N° 04: Contenido de carbono en el componente arbóreo por estrato del bosque de *Polylepis spp.*

Estrato	Área real (ha)	Factor de conversión	Promedio de contenido de carbono (t/ha)	Contenido de carbono en el estrato (tC)
Bosque muy denso	54.66	0.45	52.77	2884.14
Bosque denso	73.94	0.45	27.09	2003.20
Bosque disperso	11.76	0.45	5.06	59.46
TOTAL				4946.80

Figura N° 03: Contenido de carbono en el componente arbóreo por estrato del bosque de *Polylepis spp.*



4.1.2 Biomasa de árboles muertos en pie y carbono orgánico almacenado

En las unidades de muestreo no se encontró árboles muertos en pie ni árboles muertos caídos por lo cual no se realizó ningún cálculo respecto a este componente.

4.1.3 Biomasa arbustiva/herbácea y carbono orgánico almacenado

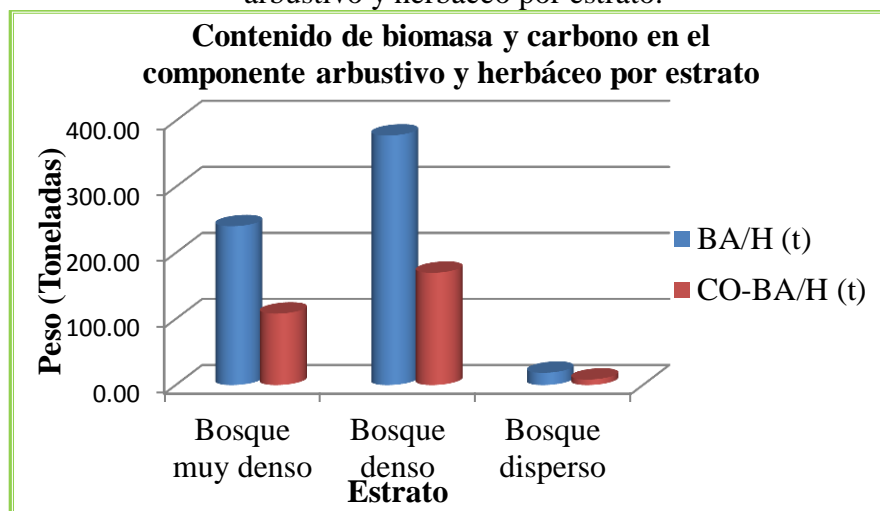
Cuadro N° 05: Biomasa de la vegetación arbustiva/herbácea y carbono orgánico almacenado en t/ha

Estrato	BA/H (t/ha)	F de C	CO-BA/H (t/ha)
Bosque muy denso	4.4	0.45	1.98
Bosque denso	5.11	0.45	2.30
Bosque disperso	1.58	0.45	0.71
Promedio			1.66

Cuadro N° 06: Biomasa y carbono orgánico almacenado en la vegetación arbustiva y herbácea en t por estrato

Estrato	Área del estrato (ha)	BA/H (t/ha)	CO-BA/H (t/ha)	CO-BA/H (t)
Bosque muy denso	54.66	4.4	1.98	108.23
Bosque denso	73.94	5.11	2.30	170.03
Bosque disperso	11.76	1.58	0.71	8.36
TOTAL	140.36			286.61

Figura N° 04: Contenido de biomasa y carbono en el componente arbustivo y herbáceo por estrato.



4.1.4 Biomasa de hojarasca y carbono orgánico almacenado

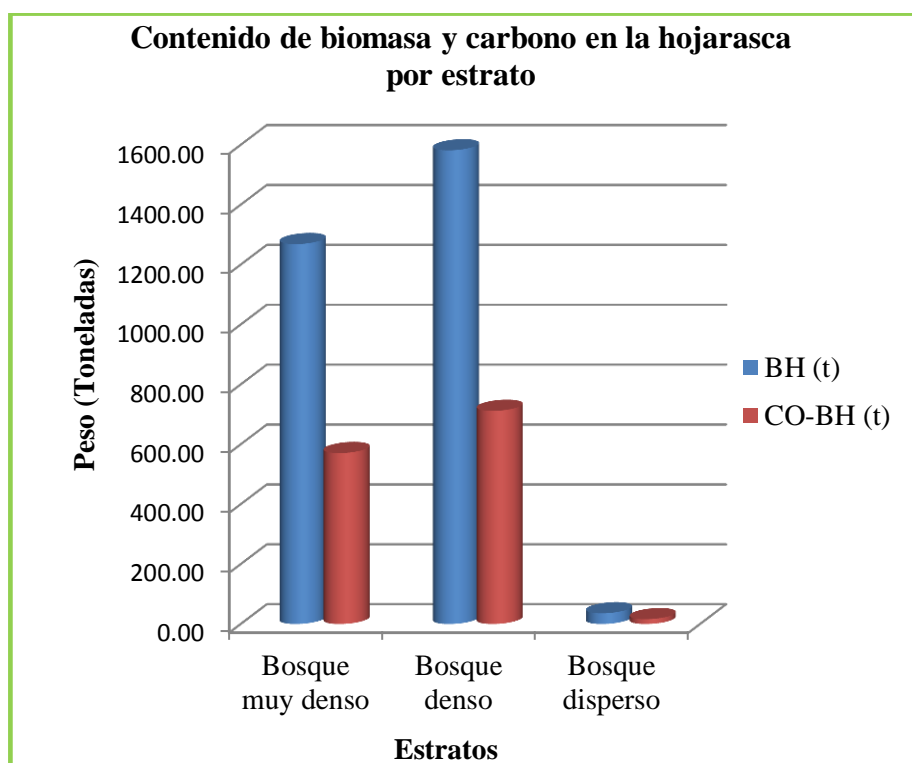
Cuadro N° 07: Biomasa y carbono orgánico de la hojarasca almacenado en t/ha

Estrato	Bh (t/ha)	F de C	CO-Bh (t/ha)
Bosque muy denso	23.20	0.45	10.44
Bosque denso	21.39	0.45	9.63
Bosque disperso	3.05	0.45	1.37
Promedio			7.15

Cuadro N° 08: Biomasa y carbono orgánico almacenado en hojarasca en t por estrato

Estrato	Área real (ha)	Bh (t/ha)	CO-Bh (t/ha)	Bh (t)	CO-Bh (t)
Bosque muy denso	54.66	23.21	10.44	1268.55	570.85
Bosque denso	73.94	21.39	9.63	1581.70	711.77
Bosque disperso	11.76	3.05	1.37	35.87	16.14
TOTAL	140.36			2886.12	1298.76

Figura N° 05: Contenido de biomasa y carbono en la hojarasca por estrato.



4.1.5 Biomasa subterránea y carbono orgánico almacenado

$$B_s = BVTa * 0.30 \text{ t/ha} \quad (1)$$

$$BVTa = BAVT + BAH + B_h \quad (2)$$

$$BVTa = 14516.02 \text{ t}$$

Cuadro N° 09: Biomasa vegetal total en t/ha

ESTRATO	BIOMASA ARBOREA (t/ha)	BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBACEA (t/ha)	BIOMASA DE HOJARASCA (t/ha)	TOTAL (t/ha)
Bosque muy denso	117.26	4.4	23.20	144.86
Bosque denso	60.21	5.11	21.39	86.71
Bosque disperso	11.24	1.58	3.05	15.87
TOTAL	188.71	11.09	47.64	247.44

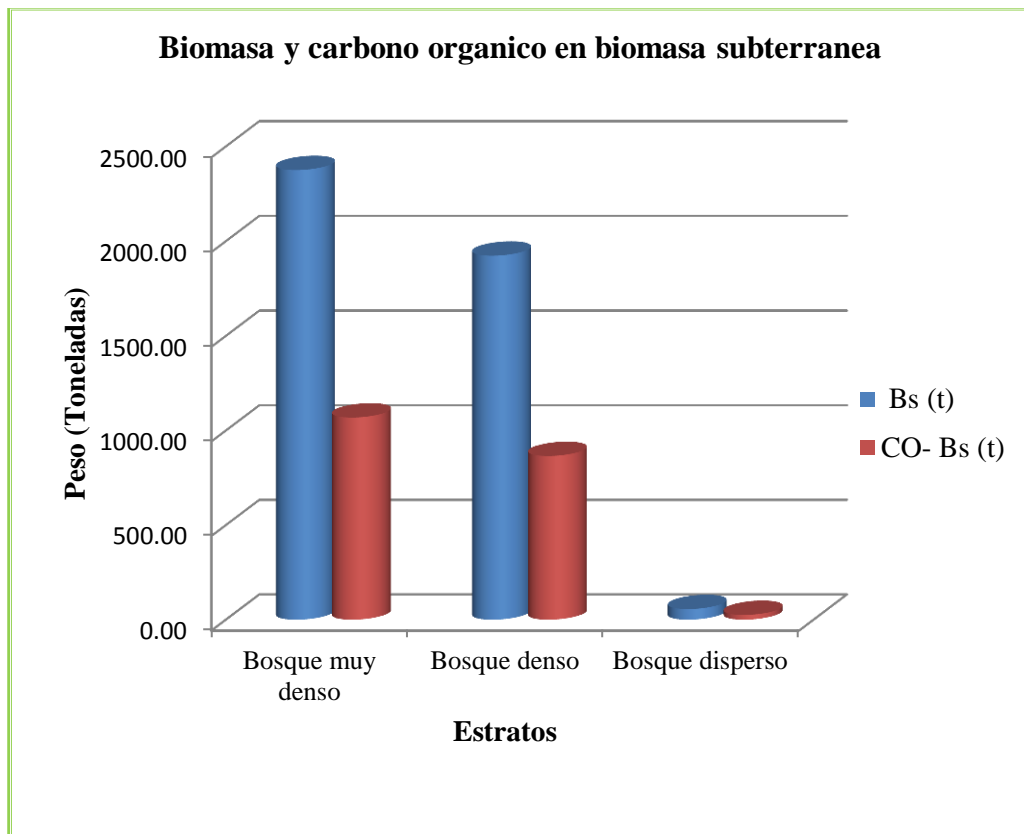
Cuadro N° 10: Biomasa vegetal total y carbono orgánico en biomasa subterránea en t/ha.

ESTRATO	BIOMASA VEGETAL TOTAL (t/ha)	F de C	B _s (t/ha)	F de C	CO- B _s (t/ha)
Bosque muy denso	144.86	0.30	43.46	0.45	19.56
Bosque denso	86.71	0.30	26.01	0.45	11.71
Bosque disperso	15.87	0.30	4.76	0.45	2.14
Total	247.44		74.23		33.40
Promedio	82.48		24.74	0.00	11.13

Cuadro N° 11: Biomasa subterránea y carbono orgánico almacenado en t por estrato

ESTRATO	AREA REAL (ha)	B _s (t/ha)	B _s (t)	CO- B _s (t/ha)	CO- B _s (t)
Bosque muy denso	54.66	43.46	2375.41	19.56	1068.94
Bosque denso	73.94	26.01	1923.40	11.71	865.53
Bosque disperso	11.76	4.76	55.99	2.14	25.20
TOTAL	140.36		4354.80		1959.66

Figura N° 06: Contenido de biomasa y carbono en la biomasa subterránea por estrato.

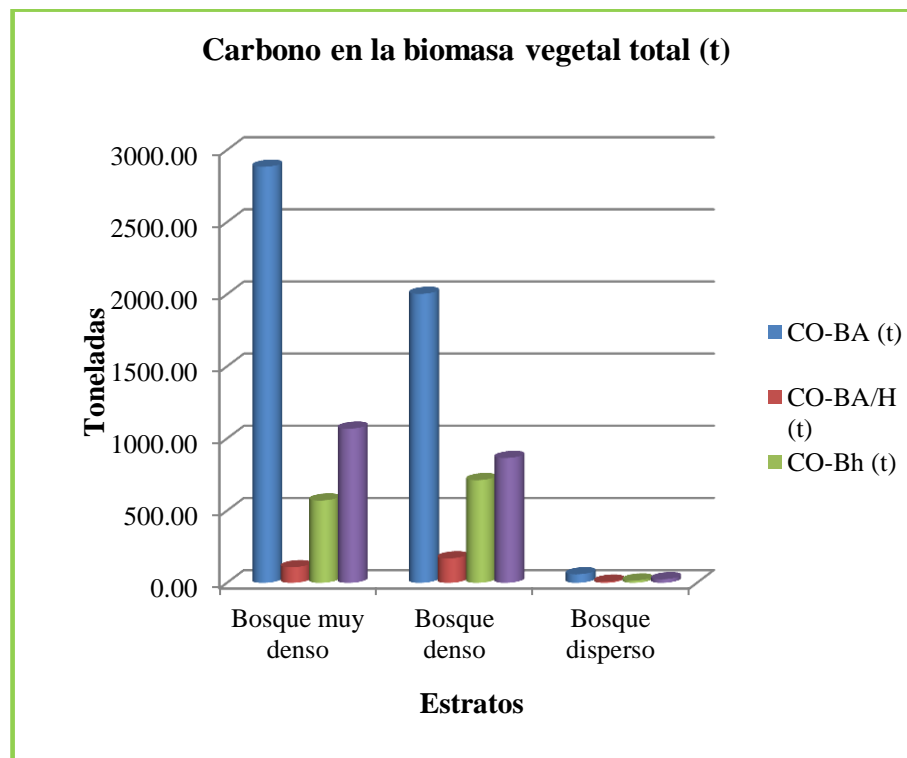


4.1.6 Biomasa vegetal total y carbono orgánico almacenado

Cuadro N° 12: Carbono orgánico de la biomasa vegetal total en (tC)

ESTRATO	CO-BA (t)	CO-BA/H (t)	CO-Bh (t)	CO-Bs (t)	CO-BVT (t)
Bosque muy denso	2884.14	108.23	570.85	1068.94	4632.15
Bosque denso	2003.20	170.03	711.77	865.53	3750.52
Bosque disperso	59.46	8.36	16.14	25.20	109.16
Total	4946.80	286.61	1298.76	1959.66	8491.83

Figura N° 07: Contenido de carbono en la biomasa vegetal total por estrato.



4.1.7 Carbono orgánico almacenado en el suelo

a) Cálculo de la densidad aparente en g/cc

Cuadro N° 13: Cálculo de la densidad aparente en g/cc y porcentaje de carbono en el estrato Bosque muy denso

Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cc)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	DA (g/cc)	Carbono orgánico (%)
11	1-1	0-25	384.84	586	194	0.5041	23.3
	1-2	25-50	384.84	596	182	0.4729	8.34
	1-3	50-75					
10	1-1	0-25	384.84	538	228	0.5925	16.57
	1-2	25-50	384.84	358	178	0.4625	11.01
	1-3	50-75					
TOTAL						2.0320	59.22
PROMEDIO						0.51	14.81

Cuadro N° 14: Cálculo de la densidad aparente en g/cc porcentaje de carbono en el estrato Bosque denso

Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cc)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	DA (g/cc)	Carbono orgánico (%)
13	1-1	0-25	384.84	619	470	1.2213	4.16
	1-2	25-50	384.84	645	461	1.1979	3.35
	1-3	50-75	384.84	705	507	1.3174	3.39
1	1-1	0-25	384.84	628	466	1.2109	4.66
	1-2	25-50	384.84	669	567	1.4733	1.17
	1-3	50-75	384.84	613	525	1.3642	1.12
8	1-1	0-25	384.84	634	454	1.1797	7.67
	1-2	25-50	384.84	659	477	1.2395	7.41
	1-3	50-75	384.84	681	513	1.3330	5.12
3	1-1	0-25	384.84	421	413	1.0732	1.46
	1-2	25-50	384.84	483	453	1.1771	0.92
	1-3	50-75	384.84	299	293	0.7614	0.96
TOTAL						14.5489	41.39
PROMEDIO						1.2124	3.449

Cuadro N° 15: Cálculo de la densidad aparente en g/cc y porcentaje de carbono (%) en el estrato Bosque disperso

Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cc)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	DA (g/cc)	Carbono orgánico (%)
7	1-1	0-25	384.84	575	377	0.9796	10.2
	1-2	25-50	384.84	639	497	1.2914	2.73
	1-3	50-75	384.84	484	345	0.8965	3.2
7	2-1	0-25	384.84	481	355	0.9225	4.61
	2-2	25-50	384.84				
	2-3	50-75	384.84	507	343	0.8913	11.12
TOTAL						4.9813	31.86
PROMEDIO						0.9963	6.37

b) Cálculo del peso del volumen del suelo (t/ha) por horizonte de muestreo

$$PVs (t/ha) = DA * Ps * 10000$$

Cuadro N° 16: Peso del volumen de suelo por horizonte de muestreo en t/ha en el estrato bosque muy denso

DA (g/cc)	Ps (m)	Constante	PVs (t/ha)
0.51	0.00 - 0.25	10,000	1270.00
0.51	0.25 - 0.50	10,000	1270.00
0.51	0.00 - 0.50	10,000	2540.00

Cuadro N° 17: Peso del volumen de suelo por horizonte de muestreo en t/ha en el estrato bosque denso

DA (g/cc)	Ps (m)	Constante	PVs (t/ha)
1.21	0.00 - 0.25	10,000	3031.00
1.21	0.25 - 0.50	10,000	3031.00
1.21	0.50 - 0.75	10,000	3031.00
1.21	0.00 - 0.75	10,000	9093.00

Cuadro N° 18: Peso del volumen de suelo por horizonte de muestreo en t/ha en el estrato bosque disperso

DA (g/cc)	Ps (m)	Constante	PVs (t/ha)
0.9963	0.00 - 0.25	10,000	2490.75
0.9963	0.25 - 0.50	10,000	2490.75
0.9963	0.50 - 0.75	10,000	2490.75
0.9963	0.00 - 0.75	10,000	7472.25

c) Porcentaje de carbono orgánico contenido en el suelo

Para el cálculo del carbono almacenado en el suelo en los diferentes estratos de bosques, se ha considerado el porcentaje promedio de carbono obtenido en el laboratorio (ver anexos). La fórmula para determinar el contenido de carbono en el suelo es el siguiente:

$$CS (t/ha) = (PVs * \%CLAB)/100$$

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se efectuó el análisis especial del contenido de carbono orgánico total (COT) en términos de porcentaje de veintidós muestras de suelo del área en estudio, cuyos resultados se promediaron por tipo de bosque obteniendo los siguientes valores numéricos:

Cuadro No. 19: Contenido de carbono orgánico en el suelo por horizonte de muestreo (0.25 y 0.50 cm) en t/ha en el estrato Bosque muy denso

Promedio del porcentaje de carbono en el suelo en el bosque muy denso: 14.805 (ver anexo - Hoja de trabajo N° 07).

Horizonte suelo (cm)	PVs (t/ha)	CO (%)	CO/PVs (t/ha)	Área real del bosque (ha)	Total CO/PVs (t)
0.00 – 0.25	1270.00	14.805	188.02	54.66	10277.36
0.25 – 0.50	1270.00	14.805	188.02	54.66	10277.36
0.00 – 0.50	2540.00	14.805	376.04	54.66	20554.72

El peso del volumen de suelo es igual porque se determinó en base al promedio general de la densidad aparente del estrato bosque muy denso

Cuadro No. 20: Contenido de carbono orgánico en el suelo por horizonte de muestreo (0.25, 0.50 y 0.75 cm) en t/ha en el estrato Bosque denso

Promedio del porcentaje de carbono en el suelo en el bosque denso: 3.449 (ver anexo – Hoja de trabajo N° 07).

Horizonte suelo (cm)	PVs (t/ha)	CO (%)	CO/PVs (t/ha)	Área real del bosque (ha)	Total CO/PVs (t)
0.00 – 0.25	3031.00	3.449	104.54	73.94	7729.63
0.25 – 0.50	3031.00	3.449	104.54	73.94	7729.63
0.50 – 0.75	3031.00	3.449	104.54	73.94	7729.63
0.00 – 0.75	9093.00	3.449	313.62	73.94	23188.88

El peso del volumen de suelo es igual porque se determinó en base al promedio general de la densidad aparente del estrato bosque denso

Cuadro No. 21: Contenido de carbono orgánico en el suelo por horizonte de muestreo (0.25, 0.50 y 0.75 cm) en t/ha en el estrato Bosque disperso

Promedio del porcentaje de carbono en el suelo en el bosque disperso: 6.372 (ver anexo - Hoja de trabajo N° 07).

Horizonte suelo (cm)	PVs (t/ha)	CO (%)	CO/PVs (t/ha)	Área real del bosque (ha)	Total CO/PVs (t)
0.00 – 0.25	2490.75	6.372	158.71	11.76	1866.44
0.25 – 0.50	2490.75	6.372	158.71	11.76	1866.44
0.50 – 0.75	2490.75	6.372	158.71	11.76	1866.44
0.00 - 0.75	7472.25	6.372	476.13	11.76	5599.31

El peso del volumen de suelo es igual porque se determinó en base al promedio general de la densidad aparente del estrato bosque disperso

4.2 Carbono total del sistema de uso de la tierra (t/ha)

Cuadro No. 22: Contenido promedio de carbono orgánico total/estrato del bosque de *Polylepis spp.* en t/ha

Estrato	CO - BVT (t/ha)	CO - S (t/ha)	COSUT (t/ha)
Bosque muy denso	84.75	376.05	460.80
Bosque denso	50.73	313.62	364.35
Bosque disperso	9.28	476.13	485.41

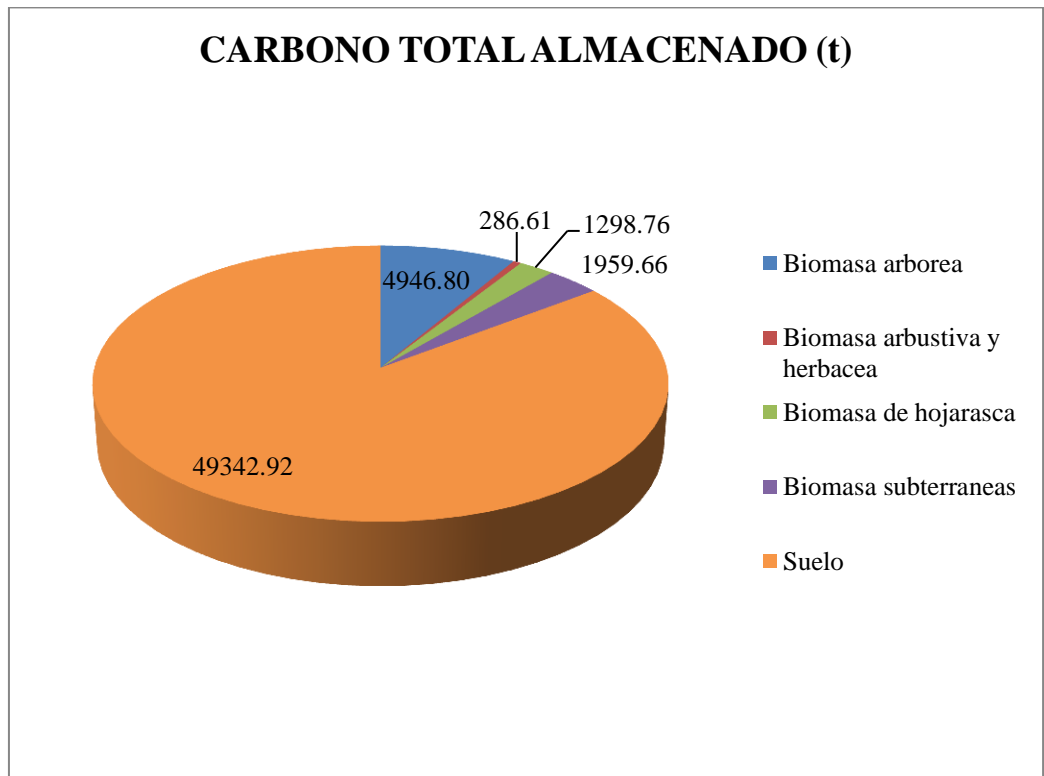
Cuadro No. 23: Contenido de carbono orgánico en la biomasa vegetal total y el suelo (tC) del área de estudio

Estrato	CO - BVT (t)	CO - S (t)	COSUT (t)
Bosque muy denso	4632.15	20554.73	25186.88
Bosque denso	3750.52	23188.88	26939.40
Bosque disperso	109.16	5599.31	5708.47
TOTAL	8491.83	49342.92	57834.75

Cuadro N° 24: Carbono orgánico almacenado en el área de estudio en todas las fuentes en tC

FUENTE MEDIDA	CARBONO TOTAL ALMACENADO (t)
Biomasa Vegetal	8491.83
Biomasa arbórea	4946.80
Biomasa arbustiva y herbácea	286.61
Biomasa de hojarasca	1298.76
Biomasa subterránea	1959.66
Suelo	49342.92
TOTAL	57834.75

Figura N° 08: Carbono total en el área de estudio



V. DISCUSIÓN

En consecuencia, a partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación podemos afirmar lo siguiente:

5.1 Carbono en la biomasa vegetal total

5.1.1 Carbono almacenado en la biomasa arbórea

La cantidad de carbono almacenado en la biomasa arbórea, conformado por árboles con DAPs superiores a 2.50 cm, fue de 52.77 tC/ha para el estrato Bosque muy denso, 27.09 tC/ha para el estrato bosque denso y 5.06 tC/ha para el estrato bosque disperso. Esta cifra comparada con resultados obtenidos en estudios similares de biomasa arbórea es relativamente inferior al encontrado en plantaciones de eucalipto de la comunidad campesina de Hualhuas donde se reporta 73.03 tC/ha (Gamarra, 2003); asimismo es inferior al encontrado en sistemas agroforestales de selva alta, donde se encontró 66.603 tC/ha (Hidalgo, 2009); el resultado del BMD es similar al encontrado en plantaciones de eucalipto en Marcará donde se reporta 51.768 tC/ha (Hidalgo, 2003). Los resultados de los estratos BDE y BDI son inferiores a estos resultados.

La diferencia entre los 3 estratos se explica por el mayor número de árboles en el estrato muy denso, seguido del estrato bosque denso y finalmente el estrato bosque disperso donde hay menor número de árboles de quenual.

Las diferencias encontradas entre las concentraciones de carbono de la biomasa arbórea de los distintos trabajos de investigación consultados, frente al evaluado en el presente estudio, pueden deberse entre otras razones a las diferencias de edad, altura, DAP, densidad, manejo silvicultural, y características específicas de las especies como el caso del eucalipto que presenta un rápido crecimiento y generalmente son árboles de mayor altura, lo cual contribuye a la generación de mayores volúmenes de biomasa, así como las características climáticas y edáficas del sitio donde se desarrollan los sistemas forestales y determinan la fisonomía peculiar del SUT en términos de almacenamiento de carbono.

5.1.2 Carbono almacenado en la biomasa arbustiva/herbácea

La cantidad de carbono almacenado en la biomasa arbustiva y herbácea, conformado por hierbas y arbustos con DAPs menores a 2.50 cm, fue de 1.98 tC/ha para el estrato Bosque muy denso, 2.30 tC/ha para el estrato bosque denso y 0.71 tC/ha para el estrato bosque disperso.

El carbono almacenado en la biomasa arbustiva/herbácea en el ámbito de estudio, muestra una baja contribución (2.34% de carbono de la biomasa vegetal total en el estrato bosque muy denso, 4.53% de carbono de la biomasa vegetal total en el estrato bosque denso y 7.65% de carbono de la biomasa vegetal total en el estrato Bosques

disperso) en la fijación de carbono del bosque de quenual de la Quebrada Llaca, no obstante haber sido cubierto el suelo por arbustos y gramíneas propias del lugar.

El porcentaje promedio de carbono en la biomasa arbustiva y herbáceas es 1.66%, que es un porcentaje bastante bajo respecto a la biomasa vegetal, ello se explica porque existe una baja densidad de hierbas y arbustos dentro del bosque, asimismo en el estrato disperso, si bien hay diversas especies de hierbas, éstas están bastante degradadas a consecuencia del mal manejo de las pasturas por lo cual su aporte no es tan significativo.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, para el componente arbóreo y arbustivo, son similares a los resultados obtenidos en el huerto casero, donde la concentración de carbono es de 0.542 tC/ha, en el bosque secundario 0.775 tC/ha, en el sistema café bajo sombra 0.631 tC/ha en la región Ucayali (Callo-Concha, 2000); 0.82 tC/ha en el bosque secundario de 15 años en Yurimaguas, 2.21 tC/ha en el bosque secundario de 15 años en Pucallpa, 1.25 tC/ha en el sistema agroforestal multiestrato también en Yurimaguas (Alegre *et al.*, 1998) y 1.15 tC/ha en el SAF de 20 años (cacao-guaba-capirona-mango) en Juanjui, San Martín (Concha *et al.*, 2007).

En el Anexo A, Hoja de trabajo N° 04, se muestra que la concentración de carbono en dicha fuente, en las parcelas de muestreo del estrato bosque muy denso están entre 0.74 y 4.52 tC/ha, en las parcelas del estrato bosque denso están entre 0.46 y 6.40 tC/ha y en las parcelas de bosque disperso está entre 0.34 y 1.08 tC/ha; lo cual demuestra que existen pocas diferencias. Esto debido a que todo el área de estudio fue cubierto por gramíneas y especies nativas del lugar.

En todos los casos estudiados, la contribución de esta fuente en términos de aporte de carbono almacenado ha sido significativamente baja en comparación a las otras fuentes. Esto debido, probablemente, a que en los estratos denso y muy denso del bosque de quenual, hay mucha competencia por luz, agua, nutrientes y espacio, lo cual limita el desarrollo del sotobosque; en el caso del estrato disperso el bajo aporte de carbono almacenado se debe al sobrepastoreo, lo cual limita el desarrollo de hierbas y arbustos.

5.1.3 Carbono almacenado en la biomasa de la hojarasca

La cantidad de carbono almacenado en la biomasa de hojarasca fue de 10.44 tC/ha para el estrato bosque muy denso, 9.63 tC/ha para el estrato bosque denso y 1.37 tC/ha para el estrato bosque disperso.

El carbono almacenado en la biomasa de hojarasca en el ámbito de estudio, muestra una mayor contribución a la reserva de carbono total del bosque de quenual de la quebrada Llaca (12.32 % de carbono de la biomasa vegetal total en el estrato Bosques muy denso, 18.98% de carbono de la biomasa vegetal total en el estrato Bosques denso y 14.74 % de carbono de la biomasa vegetal total en el estrato Bosques disperso). En consecuencia, de las comparaciones hechas a los resultados de estudios similares, observamos que la cifra obtenida en los estratos bosque muy denso y bosque denso es numéricamente superior al encontrado en el huerto casero (1.022 tC/ha), al igual que en el bosque secundario (2.568 tC/ha), al sistema café bajo sombra (1.700 tC/ha) en la región Ucayali (Callo-Concha,2000); y al bosque secundario de 15 años en la zona de Pucallpa(2.85 tC/ha) (Alegre *et al.*, 1998); pero similar al rango evaluado para el bosque secundario de 15 años (4.03 tC/ha) y el sistema agroforestal multiestrato (6.09 tC/ha) en Yurimaguas (Alegre *et al.*,1998).

Las diferencias encontradas en las concentraciones de carbono en la biomasa de hojarasca, en los diferentes estratos del presente estudio, pueden deberse a que en los estratos bosque denso y bosque muy denso hay bastante acumulación de materia orgánica en el suelo, dado que este bosque es parte del PNH y por ello tiene protección especial. En el caso del estrato bosque disperso, el carbono

almacenado en la biomasa de hojarasca es bastante bajo, debido a que hay poca acumulación de hojarasca debido al reducido número de árboles de quenual y al sobrepastoreo que sufren estas áreas.

Las diferencias encontradas en las concentraciones de carbono en la biomasa de hojarasca del presente estudio y otros de referencia pueden deberse a las diferentes edades, manejo silvicultural y a la diversidad de especies del sistema; así como a las condiciones climáticas, a la microfauna existente en el suelo que podría tardar en descomponer dicha biomasa entre 2.5 y 19 meses en bosques tropicales (Del Valle, 2000). Una aproximación hecha por Schroeder y Winjum (1995) a partir de varios estudios, sugiere que el carbono en esta fuente (incluyendo detritus de madera) en los bosques naturales de la Amazonía brasileña, representa entre el 5 y 6% del carbono total, valor que resulta muy similar al encontrado en este estudio.

5.1.4 Carbono almacenado en la biomasa subterránea

El carbono almacenado en la biomasa subterránea es el equivalente al 30% de la sumatoria de los aportes de carbono de la biomasa aérea (Mac Dicken, 1997, citado por Hidalgo, 2009), estimado en 144.86 t/ha para la biomasa vegetal superficial del estrato bosque muy denso, 86.71 t/ha para la biomasa vegetal superficial del estrato bosque denso y 15.87 t/ha para la biomasa vegetal superficial del

estrato bosque disperso. En consecuencia, como se puede ver en el cuadro N° 10, corresponde a estas fuentes una concentración de 19.56 tC/ha para el estrato muy denso, 11.71 tC/ha para el estrato denso y 2.14 tC/ha para el estrato bosque disperso. De ello se puede manifestar que la cifra obtenida en el estrato muy denso resulta muy similar al encontrado en plantaciones de eucalipto en la comunidad de Hualhuas (21.64 tC/ha) (Gamarra, 2003) y en sistemas agroforestales de selva alta (21.781 tC/ha) (Hidalgo, 2009); así como en plantaciones de eucalipto en el distrito de Marcará (16.544 tC/ha) (Hidalgo, 2003). Por el contrario, estas cifras son significativamente superiores a los encontrados en los estratos denso y disperso, debido a que por la densidad y a la extracción selectiva que ha sufrido este tipo de bosques se ha reducido la biomasa radicular en más de 50% en comparación a bosques sin aprovechamiento (Galicia, *et al.*, 2015).

Por otro lado, los resultados obtenidos en el bosque muy denso y bosque denso resultan significativamente superior a los encontrados en barbechos en bosques secundarios de 15 años (3.32 tC/ha) y en sistemas agroforestales multiestrato en Yurimaguas (2.63 tC/ha); así como en barbechos en bosques secundarios de 15 años en Pucallpa (Alegre *et al.*, 1998). Esto nos permite afirmar que los bosques de quenuales parecen desarrollar más biomasa radicular que los bosques

secundarios; sustentado en la edad de los árboles de quenual y la densidad radicar de las especies existentes en estos bosques.

En consecuencia, la concentración de carbono en la biomasa subterránea de los diferentes ecosistemas forestales de este y otros estudios, así como en las diferentes parcelas de muestreo del presente estudio, serán muy variables y estarán en proporción directa al volumen de la biomasa vegetal aérea que a su vez dependerá de las características climáticas propias de cada zona y de la composición y fisonomía del componente vegetal presente.

5.2 Carbono almacenado en el suelo

Según el reporte del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (ver en Anexo B: Resultados de laboratorio), la cantidad de carbono evaluado para el estrato bosque muy denso fue de 376.05 tC/ha a 0.50 metros de profundidad ajustado a los cambios texturales, el mismo que representa el 81.66% del carbono total de este estrato; en el estrato bosque denso se determinó 313.62 tC/ha a 0.75 metros de profundidad, representando el 86.22% del carbono total de este estrato; en el estrato bosque disperso se determinó 476.13 tC/ha a 0.75 metros de profundidad, representando el 98.43% del carbono total de este estrato.

La distribución vertical del carbono en el suelo obtenido en el estudio se encuentra muy por encima del rango obtenido en trabajos similares realizados en ecosistemas forestales. Evaluaciones efectuadas en otros escenarios reportan almacenes de carbono en el suelo entre 60 y 115 tC/ha en bosques secundarios tropicales (Brown y Lugo, 1992; Brown *et al.*, 1989, citados por Hidalgo, 2009); entre 71 y 113 tC/ha en sistemas agroforestales de Yurimaguas y Pucallpa (Alegre *et al.*, 2002, citado por Hidalgo, 2009), 105 tC/ha en bosques secundarios después del proceso de tala, roso y quema o en sistemas agroforestales (Fujisaka, 1997, citado por Hidalgo, 2009); 113.54 tC/ha en el SAF café bajo sombra, 110.51 tC/ha en el SAF huerto casero y 95.97 tC/ha en el bosque secundario de Ucayali y Huánuco (Callo-Concha *et al.*, 2001). Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos en el suelo de la flora del lago Chinchaycocha, Junín, donde en los bofedales obtuvieron 684.58 tC/ha y en pajonales 774.79 tC/ha.

Otros estudios reportan que más del 89% del carbono almacenado en el SAF como el caso del sistema café bajo sombra (120.92 tC/ha) en Costa Rica corresponden al carbono del suelo (Ávila, 2000), mientras que en sistemas agroforestales de café, también en Costa Rica, se han evaluado entre el 80 y 95.8% del carbono total del SUT (Suárez, 2000).

De las comparaciones efectuadas respecto a la concentración de carbono en el suelo del área en estudio frente a los resultados de otros trabajos de investigación en la misma fuente, aun cuando la cifra encontrada es superior

a algunos, asumimos que en general existen diferencias significativas entre los volúmenes de carbono almacenados en el suelo; por lo que podemos afirmar que los almacenes de carbono en el suelo siempre serán superiores a los de la vegetación y la atmósfera en función de que están influenciados por la vegetación, ingreso de residuos, composición de las plantas, factores climáticos, condiciones de temperatura, humedad, antecedentes de uso y las propiedades del suelo como textura, contenido y mineralogía de la arcilla; así como la acidez (Suárez, 2000), donde la descomposición de la hojarasca contribuye a la regeneración de los nutrientes para las plantas y al mantenimiento de la materia orgánica en el suelo.

La obtención de valores más altos en la concentración de carbono en el presente trabajo se debe probablemente al uso actual del suelo, que por ser parte del PNH este ecosistema tiene poca alteración y está conservado, lo cual permitió que éstos tengan contenidos más altos de materia orgánica y por lo tanto de carbono. La composición química del suelo puede ser un factor importante en la determinación de la materia orgánica del suelo en lugar de las condiciones climáticas (Vogt *et al.*, 1996, citado por Suárez, 2002).

5.3 Carbono total almacenado en el bosque de quenual

En el estudio, se ha determinado que el carbono total almacenado en los 03 estratos del bosque de quenual evaluado fue de 460.80 tC/ha para el estrato bosque muy denso, correspondiendo a la biomasa vegetal (aérea y

subterránea) 84.75 tC/ha que representa el 18.39% del total; y al suelo 376.05 tC/ha que en términos porcentuales representa el 81.61%. En el estrato bosque denso se determinó 364.35 tC/ha, correspondiendo a la biomasa vegetal (aérea y subterránea) 50.73 tC/ha que representa el 13.94%; y al suelo 313.62 tC/ha, representando el 86.06%. Finalmente, en el estrato bosque disperso se determinó 485.41 tC/ha, correspondiendo a la biomasa vegetal (aérea y subterránea) 9.28 tC/ha que representa el 1.92%; y al suelo 476.13 tC/ha, representando el 98.08%.

La literatura especializada provee datos de evaluaciones de carbono almacenado en biomasa y suelo en bosques y sistemas agroforestales tropicales con cifras que fluctúan entre 25 y 190 tC/ha (Brown *et al.*, 1989, citado por Hidalgo, 2009); 206.10 tC/ha en el sistema huerto casero, 170.30 tC/ha en el sistema café bajo sombra, 124.78 tC/ha en sistemas de silvopasturas y 180.06 en el bosque secundario en Ucayali y Huánuco (Callo-Concha, 2000); entre 212 y 233 tC/ha en sistemas perennes con árboles de amburana y tornillo y entre 166 y 198 tC/ha en huertos familiares de Pucallpa (Alegre *et al.*, 2002); 198.5 tC/ha en un sistema agroforestal de café en Colón, Costa Rica (Fournier, 1996); 91.64 tC/ha en sistemas agroforestales de café con árboles de sombra y musáceas en Guatemala (Alvarado *et al.*, 1999, citado por Hidalgo, 2009); 115.50 tC/ha en sistemas agroforestales de café con sombra de *Inga* y *Musa sp* también en Guatemala (Márquez, 1999); 120 a 195 tC/ha en tres plantaciones de café asociados con *Eucalyptus deglupta* de diferentes edades y un sistema de café con

Erythrina poeppigiana en el Valle Central de Costa Rica (Ávila, 2000), determinando que todos muestran resultados muy inferiores a los encontrados en el presente estudio.

Así mismo, en una evaluación del carbono total almacenado en la flora del lago Chinchaycocha se determinó 684.58 tC/ha para los bofedales y 774.79 tC/ha en pajonales (Yanqui *et al.*, 2012); 485 tC/ha en bosques primarios de San Martín (Lapeyre *et al.*, 2004), valores que son similares a los encontrados en el presente estudio.

Los valores altos del carbono total almacenado encontrados se explica por el abundante aporte de materia de la vegetación existente y por el largo periodo de acumulación (siglos) de este ecosistema. La captura y retención de carbono en el suelo depende de factores definidos, limitantes o reductores. Los factores definidos se refieren al origen del material parental, las características geomorfológicas (pendiente y orientación de ladera) y a la composición mineral del suelo. Estas características están asociadas con la textura, profundidad, densidad aparente, fragmentos de roca, drenaje y grado de erodabilidad (Fisher, 2000; Lal, 2005a; Robert, 2001; citado por Pérez *et al.*, 2007, citado por Hidalgo, 2009). Los factores limitantes son la producción primaria neta, la composición del bosque y el clima (temperatura y humedad); mientras que los factores reductores incluyen la erosión, deforestación y uso del suelo, los cuales pueden disminuir la

acumulación de carbono en el suelo (Fisher, 2000; citado por Pérez *et. al.*, 2007, citado por Hidalgo, 2009).

5.4 Valoración económica estimada del servicio ambiental de captura de carbono

En este estudio, para estimar el valor de las reservas de carbono gestionable en la quebrada Llaca, PNH, se utilizó la media (US \$ 13.12/tC) de los valores reportados por Baldoceda (2001) mediante el método costo de oportunidad calculado en US \$ 12.63/tC y el método de valoración contingente estimado en US \$ 13.60/tC, a fin de efectuar un ajuste de cifras relativamente similares. Algunos autores reportan valores económicos del servicio de captura y almacenamiento de carbono, así el gobierno de Costa Rica valorizó en US \$ 10.00 la tonelada de carbono en bosques naturales y luego comercializó al gobierno de Noruega como certificados de reducción de emisiones – CERs (Cuellar *et al.*, 1999, citado por Hidalgo, 2009); posteriormente también en Costa Rica, Segura (1999, citado por Baldoceda, 2001) valorizó mediante el método de costo de oportunidad para la zona de Corinto en US \$ 18.30/tC y US \$ 43.50/tC; mientras que para Tirimbina el precio mínimo reportado fue de US \$ 20.00/tC y el monto máximo de US \$ 22.60/tC en terrenos con aptitud para conservación (Baldoceda, 2001; Suárez, 2002, citado por Hidalgo, 2009).

El IPCC (1996) hizo una revisión de los costos de protección de bosques y deforestación omitiendo los costos de oportunidad del terreno, y en función de ello, determinó valores entre US \$ 0.50/tC y US \$ 15.00/tC; Nordhaus

(1991, citado por Baldoceada, 2001) encontró en promedio un valor de US \$ 7.30/tC. Sistemas agroforestales con café reportaron valores de US \$ 16.10/tC/año mediante el método de costo de oportunidad (Suárez, 2002); Dixon (1995), citado por Hidalgo (2009), estimó una media de US \$ 13.00/tC para conservar y secuestrar carbono en sistemas agroforestales. En Pucallpa, Perú, el costo de inducir a los campesinos a adoptar sistemas agroforestales complejos fue de US \$ 8.00/tC a US \$ 31.00/tC (Smith y Scherr, 2002, citado por Hidalgo, 2009).

De un análisis de ocho proyectos forestales de secuestro de carbono, en países en desarrollo, el costo/tC era de US \$ 12.00, y fluctuaba entre US \$ 3.00 a US \$ 35.00 (Ridley, 1997; citado por Baldoceada, 2001). Swisner y Masters (1992, citado por Baldoceada, 2001) presentan valores similares que fluctúan entre US \$ 3.00 y US \$ 25.00.

Comparado estos datos con los de otros autores, para este trabajo, se optó por utilizar la cifra conservadora de US \$ 13.12/tC calculada para bosques secundarios en Pucallpa-Perú, asumiendo que los sistemas agroforestales de la Amazonía peruana presentan comportamientos, fisonomía y capacidad de captura de carbono similar a la de los bosques de altura. En ese sentido, en el presente estudio se calculó en 8,491.83 toneladas de carbono en todo el bosque de quenuales de la quebrada Llaca y considerando a US \$ 13.12/tC, se tiene un valor económico estimado en US \$ 111,412.81

5.5 CO₂ fijado por el bosque de quenuales de la quebrada Llaca

De acuerdo a los cálculos efectuados en el presente estudio, el volumen de carbono fijado en la biomasa vegetal de La quebrada Llaca es 8,491.83 tC. Esta cifra representa sólo el 27.30% del volumen total de CO₂ fijado que ha sido transformado en carbono orgánico de la biomasa a través de las plantas fotosintetizadoras (Fournier, 1996); en consecuencia, el volumen total de CO₂ atmosférico fijado por dichos organismos asciende a 31,105.60 toneladas. Esto evidencia la gran capacidad de fijación de carbono de los bosques de quenual y su importante contribución en la mitigación del cambio climático global debido a las emisiones evitadas como consecuencia de la conservación de las formaciones boscosas aún existentes y manejadas de manera sostenible en el PNH.

Desde luego, existe una gran variabilidad respecto a la capacidad de fijación de CO₂ atmosférico por el componente vegetal de los diferentes sistemas de uso de la tierra en el mundo, incluso dentro de un mismo SUT.

VI. CONCLUSIONES

Las reservas de carbono almacenado en el bosque de quenual, según los cálculos efectuados, tiene mucha proximidad a las cifras de almacenamiento de carbono reportados por la literatura especializada en bosques secundarios y sistemas agroforestales de ecosistemas tropicales.

Las reservas totales de carbono en el bosque de quenual asciende a 57,834.75 toneladas en todo el área de la quebrada Llaca, 8491.83 (14.32%) toneladas corresponde al carbono almacenado en los diferentes de la biomasa vegetal; 49,342.92 (85.68%) toneladas corresponde al carbono almacenado en el suelo.

El carbono en la biomasa vegetal total almacenado en el bosque de quenual, en todo el área de la quebrada Llaca, asciende a 8,491.83 toneladas (14.32% del carbono total) correspondiendo al quenual, 4,946.80 toneladas de carbono, equivalente al 58.25% del carbono total almacenado en la biomasa vegetal. Le siguen en ese orden de prioridad la biomasa subterránea, constituida por raíces, que aporta 1,959.66 toneladas de carbono, equivalente al 23.08% del carbono total almacenado en la biomasa vegetal; la biomasa de la hojarasca aporta 1,298.76 toneladas de carbono (15.29% de la BVT) y finalmente la biomasa arbustiva/herbácea que aporta con 286.61 toneladas de carbono (3.38% de la BVT).

El suelo es la fuente más importante de almacenamiento de carbono en todo el área de la Quebrada Llaca con 49,342.92 toneladas (85.68% del carbono total).

De otro lado, de acuerdo a cifras del CO₂ equivalente (Fournier, 1996, citado por Hidalgo, 2009) utilizado en el presente estudio, se ha calculado que los organismos vegetales del bosque de quenual estarían fijando un volumen total de 31,105.60 toneladas de CO₂ atmosférico; cifra importante en la mitigación del cambio climático global.

Las reservas de carbono gestionable, es decir, el carbono epígeo fijado por los organismos vegetales, susceptible de ser administrado, al menos en el corto plazo y negociado en el mercado de carbono, asciende a 8,491.83 toneladas para todo el ámbito del bosque de quenual de la quebrada Llaca, que cuenta con 140.36 hectáreas; los que al valor promedio de US \$ 13.12 (Baldoceca, 2001), precio razonable y atractivo en el mercado mundial de transacción de emisiones, equivale a US \$ 111,412.81/año como servicio ambiental de captura de carbono.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar estudios sobre el potencial de almacenamiento de carbono en los bosques de altura, para ampliar los conocimientos sobre su almacenamiento según tipo de suelo, gradientes altitudinales y longitudinales y sistemas de producción.

Se sugiere realizar cuantificaciones de carbono en diferentes ecosistemas forestales, semejantes y diferentes a los evaluados en el estudio con la finalidad de estimar el potencial de carbono contenido en los mismos.

Realizar otros estudios sobre el potencial de almacenamiento de carbono en otros sistemas productivos, tales como gramíneas, legumbres, hortalizas, frutales, ganadería, bosques manejados y plantaciones forestales. Se sugiere que el Estado intervenga de manera inmediata para fomentar y regular a través del otorgamiento de incentivos para quienes desarrollen prácticas agroforestales en ecosistemas tropicales, y de restricciones legales para la erradicación de prácticas tradicionales de tala, roso y quema o cultivos en limpio que dañan el ecosistema y contribuyen al calentamiento global a través de las emisiones de CO₂.

En función de las frágiles características topográficas, ecológicas y edáficas de los ecosistemas andinos, catalogada por ello de vocación forestal o de protección, se recomienda el manejo forestal sostenible como la mejor opción social inclusiva para el desarrollo de actividades productivas sostenibles y de protección del ambiente, a través del servicio ambiental de captura de carbono que podría generar ingresos adicionales en el mercado de transacción de emisiones de CO₂

equivalente en beneficio de la población local, lo cual garantizaría el mantenimiento y conservación del PNH.

Desarrollar una línea de investigación basada en conocimientos aplicables a la valoración de las capacidades de fijación biológica de carbono de ecosistemas forestales y agroforestales, a fin de formular expedientes de negociación de secuestro de carbono, aún en forma experimental.

Someter los ecosistemas forestales investigados a un programa de pagos por servicios ambientales, en caso de establecerse y aprobarse una legislación específica sobre la materia, con el fin de internalizar los beneficios ambientales que estos sistemas proveen a la humanidad en general y aumentar el costo de oportunidad de convertir estos sistemas a usos de la tierra menos amigables al ambiente.

El Estado debe generar oportunidades de compensación por los servicios ambientales que ofrecen bosques andinos y que pueden ser utilizados en los llamados mecanismos de implementación conjunta y en el mecanismo de desarrollo limpio.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALFARO, M. (1997). Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. Revista Forestal Centro Americana No.19, Abril-Junio 1997
- APPS, M. J. (2003). Bosques, el Ciclo Mundial del Carbono y el Cambio Climático. XII Congreso Forestal Mundial. Québec city. Canadá.
- ARÉVALO, L., ALEGRE J., PALM CH. (2003). Manual determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Lima. Perú. 23 p.
- AVILA, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica. 99 p.
- BALDOCEDA, R. 2001. Valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono en la zona de Neshuya, Curimaná (Pucallpa). En “Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales en el Perú”. Proyecto INRENA-BIOFOR.
- BANCO MUNDIAL. 1,998. Reporte Anual.
- BEAUMONT, R. E. 1999. El Protocolo de Kyoto y el mecanismo para un desarrollo limpio: nuevas posibilidades para el sector forestal de América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 99 p.
- BLACK, J. 2003. Diseño institucional y financiero de proyectos de venta internacional de carbono atractivos para pequeñas plantaciones forestales. Tesis Mg. Scientiae. CATIE, Turrialba, Costa Rica- 113 p.

- BROWN, S. y LUGO, A. E. 1984b. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbón cycle. *Biotropica* 14: 161- 187.
- CALLO-CONCHA, D. 2000. Cuantificación de carbono secuestrado por algunos sistemas agroforestales en tres pisos ecológicos de la región Ucayali, Perú. Tesis de Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo-México.
- CASTRO, R. 2002. El Mercado del Carbono. PNUMA. Terramérica. Medio Ambiente y Desarrollo. Los bosques, la mejor opción. San José-Costa Rica.
- COMUNIDAD ANDINA. (2007) Bosques y Mercado de Carbono. Lima – Perú. 48 p.
- CONGRESO DE LA REPUBLICA. (2002). “Ley N° 27867 - Ley Orgánica de Gobiernos Regionales”.
- CONGRESO DE LA REPUBLICA. (2005). “Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente”.
- CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE (CONAM). 2002. Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en el Perú. Lima.
- CUELLAR, N., ROSA, H. y GONZÁLEZ M. E. 1,999. Los Servicios Ambientales de Agro: El caso del café de sombra en El Salvador. *PRISMA* 34: 1-16. Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente.

- DÁVILA, V. y SAREZ, L. (2010). “Almacenamiento de carbono y flujo de CO₂ en los suelos con plantaciones de tres especies forestales – Valle del Mantaro”.
- DE JONG, B., G. MONTOYA-GÓMEZ, K. NELSON, L. SOTO-PINO, J. TAYLOR y TIPPER R. (1995). “Community Forest Management And Carbon Sequestration: a Feasibility Study From Chiapas, Mexico”. Interciencia. Pag. 409-416.
- DEL VALLE, J. 2000. Descomposición de la hojarasca fina en bosques pantanosos del Pacífico colombiano. Colombia. 19 p.
- DGFFS, (2012). “Lineamientos y formatos para la formulación de los planes de manejo forestal en bosque secos de la costa”. Lima – Perú.
- DGFFS, (2012). “Manual base para la planificación y ejecución de inventarios forestales en bosques de producción permanente”. Lima – Perú.
- DÍAZ F., R.; ACOSTA M., M.; CARRILLO A., F.; BUENDÍA R., E.; FLORES A., E.; ETCHEVERS B., J. D. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Et Cham. Madera y Bosques 13(1): 25-34
- EGUREN, L. 2004. El Mercado del Carbono en América Latina y El Caribe. Balance y perspectivas. CEPAL. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Santiago. Chile.
- ESPINOZA, B. y QUISPE, A. (2013). “Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de *Polylepis spp.* en la Quebrada Llaca – Parque Nacional Huascarán”. UNASAM-FCAM. 131 p.

- FAO (2010). Mercados de Carbono: Qué tipos existen y cómo funcionan. Roma – Italia. 7 p.
- FAO (2005). Actualización de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales a 2005. Roma – Italia. 36 p
- FINEGAN, B. y DELGADO, D. (1997). Ciclos y flujos de materia y energía: Ecosistema, océano y atmósfera. Bases ecológicas. Turrialba, Costa Rica. CATIE. P 11-15.
- GALICIA L., SAYNES V. y CAMPO J. 2014. Biomasa aérea, subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. UNAM. P 473-484.
- GAMARRA, J. 2001. Simulación de captura de carbono en un bosque de *Eucalyptus globulus* Labill, mediante el Modelo CO2FIX, Versión 1.2 for Windows. Ponencia en el I Congreso Nacional del Eucalipto. Huancayo.
- HARRIS H., BIRJANDI M. y GARCÍA A. (2011). Bosques, Agricultura y Clima: Consideraciones Económicas y de Políticas. Global Development And Environment Institute. Tufts University. Medford, MA. 42 p.
- HERRADOR, D. 1999. Pagos por servicios ambientales: oportunidad para la agricultura sostenible en El Salvador. Revista Centroamericana Laderas 4: 20-22
- HIDALGO, P. (2003). Determinación de las reservas totales de carbono en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* Labill en Marcará”. Trabajo de Investigación. UNASAM-FCAM. 68 p.

- HIDALGO, P. (2009). “Determinación de las reservas totales de carbono en un sistema agroforestal de la selva alta de Tingo María”. UNFV. 164 p.
- HONORIO E. y BAKER T. (2010). “Manual para el Monitoreo del Ciclo del Carbono en Bosques Amazónicos”. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana / Universidad de Leeds. Lima, 54 p.
- ICRAF. 1998. Respuesta a Nuevas Demandas Tecnológicas, Fortalecimiento de la Investigación en Agroindustria y en el Manejo de Recursos Naturales. Reporte final enero 1996 a junio 1998. Banco Interamericano de Desarrollo– International Centre for Research in agroforestry.
- IPCC. 1995. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Cambridge University Press, U.K.
- IPCC. 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook and Reference Manual Revised Versión 1996. UNEP, WMO. Module 1, 4, 5.
- IPCC. 2001. “Glosario de términos”. Ginebra - Suiza. 37 p.
- IPCC, 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento Técnico 5. Suiza. 105 p.
- IPCC. 2007. “Informe de síntesis”. Ginebra – Suiza. 104 p
- IUCC, PNUMA. 1995. Para comprender el cambio climático: Guía elemental de la convención marco de las Naciones Unidas. Oficina de Información sobre el Cambio Climático. Oficina Suiza del Medio Ambiente de Bosques y Paisajes. Chatelaine, Suiza. 20 p.
- KESSLER, M. (2006). Bosques de *Polylepis*. Botánica económica de los andes Centrales. Pag. 110 – 120

- KYRKLUND, B. 1990. Cómo pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Unasylva* 41 (163): 2-15.
- LAPEYRE, T; ALEGRE, J. y ARÉVALO, L. 2004. Determinación de las reservas de carbón de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín. Perú. *Ecología Aplicada*, 3(1,2). ISSN 1726-2216.
- MARKHAM, A., (1998). “Potential Impacts of Climate Change on Tropical Forest Ecosystems. Guest Editorial”. *Climatic Change* 39: 141–143.
- MARTEL, C. y CAIRAMPOMA, I. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en “CICRA”, Madre de Dios (Perú). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. 65 p. ISSN 1726-2216
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, (2009). Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM. Política Nacional del Ambiente.
- MONTENEGRO, J. y ABARCA, S. 1999. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. Seminario internacional. Turrialba, Costa Rica. Mayo. Turrialba, Costa Rica, CATIE. P. 151 – 174.
- MORA, E. 1998. Protección de bosques, venta de carbono y protagonismo del mercado. *Revista de Ciencias Ambientales* N° 15: 6-19 p. Costa Rica.
- NACIONES UNIDAS. (1998). “Protocolo de Kioto”. 24 p.

- NACIONES UNIDAS. (1992). “Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático”. 27 p.
- ORDOÑEZ, J. y MASERA, O. 2001. Captura de Carbono ante el Cambio Climático. *Madera y Bosques* 7 (1), 2001: 3-123. Artículo de Fórum. México
- OTÁROLA, M. y VENEGAS, G. 1999. Propuesta de un sistema de compensación de servicios ambientales para los robledales de la cordillera de Talamanca. Tesis Lic. Cs. For. En Manejo forestal. Heredia, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. Facultad de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional. 150 p.
- PEREZ S., RAMIREZ I., JARAMILLO P.; BAUTISTA F. 2013. “Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales – Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca – México. Universidad Autónoma de Chapingo. p 157-173.
- PICARD N., SAINT L. y HENRY M. (2012). “Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles”. FAO y Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement – CIRAD. Roma – Italia.
- PINAZO, M. A.; MARTIARENA, R. A.; VON WALLIS, A.; CRECHI, E.; PAHR, N. M.; KNEBEL, O. (2007). Efectos de la intensidad de raleo sobre la compartimentalización y stock de carbono en plantaciones de *Pinus taeda* L. establecida Sobre ultisoles de Misiones. INTA, Argentina. 20 p.

- PORTA, J; LÓPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España. 807 p.
- PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTROS. (2003). “Estrategia Nacional sobre Cambio Climático”. Decreto Supremo N° 086-2003-PCM.
- PROYECTO PLANIFICACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO (PLANCC). 2014. 77 Opciones de mitigación. Lima – Perú. 151 p.
- RAMIREZ, O; FINEGAN, B; RODRIGUEZ, L. y ORTIZ, R. 1994. Análisis económico de impactos ambientales en Estudios de caso: El caso de un bosque húmedo tropical bajo diferentes estrategias de mercado sostenible. Turrialba, Costa Rica, CATIE, p 212-224.
- RICSE, A. 2001. Reservas de carbono de los bosques altos del género *Eucalyptus* en el valle del Mantaro. Ponencia en el I Congreso Nacional del Eucalipto. Huancayo.
- RODRÍGUEZ, R., JIMÉNEZ, J., AGUIRRE, O. y TREVIÑO E. 2006. Estimación de carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. Ciencia-UANL. Monterrey, N. L. 9(2): 179-187
- RÜGNITZ M. CHACÓN M. PORRO R. (2009) Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima Perú. 92 p.
- SALISBURY, F. B. y ROOS, C. W. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo editorial Iberoamérica S. A. de C. V. México D. F. México. 759 p.
- SCHLEGEL, B., JORGE GAYOSO A., JAVIER GUERRA C. (2005). Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción

en el Mercado Mundial. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
15 p.

SCHROEDER, P. & WINJUM, J. 1995. Assessing Brazil's carbon budget: biotic carbon pools. *Forest ecology and management* 75: 77-86

SCHULZE D., WIRTH C. Y HEIMANN M. (2000). Managing forest after Kyoto. *Science*. 289(5487): 2058-2059.

SEGURA, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis. Lic. For. Heredia, CR, UNA. 127 p.

SEGURA, SMITH, P; POWLSON, D. S; GLENDENNING, A. J. y SMITH, J. U. 1998. Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. *Global Change Biology* 4, 679-685.

SEGURA, M. 1999. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba. Costa Rica. 120 p.

SERNANP, (2010). "Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán 2010 – 2015". Huaraz – Perú. 183 p.

SUÁREZ, D. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la comarca Yassica sur, Matagalpa, Nicaragua. 131p.

UNEP, GEMS. 1992. Los gases que producen el efecto de invernadero (Cambio Climático Global). Sánchez-Vélez A. y Gerón D., X. Traductores. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 41 p.

VEEN, M. 2007. Oportunidades para pago por servicios ambientales en la Amazonía Peruana, Diagnóstico rápido. Documento de trabajo. Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo. Lima. 20 p.

YANQUI R., CHUPAN L. y VILA M. (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. 117 p.

PAGINAS WEB CONSULTADAS

<http://www.intracen.org>

<http://www.natubelalcazar.wordpress.com>

(<http://es.wikipedia.org>).

ANEXOS

HOJA DE TRABAJO N° 04
BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBACEA

ORIENTACIÓN CUADRANTE

Este - oeste

**N° DE
TRANSECTO**

USO DE LA TIERRA Y EDAD

Bosque de quenuales

NUMERO DE PARCELA Y SUB MUESTRA	BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBACEA PESO FRESCO (kg/m2)	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA (gramos)	BIOMASA HERBACEA PESO SECO (kg/m2)
P01-M01	510	477	201.07	2.150
P01-M02	490	480	224.89	2.296
P02-M01	650	473.9	245.36	3.365
P02-M02	1060	372.54	149.73	4.260
P03-M01	2800	343.5	234.8	19.139
P03-M02	1390	474.1	271.32	7.955
P04-M01	1750	496.9	181.04	6.376
P04-M02	2500	187.05	92.9	12.416
P05-M01	4450	481.8	125.49	11.591
P05-M02	3550	500.7	279.43	19.812
P06-M01	2000	501.4	157.33	6.276
P06-M02	4000	491.1	126.77	10.325
P07-M01	500	478.1	229.46	2.400
P07-M02	200	187.05	71.03	0.759
P08-M01	450	371.84	117.13	1.418
P08-M02	350	365.4	106.87	1.024
P09-M01	10100	487.2	141.35	29.303
P09-M02	800	448.9	284.44	5.069
P10-M01	2000	498.8	250.46	10.043
P10-M02	560	480.6	189.8	2.212
P11-M01	870	451.1	169.76	3.274
P11-M02	2260	375.83	161.39	9.705

P12-M01	340	343.8	165.05	1.632
P12-M02	340	345.6	138.25	1.360
P13-M01	300	264	102.84	1.169
P13-M02	600	480.3	159.85	1.997
P14-M01	460	473.1	258.2	2.511
P14-M02	630	490.9	250.46	3.214
P15-M01	1090	461.3	194.1	4.586
P15-M02	1010	438.5	136.49	3.144
P16-M01	540	473.4	125.75	1.434
P16-M02	550	486.5	248.7	2.812
PROMEDIO	1534.38	427.57	180.98	6.09

**Carbono orgánico en la Biomasa Arbustiva y Herbácea (tC/ha) en el estrato
Bosque muy denso**

NUMERO DE PARCELA Y SUB MUESTRA	BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBACEA PESO FRESCO (g/m2)	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA (gramos)	BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBACEA PESO SECO (t/ha)	CO-BA/H (t/ha)
P02-M01	650	473.9	245.36	3.365	1.51
P02-M02	1060	372.54	149.73	4.260	1.92
P06-M01	1500	501.4	157.33	4.707	2.12
P06-M02	2000	491.1	126.77	5.163	2.32
P09-M01	2100	487.2	141.35	6.093	2.74
P09-M02	800	448.9	284.44	5.069	2.28
P10-M01	2000	498.8	250.46	10.043	4.52
P10-M02	560	480.6	189.8	2.212	1.00
P11-M01	870	451.1	169.76	3.274	1.47
P11-M02	2260	375.83	161.39	9.705	4.37
P12-M01	343.8	343.8	165.05	1.651	0.74
P12-M02	345.6	345.6	138.25	1.383	0.62
P14-M01	473.1	473.1	258.2	2.582	1.16
P14-M02	630	490.9	250.46	3.214	1.45
P15-M01	1090	461.3	194.1	4.586	2.06
P15-M02	1010	438.5	136.49	3.144	1.41
Sumatoria	17692.5	7134.57	3018.94	70.45	31.70
PROMEDIO	1105.78	445.91	188.68	4.40	1.98

**Carbono orgánico en la Biomasa Arbustiva y Herbácea (tC/ha) en el estrato
Bosque denso**

NUMERO DE PARCELA Y SUB MUESTRA	BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBACEA PESO FRESCO (g/m2)	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA (gramos)	BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBACEA PESO SECO (t/ha)	CO-BA/H (t/ha)
P01-M01	510.0	477.0	201.1	2.15	0.97
P01-M02	490.0	480.0	224.9	2.3	1.03
P03-M01	1800.0	343.5	234.8	12.3	5.54
P03-M02	1390.0	474.1	271.3	8.0	3.58
P04-M01	1750.0	496.9	181.0	6.4	2.87
P04-M02	1500.0	187.1	92.9	7.4	3.35
P05-M01	3450.0	481.8	125.5	9.0	4.04
P05-M02	2550.0	500.7	279.4	14.2	6.40
P08-M01	450.0	371.8	117.1	1.4	0.64
P08-M02	350.0	365.4	106.9	1.0	0.46
P13-M01	300.0	264.0	102.8	1.2	0.53
P13-M02	600.0	480.3	159.9	2.0	0.90
P16-M01	540.0	473.4	125.8	1.4	0.65
P16-M02	550.0	486.5	248.7	2.8	1.27
Sumatoria	16230.0	5882.5	2472.1	71.6	32.2
PROMEDIO	1159.29	420.18	176.58	5.11	2.30

**Carbono orgánico en la Biomasa Arbustiva y Herbácea (tC/ha) en el estrato
Bosque disperso**

NUMERO DE PARCELA Y SUB MUESTRA	BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBACEA PESO FRESCO (g/m2)	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA (gramos)	BIOMASA ARBUSTIVA Y HERBACEA PESO SECO (t/ha)	CO-BA/H (t/ha)
P07-M01	500	478.1	229.46	2.400	1.08
P07-M02	200	187.05	71.03	0.759	0.34
Sumatoria	700	665.15	300.49	3.16	1.42
PROMEDIO	350.00	332.58	150.25	1.58	0.71

HOJA DE TRABAJO N° 05

BIOMASA DE HOJARASCA

ORIENTACIÓN CUADRANTE

Este - oeste

N° DE
TRANSECT
O

USO DE LA TIERRA Y EDAD

Bosque de quenual

NUMERO DE PARCELA	HOJARASCA PESO FRESCO (kg/0.25m2)	HOJARASCA PESO FRESCO (g/0.25m2)	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA (gramos)	HOJARASC A PESO SECO (kg/0.25m2)
P01-M01	0.0387	38.7	38.7	28.85	1.15
P01-M02	1.09	1090	500.5	147.74	12.87
P02-M01	0.54	540	480.1	130.76	5.88
P02-M02	1.12	1120	524.6	298.16	25.46
P03-M01	3	3000	512.7	228.88	53.57
P03-M02	1.5	1500	416.77	121.73	17.52
P04-M01	1.3	1300	500.9	274.84	28.53
P04-M02	0.7	700	503	157.2	8.75
P05-M01	2	2000	497.5	277.45	44.62
P05-M02	3.15	3150	517.2	295.38	71.96
P06-M01	1.35	1350	495	165.76	18.08
P06-M02	3.19	3190	501.1	185.42	47.22
P07-M01	0.294	294	294	118.29	4.73
P07-M02	0.0455	45.5	45.5	34.08	1.36
P08-M01	0.7	700	502.4	198.69	11.07
P08-M02	0.4401	440.1	440.1	167.7	6.71
P09-M01	3	3000	496.3	165.15	39.93
P09-M02	1.35	1350	484.1	167.31	18.66
P10-M01	1.74	1740	424.1	200.55	32.91
P10-M02	0.69	690	521.3	129.42	6.85
P11-M01	2.4	2400	497.3	168.94	32.61

P11-M02	1.45	1450	477.8	246.37	29.91
P12-M01	0.3971	397.1	397.1	185.78	7.43
P12-M02	0.8	800	504.6	214.66	13.61
P13-M01	0.4528	452.8	452.8	179.54	7.18
P13-M02	0.625	625	500.3	142.46	7.12
P14-M01	1.29	1290	489.5	260.96	27.51
P14-M02	0.67	670	497.5	173.21	9.33
P15-M01	1.54	1540	452.78	179.53	24.42
P15-M02	1.8	1800	509	222.68	31.50
P16-M01	1.59	1590	512.1	141.93	17.63
P16-M02	1	1000	502.9	135.75	10.80
PROMEDIO	1.29	1289.16	452.80	179.54	21.15

Carbono orgánico en la Biomasa de hojarasca (tC/ha) en el estrato Bosque Muy denso

NUMERO DE PARCELA	HOJARASCA PESO FRESCO (kg/0.25m2)	HOJARASCA PESO FRESCO (g/0.25m2)	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA (gramos)	HOJARASCA PESO SECO (t/ha)	CO-BA/H (t/ha)
P02-M01	0.54	540	480.1	130.76	5.883	2.65
P02-M02	1.12	1120	524.6	298.16	25.462	11.46
P06-M01	1.35	1350	495	165.76	18.083	8.14
P06-M02	3.19	3190	501.1	185.42	47.215	21.25
P09-M01	3	3000	496.3	165.15	39.931	17.97
P09-M02	1.35	1350	484.1	167.31	18.663	8.40
P10-M01	1.74	1740	424.1	200.55	32.913	14.81
P10-M02	0.69	690	521.3	129.42	6.852	3.08
P11-M01	2.4	2400	497.3	168.94	32.613	14.68
P11-M02	1.45	1450	477.8	246.37	29.907	13.46
P12-M01	0.3971	397.1	397.1	185.78	7.431	3.34
P12-M02	0.8	800	504.6	214.66	13.613	6.13
P14-M01	1.29	1290	489.5	260.96	27.509	12.38
P14-M02	0.67	670	497.5	173.21	9.331	4.20
P15-M01	1.54	1540	452.78	179.53	24.425	10.99
P15-M02	1.8	1800	509	222.68	31.499	14.17
PROMEDIO	1.46	1457.94	484.51	193.42	23.20810	10.443

Carbono orgánico en la Biomasa de hojarasca (tC/ha) en el estrato Bosque denso

NUMERO DE PARCELA	HOJARASCA PESO FRESCO (kg/0.25m2)	HOJARASCA PESO FRESCO (g/0.25m2)	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA (gramos)	HOJARASCA PESO SECO (t/ha)	CO-BA/H (t/ha)
P01-M01	0.039	38.7	38.7	28.85	1.15	0.52
P01-M02	1.090	1090	500.5	147.74	12.87	5.79
P03-M01	3.000	3000	512.7	228.88	53.57	24.11
P03-M02	1.500	1500	416.77	121.73	17.52	7.89
P04-M01	1.300	1300	500.9	274.84	28.53	12.84
P04-M02	0.700	700	503	157.2	8.75	3.94
P05-M01	2.000	2000	497.5	277.45	44.62	20.08
P05-M02	3.150	3150	517.2	295.38	71.96	32.38
P08-M01	0.700	700	502.4	198.69	11.07	4.98
P08-M02	0.440	440.1	440.1	167.7	6.71	3.02
P13-M01	0.453	452.8	452.8	179.54	7.18	3.23
P13-M02	0.625	625	500.3	142.46	7.12	3.20
P16-M01	1.590	1590	512.1	141.93	17.63	7.93
P16-M02	1.000	1000	502.9	135.75	10.80	4.86
PROMEDIO	1.26	1256.19	456.99	178.44	21.39	9.63

Carbono orgánico en la Biomasa de hojarasca (tC/ha) en el estrato Bosque disperso

NUMERO DE PARCELA	HOJARASCA PESO FRESCO (kg/0.25m2)	HOJARASCA PESO FRESCO (g/0.25m2)	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO SUB MUESTRA (gramos)	HOJARASCA PESO SECO (t/ha)	CO-BA/H (t/ha)
P07-M01	0.294	294	294	118.29	4.732	2.13
P07-M02	0.0455	45.5	45.5	34.08	1.363	0.61
PROMEDIO	0.17	169.75	169.75	76.19	3.04740	1.37133

HOJA DE MUESTRA N° 06

PESO DE LAS MUESTRAS DEL SUELO

Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cc)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)
11	1-1	0-25	384.84	586	194
	1-2	25-50	384.84	596	182
	1-3	50-75			
13	1-1	0-25	384.84	619	470
	1-2	25-50	384.84	645	461
	1-3	50-75	384.84	705	507
10	1-1	0-25	384.84	538	228
	1-2	25-50	384.84	358	178
	1-3	50-75			
7	1-1	0-25	384.84	575	377
	1-2	25-50	384.84	639	497
	1-3	50-75	384.84	484	345
7	2-1	0-25	384.84	481	355
	2-2	25-50	384.84		
	2-3	50-75	384.84	507	343
1	1-1	0-25	384.84	628	466
	1-2	25-50	384.84	669	567
	1-3	50-75	384.84	613	525
8	1-1	0-25	384.84	634	454
	1-2	25-50	384.84	659	477
	1-3	50-75	384.84	681	513
3	1-1	0-25	384.84	421	413
	1-2	25-50	384.84	483	453
	1-3	50-75	384.84	299	293
PESO SECO PROMEDIO					395.143

HOJA DE TRABAJO N° 07

PESO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Volumen cilindro: 384.84 cc.	Secado al horno a 150°C durante 24 horas
------------------------------	--

Estrato	Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cc)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	DA (g/cc)	Porcentaje de carbono orgánico (%)
Bosque Muy denso	11	1-1	0-25	384.84	586	194	0.5041	23.3
		1-2	25-50	384.84	596	182	0.4729	8.34
		1-3	50-75					
Bosque denso	13	1-1	0-25	384.84	619	470	1.2213	4.16
		1-2	25-50	384.84	645	461	1.1979	3.35
		1-3	50-75	384.84	705	507	1.3174	3.39
Bosque Muy denso	10	1-1	0-25	384.84	538	228	0.5925	16.57
		1-2	25-50	384.84	358	178	0.4625	11.01
		1-3	50-75					
Bosque disperso	7	1-1	0-25	384.84	575	377	0.9796	10.2
		1-2	25-50	384.84	639	497	1.2914	2.73
		1-3	50-75	384.84	484	345	0.8965	3.2
Bosque disperso	7	2-1	0-25	384.84	481	355	0.9225	4.61
		2-2	25-50	384.84			0.0000	
		2-3	50-75	384.84	507	343	0.8913	11.12
Bosque denso	1	1-1	0-25	384.84	628	466	1.2109	4.66
		1-2	25-50	384.84	669	567	1.4733	1.17
		1-3	50-75	384.84	613	525	1.3642	1.12
Bosque denso	8	1-1	0-25	384.84	634	454	1.1797	7.67
		1-2	25-50	384.84	659	477	1.2395	7.41
		1-3	50-75	384.84	681	513	1.3330	5.12
Bosque denso	3	1-1	0-25	384.84	421	413	1.0732	1.46
		1-2	25-50	384.84	483	453	1.1771	0.92
		1-3	50-75	384.84	299	293	0.7614	0.93

**Calculo de densidad aparente y porcentaje de carbono orgánico en el estrato
"bosque muy denso"**

Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cc)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	DA (g/cc)	% de carbono Orgánico
11	1-1	0-25	384.84	586	194	0.5041	23.3
	1-2	25-50	384.84	596	182	0.4729	8.34
	1-3	50-75					
10	1-1	0-25	384.84	538	228	0.5925	16.57
	1-2	25-50	384.84	358	178	0.4625	11.01
	1-3	50-75					
TOTAL						2.0320	59.22
PROMEDIO						0.51	14.81

**Calculo de densidad aparente y porcentaje de carbono orgánico en el estrato
"bosque disperso"**

Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cc)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	DA (g/cc)	Porcentaje de carbono orgánico (%)
13	1-1	0-25	384.84	619	470	1.2213	4.16
	1-2	25-50	384.84	645	461	1.1979	3.35
	1-3	50-75	384.84	705	507	1.3174	3.39
1	1-1	0-25	384.84	628	466	1.2109	4.66
	1-2	25-50	384.84	669	567	1.4733	1.17
	1-3	50-75	384.84	613	525	1.3642	1.12
8	1-1	0-25	384.84	634	454	1.1797	7.67
	1-2	25-50	384.84	659	477	1.2395	7.41
	1-3	50-75	384.84	681	513	1.3330	5.12
3	1-1	0-25	384.84	421	413	1.0732	1.46
	1-2	25-50	384.84	483	453	1.1771	0.92
	1-3	50-75	384.84	299	293	0.7614	0.96
TOTAL						14.5489	41.39
PROMEDIO						1.2124	3.449

**Calculo de densidad aparente y porcentaje de carbono orgánico en el estrato
"bosque disperso"**

Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Volumen del Cilindro (cc)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	DA (g/cc)	Carbono orgánico (%)
7	1-1	0-25	384.84	575	377	0.9796	10.2
	1-2	25-50	384.84	639	497	1.2914	2.73
	1-3	50-75	384.84	484	345	0.8965	3.2
7	2-1	0-25	384.84	481	355	0.9225	4.61
	2-2	25-50	384.84				
	2-3	50-75	384.84	507	343	0.8913	11.12
TOTAL						4.9813	31.86
PROMEDIO						0.9963	6.37

CARBONO ORGÁNICO ALMACENADO EN TODAS LAS FUENTES EN TC

FUENTE MEDIDA	CARBONO TOTAL ALMACENADO (t)
Biomasa Vegetal	8491.83
Biomasa arbórea	4946.80
Biomasa arbustiva y herbácea	286.61
Biomasa de hojarasca	1298.76
Biomasa subterráneas	1959.66
Suelo	49342.92
TOTAL	57834.75

ANEXO B

RESULTADOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS HUMEDAD DE BIOMASA DE HERBACEA

SOLICITA : Ricardo Mosquera De La Cruz - Tesista

UBICACIÓN : Quebrada Llaca (PNH) - Independencia - Huaraz- Ancash.

Nº de Parcela	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO A ESTUFA A 105°C X 24 Hrs. SUB MUESTRA (gramos)	HUMEDAD %
P01-M01	477	201.07	57.85
P01-M02	480	224.89	53.15
P02-M01	473.9	245.36	48.23
P02-M02	372.54	149.73	59.81
P03-M01	343.5	234.8	31.64
P03-M02	474.1	271.32	42.77
P04-M01	496.9	181.04	63.57
P04-M02	187.05	92.9	50.33
P05-M01	481.8	125.49	73.95
P05-M02	500.7	279.43	44.19
P06-M01	491.1	126.77	74.19
P06-M02	478.1	229.46	52.01
P07-M01	478.1	229.46	52.01
P07-M02	187.05	71.03	62.03
P08-M01	371.84	117.13	68.50
P08-M02	365.4	106.87	70.75
P09-M01	487.2	141.35	70.99
P09-M02	448.9	284.44	36.64
P10-M01	498.8	250.46	49.79
P10-M02	480.6	189.8	60.51
P11-M01	451.1	169.76	62.37
P11-M02	375.83	161.39	57.06
P12-M01	343.8	165.05	51.99
P12-M02	345.6	138.25	60.00
P13-M01	264	102.84	61.05
P13-M02	480.3	159.85	66.72
P14-M01	473.1	258.2	45.42
P14-M02	490.9	250.46	48.98
P15-M01	461.3	194.1	57.92
P15-M02	438.5	136.49	68.87
P16-M01	473.4	125.75	73.44
P16-M02	486.5	248.5	48.92



Ing. M.Sc. Guillermo Castilla Romero,
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE SUELOS Y AGUAS

Huaraz, 15 de setiembre del 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS HUMEDAD DE BIOMASA DE HOJARASCA

SOLICITA : Ricardo Mosquera De La Cruz - Tesista

UBICACIÓN : Quebrada Llaca (PNH) - Independencia - Huaraz- Ancash.

Nº de Parcela	PESO FRESCO SUB MUESTRA (gramos)	PESO SECO A ESTUFA A 105°C X 24 Hrs. SUB MUESTRA (gramos)	HUMEDAD %
P01-M01	38.70	28.85	25.45
P01-M02	500.50	147.74	70.48
P02-M01	480.10	130.76	72.76
P02-M02	524.60	298.16	43.16
P03-M01	512.70	228.88	55.36
P03-M02	416.77	121.73	70.62
P04-M01	500.90	274.84	45.13
P04-M02	503.00	157.20	68.75
P05-M01	497.50	277.45	44.23
P05-M02	517.20	295.38	42.89
P06-M01	495.00	165.76	66.51
P06-M02	501.10	185.42	62.99
P07-M01	294.00	118.29	59.77
P07-M02	45.50	34.08	25.10
P08-M01	502.40	198.69	60.45
P08-M02	440.10	167.70	61.89
P09-M01	496.30	165.15	66.72
P09-M02	484.10	167.31	65.44
P10-M01	424.10	200.55	52.71
P10-M02	521.30	129.42	75.17
P11-M01	497.30	168.94	66.03
P11-M02	477.80	246.37	48.44
P12-M01	397.10	185.78	53.22
P12-M02	504.60	214.66	57.46
P13-M01	452.80	179.54	60.35
P13-M02	500.30	142.46	71.53
P14-M01	489.50	260.96	46.69
P14-M02	497.50	173.21	65.18
P15-M01	452.78	179.53	60.35
P15-M02	509.00	222.68	56.25
P16-M01	512.10	141.93	72.28
P16-M02	502.90	135.75	73.01

Huaraz, 15 de setiembre del 2015


Mg. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS
F.C.A.



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ - REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANALISIS Y DENSIDAD APARENTE DE SUELOS

SOLICITA : Ricardo Mosquera de la Cruz - Tesista

UBICACIÓN : Quebrada Llaca (PNH) - Independencia - Huaraz - Ancash

Parcela	Sub muestra	Profundidad (cm)	Peso fresco de la muestra (g)	Peso seco dentro cilindro (g)	Humedad (%)	Volumen del Cilindro (cc)	DA (g/cc)
11	1-1	0-25	586	194	0.67	384.84	0.504
	1-2	25-50	596	182	0.69	384.84	0.473
	1-3	50-75					
13	1-1	0-25	619	470	0.24	384.84	1.221
	1-2	25-50	645	461	0.29	384.84	1.198
	1-3	50-75	705	507	0.28	384.84	1.317
10	1-1	0-25	538	228	0.58	384.84	0.592
	1-2	25-50	358	178	0.50	384.84	0.463
	1-3	50-75					
7	1-1	0-25	575	377	0.34	384.84	0.980
	1-2	25-50	639	497	0.22	384.84	1.291
	1-3	50-75	484	345	0.29	384.84	0.896
7	2-1	0-25	481	355	0.26	384.84	0.922
	2-2	25-50				384.84	0.000
	2-3	50-75	507	343	0.32	384.84	0.891
1	1-1	0-25	628	466	0.26	384.84	1.211
	1-2	25-50	669	567	0.15	384.84	1.473
	1-3	50-75	613	525	0.14	384.84	1.364
8	1-1	0-25	634	454	0.28	384.84	1.180
	1-2	25-50	659	477	0.28	384.84	1.239
	1-3	50-75	681	513	0.25	384.84	1.333
3	1-1	0-25	421	413	0.02	384.84	1.073
	1-2	25-50	483	453	0.06	384.84	1.177
	1-3	50-75	299	293	0.02	384.84	0.761

Huaraz, 15 de setiembre del 2015



[Signature]
Dios M. S.C. Guinertio Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : VÍCTOR MORALES SULCA
PROCEDENCIA : ANCASH/ HUARAZ
REFERENCIA : H.R. 51582
BOLETA : 12500
FECHA : 20/10/2015

Lab	Número Muestra Claves	C %
4374	PO1-M01-0.25	4.66
4375	PO1-M02-25.50	1.17
4376	PO1-M03-50-75	1.12
4377	PO3-M01-0.25	1.46
4378	PO3-M02-25-50	0.92
4379	PO3-M03-50.75	0.96
4380	PO7-M01-0.25	10.20
4381	Calicata 1, PO7-M02-25.50	2.73
4382	Calicata 1, PO7-M03-50a75	3.20
4383	Calicata 2, PO7-M01-0 a 25	4.61
4384	Calicata 2, PO7-M03-50 a 75	11.12
4385	PO8-M01-0.25	7.67
4386	PO8-M02-25 a 50	7.41
4387	PO8-M03-50 a 75	5.12
4388	PO10-M01-0.25	16.57
4389	PO10-M02-25.50	11.01
4390	PO11-M01-0.25	23.30
4391	PO11-M02-25.50	8.34
4392	PO13-M01-0.25	4.16
4393	PO13-M02-25.50	3.35
4394	PO13-M03-50-75	3.39



Dr. Sady García Bendejú
Jefe del Laboratorio

ANEXO C
PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N° 01: Equipo técnico con los respectivos materiales y equipos para obtener las muestras



Fotografía N° 02: Delimitación de la parcela de muestreo N° 05



Fotografía N° 03: Ejemplar de *Polylepis spp* en la Quebrada Llaca



Fotografía N° 04: Composición del estrato muy denso del bosque de quenuales



Fotografía N° 05: Cuadrante de muestreo de biomasa de arbustiva y herbácea y hojarasca



Fotografía N° 06: Cuadrante de muestreo de biomasa de arbustiva y herbácea



Fotografía N° 07: Cuadrante de muestreo de biomasa de hojarasca



Fotografía N° 08: Parcela de muestreo N° 11



Fotografía N° 09: Obtención de muestras de arbustos y hierbas de la parcela de muestreo N° 11



Fotografía N° 10: Calicata para la obtención de muestras de suelo en parcela de muestreo N° 07



Fotografía N° 11: Obtención de muestras de suelo a diferentes profundidades



Fotografía N° 12: Calicata de la parcela N° 08 para obtención de muestras de suelo



Fotografía N° 13: Calicata de la parcela N° 03 para obtención de muestras de suelo



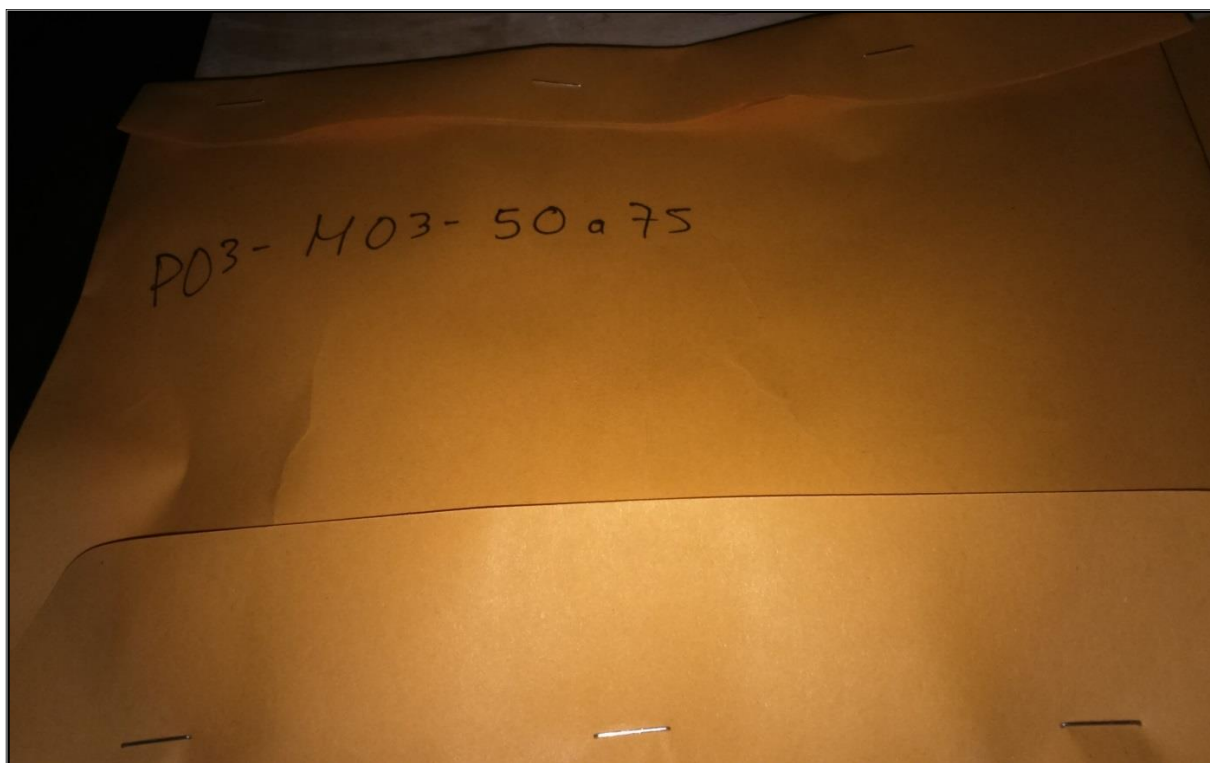
Fotografía N° 14: Extracción de muestras de arbustos y hierbas



Fotografía N° 15: Extracción de muestras de arbustos y hierbas



Fotografía N° 16: Muestra de suelo de la parcela N° 13, Muestra 02: 25 a 50 cm



Fotografía N° 17: Modelo de codificación de muestras



Fotografía N° 18: Muestras de suelo codificadas listas para se llevadas a laboratorio



Fotografía N° 19: Pesado de muestra seca de suelo dentro del cilindro Uhland
(Parcela N° 07 – Calicata 01- Muestra 02: 25 a 50 cm)



Fotografía N° 20: Pesado de muestra seca de suelo dentro del cilindro Uhland
(Parcela N° 08 – Muestra 03: 50 a 75 cm)



Fotografía N° 21: Pesado de muestra seca de suelo dentro del cilindro Uhland
(Parcela N° 13 – Muestra 03: 50 a 75 cm)



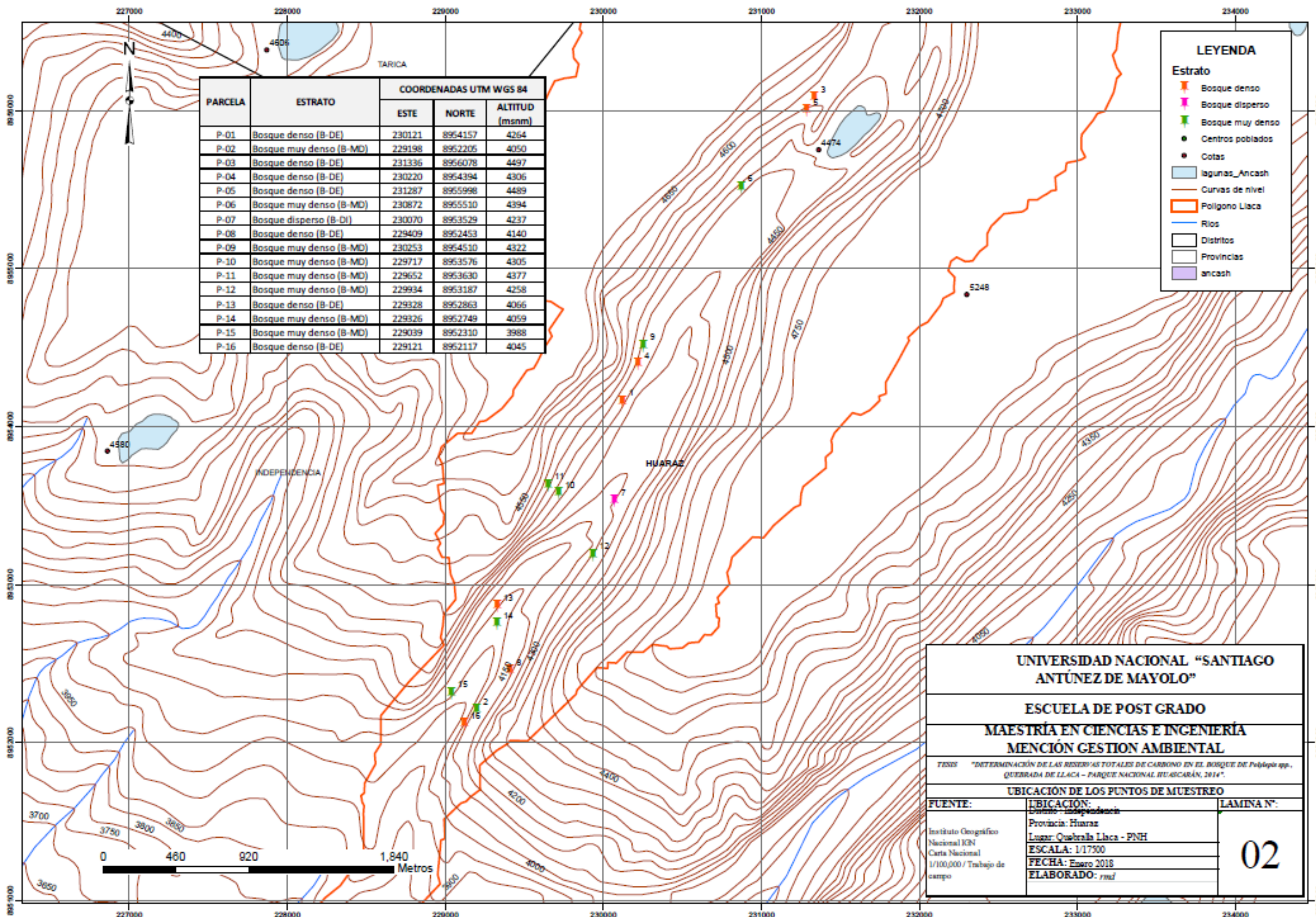
Fotografía N° 22: Pesado de muestra seca de suelo dentro del cilindro Uhland
(Parcela N° 08 – Muestra 02: 25 a 50 cm)

ANEXO D

PLANOS DE UBICACIÓN DE LAS PARCELAS DE MUESTREO

ESTRATOS DEL BOSQUE DE QUENUAL

PLANO DE UBICACIÓN DE LAS PARCELAS DE MUESTREO



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

ESCUELA DE POST GRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS E INGENIERÍA

MENCION GESTION AMBIENTAL

TESIS: "DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS TOTALES DE CARBONO EN EL BOSQUE DE *Polylepis* spp. QUERRADA DE LLACA - PARQUE NACIONAL HUÁSCARÁN, 2014"

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional IGN Carta Nacional 1/100,000 / Trabajo de campo	UBICACIÓN: Distrito: Independencia Provincia: Huáraz Lugar: Quebrada Liaca - PNH	LAMINA N°: 02
	ESCALA: 1/17500 FECHA: Enero 2018 ELABORADO: rmd	

ESTRATOS DEL BOSQUE DE QUENUAL

