

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL



**Estimación de carbono almacenado en plantaciones de Pino
(*Pinus tecunumanii*), Pichari, Cusco, 2020**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROFORESTAL**

**PRESENTADO POR:
Ever Huamantino Quispe**

**ASESOR:
Mg. Carlos Maximo Malpica Ramos**

Ayacucho – Perú

2022



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

TESIS

Estimación de carbono almacenado en plantaciones de Pino
(*Pinus tecunumanii*), Pichari, Cusco, 2020.

Expedito : 01 de febrero del 2022

Sustentado : 12 de julio del 2022

Calificación : Muy bueno

Jurados :

Ing. ORLANDO FIDEL SULCA CASTILLA

Presidente

M. Sc. JUAN CHARAPAQUI ANCCASI

Miembro

Dr. YURI GALVEZ GASTELÙ

Miembro

Mg. CARLOS MÁXIMO MALPICA RAMOS

Asesor

*A mis padres Cayo y Epifania quienes
inculcaron en mi profesión, en especial
a mis hermanos*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal, alma mater de mi formación profesional.

A mi asesor por, haberme orientado en el desarrollo de mi tesis.

A mis compañeros de la Universidad, por apoyarme incondicionalmente.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de anexos.....	viii
Resumen.....	1
Introducción	2
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes).....	4
1.2. Bases teóricas	6
1.2.1. Morfología y características de la especie	6
1.2.2. Carbono en plantaciones de pino	7
1.2.3. Medición de carbono en el suelo.....	14
1.3. Marco conceptual	14
1.3.1. Carbono en la vegetación	14
1.3.2. Captura de carbono	14
1.3.3. Dióxido de carbono.....	15
1.3.4. Gases del efecto invernadero	15
1.3.5. Fijación de carbono.....	15
1.3.6. Ciclo del carbono	16
1.3.7. Biomasa.....	16
1.3.8. Biomasa aérea	16
1.3.9. Hojarasca.....	17
1.3.10. Altura total	17
1.3.11. DAP (diámetro a la altura del pecho).....	17
CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....	18
2.1. Ubicación	18
2.1.1. Ubicación y localización.....	18
2.1.2. Características agroclimáticas del distrito de Pichari	19

2.2.	Materiales y equipos	21
2.2.1.	Materiales de campo	21
2.2.2.	Materiales de escritorio	21
2.3.	Problema	21
2.3.1.	Problema general.....	21
2.3.2.	Problemas específicos	21
2.4.	Procedimiento	22
2.4.1.	Ubicación de la plantación con <i>Pinus tecunumanii</i>	22
2.4.2.	Delimitación del área de estudio	22
2.4.3.	Inventario forestal	23
2.4.4.	Recolección del componente herbáceo	24
2.4.5.	Obtención de la muestra de suelo	24
2.4.6.	Determinación de la biomasa aérea	26
2.4.7.	Determinación del carbono en la biomasa aérea.....	26
2.4.8.	Determinación de la biomasa herbácea.....	27
2.4.9.	Determinación del carbono en herbáceas.....	27
2.4.10.	Determinación del carbono en el suelo	28
2.4.11.	Cálculo del carbono en el suelo	28
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN		30
3.1.	Biomasa y carbono aéreo que almacena la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	30
3.1.1.	Biomasa aérea	30
3.1.2.	Carbono aéreo	31
3.2.	Biomasa y carbono en el estrato herbáceo	32
3.2.1.	Biomasa acumulada	32
3.2.2.	Carbono acumulado	32
3.3.	Carbono en el suelo de la plantación con <i>Pinus tecunumanii</i>	33
3.4.	Carbono total en la plantación	34
CONCLUSIONES		36
RECOMENDACIONES		37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		38
ANEXOS.....		41

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Tipo de vegetación y el carbono acumulado.....	9
Tabla 1.2. Categorías diamétricas, relación de biomasa y carbono	9
Tabla 1.3. Modelos probados para estimar la biomasa total en <i>Pinus oocarpa</i> en el estado de Chiapas- México	11
Tabla 1.4. Modelos para la estimación de la biomasa.....	13
Tabla 2.1. Temperatura del distrito de Pichari, año 2016	19
Tabla 2.2. Precipitación del distrito de Pichari, año 2007 - 2016	19
Tabla 2.3. Evapotranspiración potencial, año 2016 distrito de Pichari.....	20
Tabla 2.4. Clasificación de tierra según su grupo	20
Tabla 3.1. Análisis de varianza de la cantidad de biomasa entre las parcelas de muestreo	31
Tabla 3.2. Carbono por hectárea en plantaciones de <i>Pinus tecunumanii</i>	33

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Ciclo biológico del carbono	16
Figura 2.1. Ubicación del anexo Libertad, distrito de Pichari	18
Figura 2.2. Ubicación de la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i> – anexo Libertad- Pichari	22
Figura 2.3. Delimitación de parcelas de muestreo utilizando rafia color rojo	23
Figura 2.4. Diámetro del pino a la altura del pecho, utilizando cinta métrica	23
Figura 2.5. Área con una dimensión de 0.5x0.5 metros delimitado para recolección de hierba	24
Figura 2.6. Distribución de las sub muestras para obtener biomasa herbácea y muestras de suelo	25
Figura 2.7. Procedimiento para recolección muestra de suelo	25
Figura 2.8. Recolección de suelo para análisis en laboratorio	26
Figura 2.9. Determinación del peso fresco y seco de la biomasa en hierbas	27
Figura 2.10. Recolección de suelo para determinar la densidad aparente.....	29
Figura 3.1. Biomasa aérea acumulada (toneladas por hectárea) en plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	30
Figura 3.2. Carbono aéreo acumulado (toneladas por hectárea) en plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	32
Figura 3.3. Biomasa de -hierbas, acumulada en plantación de <i>Pinus</i> <i>tecunumanii</i>	33
Figura 3.4. Carbono acumulado en la biomasa de hierbas de la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	33
Figura 3.5. Carbono total en la plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>	35

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Inventario forestal – parcela 1	42
Anexo 2. Cálculos de biomasa aérea	44
Anexo 3. Biomasa aérea de la parcela 1	45
Anexo 4. Cálculos de la biomasa herbácea.....	47
Anexo 5. Biomasa herbácea de la parcela 1	48
Anexo 6. Cálculo de carbono en el suelo.....	50
Anexo 7. Análisis de suelo	51
Anexo 8. Estadística descriptiva de la biomasa.....	52
Anexo 9. Panel de fotográfico	53

RESUMEN

En el presente estudio estimación de carbono almacenado en plantaciones de Pino (*Pinus tecunumanii*), Pichari, Cusco, 2020, se llevó a cabo en el anexo Libertad del distrito de Pichari, provincia La Convención, región Cusco, a una altitud de 1400 msnm, con el objetivo de estimar la cantidad de carbono almacenado en la plantación de *Pinus tecunumanii*. La estimación del carbono almacenado se efectuó a nivel de la biomasa aérea de la plantación, herbácea del sotobosque y del suelo. Para calcular la biomasa aérea y el carbono almacenado en la plantación, se utilizó la fórmula alométrica propuesta por Díaz et al. (2007); mientras para la biomasa herbácea del sotobosque, se utilizó la fórmula propuesta por Tocarpo (2018) y para el carbono la fórmula propuesta por Ramírez (2013); y para estimar el contenido de carbono en el suelo se recurrió al servicio del laboratorio suelos Multiservicios Agrolab. La cantidad de biomasa encontrada en la plantación de pino es de 2.71 t. ha⁻¹ y el contenido de carbono capturado es de 2.85 t. ha⁻¹. La biomasa almacenada en el componente herbácea del sotobosque fue de 8.51 t. ha⁻¹ y el carbono capturado es de 3.83 t. ha⁻¹. Finalmente, el contenido de carbono almacenado en el suelo fue de 4.35 gramos por cada 100 gramos de suelo (4.35%), lo que equivale a 65.25 toneladas de carbono por hectárea (t. ha⁻¹). En su totalidad, la plantación de *Pinus tecunumanii* del anexo Libertad, con una densidad de plantación de 1100 árboles por hectárea, almacena 71.93 toneladas de carbono por hectárea (t. ha⁻¹).

Palabras clave: biomasa, carbono, *Pinus tecunumanii*.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación sobre la estimación de carbono almacenado en plantaciones de Pino (*Pinus tecunumanii*), se define como la acumulación de carbono en la biomasa aérea, en el componente herbáceo del sotobosque y en el suelo de la plantación con pino. Es decir, es la retención de carbono en las hojas, ramas, tallos, hierbas, hojarascas y el suelo, en un tiempo determinado.

El método indirecto de estimación de carbono, es un proceso que requiere obtener información a través de la medición del diámetro y la altura de cada planta de pino, recolectar el componente herbáceo del sotobosque para determinar el peso húmedo y seco de las muestras, y recoger muestras de suelo para los respectivos análisis a nivel de laboratorio; a partir de los resultados obtenidos efectuar los cálculos aplicando las formulas alométricas.

El método directo (destrutivo) de estimación de carbono se realiza, seccionando los árboles para luego incinerar y obtener la cantidad de carbono acumulado.

La especie *Pinus tecunumanii* por la importancia de la madera, producto de las recientes plantaciones, se encuentran distribuidas en más de 20 hectáreas de los distritos de Samugari, Sivia, Kimbiri, Villa Kintiarina, Villa Virgen y Pichari (Malpica, 2020); sin embargo aún se desconoce respecto a los servicios ambientales que ofrece, principalmente respecto a la cantidad de carbono almacenado.

Por las razones antes mencionadas, se plantea el presente trabajo de investigación: estimación de carbono almacenado en plantaciones de pino (*Pinus tecunumanii*), Pichari, Cusco, 2020.

Objetivo general

Estimar la cantidad de carbono almacenado en la plantación de *Pinus tecunumanii* ubicado en el anexo Libertad, distrito de Pichari, 2020.

Objetivos específicos

1. Estimar la biomasa y el carbono almacenado en la parte aérea de las plantaciones de *Pinus tecunumanii*
2. Estimar la biomasa y el carbono almacenado en el componente herbáceo de las plantaciones de *Pinus tecunumanii*
3. Estimar el carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de *Pinus tecunumanii*

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Gutiérrez-Vásquez y Flores-Montaña (2018) realizaron la investigación sobre la “Captura de carbono y modelos alométricos para estimar la biomasa en los rodales naturales de *Pinus oocarpa* Schl. et Cham. en Chiapas, México”, los resultados sobre el carbono capturado por el rodal de Cintalapa arrojan valores de 38.69 toneladas por hectárea ($t. ha^{-1}$) con densidad de 420 árboles por hectárea, en el segundo rodal el valor fue de 20.32 toneladas por hectárea ($t. ha^{-1}$) de carbono (densidad de 63 árboles por hectárea) y en el último rodal (Margaritas) 99.07 toneladas por hectárea ($t. ha^{-1}$), con una densidad de 375 árboles por hectárea (p. 21).

Cargua et al. (2014), investigaron el contenido de carbono en una plantación de pino insignis (*Pinus radiata*) donde determinaron que el carbono promedio para biomasa aérea fue de 14.69 megagramos de carbono por hectarea (mgc/ha), en el sotobosque (hierbas, pastos) fue 0.68 megagramos de carbono por hectarea (mgc/ha), en las raicillas (parte por debajo del suelo) 0.15 megagramos de carbono por hectarea (mgc/ha) y en el suelo 268.83 megagramos de carbono por hectarea (mgc/ha). Para estos casos los investigadores dieron a conocer que en promedio el carbono de la plantación es de 287.31 megagramos de carbono por hectarea (mgc/ha) (p. 83).

Alberto y Eelvis (2008) determinaron la “acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en bosques naturales en Honduras”, mencionan los resultados obtenidos, e indican que la acumulación de biomasa aérea en la clase diamétrica (10 centímetros (cm)) fue de 498,00 kilogramos por hectárea (kg/ha), para la clase diamétrica media (34 centímetros (cm)) fue de 1882.10 kilogramos por hectárea (kg/ha) y para la clase diamétrica superior (58 centímetros (cm)) fue de 297.0 kilogramos por hectárea (kg/ha), llegaron a la conclusión que la biomasa total aérea fue

de 25140.20 kilogramos por hectárea (kg/ha) o aproximadamente 25.14 toneladas por hectárea (t. ha⁻¹) en la segunda clase diamétrica inferior (10 centímetros (cm)) fue de 258,00 kilogramos por hectárea (kg/ha), para la clase diamétrica media (34 centímetros (cm)) fue de 974.9 kilogramos por hectárea (kg/ha) y para la clase diamétrica superior (58 centímetros (cm)) fue de 153.80 kilogramos por hectárea (kg/ha). Sumando las clases diamétricas (total de carbono acumulado) fue de 13,02 toneladas por hectárea (t. ha⁻¹). También mencionan que en las 5320.32 hectáreas (ha) de bosque de pino ralo (Municipio de Cabañas) se han acumulado 133752.84 toneladas (t) de biomasa aérea equivalente a 25,14 toneladas por hectárea (t. ha⁻¹) y 69270.57 toneladas (t) de carbono equivalente a 13,02 toneladas por hectárea (t. ha⁻¹) (p. 67).

Aguirre-Calderon y Jimenez-Perez (2011) realizaron la evaluación sobre el contenido de carbono que contienen los bosques del sur de Nuevo León, mencionan en los resultados que el porcentaje de carbono en los individuos de *Pinus pseudostrobus* es mayor con 50.35 % en *Pinus teocote* 47.78 % y en *Quercus spp.* 48.43% (p. 73).

De la Torre et al. (2007) realizaron investigación sobre la “estimación de biomasa y contenido de carbono que contiene el *Pinus cooperi* ubicado en el Pueblo Nuevo, Durango”, teniendo una densidad de 633 individuos en 5000 metros cuadrados, el carbono almacenado es de 204.5 toneladas (t) y el carbono proyectado para una hectárea es de 51.125 toneladas (t) (p. 35).

Ordoñez et al. (2001) investigaron el “almacenamiento de carbono que tiene el bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán-México”, mencionan que almacenan en total la captura total de carbono que estimaron en el plazo de 250 años fue de 217 toneladas de carbono por hectárea (t. ha⁻¹ de C), mientras que la biomasa (aérea y subterránea) fue de 74 toneladas de carbono por hectárea (t. ha⁻¹ de C), y en el suelo estimaron 94 toneladas de carbono por hectárea (t. ha⁻¹ de C) (p. 27).

Rodríguez-Laguna et al. (2009) realizaron estimaciones del carbono que almacena el bosque de pino, esta plantación esta ubicada en la reserva de la biosfera el Cielo, mencionan que estimaron en total de 110 toneladas de carbono por hectárea (t. ha⁻¹ de C), la distribución del carbono expresado en porcentaje es 75.3 % se encuentra

almacenado en el fuste, ramas y hojas, en las raíces el 15%, en hojarasca el 9% y en los renuevos y en la necromasa se encuentra el 0.4 y 0.3 % repectivamente (p. 317).

1.2. BASES TEÓRICAS

1.2.1. Morfología y características de la especie

a) Descripción taxonómica

Según Cronquist (1979, como se cita en Chávez, 2019) quien mencionó que el sistema de clasificación filogenética de las plantas, el pino pertenece a:

Nombre Científico : *Pinus tecunumanii* F. Schwerdtf. Ex Egulizy J.P. Perry.

Nombre común : Pino ocote (Guatemala), pino rojo (Nicaragua).

Familia : Pinaceae Lindl.

Sinónimos : *Pinus patula*, *Pinus oocarpa* var. *Ochoterena* Martínez (p. 55).

b) Distribución natural

Según el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 1997, como se cita en Méndez, 2017) describe que la distribución del pino es principalmente por las montañas centrales del país de Guatemala. Señalan que existe en México (estados de Oaxaca y Chiapas), por el norte de El Salvador, Sudeste de Honduras y noreste de Nicaragua, esta especie tiene amplia distribución que va desde los 440 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta los 2800 metros sobre el nivel del mar (msnm) (p. 65).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2005, como se cita en Chávez, 2019) describe que la distribución de *Pinus tecunumanii* probablemente es determinada por la geología y la precipitación. Sin embargo, mencionan que la distribución en su estado natural del *Pinus tecunumanii* es principalmente en las montañas centrales de Guatemala (p. 60).

c) Descripción de la especie *Pinus tecunumanii*

Según Cerda (2007, como se cita en Chávez, 2019) las características del género *Pinus* e indica lo siguiente:

- **Las Hojas:** son llamadas acículas que por lo general están agrupadas de tres ó cuatro acículas, raramente presentan dos ó cinco, son persistentes en cada especie y

aproximadamente esta de dos a cuatro años, la longitud es de 20 centímetros (cm) aproximadamente, puede alcanzar medidas de 15 y 30 centímetros (cm), el color característico es verde-azulado de bordes finamente aserrados.

- **La Madera:** el color de la madera es amarillo claro con densidad (anhidra mediana) de 0,48 gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) y una densidad básica de 0,43 gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) (p. 70).

d) **Ecología**

Según FAO (2005, como se cita en Chávez, 2019) se indicó que el *Pinus tecunumanii* se le encuentra en valles fértiles o cañones de los ríos, formando pequeños rodales puros, en otros casos se le encuentra formando asociaciones con *Pinus ayacahute*, *Pinus oocarpa*, *Pinus pseudostrobus* y *Cupressus sp.*, en niveles más bajos sobre el nivel del mar asociados a *Pinus caribaea* (p. 72).

Palomino et al. (1991 como se cita en Chávez, 2019), en el Perú durante los años 1980-1982 con el apoyo del gobierno Alemán se realizaron ensayos experimentales con diferentes *Pinus*, *Eucalyptus* y *Cupressus*, donde se obtuvieron resultados con la especie *Pinus tecunumanii*, desde entonces el Fondo de Promoción de Desarrollo Forestal (FONDEBOSQUE) promocionó la reforestación con este pino de Nicaragua (p. 35).

1.2.2. **Carbono en plantaciones de pino**

Gutiérrez-Vásquez y Flores-Montaña (2018) en la investigación que realizaron sobre “captura de carbono y modelos alométricos para calcular la biomasa de *Pinus oocarpa* en México”, concluyeron que la plantación la consideraron muy buena opción para la venta de servicios ambientales en cuanto a captura de carbono, lo cual ayudaría a evitar se sigan destruyendo los rodales naturales de esta especie.

Díaz et al. (2007) proponen la siguiente ecuación para estimar la biomasa de *Pinus patula*: (p. 29)

$$B = 0.0357 \times DN^{2.6916} \dots\dots\dots\text{Ec. (1)}$$

Donde

B: Es la biomasa (kilogramos (kg))

DN: Es el diámetro normal (centímetros (cm)).

La ecuación para estimar el contenido de carbono lo expresan de la siguiente manera:

$$CC = 0.021 x DN^{2.6451} \dots\dots\dots Ec. (2)$$

Donde

CC: Es el contenido de carbono expresado en kilogramos

DN: Es el diámetro normal en centímetros.

El coeficiente de determinación (R^2) fue de 0.98 para ambas ecuaciones es confiable. Concluyendo la investigación que el porcentaje de carbono en los árboles de *Pinus patula* fue de 50,31%; del total almacenado el 5,07% está en el tocón, 78,82% en el fuste, 7,51% en las ramas y 8,6% en el follaje.

Según Odar (2018) la ecuación que más se ajusta para estimar la cantidad de carbono en café por individuo en una determinada área para el lugar donde realizó la investigación (anexo de Vilaya, Provincia de Luya, Amazonas) es:

$$B_{kg} = 14.928 - 5.319 (DAP) + 0.598 (DAP)^2 - 0.019(DAP)^3 \dots\dots\dots Ec. (3)$$

Con esta fórmula según menciona el autor, se obtiene un coeficiente de determinación de 0.947, este valor indica que el DAP tiene un nivel de confianza aceptable para cuantificar el carbono (94.7%) (p. 25).

De la Torre et al. (2007) realizaron la estimación de carbono en plantaciones de pino, para este estudio utilizaron la siguiente ecuación alométrica para estimar biomasa aérea:

$$B = 22,3476 + (-4,9470) * D + 0,4911 * D^2 + 0,0039 * (D^2H) \dots\dots\dots Ec. (4)$$

Esta fórmula tiene un coeficiente de determinación (R^2) de 0,99 y un error estándar porcentual (Sx %) de 11,69 % (p. 40).

Para cuantificar el carbono se utilizó:

$$Cc = 11,5090 + (-3,1229) * D + 0,3100 * D^2 + 0,0004 * (D^2H) \dots\dots\dots Ec. (5)$$

Rodríguez et al. (2009) menciona que el género *Pinus* constituyen con la mayor parte de la biomasa, además acumulan más del 64% de la biomasa total en la investigación que realizaron teniendo en cuenta que son cuatro las especies presentes (p. 322).

La composición florística, la densidad de la plantación, la edad son variables que determinan la capacidad de los ecosistemas para acumular el carbono en forma de biomasa aérea. Según Schulze et al. (2000, como se cita en Rodríguez et al., 2009) (p. 319).

Tabla 1.1. Tipo de vegetación y el carbono acumulado

Vegetación	Biomasa (t. ha⁻¹ de C)	Suelo (t. ha⁻¹ de C)	Productos (t. ha⁻¹ de C)	Total (t. ha⁻¹ de C)	Fuente
Bosque de pino	120	156	n.d	276	a
Bosque de pino-encino	135	151	n.d	286	a
Bosque de templado primario	123	134	n.d	257	b
Bosque templado secundario	90	120	n.d	210	b
<i>Picea abies</i>	225	121	c.b	346	c
<i>Pinus radiata</i> en plantación	136	81	c.b	217	c
<i>Pinus caribea</i>	145	91	c.b	236	c
<i>Pinus pseudostrabus</i>	74	94	49	217	d

Fuente:

- a : (Jong et al. 1997)
- b : (Nilsson y Schopfhauser, 1995)
- c : (Nabuurs y Morhen, 1993)
- d : (Ordoñez et al. 2001)
- n.d : No disponible
- c.b : Contenido en la biomasa (p. 40).

Según Ordoñez et al. (2001) menciona la relación entre la biomasa y el carbono por hectárea según la categoría diamétrica en la siguiente tabla (p. 35).

Tabla 1.2. Categorías diamétricas, relación de biomasa y carbono

Categoría diamétrica (cm)	Individuos	Biomasa estimada (Tn)	Carbono contenido (Tn)	Biomasa estimada (t. ha⁻¹)	Carbono contenido estimado (t. ha⁻¹)
5	1	0.013	0.007	0.003	0.002
10	12	0.318	0.166	0.079	0.041
15	17	1.184	0.617	0.296	0.154
20	26	3.943	2.054	0.986	0.514
25	67	16.945	8.829	4.236	2.207
30	124	47.988	25.002	11.997	6.250
35	132	74.144	38.629	18.536	9.657
40	119	90.291	47.042	22.573	11.760
45	80	79.928	41.642	19.982	10.411
50	38	48.364	25.198	12.091	6.299
55	12	19.105	9.954	4.776	2.488
60	3	5.685	2.962	1.421	0.740
65	2	4.606	2.400	1.152	0.600
Total	633	392.514	204.502	98.128	51.123

Modelos propuestos para evaluar biomasa – carbono

Según Snowdon et al. (2001 como se cita en Rodríguez et al., 2009) la evaluación con metodología pertinente en el bosque es de vital importancia porque permite determinar los montos de carbono por unidad de superficie y el tipo de bosques (p. 43).

Gutiérrez-Vásquez y Flores-Montaño (2018) utilizaron la fórmula alométrica para calcular la biomasa en árboles de *Pinus oocarpa*, con buen ajuste para estimar la biomasa total expresado en kilogramos (97% de la variabilidad de los datos) (p. 23):

$$\text{Ln}(Y) = -2.84335 + (2.60890 * \text{Ln } x \text{ dn}) \dots \text{Ec. (6)}$$

Dónde:

Ln: logaritmo neperiano

dn: diámetro normal de la especie

Asimismo, mencionan que las variables para estimar los valores de biomasa de *Pinus oocarpa* son confiables para usarse en condiciones similares y para la misma especie.

Para calcular la biomasa de las ramas los autores utilizaron la ecuación siete y para calcular la biomasa de follaje por árbol se utilizó la ecuación ocho.

$$\text{Log (Br)} = -1.5462 + 1.6364 * \text{Log (dn)} + 0.9706 * \text{Log (Ø copa)} \dots \text{Ec. (7)}$$

$$\text{Log (Bfo)} = -0.7260 + 0.9231 * \text{Log (dn)} + 0.8676 * \text{Log (Ø copa)} \dots \text{Ec. (8)}$$

Pues la biomasa total es la suma de: biomasa en el fuste, ramas y follaje.

$$\text{Bt} = \text{Bft} + \text{Br} + \text{B} \dots \text{Ec. (9)}$$

Dónde:

Log (Br) = Logaritmo base 10 de la biomasa de ramas por árbol.

Log (Bfo) = Logaritmo base 10 de la biomasa de follaje por árbol.

Log (dap) = Logaritmo base 10 del diámetro normal.

Log (dcopa) = Logaritmo base 10 del diámetro de copa.

Bt = Biomasa total.

Bft = Biomasa del fuste total.

Br = Biomasa ramas.

Bf = Biomasa del follaje.

Tabla 1.3. Modelos probados para estimar la biomasa total en *Pinus oocarpa* en el estado de Chiapas- México

Nº	Modelos
1	$Y = \beta_0 + \beta_1 * dn + \beta_2 * dn^2$
2	$LnY = \beta_0 + \beta_1 * dn$
3	$LnY = \beta_0 + \beta_1 * Lndn$
4	$Y^{0.5} = \beta_0 + \beta_1 * dn$
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 * dn^2 * h$
6	$LnY = \beta_0 + \beta_1 * dn^2 * h$
7	$Y^{0.5} = \beta_0 + \beta_1 * dn^2 * h$
8	$LnY = \beta_0 + \beta_1 * Lndn + \beta_2 * Lnh$
9	$Y^{0.5} = \beta_0 + \beta_1 * dn + \beta_2 * h$
10	$Y^{0.5} = \beta_0 + \beta_1 * dn^2 + \beta_2 * h + \beta_3 * dn^2 * h$

Dónde:

Y= Biomasa en toneladas (t)

dn = Diámetro normal en centímetros (cm)

h= Altura total del árbol en metros (m)

Ln= Logaritmo natural

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ y β_3 = Parámetros de la regresión

(Gutiérrez-Vásquez & Flores-Montaño, 2018).

Teniendo como referencia la metodología en la determinación de carbono con fórmulas alométricas, referenciamos el estudio realizado por Baltazar (2011) sobre el carbono aéreo almacenado en plantación de bolaina de un año de edad, estudio realizado en la selva del Perú (Madre de Dios), los objetivos planteados fueron de estimar la biomasa vegetal aérea y calcular el carbono aéreo que acumula (p. 40).

Alberto y Eelvis (2008); Alberto y Elvir (2005) para calcular la biomasa aérea utilizaron la siguiente formula alométrica, mencionan que es la de mejor ajuste propuesto por (p. 70):

$$(LnB = a + bLnD2H).....Ec. (10)$$

Alvarado y Segura (2013) realizaron estimaciones de carbono en sistemas agroforestales con café teniendo en claro que el objetivo fue de evaluar la capacidad que tiene estos sistemas en almacenar el carbono orgánico de los suelos, los tres sistemas agroforestales evaluados fueron: a) monocultivo, b) en sistemas agroforestales (SAF)

con nogal y c) sistemas agroforestales con plátano. En el estudio señalan que seleccionaron cinco repeticiones por cada sistema agroforestal, y el diseño que utilizaron para analizar fue diseño experimental completamente al azar (p. 21).

Fachin (2015) para que determine el carbono acumulado en la biomasa aérea de cuatro sistemas agroforestales midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y también la altura total de cada individuo (árboles) encontrados (p. 30).

Menciona que estas variables fueron fundamentales ya que con éstas se pueden utilizar en las fórmulas alométricas establecidas para cada sistema. También menciona que, para el cacao, café y pijuayo midieron el diámetro 30 centímetros (cm) desde el suelo Andrade (2003). Para determinar el contenido de carbono en la hojarasca utilizaron áreas con una dimensión de 0.25 metros cuadrados (m^2) (50x50 centímetros (cm)) distribuidas al azar en cada parcela, acumulado toda la muestra fresca se extrajo una sub muestra de 200 gramos para posteriormente secarlas en estufa a 60 grados Celsius ($^{\circ}C$) por el lapso de tres días. Logrando así determinar la cantidad de carbono en relación a la materia húmeda y seca.

Odar (2018) usó el método directo a través de la fragmentación con peso seco y peso húmedo de cada uno de sus componentes para determinar el almacenamiento de carbono aéreo y porcentaje de carbono del suelo en policultivos de café con diferentes árboles de sombra. La fórmula propuesta después del estudio fue (p. 25):

$$B(kg) = 14.928 - 5.319(DAP) + 0.598(DAP)^2 - 0.019(DAP)^3 \dots\dots\dots Ec. (11)$$

Esta fórmula esta relaciona a la biomasa aérea seca con el diámetro de la planta, considerando un coeficiente de determinación de 0.947.

En la investigación sobre la determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea, en diferentes sistemas agroforestales (diferentes usos de la tierra), estudio realizado en Perú (San Martín), en el estudio realizaron cinco transectos distribuidos al azar, evaluaron la biomasa arbórea, para cuantificar la biomasa herbácea establecieron transectos también distribuidos al azar (Lapeyre & Arévalo, 2004). La metodología de evaluación que utilizaron fue desarrollada por el Centro Mundial de Agroforestería

(ICRAF) siguiendo los procedimientos del Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra, menciona Arévalo et al. (2003). Esta metodología es fundamentalmente utilizada para calcular la biomasa total haciendo uso de las ecuaciones alométricas (Woomer et al., 2000, como se cita en Díaz & et al., 2007, p. 35).

Según Andrade et al. (2014, como se cita en Odar, 2018) evaluaron la acumulación (fijación) de carbono en los sistemas agroforestales (sistemas de producción) de café, en el país de Colombia (Libano, Tolima), midieron los diámetros del tallo en cafetos y árboles y la altura del árbol en los cafetos, para ello establecieron parcelas de muestreo (p. 1).

En la investigación que realizaron Díaz et al. (2016) sobre la cuantificación del carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo, en cinco sistemas agroforestales (sistemas de uso de la tierra), estos sistemas fueron: a) Bosque primario, b) bosque secundario, c) pijuayo (*Bactris gasipaes*), d) cacao (*Theobroma cacao*) y e) café (*Coffea arabica*) en la región San Martín, Perú, donde instalaron tres transectos con dimensiones de 100 metros cuadrados (m^2) con una distancia específica de (4 metros (m) x 25 metros (m)), en cada sistema (p. 35).

Tabla 1.4. Modelos para la estimación de la biomasa

Modelo	Ecuación
1	$B = a + bD + c(D^2 + H)$
2	$B = a + bD + cD^2 + d(D^2H)$
3	$B = a + bD^2 + c(D^2H)$
4	$B = a + bD + cH$
5	$B = aDb + Hc$

Fuente: De la Torre et al. (2007)

Dónde:

B= biomasa,

D= diámetro normal (1,30 metros (m))

H= altura total (metros (m)),

a, b, c, d= parámetros estadísticos.

En la estimación de carbono almacenado en el bosque de pino encino (ubicado en la reserva de la biosfera el Cielo, Tamaulipas, México), midieron la altura total de los árboles, diámetro normal, altura al inicio de copa y con esas variables calcularon el volumen, estimaron la biomasa con la formula $B=\beta = a_0 * D^{a1}$ y el valor lo multiplicaron por el porcentaje de carbón obtenido con el equipo Solids TOC Analyzer (Rodríguez et al., 2009, p. 320).

1.2.3. Medición de carbono en el suelo

Según Rognitz (2009) la colecta de muestras para medición de densidad aparente se realiza de la siguiente forma:

- Marcación de las profundidades a ser muestreadas.
- Penetración de los cilindros.
- Preparación para extraer la muestra de suelo sin destruir el material.

La densidad aparente se realiza con la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{ms}{v.total} \dots \dots \dots Ec. (12)$$

Dónde:

Da : densidad aparente en gramos por centímetros cúbicos (g/cm³)

ms : masa seca en gramos

V. total : Volumen del cilindro en centímetros cúbicos (cm³) (p. 30)

1.3. MARCO CONCEPTUAL

1.3.1. Carbono en la vegetación

Ordóñez (1999) menciona que el carbono en la vegetación es una suma de contenido en la biomasa aérea más biomasa en el fuste más biomasa de las hojas más biomasa ramas más biomasa de las raíces (p. 40).

1.3.2. Captura de carbono

Según Panhwar (1996, como se cita en Fachin 2015) mencionó que la captura del carbono consiste en el almacenamiento de carbono en suelos, bosques y otros tipos de vegetación. Todas las plantas absorben bióxido de carbono y lo transforman en carbohidratos (p. 30).

Brown et al. (1993, como se cita por Fachin 2015) mencionó que los bosques son importantes acumuladores y/o consumidores del bióxido de carbono (especialmente en el proceso de la fotosíntesis) principalmente si la comparamos con otros sistemas vegetales, sin embargo, juegan un papel contrario cuando son destruidos por el fuego, mal manejo, plagas, cambio de uso del suelo, entre otras actividades negativas (p. 40).

1.3.3. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es el gas del efecto invernadero que contribuye en gran porcentaje al calentamiento global, esta contribución está calculada de 50 a 75%, entre todos los gases que intervienen en este calentamiento. Este gas en la atmósfera ha aumentado de 280 partes por millón en el año 1750, mientras en el 2004 aumento a 379 partes por millón, según estudios sigue en incremento a una tasa anual mayor a 1 parte por millón (ppm) (Castro et al., 2002 citado por Díaz et al., 2007, p. 64).

1.3.4. Gases del efecto invernadero

Fachin (2015) mencionó que los gases del efecto invernadero están conformados por los gases de la atmósfera (naturales) y los que son producidos por el hombre (antropogénicos) que absorben y remiten radiación infrarroja. Menciona los gases: Dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) (p. 20).

1.3.5. Fijación de carbono

Es desconocida la capacidad de fijación de carbono a través de procesos bióticos por los ecosistemas forestales, los procedimientos aun no son estandarizados o definidos para estimar, existe mucha variación y depende de varios factores la composición florística, la edad del ecosistemas o bosques, la densidad de la población vegetal (Schulze et al., 2000, citado por Díaz et al., 2007, p. 20).

Los bosques y los sistemas agroforestales acumulan carbono en: la biomasa sobre el suelo (biomasa aérea), biomasa de hojarasca y carbono orgánico en el suelo; estos componentes varían en el tiempo, sin embargo, es necesario enfatizar en los que almacenan carbono en mayor cantidad, como la biomasa leñosa (Snowdon et al., 2001, citado por Connolly y Corea, 2007, p. 9).

1.3.6. Ciclo del carbono

En el ciclo del carbono existen transformaciones químicas (sistemas de transformación) de los compuestos que contienen carbono entre la atmósfera, hidrosfera y litosfera. Es un ciclo de gran importancia de ingresos y egresos para que regulen el clima en la tierra, y en él se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida (Iroz et al. 2018, p. 4)

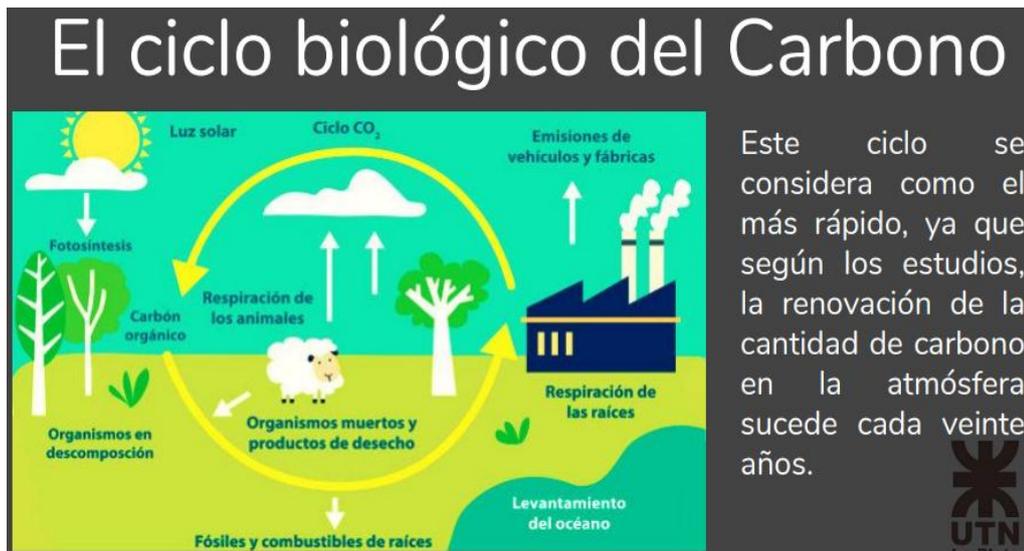


Figura 1.1. Ciclo biológico del carbono

Fuente: Iroz et al. 2018

1.3.7. Biomasa

Según Zamora et al. (2000, citado por Connolly y Corea, 2007) mencionan que la biomasa es toda la materia orgánica seca (en vegetales) o el contenido almacenado de energía de los organismos vivos (p. 4)

Por otro lado, mencionan también que la biomasa es un conjunto de los materiales orgánicos que se generan del proceso de la fotosíntesis, ahí se distingue dos grandes tipos: biomasa vegetal y biomasa animal (Leith & Whitacker, 1975, citado por Fachin, 2015, p. 35).

1.3.8. Biomasa aérea

La biomasa aérea conforma o es representada por la parte superficial de los ecosistemas (árboles maderables, frutales) y del sistema productivo (Medina 2006, citado por Connolly & Corea, 2007, p. 4).

1.3.9. Hojarasca

Es todo aquello que se encuentra en diferentes procesos de descomposición productivo (Medina, 2006, citado por Connolly & Corea 2007, p. 4).

1.3.10. DAP (diámetro a la altura del pecho)

Diámetro del árbol medido a una altura de 1.3 m del suelo, también se le denomina diámetro normal, de acuerdo al (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego & Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre [MINAGRI & DGFFS], 2013, p. 10).

1.3.11. Altura total

Es la distancia vertical entre el nivel del suelo y la yema terminal más alta del árbol (MINAGRI & DGFFS, 2013, p. 10).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. UBICACIÓN

2.1.1. Ubicación y localización

El estudio se desarrolló en la cuenca del río Apurímac VRAE, parcela ubicada en el anexo Libertad, distrito de Pichari, extremo oeste de la provincia de La Convención, departamento de Cusco, con el sistema de coordenadas universal transversal de mercator (UTM) de anexo Libertad, con coordenadas de: Este (E) 628938 – Norte (N) 8618533, mediante el sistema geodésico de coordenada geográfica.

(WGS_1984_UTM_Zone_18s)

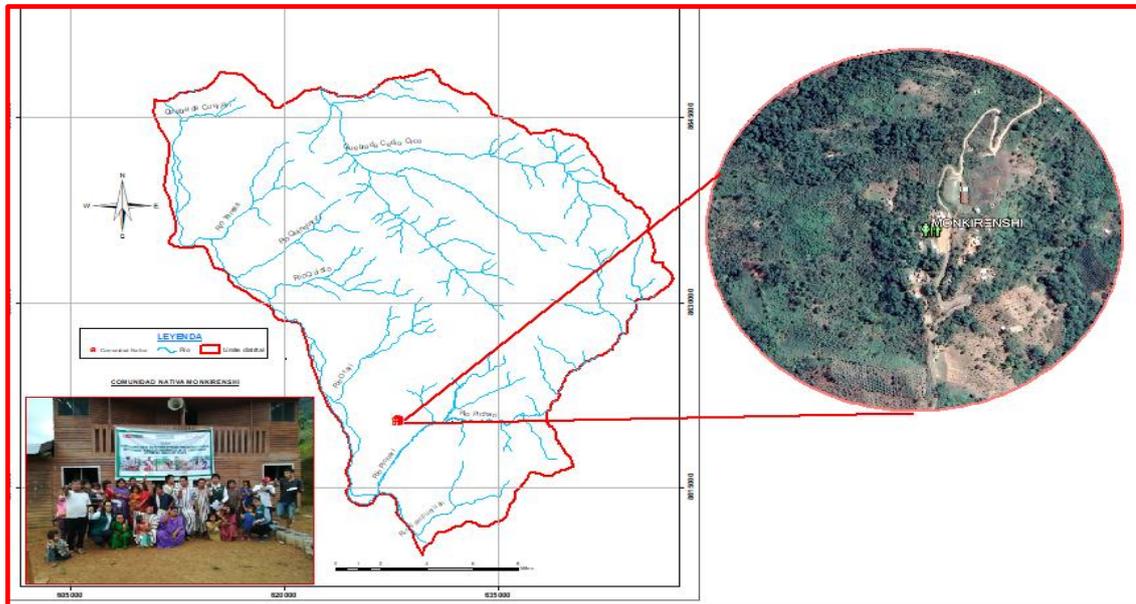


Figura 2.1. Ubicación del anexo Libertad, distrito de Pichari

2.1.2. Características agroclimáticas del distrito de Pichari

a) Temperatura

Tabla 2.1. Temperatura del distrito de Pichari, año 2016

T°	E.	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T° anual
Mínima	20	20	19	19	17	16	16	17	17	19	19	19	18
Máxima	31	31	31	32	31	30	30	31	30	32	31	31	31
Media	25	25	25	25	24	23	23	24	24	25	25	25	25

Fuente: Mauricio (2018)

La temperatura del distrito de Pichari , provincia de La Convención, región Cusco fue elaborado por Mauricio (2018), en la tabla que presenta menciona la estacion de Pichari, ubicado en la longitud de 12 grados (°) 31 minutos (') 19.9 segundos (") oeste (W), latitud de 73 grados (°) 50 minutos (') 22.28 segundos (") sur (S) a una altitud de 540 metros sobre el nivel del mar (msnm).

b) Precipitación – evapotranspiración

Microzonificación ecológica y económica – ordenamiento territorial (Micro ZEE – OT Pichari, 2017, como se cita en Mauricio, 2018) menciona que la precipitación media anual en el distrito de Pichari es de 2315.17 milímetros (mm), el mínimo es 1920.55 milímetros (mm) y el máximo 3008.90 milímetros (mm).

Tabla 2.2. Precipitación del distrito de Pichari, año 2007 - 2016

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
2007	189.4	611.7	494	600.8	110.4	53.3	95.5	118.4	176.8	227.9	139	191.7	3008.9
2008	250.9	255.5	311.3	321.2	114.3	59.7	145.7	143.8	155.3	223.6	116.4	210.3	2307.9
2009	203.8	161.1	265.3	293.7	144.3	138.4	92.8	111.7	127.4	223.7	135.5	213.9	2111.5
2010	205.7	111	216.4	258.5	116.6	87.2	104.2	91.1	116.3	227.2	158	228.3	1920.6
2011	234.2	223.3	291.7	306.1	136.5	100.4	104.6	136.8	141	203.2	137.1	222.3	2237.1
2012	185	185	245.4	455	111	101.1	61	145	182.5	216.3	162.5	268.1	2318
2013	304.5	166.6	250.6	311.4	111.2	112.1	114.5	81.5	171.6	244.4	174.4	315.7	2358.5
2014	177.9	161.2	228.5	295.3	146.8	82.6	105.5	126	136.4	226.2	182.2	282.2	2150.8
2015	240.5	187.8	256.9	272.9	153.9	72.2	170.5	117.2	159.2	241.7	163.7	183.1	2219.5
2016	305.9	381.2	354.6	432.9	105.7	125.6	40.5	139	72.8	216.8	106.8	237.5	2519.2
media	229.8	244.4	291.5	354.8	125.1	93.26	103.5	121.1	143.9	225.1	147.6	235.3	2315.17
Máx.	305.9	611.7	494	600.8	153.9	138.4	170.5	145	182.5	244.4	182.2	315.7	3008.9
Mín.	177.9	111	216.4	258.5	105.7	53.32	40.5	81.51	72.8	203.2	106.8	183.1	1920.55
desv.	46.59	148.6	82.09	108.2	18.17	27.63	37.04	21.74	33.1	11.97	24.66	41.75	291.41

Fuente: Mauricio (2018)

Tabla 2.3. Evapotranspiración potencial, año 2016 distrito de Pichari

Parámetro de cálculo	Und.	M E S E S											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura media mensual	°C	25.5	25.7	25.9	26.1	25.6	24.8	24.8	25.3	25.4	26.4	26	25.8
TF - Temperatura media mensual	°F	77.9	78.2	78.6	79	78	76.6	76.6	77.6	77.8	79.5	78.8	78.4
RMM - Radiación E Terrestre, equivalente de evaporación	mm	515	457	477	418	384	345	369	407	439	490	493	512
S - Porcentaje de Horas de Sol	%	36.9	33.9	36.4	52.3	68.9	68.4	70.1	65.9	54.7	52.4	52.4	39.3
RSM - Radiación Equivalente Mensual	mm	235	200	216	227	239	214	232	248	244	266	268	241
CE - Factor de Corrección por Altitud		1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
ETo - evapotranspiración potencial	mm	140	120	130	137	143	126	136	147	145	162	162	145

Fuente: Mauricio (2018)

c) Suelos en el distrito de Pichari

Según el Plan de Desarrollo Concertado del Distrito de Pichari – 2016 al 2021 , el 59.1% de los suelos son de protección, el 36.4% son para forestación y el 2.8% es para cultivos permanentes (Basutista, 2015).

Según la Meso Zonificación Ecológica y Económica del Valle del Río Apurímac (ZEE-VRA) – 2010 y el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) la tierra de Pichari esta clasificada según la tabla 2.4 (Bautista, 2015).

Tabla 2.4. Clasificación de tierra según su grupo

Gran grupo	Símbolo	Superficie	
		Ha	%
Tierras Aptas para Cultivos en Limpio	A	1,087.44	0.8
Tierras Aptas para Cultivos Permanentes	C	3,806.04	2.8
Tierras Aptas para Forestales	F	49,478.52	36.4
Tierras para Protección	X	80,334.64	59.1
Cuerpos de Agua	CA	1,223.37	0.9
Total		135,930.01	100

2.2. MATERIALES Y EQUIPOS

2.2.1. Materiales de campo

- Forcípula
- Hipsómetro
- Cuaderno de apuntes
- Lapiceros
- Cámara digital
- Rafia color rojo
- Estacas
- Machete
- Limador
- Tijera de podar

2.2.2. Materiales de escritorio

- Calculadora
- Laptop
- Lapicero

2.3. PROBLEMA

2.3.1. Problema general

¿Cuánto es la cantidad de carbono almacenado en la plantación de *Pinus tecunumanii* ubicado en el anexo Libertad, distrito de Pichari, 2020?

2.3.2. Problemas específicos

1. ¿Cuánto es la biomasa y el carbono almacenado en la parte aérea de las plantaciones de *Pinus tecunumanii*?
2. ¿Cuánto es la biomasa y el carbono almacenado en el componente herbáceo de las plantaciones de *Pinus tecunumanii* ?
3. ¿Cuánto es el carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de *Pinus tecunumanii*?

2.4. PROCEDIMIENTO

2.4.1. Ubicación de la plantación con *Pinus tecunumanii*

La plantación forestal está ubicada en el distrito de Pichari, anexo Libertad, entre las coordenadas: este (E) 628938 – norte (N) 8618533.



Figura 2.2. Ubicación de la plantación de *Pinus tecunumanii* – anexo Libertad- Pichari

2.4.2. Delimitación del área de estudio

En el área más representativa de una extensión de una hectárea de la plantación de *pinus tecunumanii*, se distribuyó aleatoriamente dos parcelas de muestreo con dimensiones de 10 m x20 m. Para la delimitación de dichas parcelas, se utilizó rafias de color rojo, los mismos que fueron atados a las estacas empotradas en los cuatro vértices (figura 2.3).

Dentro de las parcelas se realizó el inventario forestal, se procedió a medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura de cada árbol (variables cuantitativas de los árboles).



Figura 2.3. Delimitación de parcelas de muestreo utilizando rafia color rojo

2.4.3. Inventario forestal

Al interior de cada parcela delimitada, se realizó el inventario de todos los individuos, y simultáneamente se logró medir el DAP (diámetro a la altura del pecho), utilizando la cinta métrica, y la altura con la ayuda de una regla graduada (figura 2.4).



Figura 2.4. Diámetro del pino a la altura del pecho, utilizando cinta métrica

2.4.4. Recolección del componente herbáceo

Al interior de cada parcela de muestreo, haciendo un recorrido en forma de zigzag, cada cinco metros, en un área de 0.5 m x 0.5 m, utilizando el cuadrado construido a base de madera (figura 2.5), se recolectaron todos los especímenes herbáceas, para determinar el peso húmedo y posteriormente el peso seco.



Figura 2.5. Área con una dimensión de 0.5x0.5 metros delimitado para recolección de hierba

2.4.5. Obtención de la muestra de suelo

Al interior de cada parcela de muestreo, haciendo un recorrido en forma de zig zag (figura 2.6), utilizando una pala recta, se obtuvo una sección de muestra de suelo de 0.20 m x 0.20 m x 0.20 m (figura 2.7). A partir de todas las muestras recolectadas, se obtuvo una muestra representativa (figura 2.8), las mismas que fueron llevados al laboratorio para el análisis correspondiente.

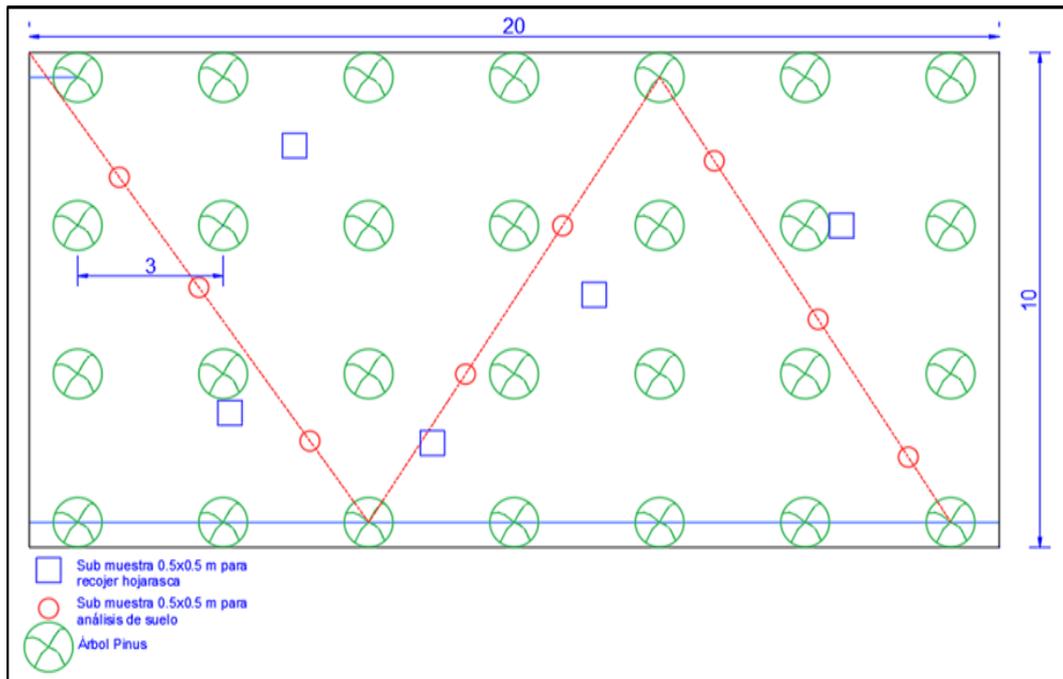


Figura 2.6. Distribución de las sub muestras para obtener biomasa herbácea y muestras de suelo

- Con un ángulo de 30 grados ($^{\circ}$) se introdujo la pala recta a una medida de 0.2 metros de profundidad aproximadamente, según la (figura 2.7).



Figura 2.7. Procedimiento para recolección muestra de suelo

- Obtenido la muestra de suelo, se dividió en tres partes, quedándonos solo con la parte central según la Figura 2.8, este procedimiento es el mismo para las demás

muestras, al final se juntan las rebanadas de suelo y se extrae un kilogramo aproximadamente, este peso se llevó a laboratorio para obtener el análisis de carbono.



Figura 2.8. Recolección de suelo para análisis en laboratorio

2.4.6. Determinación de la biomasa aérea

Para determinar la biomasa aérea, se utilizó la fórmula alométrica propuesta por (Díaz et al. 2007, p. 30).

$$B = 0.0357 \times DN^{2.6916} \dots\dots\dots\text{Ec. (13)}$$

Donde

- B : es la biomasa en kilogramos (kg)
- DN : es el diámetro normal en centímetros (cm)

2.4.7. Determinación del carbono en la biomasa aérea

Para determinar el carbono almacenado en la parte aérea, se utilizó la fórmula alométrica propuesta por (Díaz et al. 2007, p. 45):

$$CC = 0.021 \times DN^{2.6451} \dots\dots\dots\text{Ec. (14)}$$

Donde

- CC : es el contenido de carbono en kilogramos
- DN : es el diámetro normal en centímetros.

2.4.8. Determinación de la biomasa herbácea



Figura 2.9. Determinación del peso fresco y seco de la biomasa en hierbas

Para determinar la biomasa húmeda de las muestras del componente herbáceo, se utilizó la balanza electrónica de precisión, seguidamente las mismas muestras previamente picadas fueron colocados en una estufa a una temperatura 100 grados celcius (°C), por un espacio de 72 horas. Con los resultados obtenidos, se calcula la biomasa, utilizando la fórmula propuesta por (Tocarpo, 2018, p. 59):

$$\frac{BA}{H} \left(\frac{t}{ha} \right) = \left(\left(\frac{PSM}{PFM} \right) * PFT \right) * 0.01 \dots\dots\dots Ec. (15)$$

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

2.4.9. Determinación del carbono en herbáceas

Para determinar el carbono almacenado en la parte aérea, se utilizó la fórmula alométrica propuesta por (Ramírez, 2013, p. 62):

$$CBV \left(\frac{TM}{ha} \right) = BVT * 0.45 \dots\dots\dots Ec. (16)$$

Dónde:

CBV : Carbono en la biomasa vegetal

BVT : Biomasa total

2.4.10. Determinación del carbono en el suelo

El contenido de carbono de suelo fue determinado en el laboratorio de Multiservicios Agrolab (ver anexo 7).

Para determinar el carbón en el suelo se procedió según (Rugnitz, 2009, p. 34), considerando que la muestra de suelo se realizó a profundidad de hasta los 15 centímetros (cm) y el cilindro utilizado tenía Diámetro: 7 centímetros (cm) y Altura: 10.3 centímetros (cm).

La densidad aparente se calculó con la fórmula (ver anexo cálculos de carbono en el suelo):

$$da = \frac{Psn}{VC} \dots\dots\dots Ec. (17)$$

Dónde:

DA= Densidad aparente (gramos/centímetros cúbicos)

PSN = Peso seco neto del suelo (gramos)

VC = Volumen cilindro (centímetros cúbicos)

2.4.11. Cálculo del carbono en el suelo

$$CS = Vol.s * Cal \dots\dots\dots Ec. (18)$$

Dónde:

CS = Carbono en el suelo

Vol.s = Volumen de suelo

Cal = Carbono dado por el laboratorio



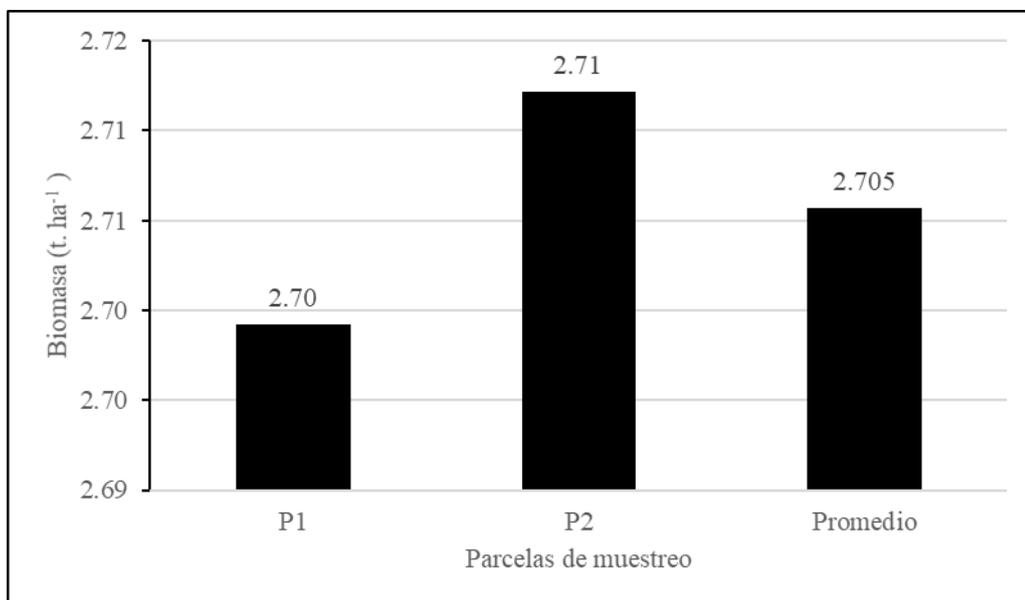
Figura 2.10. Recolección de suelo para determinar la densidad aparente

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Biomasa y carbono aéreo que almacena la plantación de *Pinus tecunumanii*

3.1.1. Biomasa aérea



P1: parcela de muestro número 1; P2: parcela de muestro número 2.

Figura 3.1. Biomasa aérea acumulada (toneladas por hectárea) en plantación de *Pinus tecunumanii*

Según la figura 3.1, la plantación de pino *Pinus tecunumanii* de Pichari, acumula un promedio de 2.705 toneladas biomasa por hectárea de (t ha⁻¹).

Con la finalidad de determinar la diferencia entre las dos parcelas de muestreo, se efectuó el ANOVA (Tabla 3.1), demostrando que no existe diferencia estadística (Sig. > 0.05) entre las parcelas evaluadas. Cuyo resultado de la investigación demuestra que, los valores dasométricos (DAP y altura) de los árboles del bosque son homogéneas en toda la plantación. Al respecto Ordoñez et al. (2001), menciona que la cantidad de

biomasa acumulada en los árboles tiene relación con la categoría diamétrica, tal es así que los árboles con diámetros de 10 cm logran acumular 0.079 toneladas de biomasa por hectárea ($t\ ha^{-1}$). Asimismo, D. & J. (2008) determinaron la biomasa aérea en *Pinus oocarpa*, obteniendo 25,140.20 kilogramos de biomasa por hectárea ($kg\cdot ha^{-1}$), que equivale a $25.14\ t\ ha^{-1}$. Tomando en consideración dichos resultados, comparativamente la cantidad de biomasa acumulada en las plantaciones de *Pinus tecunumanii*, aproximadamente de 5 años de edad, ha sido relativamente superior al del primero y inferior al del segundo, con $2.705\ t\ ha^{-1}$.

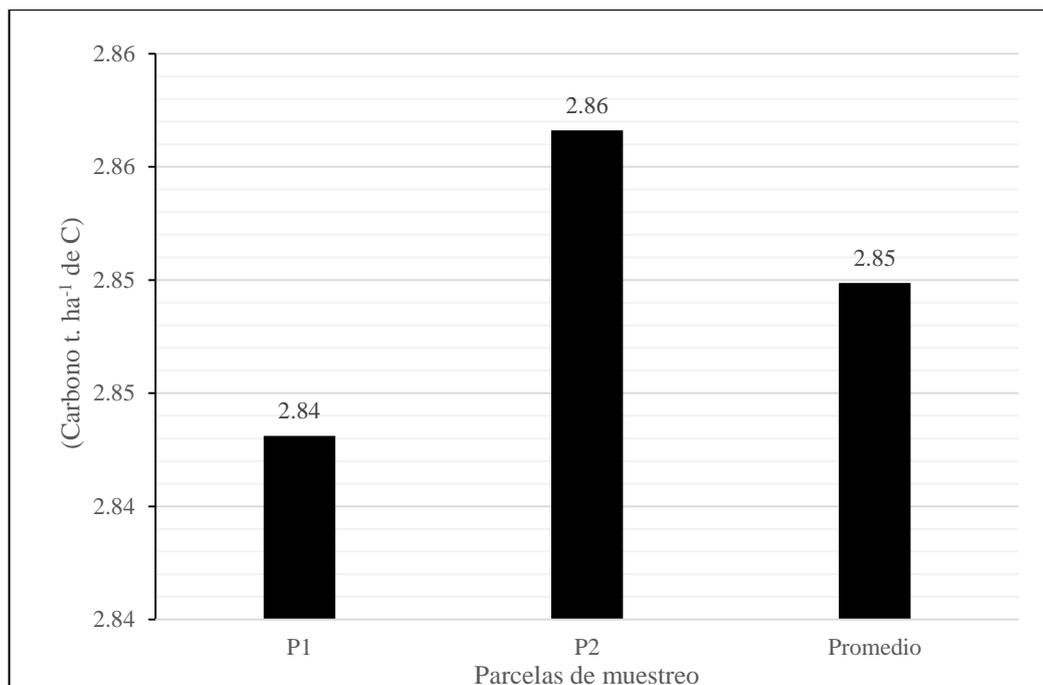
Tabla 3.1. Análisis de varianza de la cantidad de biomasa entre las parcelas de muestreo

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Sig.
Entre grupos	1	0,119	0,119	0,001	0,971
Dentro de grupos	54	4709,603	87,215		
Total	55	4709,722			

3.1.2. Carbono aéreo

La figura 3.2, demuestra que la plantación de pino *Pinus tecunumanii* de Pichari, logró capturar un promedio de 2.85 toneladas de carbono por hectárea de ($tC\ ha^{-1}$).

En trabajos de investigación similar, Ordoñez et al. (2001) menciona respecto a la cantidad de carbono capturado en los árboles con diámetros de 10 cm logran acumular 0.014 toneladas de carbono por hectárea ($t\ ha^{-1}$). Cargua et al. (2014), en una plantación de *Pinus radiata* obtiene 14.69 megagramos de carbono (mgc/ha); asimismo, De Jong et al. (1997, como se cita en Ordoñez et al., 2001), en un bosque de pino, comprueban la acumulación de 120 toneladas de carbono por hectárea ($t\ ha^{-1}$). Mientras, Nabuurs y Morhen (1993), en una plantación de *Pinus caribaea*, determinan la acumulación de 136 toneladas de carbono por hectárea ($t\ ha^{-1}$). Tomando en consideración dichos resultados, comparativamente la cantidad de biomasa acumulada en las plantaciones de *Pinus tecunumanii*, aproximadamente de 5 años de edad, ha sido relativamente inferior con $2.705\ t\ ha^{-1}$.



P1: parcela de muestro número 1; P2: parcela de muestro número 2.

Figura 3.2. Carbono aéreo acumulado (toneladas por hectárea) en plantación de *Pinus tecunumanii*

3.2. Biomasa y carbono en el estrato herbáceo

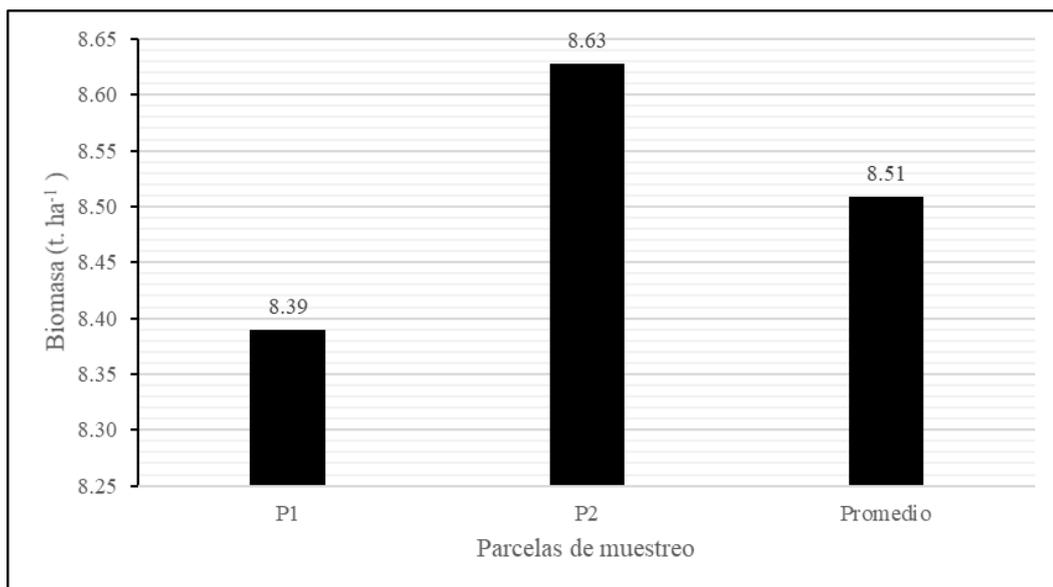
3.2.1. Biomasa acumulada

Según la figura 3.3, el estrato sotobosque compuesto por acículas de pino, helechos y herbáceas de la plantación de pino *Pinus tecunumanii* de Pichari, acumula un promedio de 8.51 toneladas biomasa por hectárea de ($t\ ha^{-1}$).

3.2.2. Carbono acumulado

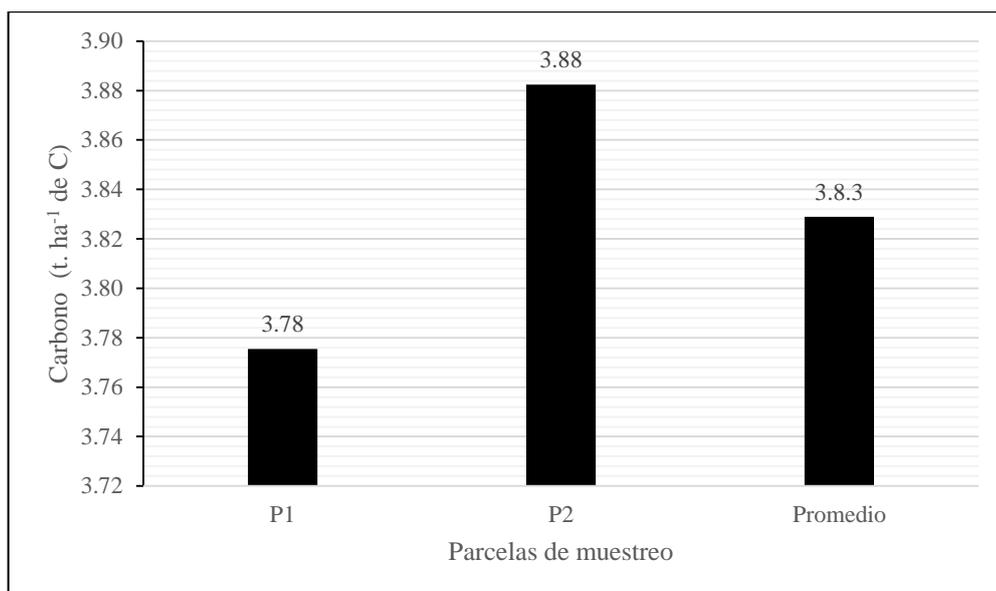
La figura 3.4, demuestra que, el estrato sotobosque compuesto por acículas de pino, helechos y herbáceas de la plantación de pino *Pinus tecunumanii* de Pichari, acumula un promedio de 8.51 toneladas biomasa por hectárea de ($tC\ ha^{-1}$).

Al respecto, en un estudio similar realizado por Cargua et al. (2014), reporta el promedio de carbono encontrado en un sostobosque de 0.68 mega gramos de carbono por hectárea ($\mu g\ ha^{-1}$)



P1: parcela de muestro número 1; P2: parcela de muestro número 2.

Figura 3.3. Biomasa de -hierbas, acumulada en plantación de *Pinus tecunumanii*



P1: parcela de muestro número 1; P2: parcela de muestro número 2.

Figura 3.4. Carbono acumulado en la biomasa de hierbas de la plantación de *Pinus tecunumanii*

3.3. Carbono en el suelo de la plantación con *Pinus tecunumanii*

Tabla 3.2. Carbono por hectárea en plantaciones de *Pinus tecunumanii*

Área	Carbono	Carbono
Muestra	4.35 %	4.35 gr/100 gramos de suelo
Hectárea	65.25 t. ha ⁻¹ de C	

Realizado el análisis respectivo a nivel del laboratorio, la tabla 3.2 demuestra que, el suelo correspondiente a la plantación de pino *Pinus tecunumanii* de Pichari, logró acumular 65.25 toneladas de carbono por hectárea ($tC\ ha^{-1}$).

En trabajo de investigación similar, Cargua et al. (2014) reporta 268.83 megagramos de carbono almacenado por hectárea ($\mu gC\ ha^{-1}$), mientras que, De Jong et al. (1997, como se cita en Ordoñez et al., 2001) señala que, el suelo de bosque de pino acumulan 156 toneladas de carbono por hectárea ($tC\ ha^{-1}$), y en bosques de *Pinus caribaea* acumula 91 toneladas de carbono por hectárea ($tC\ ha^{-1}$).

Teniendo en cuenta dichos resultados, comparativamente la cantidad de carbono acumulada en el suelo de las plantaciones de *Pinus tecunumanii* de Pichari, aproximadamente de 5 años de edad, es inferior con $65.25\ tC\ ha^{-1}$.

3.4. Carbono total en la plantación

Según la figura 3.5, la plantación de *Pinus tecunumanii*, ubicado en el anexo Libertad, del distrito de Pichari, con una densidad de 1,100 árboles por hectárea, a nivel de la sumatoria de los tres estratos, biomasa aérea de la plantación, estrato herbáceo del sotobosque y el suelo de la plantación, logran acumular 71.93 toneladas de carbono por hectárea ($tC\ ha^{-1}$).

Según Gutiérrez-Vásquez y Flores-Montaño (2018), revelan que, en trabajo de investigación desarrollado en tres rodales, se ha encontrado los siguientes resultados; siendo en el primer rodal con una densidad de 420 plantas por hectárea, el carbono capturado fue de 38.69 toneladas de carbono por hectárea ($tC\ ha^{-1}$), en el segundo rodal con una densidad de 63 árboles por hectárea, la acumulación de carbono fue de 20.32 toneladas de carbono por hectárea ($tC\ ha^{-1}$), y finalmente en el tercer rodal con una densidad de 375 plantas por hectárea, logra acumular 99.07 toneladas de carbono por hectárea ($tC\ ha^{-1}$). Asimismo, en otros trabajos similares, De la Torre et al. (2007), en plantaciones de *Pinus cooperi*, reporta el almacenamiento de 51.125 toneladas de carbono por hectárea ($tC\ ha^{-1}$); Rodríguez-Laguna et al. (2009), en un bosque de pino obtienen 110 toneladas de carbono por hectárea ($tC\ ha^{-1}$); y Cargua et al. (2014) en plantaciones de Pino insigne a nivel de la sierra, reporta 287.31 megagramos de carbono por hectárea ($\mu gC\ ha^{-1}$).

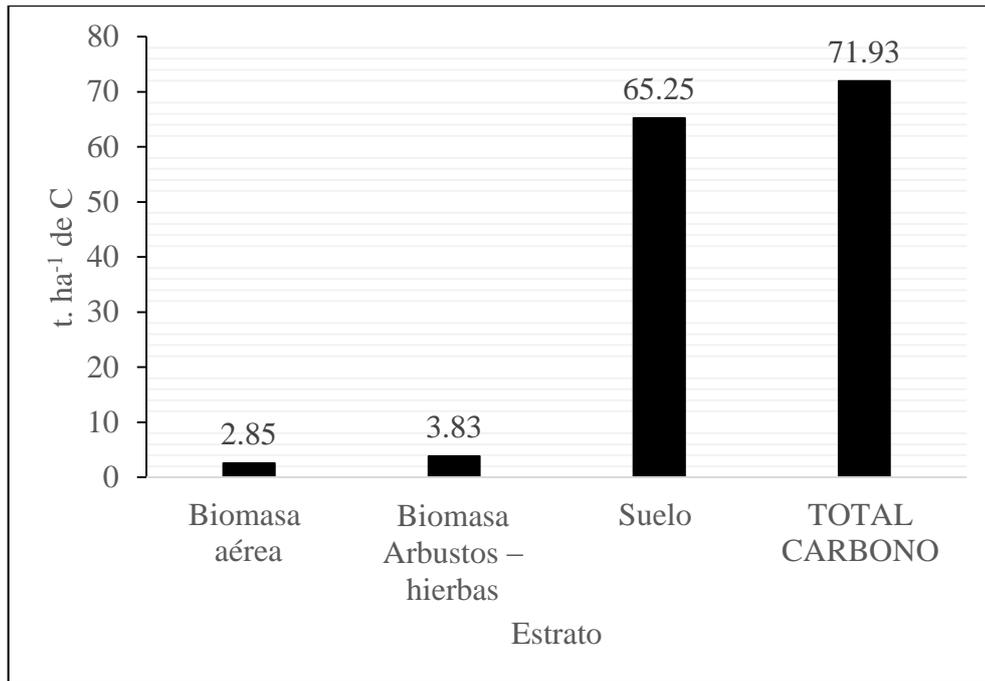


Figura 3.5. Carbono total en la plantación de *Pinus tecunumanii*

CONCLUSIONES

1. La plantación de *Pinus tecunumanii* ubicado en el anexo Libertad, distrito de Pichari, acumula 2.71 toneladas de biomasa por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$) y logra capturar 2.85 toneladas de carbono por hectárea ($tC \cdot ha^{-1}$).
2. La biomasa acumulada en el estrato herbáceo del sotobosque de *Pinus tecunumanii*, alcanza 8.51 toneladas por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$), y el carbono capturado alcanza 3.83 toneladas por hectárea ($tC \cdot ha^{-1}$).
3. El carbono acumulado por cada 100 gramos de suelo en la plantación de *Pinus tecunumanii*, es de 4.35 gramos, expresado en toneladas por hectárea, equivale a 65.25 toneladas de carbono almacenado por hectárea ($tC \cdot ha^{-1}$).

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la presente investigación:

- Forestar con plantaciones de pino, cedro, caoba, tornillo, eucalipto, bolaina, shaina y otras especies nativas del lugar, para realizar la captura de carbono almacenado.
- Reforestar con plantaciones de diferentes especies adaptables y que conforman en el VRAEM ya que existe un cumulo de carbono, por lo cual se debe determinar que existe diferentes niveles de confiabilidad mayor al 95%.
- Analizar diferentes suelos del VRAEM ya que existen diferentes especies forestales nativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre-Calderon, Oscar Alberto, & Jiménez-Pérez, Javier. (2011). Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1(1), 73-84.
- Alvarado, J., Andrade, H. J., & Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia forestal*, 16(1), 21-31.
- Baltazar, P. A. (2011). Carbono aéreo almacenado en una plantación de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Matius) de un año de edad, en el centro poblado de Nuevo Edén, Alto Madre de Dios. Madre de Dios-Perú. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Bautista, I. E. (2015). Efecto del sistema de producción y la aplicación de hidrogel en el crecimiento y desarrollo del *Eucalyptus urograndis* en campo definitivo, distrito de Pichari - Cusco, 2015. Cusco - Perú. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.
- Cargua, F. E., Rodríguez, M. V., Recalde, C. G., Vinuesa, Luis M. (2014). Cuantificación del contenido de carbono en una plantación de *Pino insigne* (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Informacion tecnológica* 25(3), 83-92.
- Chávez, Chirinos Gabriel. (2019). Etiología y control de la marchitez en pino (*Pinus tecunumanii*), mediante el uso de hongos benéficos del género *Trichoderma spp.* A nivel de vivero La Convención – Cusco. Cusco-Perú. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Connolly, W. R. Y., & Corea, S. C. A. (2007). Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. Managua- Nicaragua. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria.
- Díaz, F. R., Acosta, M. M., Carrillo, A. F., Buendía, R. E., Flores, A. E., & Etchevers, B. J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera & Bosque* 13(1), 25-34.
- D., M. Alberto., & J., A. Eelvis. (2008). *Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de Pinus oocarpa en bosques naturales en Honduras*. Instituto nacional de investigación y tecnología agraria y alimentaria (INIA), 67-78.

- De la Torre, P. D., Cabrera, D. G., Aguirre, C. Ó., Hernández, F. J., & Jiménez, P. J. (2007). Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* blanco, en pueblo Nuevo, Durango. *Madera y bosques*, 35-46.
- Gutiérrez-Vásquez, B.N., & Flores-Montaño, A. (2018). Captura de carbono y modelos alométricos para estimar biomasa en rodales naturales de *Pinus oocarpa* schl. et cham. en Chiapas, México. *Foresta Veracruzana*, 21-28.
- Iroz, N; Muñoz, D; Juambelz, L; Cruz, M. J; Sosa, H. J; Maceiras, R; Avila, E; De Lozano, M; Aguirre, F; Torres, M. (2018). UTM la plata. Obtenido de agosto: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/qcasis/com64cbiol.pdf>
- Malpica, R. C. (2020). Plantaciones forestales en el VRAEM [grabado]. Cusco, La Convención, Cusco.
- Mauricio, A. F. (2018). Comportamiento del *Eucalyptus urograndis* en suelos con cobertura de *Pteridium sp.* a 784 m.s.n.m, centro poblado de Omayá distrito de Pichari - Cusco, 2015. Cusco - Perú. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.
- Méndez, P. J. A . (2017). Producción de plantones de *Pinus tecunumanii* eguiluz y J.P. Perry & *Pinus caribaea* morelet, en 4 pisos altitudinales - Satipo. Satipo - Perú. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego & Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre [MINAGRI & DGFFS]. (2013). Fortalecimiento de capacidades en identificación anatómica y cubicación de madera de especies forestales tropicales del Perú. Lima-Perú.
- Odar, R. B. (2018). Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea spp.*) en el anexo de Vilaaya, distrito de Colcamar, provincia de Luya, Amazonas, 2017 - 2018. Chachapoyas - Perú. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Ordóñez, Díaz J. A. (1999). Mexico: Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT].
- Rámirez, G. J. (2013). Determinación del potencial de captura de carbono en cultivos de cacao, palma aceitera y una especie forestal (Bolaina) en el área de influencia de la empresa Palmas del Shanusi S.A ubicada en la localidad de Pampa Hermosa - Yurimaguas. Moyobamba, Perú. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Martín -Tarapoto.

- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Treviño-Garza, E. J., & Razo-Zárate, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de Pino - encino en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas México. *Ra Ximhai*, 317-327.
- Rugnitz, T. M. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima - Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)- Consorcio iniciativa Amazónica (AI)*.
- Tocarpo, A. (2018). Estimación del potencial de captura de carbono de las especies de flora predominante de la parte alta del bosque de la comunidad campesina de Tumpa – Provincia de Yungay, 2018. Huaraz, Ancash-Perú. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

ANEXOS

Anexo 1. Inventario forestal – parcela 1

Tabla A.1. Inventario forestal de la parcela 1

N°	DAP (cm)	Altura (m)	Coor. ESTE	Coor. NORTE	Altitud msnm
1	11	8	629917	8617846	1175
2	7	4	629916	8617846	1176
3	12	7	629913	8617839	1174
4	12	8	629909	8617846	1174
5	10	6	629906	8617841	1174
6	9	6	629903	8617840	1175
7	11	8	629902	8617840	1174
8	9	6	629910	8617827	1172
9	9	6	629907	8617829	1171
10	8	6	629896	8617838	1170
11	12	8	629896	8617838	1170
12	11	7	629895	8617836	1164
13	12	7	629900	8617838	1163
14	8	5	629881	8617803	1172
15	11	6	629889	8617805	1172
16	6	5	629890	8617865	1171
17	8	5	629886	8617867	1171
18	8	5	629908	8617865	1171
19	9	5	629905	8617869	1170
20	12	7	629870	8617852	1176
21	12	7	629871	8617852	1176
22	11	7	629871	8617852	1176
23	10	7	629871	8617852	1176
24	8	6	629856	8617871	115
25	10	8	629853	8617869	1116
26	10	7	629852	8617875	1119
27	12	8	629853	8617825	1120
28	14	8	629854	8617823	1121

Tabla A.2. Inventario forestal de la parcela 2

N°	DAP (cm)	Altura (m)	Coor. ESTE	Coor. NORTE	Altitud msmn
1	11	7	629855	8617828	1121
2	11	7	629854	8617830	1125
3	10	6	629850	8617826	1126
4	10	6	629862	8617843	1124
5	10	7	629859	8617839	1124
6	12	9	629859	8617839	1125
7	15	10	629867	8617834	1125
8	9	6	629907	8617845	1171
9	11	8	629899	8617856	1170
10	9	6	629923	8617868	1170
11	9	6	629893	8617832	1164
12	8	6	629891	8617824	1163
13	12	8	629902	8617839	1172
14	11	7	629878	8617830	1172
15	12	7	629895	8617833	1171
16	8	5	629900	8617832	1171
17	11	6	629889	8617853	1171
18	6	5	629899	8617834	1121
19	8	5	629880	8617840	1125
20	8	5	629895	8617835	1126
21	9	5	629876	8617833	1172
22	12	7	629894	8617836	1171
23	12	7	629875	8617853	1171
24	11	7	629873	8617849	1176
25	10	7	629896	8617840	1174
26	8	6	629900	8617831	1174
27	10	8	629885	8617834	1173
28	10	7	629870	8617840	1172

Anexo 2. Cálculos de biomasa aérea

$$\text{Fórmula aplicada: } B = 0.0357 \times DN^{2.6916}$$

Dónde:

B : biomasa (expresada en kilogramos)

DN : diámetro normal (expresado en centímetros)

Ejemplo:

➤ Árbol N° 1 de la Muestra 1

DN : 11 centímetros (cm)

$$B = 0.0357 \times 11^{2.6916} = 22,68 \text{ kilogramos/árbol}$$

Anexo 3. Biomasa aérea de la parcela 1

Tabla A.3. Biomasa por cada árbol y total de la muestra 1

MUESTRA 1 : Plantación de <i>Pinus tecunumanii</i>						
N°	DAP (cm)	Altura (m)	Coor. ESTE	Coor. NORTE	Altitud msmn	Biomasa (kg/árbol)
1	11	8	629917	8617846	1175	22,68
2	7	4	629916	8617846	1176	6,72
3	12	7	629913	8617839	1174	28,67
4	12	8	629909	8617846	1174	28,67
5	10	6	629906	8617841	1174	17,55
6	9	6	629903	8617840	1175	13,22
7	11	8	629902	8617840	1174	22,68
8	9	6	629910	8617827	1172	13,22
9	9	6	629907	8617829	1171	13,22
10	8	6	629896	8617838	1170	9,63
11	12	8	629896	8617838	1170	28,67
12	11	7	629895	8617836	1164	22,68
13	12	7	629900	8617838	1163	28,67
14	8	5	629881	8617803	1172	9,63
15	11	6	629889	8617805	1172	22,68
16	6	5	629890	8617865	1171	4,44
17	8	5	629886	8617867	1171	9,63
18	8	5	629908	8617865	1171	9,63
19	9	5	629905	8617869	1170	13,22
20	12	7	629870	8617852	1176	28,67
21	12	7	629871	8617852	1176	28,67
22	11	7	629871	8617852	1176	22,68
23	10	7	629871	8617852	1176	17,55
24	8	6	629856	8617871	115	9,63
25	10	8	629853	8617869	1116	17,55
26	10	7	629852	8617875	1119	17,55
27	12	8	629853	8617825	1120	28,67
28	14	8	629854	8617823	1121	43,41
TOTAL , Kg/ en 200 m2						539,84
biomasa (kg/ha)						2699,21
biomasa (t. ha⁻¹)						2,70

Tabla A.4. Biomasa herbácea por cada árbol y total de la parcela 2

MUESTRA 2 : PLANTACION DE <i>Pinus tecunumanii</i>						
N°	DAP (cm)	Altura (m)	Coor. ESTE	Coor. NORTE	Altitud msmn	Biomasa (kg/árbol)
1	11	7	629855	8617828	1121	22,68
2	11	7	629854	8617830	1125	22,68
3	10	6	629850	8617826	1126	17,55
4	10	6	629862	8617843	1124	17,55
5	10	7	629859	8617839	1124	17,55
6	12	9	629859	8617839	1125	28,67
7	15	10	629867	8617834	1125	52,27
8	9	6	629907	8617845	1171	13,22
9	11	8	629899	8617856	1170	22,68
10	9	6	629923	8617868	1170	13,22
11	9	6	629893	8617832	1164	13,22
12	8	6	629891	8617824	1163	9,63
13	12	8	629902	8617839	1172	28,67
14	11	7	629878	8617830	1172	22,68
15	12	7	629895	8617833	1171	28,67
16	8	5	629900	8617832	1171	9,63
17	11	6	629889	8617853	1171	22,68
18	6	5	629899	8617834	1121	4,44
19	8	5	629880	8617840	1125	9,63
20	8	5	629895	8617835	1126	9,63
21	9	5	629876	8617833	1172	13,22
22	12	7	629894	8617836	1171	28,67
23	12	7	629875	8617853	1171	28,67
24	11	7	629873	8617849	1176	22,68
25	10	7	629896	8617840	1174	17,55
26	8	6	629900	8617831	1174	9,63
27	10	8	629885	8617834	1173	17,55
28	10	7	629870	8617840	1172	17,55
TOTAL , Kg/ en 200 m2						542,43
biomasa (kg/ha)						2712,13
biomasa (t. ha⁻¹)						2,71

Anexo 4. Cálculos de la biomasa herbácea

Fórmula aplicada: $\frac{BA}{H} \left(\frac{t}{ha} \right) = \left(\left(\frac{PSM}{PFM} \right) * PFT \right) * 0.01$

Ejemplo:

➤ P2M1

$$\frac{BA}{H} \left(\frac{t}{ha} \right) = \left(\left(\frac{302.4}{489.6} \right) * 1899 \right) * 0.01$$

$$\frac{BA}{H} = 11.73 \text{ Tn/ha}$$

Anexo 5. Biomasa herbácea de la parcela 1

Tabla A.5. Biomasa herbacea en la parcela 1

Código	PFM (gramos)	PSM (gramos)	BA/H (t. ha⁻¹)
P1M1	527,5	238,1	8,03
P1M2	200	93,4	8,31
P1M3	410	179,4	7,78
P1M4	276,4	106,6	6,86
P1M5	364,6	225	10,98
TOTAL	1778,5	842,5	41,95
P1 biomasa (t. ha ⁻¹)			8,39

P1M1 : Parcela 1, Muestra 1

P1M2 : Parcela 1, Muestra 2

P1M3 : Parcela 1, Muestra 3

P1M4 : Parcela 1, Muestra 4

P1M5 : Parcela 1, Muestra 5

Tabla A.6. Biomasa herbácea en la parcela 2

Código	PFM	PSM	BA/H
P2M1	489,6	302,4	11,73
P2M2	550,2	363,0	12,53
P2M3	250,2	63,0	4,78
P2M4	350,0	162,8	8,83
P2M5	259,0	71,8	5,26
TOTAL	1899,0	963,0	43,14
P2 biomasa (t. ha ⁻¹)			8,63

P2M1 : Parcela 1, Muestra 1

P2M2 : Parcela 1, Muestra 2

P2M3 : Parcela 1, Muestra 3

P2M4 : Parcela 1, Muestra 4

P2M5 : Parcela 1, Muestra 5

Anexo 6. Cálculo de carbono en el suelo

a) La densidad aparente se calculó con la fórmula:

$$DA = \frac{PSN}{VC}$$

DA= Densidad aparente (g/cc)

PSN = Peso seco neto del suelo (gr)

VC = Volumen cilindro (cc)

$$DA = \frac{143.01 \text{ gramos}}{0.7854 * (7 \text{ cm})^2 * 10.3 \text{ cm}}$$

$$DA = \frac{143.01 \text{ gramos}}{396.4 \text{ cm}^3}$$

$$DA = 0.4 \text{ g/cc}$$

Hallando la masa de la hectárea, con profundidad de 15 cm.

$$DA = m/v$$

$$0.4 \text{ g/cc} = \frac{m}{1500 \text{ m}^3}$$

$$m = 60\,000 \text{ g}$$

b) Cálculo del carbono en el suelo

Si en 100 g de suelo existe 4.35 gramos de carbono en 1500 m³ g de suelo existe 65.25 Tn de carbono.

Anexo 7. Análisis de suelo

Figura A.1. Análisis de suelo de la plantación con *Pinus tecunumanii*



RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELO

N° 1053934

Solicitante: Sr. Ever Huamantinco Quispe

Muestra: Suelo

Departamento: Cusco

Provincia: La Convención

Distrito: Pichari

Fecha: 03-03-21

Nº Lab	Muestra	C-org (%)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)
10214	Suelo	4.35	2904.00	8.80	1.60	22.40


Ph. D. SARAHILANI CERDA GÓMEZ
Responsable de Laboratorio

Anexo 8. Estadística descriptiva de la biomasa

Tabla A.7. Estadística descriptiva de la biomasa - muestra 1

Variable	Descriptivos	Estadístico	Desv. Error	
Biomasa (kg/árbol)	Media	19,28	1,73	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	15,73	
		Límite superior	22,82	
	Media recortada al 5%	18,96		
	Mediana	17,54		
	Varianza	83,71		
	Desv. Desviación	9,149		
	Mínimo	4,44		
	Máximo	43,41		
	Rango	38,97		
	Rango intercuartil	18,14		
	Asimetría	0,48	0,44	
	Curtosis	0,05	0,86	

Tabla A.8. Estadística descriptiva de la biomasa - muestra 2

Variable	Descriptivos	Estadístico	Desv. Error	
Biomasa (kg/árbol)	Media	19,37	1,80	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	15,68	
		Límite superior	23,07	
	Media recortada al 5%	18,67		
	Mediana	17,55		
	Varianza	90,72		
	Desv. Desviación	9,53		
	Mínimo	4,44		
	Máximo	52,27		
	Rango	47,83		
	Rango intercuartil	9,47		
	Asimetría	1,43	0,44	
	Curtosis	3,99	0,86	

Anexo 9. Panel fotográfico

Figura A.2. Medición del diámetro de los árboles



Figura A.3. Recolección de suelo para análisis en laboratorio



Figura A.4. Delimitación del área de muestreo





UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, presidente de la comisión de docentes instructores responsables de operativisar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por RR N° 294-2022-UNSCH-R; hacen constar que el trabajo titulado;

Estimación de carbono almacenado en plantaciones de Pino (*Pinus tecumani*), Pichari, Cusco, 2020

Autor : Ever Huamantinco Quispe

Asesor : Carlos Máximo Malpica Ramos

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **diecisiete por ciento (17 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 1937507910

Ayacucho, 27 de octubre de 2022

M.Sc. WALTER AUGUSTO MATEU MATED
Presidente de comisión

Estimación de carbono almacenado en plantaciones de Pino (*Pinus tecunumanii*), Pichari, Cusco, 2020

por Ever Huamantincó Quispe

Fecha de entrega: 27-oct-2022 10:45p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1937507910

Nombre del archivo: Huamantincó_Ever_agrofor.docx (16.38M)

Total de palabras: 10807

Total de caracteres: 53848

Estimación de carbono almacenado en plantaciones de Pino (Pinus tecunumanii), Pichari, Cusco, 2020

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
4	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	repositorio.inia.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	docplayer.es Fuente de Internet	1%
8	archive.org Fuente de Internet	1%

9	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	1 %
11	www.virtualcentre.org Fuente de Internet	1 %
12	www.researchgate.net Fuente de Internet	1 %
13	periodicos.ufsm.br Fuente de Internet	1 %
14	repositorio.unam.mx Fuente de Internet	<1 %
15	onlinelibrary.wiley.com Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	revistas.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	pmcarbono.org Fuente de Internet	<1 %
19	www.docstoc.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía Activo