



## **ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DE LAS RESERVAS DEL CARBONO  
TOTAL EN LA COBERTURA VEGETAL DE STIPA ICHU EN LA MICROCUENCA  
DEL RÍO ICHU – HUANCVELICA – PERÚ

**Línea de investigación:**

**Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio**

Tesis para optar al Grado Académico de Maestro en Gestión Ambiental

### **Autor**

Rivera Ticllacondor, Edvin

### **Asesor**

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

ORCID: 0000-0001-6930-5601

### **Jurado**

Zamora Talaverano, Noe Sabino

Mendoza García, José Tomas

Gordon Meza, Ruth Escarlen

**Lima - Perú**

**2024**



# VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DE LAS RESERVAS DEL CARBONO TOTAL EN LA COBERTURA VEGETAL DE STIPA ICHU EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ICHU – HUANCVELICA – PERÚ

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

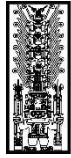
6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	7%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://www.ciidirsinaloa.com.mx">www.ciidirsinaloa.com.mx</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://www.un.org">www.un.org</a> Fuente de Internet	<1%
6	Hernán Burbano Orjuela. "El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático", Revista de Ciencias Agrícolas, 2018 Publicación	<1%
7	<a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

Submitted to Universidad Continental



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DE LAS RESERVAS DEL CARBONO  
TOTAL EN LA COBERTURA VEGETAL DE *STIPA ICHU* EN LA MICROCUENCA  
DEL RÍO ICHU – HUANCVELICA – PERÚ

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar al Grado Académico de Maestro en Gestión Ambiental

Autor

Rivera Ticllacondor, Edwin

Asesor

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

ORCID: 0000-0001-6930-5601

Jurado

Zamora Talaverano, Noe Sabino

Mendoza García, José Tomas

Gordon Meza, Ruth Escarlen

Lima - Perú

2024

## **PENSAMIENTO**

*Para ser un buen profesional,  
primero hay que ser una buena persona.*

*Anónimo.*

## DEDICATORIA

*A mis padres, que, con tanto esfuerzo, sacrificio y con una educación básica me legaron la mejor herencia; una buena educación y valores para ser una persona de bien*

*A mis hermanos, quienes constantemente me han apoyado y motivado para seguir adelante con mi investigación, además de ser mi faro en el desarrollo tanto profesional como personal.*

*A mis amigos, quienes siempre me han dado ánimo y respaldo para completar mi tesis.*

## AGRADECIMIENTOS

*Al principio, a Dios por otorgarme la vida, la salud y por guiar mi camino, brindándome oportunidades para mejorar como persona y por colocar en mi camino a personas bondadosas que me respaldan y apoyan, permitiéndome progresar en diversos campos de mi vida.*

*Con imperecedero a mis padres; mujer y varón de campo y con una educación básica me legaron la mejor herencia; educación y valores. A mis hermanos que gran parte de mi vida estuvieron siempre conmigo, apoyándome incondicionalmente en mi desarrollo profesional.*

*Quiero expresar mi gratitud a la Escuela Universitaria de Posgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal por brindarme la oportunidad de seguir formándome profesionalmente y completar mi maestría. Agradezco a los profesores del área de Ingeniería, Arquitectura y Ciencias Básicas de la UNFV, por compartir sus valiosas experiencias profesionales para contribuir a mi desarrollo profesional.*

*Con gratitud a mi asesor Dr. Abel Walter Zambrano Cabanillas, por brindarme incondicionalmente su tiempo, compartir sus conocimiento y sabios consejos para la elaboración y culminación de la presente investigación. Al Ms. Aurora Trinidad Rodríguez y el Ms. Hubert Orlando Portugués Yactayo por su tiempo y sus recomendaciones durante el progreso de la investigación.*

*Un agradecimiento particular a todo mi círculo amical que me apoyaron incondicionalmente en la investigación.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Formulación del problema.....	3
1.3.1 Problema general .....	3
1.3.2 Problemas específicos .....	3
1.4 Antecedentes.....	3
1.4.1 Antecedentes internacionales .....	3
1.4.2 Antecedentes nacionales y locales .....	6
1.5 Justificación de la investigación.....	9
1.6 Limitaciones de la investigación .....	10
1.7 Objetivos.....	11
1.7.1 Objetivo general .....	11
1.7.2 Objetivos específicos.....	11
1.8 Hipótesis .....	11
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1 Teoría y enfoque.....	12
2.2 Marco conceptual .....	15
2.2.1 Carbono Orgánico .....	15
2.2.2 Carbono orgánico total .....	15
2.2.3 Dióxido de carbono .....	16

2.2.4	Ciclo del carbono.....	17
2.2.5	Calentamiento global.....	18
2.2.6	Modelos alométricos .....	18
2.2.7	Microcuenca .....	18
2.2.8	Stipa ichu.....	19
2.2.9	Biomasa .....	19
2.2.10	Biomasa aérea.....	20
2.2.11	Biomasa radicular.....	20
2.2.12	Necromasa .....	20
2.2.13	Servicios ecosistémicos.....	20
2.2.14	Valoración económica.....	21
2.3	Marco Legal.....	22
2.3.1	Acuerdos internacionales .....	23
2.3.2	Normas nacionales .....	25
<b>III.</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>28</b>
3.1	Tipo de Investigación .....	28
3.2	Población y muestra .....	28
3.3	Operacionalización de variables.....	29
3.4	Instrumentos .....	31
3.4.1	Material cartográfico .....	31
3.4.2	Materiales y equipos.....	31
3.4.3	Software y/o programas.....	32
3.4.4	Fichas y formatos de campo.....	32
3.5	Procedimientos .....	32

3.5.1	Etapa de pre-campo .....	32
3.5.2	Etapa campo .....	40
3.5.3	Etapa de gabinete.....	47
3.6	Análisis de datos.....	52
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
4.1	Fijación del carbono en la cobertura vegetal de Stipa ichu .....	61
4.2	Almacenamiento de carbono en el suelo .....	64
4.3	Valor económico ambiental de las reservas de carbono total.....	65
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
5.1	Fijación del carbono en la cobertura vegetal de Stipa ichu .....	67
5.2	Almacenamiento de carbono en el suelo .....	68
5.3	Valor económico ambiental de las reservas de carbono total.....	70
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>76</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Matriz de Operacionalización de Variables .....	30
Tabla 2 Tamaño mínimo de la unidad muestral para matorrales y herbazales.....	33
Tabla 3 Inventario de muestras piloto .....	38
Tabla 4 Ubicación de las unidades de muestreo (N) .....	39
Tabla 5 Método aplicado por el laboratorio de suelo de UNALM.....	43
Tabla 6 Método aplicado por el laboratorio acreditado.....	44
Tabla 7 Resumen de resultados de laboratorio .....	46
Tabla 8 Precios CO <sub>2</sub> en el mercado europeo según SendeCO <sub>2</sub> .....	51
Tabla 9 Síntesis de los resultados del trabajo de campo .....	52
Tabla 10 Parcela 2 para el método destructivo.....	53
Tabla 11 Parcela 5 para el método destructivo.....	53
Tabla 12 Estimación de la densidad del Stipa ichu .....	54
Tabla 13 Resultados de la Parcela 2, pesos de la biomasa verde y seca .....	55
Tabla 14 Resultados de la Parcela 5, pesos de la biomasa verde y seca .....	55
Tabla 15 Resultados obtenidos después de la conversión .....	56
Tabla 16 Resultado de análisis de carbono proporcionado por los laboratorios ....	57
Tabla 17 Cantidad de carbono almacenado en componentes del Stip ichu.....	58
Tabla 18 Dióxido de carbono en la especie Stipa ichu.....	59
Tabla 19 Resultado de análisis de carbono en muestra de suelo .....	60
Tabla 20 Resultados de levantamiento de campo.....	61
Tabla 21 Cantidad de carbono almacenado en componentes del Stip ichu.....	62
Tabla 22 Almacenamiento de carbono en la biomasa de Stipa ichu. ....	63
Tabla 23 Almacenamiento de CO <sub>2</sub> en la biomasa de Stipa ichu. ....	64
Tabla 24 Almacenamiento de carbono en el suelo .....	65

Tabla 25 Almacenamiento de carbono expresados en CO <sub>2</sub> .....	65
Tabla 26 Valor económico ambiental del carbono en el área de estudio .....	66
Tabla 27 Comparativo de contenido de carbono en diferentes especies .....	67
Tabla 28 Reservas de carbono en el suelo .....	69
Tabla 29 Valor económico ambiental de carbono en soles (S/.) .....	71

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Generación de las grillas y unidades de muestreo .....	35
Figura 2 Área de estudio con las unidades muestrales .....	36
Figura 3 Forma y tamaño de la parcela y sub parcela .....	37
Figura 4 Proyección de los parámetros del <i>Stipa ichu</i> .....	41
Figura 5 Muestras para análisis de carbono.....	42
Figura 6 Estimación de biomasa (t/ha).....	56
Figura 7 Estimación de porcentaje de Carbono (tC/ha) .....	58
Figura 8 Estimación de Carbono en porcentaje por componente (t C/ha).....	62
Figura 9 Estimación de Carbono por componente (tC/ha).....	63
Figura 10 Dióxido de Carbono en diferentes especies (tCO <sub>2</sub> /ha).....	68
Figura 11 Fijación de CO <sub>2</sub> (tC/ha) en diferentes especies. ....	69
Figura 12 Evolución de precios de CO <sub>2</sub> según SENDECO2.....	72

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Estimación del carbono total .....	16
Ecuación 2. Carbono total en un tiempo.....	16
Ecuación 3. Estimación del número de unidades muestrales .....	38
Ecuación 4. Coeficiente de variabilidad .....	38
Ecuación 5. Reacción del método de Walkley y Black.....	45
Ecuación 6. Estimación de la densidad .....	47
Ecuación 7. Estimación de la densidad en % .....	47
Ecuación 8. Estimación de la biomasa total .....	48
Ecuación 9. Estimación de la humedad .....	48
Ecuación 10. Estimación del porcentaje de materia seca .....	48
Ecuación 11. Estimación el porcentaje del carbono .....	49
Ecuación 12. Estimación de carbono.....	49
Ecuación 13. Estimación de carbono.....	50
Ecuación 14. Estimación del carbono en el suelo .....	50
Ecuación 15. Estimación de la densidad aparente del suelo.....	51
Ecuación 16. Valoración económica del CO <sub>2</sub> . .....	51

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A.** Resultado de cuantificación de carbono de la UNALM

**Anexo B.** Resultado de cuantificación de carbono del laboratorio Servicios Analíticos Generales.

## RESUMEN

La tesis fue desarrollada en el departamento de Huancavelica, en una parte de la microcuenca del río Ichu, se delimitó el área de estudio de 10 529,03 ha con la finalidad de determinar la fijación de carbono total de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* de la microcuenca del río Ichu para la estimación de su valor económico ambiental para lo cual se determinará la fijación de carbono en la biomasa, así como el suelo en el que crece dicha especie y finalmente se estimará el valor económico ambiental. Para ello se analizaron muestras de cada componente de dicha especie determinándose el porcentaje de carbono (C) mediante dos laboratorios; Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) y Servicios Analíticos Generales (SAG) acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). La fijación de carbono en el *Stipa ichu* asciende a 8,24 tC/ha, y expresado en CO<sub>2</sub> es de 30,16 tCO<sub>2</sub>/ha. El muestreo para analizar el almacenamiento de C en el suelo se realizó en el horizonte "O", cuyo resultado asciende a 155,13 tC/ha y expresado en CO<sub>2</sub> es de 568,81 tCO<sub>2</sub>/ha. Finalmente, el valor económico ambiental de las reservas de carbono de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* asciende a S/ 10 386,04 soles/ha y la fijación de carbono en el suelo asciende a S/ 195,868.54 soles/ha del cual se deduce que el valor económico ambiental total del *Stipa ichu* asciende a S/ 206 254,58 soles/ha.

**Palabras clave:** cobertura vegetal de *Stipa ichu*, valoración económica ambiental, carbono del *Stipa ichu*, carbono vegetal del suelo, dióxido de carbono del *Stipa ichu*,

## ABSTRACT

The thesis was developed in the district, province and department of Huancavelica, in a part of the micro-basin of the Ichu River, the study area of 10,529.03 ha was delimited with the purpose of determining the total carbon fixation of the vegetation cover of *Stipa ichu* from the Ichu River micro-basin for the estimation of its environmental economic value for which the carbon fixation in the biomass will be determined, as well as the soil in which said species grows and finally the environmental economic value will be estimated. For this, samples of each component of said species were analyzed, determining the percentage of carbon (C) through two laboratories; La Molina National Agrarian University (UNALM) and General Analytical Services (SAG) accredited by the National Quality Institute (INACAL). Carbon fixation in *Stipa ichu* amounts to 8.24 tC/ha, and expressed in CO<sub>2</sub> is 30.16 tCO<sub>2</sub>/ha. Sampling to analyze C storage in the soil was carried out in the “O” horizon, the result of which amounts to 155.13 tC/ha and expressed in CO<sub>2</sub> is 568.81 tCO<sub>2</sub>/ha. Finally, the environmental economic value of the carbon reserves of the vegetation cover of *Stipa ichu* amounts to S/ 10,386.04 soles/ha and the carbon fixation in the soil amounts to S/ 195,868.54 soles/ha from which it can be deduced that The total environmental economic value of *Stipa ichu* amounts to S/ 206,254.58 soles/ha.

**Keywords:** *Stipa ichu* plant cover, environmental economic valuation, *Stipa ichu* carbon, soil vegetal carbon, *Stipa ichu* carbon dioxide,

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las preocupaciones ambientales de mayor magnitud a que el planeta se enfrenta en estos tiempos es el Cambio Climático, originado por un aumento desmesurado de la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), clorofluorocarbonos (CFC), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), destacando el CO<sub>2</sub> por su gran cantidad de emisión atmosférica (Medina *et al.*, 2020 citado por Phillips *et al.*, 2017).

El seguimiento y control de carbono en ecosistemas forestales ha cobrado relevancia científica desde que la comunidad científica alertó sobre la problemática; al respecto, también se le tiene que dar importancia a todas las especies que no tienen valor económico directo; sin embargo, tienen valor económico ambiental y por la gran extensión son potenciales sumideros de carbono que contribuyen a mitigar los efectos del global.

Ante ello, como contribución a las investigaciones, los hallazgos permitirán aportar información relativa a los mecanismos, procesos, data e información científica sobre el valor económico ambiental de la captura de CO<sub>2</sub> en la especie del *Stipa ichu*, por lo cual se determinará la fijación de carbono total de la cobertura vegetal de dicha especie en la microcuenca del Río ichu para la estimación de su valor económico ambiental

## 1.1 Planteamiento del problema

A nivel de América Latina, varios ecosistemas altoandinos fueron afectados por el cambio climático y a este problema global se le suma la actividad antrópica, que con el paso del tiempo y el desconociendo del valor económico de los potenciales servicios ambientales que actualmente tenemos, no se le ha dado la importancia y estudio necesario, siendo uno de ellos la cobertura vegetal de *Stipa ichu*, el cual forma gran porcentaje del sistema de pastos alto andinos.

Según el Diario Gestión (2019) el cambio climático ha deteriorado los suelos de más de siete millones de hectáreas de pastizales, lo que ha resultado en aridez y erosión. Este daño repercute negativamente en la ganadería y la biodiversidad de estas áreas. De hecho, aproximadamente el 60% de pastizales a escala nacional está en riesgo de desaparecer (Gestión, 2019).

Lamentablemente, en Perú y en las zonas altoandinas, la degradación de muchos ecosistemas se debe a la falta de un manejo sostenible. Esto ocurre porque el uso directo de estos recursos es escaso o inexistente. En muchos casos, la sociedad les resta importancia a estas especies; es por esta razón que generalmente son quemadas y/o eliminadas a fin de extender su frontera agrícola. Esta gestión deficiente conlleva diversos problemas ambientales, como una erosión creciente y la merma de fertilidad del suelo, reduce la capacidad de almacenaje de agua y de carbono, y la reducción del secuestro de CO<sub>2</sub>, entre otros (Rivera y Zamora, 2020).

## 1.2 Descripción del problema

El conocimiento sobre el valor económico ambiental relativo a los servicios que ofrecen los ecosistemas altoandinos es deficiente para implementar un plan de manejo ambiental. Esta limitación representa un desafío en los tres niveles de gobierno peruano al

intentar desarrollar planes de gestión para la conservación de cuencas con cobertura vegetal específica, como la *Stipa ichu*.

Por tal motivo, es necesario conocer el valor económico que tienen los servicios ecosistémicos medioambientales a fin de evaluarlos, analizarlos y ver su viabilidad de ingresar al mercado. El valor económico del carbono total de la cobertura vegetal de *Stipa ichu*, debe ser evaluado y analizado para poder ingresar al mercado de bonos denominado SENDECO2, esta es una entidad de financiamiento y negociación de carbono que ayuda contribuir y mitigar las repercusiones del cambio climático.

### **1.3 Formulación del problema**

#### **1.3.1 Problema general**

- ✓ ¿De qué manera influye la fijación de carbono total de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* de la microcuenca del río ichu en la determinación de su valor económico ambiental?

#### **1.3.2 Problemas específicos**

- ✓ ¿Cómo influye la fijación del carbono de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* en la determinación del valor económico ambiental?
- ✓ ¿De qué manera influye el almacenamiento de carbono en el suelo de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* en la determinación de su valor económico ambiental?
- ✓ ¿Cómo influye el valor económico ambiental de las reservas de carbono total de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* en la gestión para su conservación?

### **1.4 Antecedentes**

#### **1.4.1 Antecedentes internacionales**

Pinos-Morocho *et al.* (2021) en su estudio tuvo por objetivo determinar el valor económico del carbono para lo cual se diseñaron dos suelos: intervenidos y naturales. Empleó un método para estimar los costes por daños globales evitados por la atenuación del

cambio climático. A efectos de estimar el carbono orgánico, se recolectaron muestras compuestas siguiendo una trayectoria en zigzag. Las muestras se tomaron a unos 5 metros de distancia en la zona de cada punto muestral y a 20 cm de profundidad. El método *Walkley-Black* se aplicó para estimular el carbono a nivel de laboratorio, su principio radica en la oxidación incompleta del carbono orgánico. A fin de calcular el valor económico del componente de carbono, se empleó el método que calcula el coste de los perjuicios evitados a escala mundial al mitigar el cambio climático, tomando como referencia los precios del carbono emitidos por el Banco Mundial en su informe denominado “fijación del precio del carbono”

Pérez *et al.* (2022) en el estudio que realizaron su objetivo era determinar la biomasa total y el valor económico de la reserva de carbono del recurso arbóreo del Parque Dr. Claudio Pavetti, para la estimación de la biomasa total se realizó a través del modelo alométrico, modelo en el que la amplitud de datos se analiza en función del diámetro, el coeficiente de determinación y el error estándar residual; para calcular el Carbono acumulado se empleó el factor medio padrón del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) que en su mayoría es utilizado para bosques subtropicales, calculando también la reserva del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al multiplicar el valor de la conservación estequiometría de la masa del C para la molécula CO<sub>2</sub>, y la evaluación económica adoptó un método orientado al precio del mercado, empleando como valor referencial el precio de los derechos de autor de la UE en el primer semestre de 2020, tal como se cotizan en la Bolsa del Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub>. Concluyendo que el valor económico de las reservas de carbono por ha es de \$168,11 (€ 142,46 por ha), lo que nos indica de no realizarse programas o proyectos que inciten a la conservación del área en estudio, se perdería un monto promedio de 1 214,36 Mg CO<sub>2</sub> eq, desfavorable para dicha área.

La tesis de Condori (2019) tuvo como propósito determinar el valor económico por el servicio ambiental prestado como sumidero de carbono en la reserva Chore en base a los procesos de deforestación y conservación del bosque, para ello se utilizó la técnica de transferencia de beneficios, en donde se busca extrapolar valores de estudios similares como *papers*, tesis y entre otros documentos que ya hayan generado un estudio de valores económicos por la captura de CO<sub>2</sub> en otros ambientes, áreas o lugares. Los resultados que se obtuvieron sobre el valor económico por la captura de CO<sub>2</sub> en la totalidad de conservación y deforestación del bosque, ascendió a 1,148 millones de dólares, en donde 861 millones de dólares correspondería a la conservación del bosque y el 286 millones de dólares a la deforestación; donde el primero nos muestra el beneficio económico que se obtiene por la conservación del bosque, siendo uno de los incentivos para que las comunidades y miembros de ella a que realicen proyectos productivos al cuidado y conservación del bosque; dado que con esta acción se estaría generando ingresos favorables y una mejor calidad de vida para todos.

En el estudio de Maza (2019) tuvo como propósito valorar económicamente el servicio ambiente del secuestro del Carbono, para este propósito, se tomó 12 parcelas al azar de 500 m<sup>2</sup> y 60 subparcelas de 4m<sup>2</sup>, donde se calculó la biomasa de árboles vivos utilizando el Factor de Expansión de Volumen y el Factor de Expansión de Biomasa, obteniendo una Biomasa de 158 t/ha, la tonelada de Carbono es de 76.15 tC/ha en promedio y para estimar el CO<sub>2</sub> se multiplica el carbono total por el factor 3.667. Lo que nos indica como resultado de investigación que el Bosque Buenaventura posee 352,331.36 toneladas de biomasa, 607,239.54 toneladas de secuestro de CO<sub>2</sub>; calculando a \$3 la tonelada, el monto sería de \$1,821,718.63, a \$10 la tonelada el valor aumentaría a 6,072,395.42 y a \$20 alcanzaría la cantidad de \$12,144,790.84; demostrando que tiene una validez positiva el realizar secuestro de carbono generando una gran sostenibilidad para el Bosques Buenaventura.

#### 1.4.2 Antecedentes nacionales y locales

El estudio de Crispín y Jiménez (2019) tuvo como propósito evaluar el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en el suelo de los bofedales, donde se estimó el carbono en términos de CO<sub>2</sub> en los bofedales. El método utilizado para evaluar el servicio ecológico de almacenaje de carbono en suelos de humedales fue el "valor económico a nivel mundial del daño que se evita al mitigar el cambio climático" y el método de "valor de mercado para el estudio de valoración". Los resultados fueron; 518,80 tCO<sub>2</sub>/ha, con el cual se calcula que el contenido medio de carbono es del 24,89%. Además, empleando el precio medio de los Créditos de Emisión del Sistema Europeo de Comercio de Emisiones de CO<sub>2</sub> (SENDECO<sub>2</sub>), cuyo precio era de 0,31 \$ por tCO<sub>2</sub> en ese momento, es decir 160.828 \$ por ha.

En la investigación de Medina *et al.* (2020) el objetivo fue estimar el valor económico de la captura y secuestro de carbono en cinco formaciones vegetales emblemáticas de la Puna Seca del sur oeste de Perú. Por ello, se definió parcelas muestrales a fin de calcular la biomasa presente en plantones de Tolar, Yaretal, Pajonal, Bofedal y Queñual, ubicados en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca (Arequipa). Luego el carbono conservado y el carbono capturado expresado en CO<sub>2</sub> fueron calculados. Se empleó el precio medio por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente, fijado por el mercado en Perú, a fin de calcular el valor económico del servicio ecológico. Los hallazgos mostraron que la Reserva alberga 13,507,104.16 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, con valor de \$86,310,395.58. A pesar de ocupar solo el 2,58 % de la superficie total de la Reserva, la cobertura de bofedal fue la que más contribuyó a estos valores, representando el 52,48 %.

Barrientos (2021) en su tesis tienen como objetivo determinar el valor económico de los servicios de ecosistémicos de captura de carbono en el género *Polylepsis* y el

almacenamiento de agua en los Bosques de Paras, provincia de Cangallo (Ayacucho), considerando para su investigación un área de 747 hectáreas, tomando 22 parcelas de 20m x 20m como unidades de muestreo, se realizaron medidas dasométricas de la altura del pecho (DAP) y de la altura total (TH) de *Polylepis sp.* Estimando la cantidad de Biomasa aérea del “queñua” *Polylepis sp.*, se incrementa a 69,93 tC/ha y ejecutando la extrapolación de carbonos capturado por cada hectárea se obtendría 256,65 tCO<sub>2</sub>-eq y por las 747 hectáreas del estudio se cuenta con un total de 191,716.7 tCO<sub>2</sub>-eq , esto nos indica que la preservación y cuidado del bosque preveniría que la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> regresen a la atmosfera y este el aumento de GEI.

Miranda (2018) en su investigación, cuyo objetivo es estimar el valor económico total del servicio de secuestro de carbono aportado por la vegetación existente en el centro ecoturístico de Seccsachaca en 2017, El programa de Inventario y Análisis Forestal (FIA) y el método del Indicador de Capas se emplearon en el diseño muestral y se eligieron 5 parcelas con un diámetro de 20 m, 160 subparcelas de 20 x 50 cm rectangulares y 5 subparcelas de 50 x 50 cm, y para el proceso de la valoración económica se basó en la “Guía para determinación de carbono de pequeñas propiedades rurales” establecido por World Agroforestry Center. Concluyendo como resultados que el valor total económico calculado para el servicio que retiene y almacena carbono total contribuido por la flora en el centro ecoturístico de Seccsachaca en 2017 fue de \$ 391,853/ha , la cantidad de carbono acumulado fue de 2 229 111,45 t/ha y dióxido de carbono acumulado es de 40,904 t/ha respectivamente, es así que los resultados obtenido de un análisis económico en la investigación nos indica que son favorables para analizar el costo – beneficio de proyectos relativos a conservar la vegetación de centro turístico de Seccsachaca.

En la investigación de Bernachea (2019) cuyo objetivo fue comparar la diferencia significativa que existe entre la valoración económica y secuestro de CO<sub>2</sub> en Bosques

plantados de Eucaliptos (*eucalyptus globulus labil*) y Pino (*pinus radiata*) de 11 años de edad en Cochatama, para el cual se estableció un área de plantación de dos hectáreas donde se analizaron 4,114. individuos forestales con división de 3 x 3m y para evaluar la estimación de cantidad dióxido de carbono se multiplico en carbono total con factor ( $Kr = 3,667$ ) y para la estimar valor económico de  $CO_2$  se multiplico la cantidad total  $CO_2$  con el valor del mercado respectivamente en la actualidad. Finalmente, el resultado que el secuestro de  $CO_2$  que tiene el Eucalipto es de 521,18  $tCO_2/ha$  siendo un montón relativamente un poco alto a diferencia del Pino con un total de 519,18  $tCO_2/ha$ . Se empleó la prueba ANOVA con su prueba comparativa llamada Kruskal-wallis para la viabilizar la investigación.

Concluyendo la diferencia de valoración económica entre la plantación de Eucalipto y Pino, donde la primera en mención muestra un monto total de \$ 12 112,23 y la segunda con un total de \$12 083,17, mostrándonos que existe una importante valoración económica en ambas plantaciones que a futuro logran mejorar e incentivar al progreso económico y ambiental de dicha región.

En la investigación de Sánchez *et al.* (2018) cuyo objetivo fue estimar el área del bosque del Queñual “La Paz”, así como el almacenamiento de carbono mediante ecuaciones generadas, el método utilizado es la cartografía con sistema de información geográfica y para el muestreo se determinó dos parcelas de  $100m^2$  (20mx50m). Para la densidad de carbono se estimó con la ecuación de IPCC, 2006 el cual se transcribe como *Densidad de Carbono ( $tC ha^{-1}$ ) = biomasa / 2*, finalmente para el cálculo del valor económico se basó en el método de precios de mercado (MPM) del Sistema Europeo de Negociación de  $CO_2$ . El resultado promedio 8,9  $tC/ha$  y 12,95  $tC/ha$ ; utilizando diferentes ecuaciones alométricas.

Rivera y Zamora (2020) evalúan el almacenamiento de carbono en la especie *Stipa ichu* en sus componentes hojas, raíces, flores y tallos, el lugar de estudio fue la microcuenca Chaclatacana – Huancavelica, para lo cual estratificaron la región de análisis considerando

como referencia la altitud. Para la estimación del carbono utilizaron el método de “Walkley y Black”, cuyo resultado promedio de almacenaje en carbono fue de 8.670 tC/ha y el elemento de *Stipa ichu* con mayor retención de carbono se encontró en el follaje con 56,56 %. Del resultado promedio de fijación de carbono se puede inferir que el almacenamiento de CO<sub>2</sub> es de 31,79 tCO<sub>2</sub>/ha.

Justo y Laurente (2020) estimaron el valor económico de la fijación de carbono de las especies *Alnus acuminata Kunth* y *Escallonia resinosa*, cuyo resultado fue la fijación de carbono para aliso 1,69 tC/ha, biomasa aérea 6,67 tC/ha, hierbas 0,73 tC/ha, necromasa 2,76 tC/ha, raíces y haciendo el sumatorio de todos los componentes es de 12,52 tC/ha y 45,9 tCO<sub>2</sub>/ha. El carbono fijado en el suelo es de 16,44 tC/ha y del dióxido de carbono es de 60,28 tCO<sub>2</sub>/ha. El valor económico promedio tomando como base el precio de la media anual de CO<sub>2</sub> para el 2019 según SENDECO fue de € 24,84 para la biomasa de las especies *Alnus acuminata Kunth* y *Escallonia resinosa*, € 1 140,16 por ha y para la fijación de carbono en suelos es fue de € 1 497, 37 por hectárea.

### **1.5 Justificación de la investigación**

Según el Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente 2014-2019 del Ministerio del Ambiente (MINAM), el en ítem de Ecosistemas del Perú al 2019, la región Andina representa el 35.75 % del territorio del Perú. En esta región desarrollan diversos ecosistemas donde en los ecosistemas de pastos altoandinos, se encuentran diversas especies, siendo *Stipa ichu* una de las más abundantes, cubriendo vastas áreas. Debido a su amplia distribución y predominancia, *Stipa ichu* se posiciona como un importante reservorio de carbono, por lo tanto, el servicio ambiental que ofrece no puede ser pasado por alto o ignorado, Asimismo, colaboran en contrarrestar el cambio climático al disminuir los niveles

de CO<sub>2</sub> atmosférico, el gas de efecto invernadero con mayor abundancia del planeta (Rivera y Zamora, 2020).

Pese a esta situación, los investigadores en el Perú aun no impulsan esta temática, es por ello que existen pocas investigaciones de captura de CO<sub>2</sub>, de igual manera, la evaluación económica del medio ambiente en especies que forman parte de los ecosistemas altoandinos, caso concreto de *Stipa ichu*, por lo tanto, es pertinente investigarlos para sugerir enfoques prácticos destinados a reducir las alteraciones del cambio climático.

## **1.6 Limitaciones de la investigación**

En las actividades de trabajo de campo, podemos mencionar son los accesos donde cayeron los puntos para el recojo de las muestras por lo que se tuvieron que reubicar de acuerdo al criterio del autor según su experticia tomando las medidas de seguridad de los accesos. Asimismo, se puede mencionar que el tiempo de realización de las labores de campo se reprogramaron debido a la coyuntura COVID – 19. Otro aspecto que se tuvo en cuenta el área de estudio tiene variaciones geográficas y de acuerdo a esto varía la composición de la cobertura vegetal de *Stipa ichu*, debido a áreas erosionadas y montañosas las cuales no son áreas representativas; por lo que se tuvo que descartar del área de muestreo.

En cuanto al trabajo de gabinete, las limitaciones fueron la deficiencia y/o inexistencia de data ya que existen pocas investigaciones relacionadas con cobertura vegetal de *Stipa ichu*, por lo otro que se puede mencionar la complicación en el diseño y tamaño de muestra ya que se trabaja con áreas y no con individuos. Finalmente, la limitación de la investigación fue el recurso económico debido implica gastos logísticos para el trabajo de campo y análisis de laboratorio, se buscó fuentes de financiamientos sin obtener éxito alguno, por lo que se tuvo que realizar con recursos propios.

## 1.7 Objetivos

### 1.7.1 Objetivo general

- ✓ Determinar la fijación de carbono total de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* de la microcuenca del *Rio ichu* para la estimación de su valor económico ambiental

### 1.7.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar la fijación del carbono en la cobertura vegetal de *Stipa ichu* para estimar su valor económico ambiental.
- ✓ Cuantificar el almacenamiento de carbono en el suelo de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* para determinar su valor económico ambiental.
- ✓ Analizar el valor económico ambiental de las reservas de carbono total de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* para la gestión de su conservación.

## 1.8 Hipótesis

### Hipótesis general

- ✓ A mayor eficiencia de la fijación de carbono total en la cobertura vegetal de *Stipa ichu* influirá en el incremento de su valor económico ambiental.

### Hipótesis específica

- ✓ A mayor eficiencia de fijación de carbono en la cobertura vegetal de *Stipa ichu* se obtendrá mayor valor económico ambiental.
- ✓ A mayor eficiencia del almacenamiento de carbono en el suelo de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* se obtendrá mayor valor económico ambiental
- ✓ Si el valor económico ambiental fijación del carbono total en la cobertura vegetal del *Stipa ichu* es significativo entonces justifica la conservación

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Teoría y enfoque

El calentamiento global constituye un asunto científico muy controvertido en los últimos tiempos que pone en riesgo la propia estructura de la sociedad global, así como de la economía, geopolítica y la elección de cambio de estilo de vida de los individuos.

Además, se produce por la concentración elevada de gases de efecto invernadero atmosférico, generando mayor retención de los rayos solares dentro de ella, lo que resulta un incremento de las temperaturas a nivel mundial. El problema es que los niveles de GEI han experimentado variaciones a lo largo de la historia terrestre, aunque en los últimos milenios han permanecido estables. Durante este lapso, las temperaturas promedio mundiales se mantuvieron relativamente estables, hasta hace poco. Este efecto se da por quemar combustibles fósiles y otras sustancias que emiten gases de efecto invernadero, la actividad humana está intensificando el efecto invernadero y provocando el calentamiento global; esto debido a la sobreexplotación de los recursos naturales de manera tan drástica y el uso excesivo de combustibles fósiles, como resultado, las afecciones medioambientales que respaldan el desarrollo y el crecimiento sostenible comienzan a degradarse notablemente (National Geographic, 2010).

Las acciones humanas y su sobreexplotación de los recursos naturales han aumentado desmesuradamente, especialmente a partir de mediados del siglo. Los combustibles fósiles, fácilmente disponibles, proporcionan energía tanto para el consumo doméstico como para la actividad industrial, esto posibilita el comercio global, pero también ha llevado a un aumento de concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico, contribuyendo a elevar la temperatura y provocar el fenómeno del calentamiento global (Rivera y Zamora, 2020 citado por Steffen *et al.*, 2007).

El gas más importante del efecto invernadero luego del vapor de agua (V<sub>H2O</sub>) es el CO<sub>2</sub>, aumentaron las emisiones a la atmósfera en la era preindustrial por quemar

combustibles fósiles y los distintos usos del suelo, este aumento ha resultado en un significativo incremento a nivel global, considerada la principal amenaza en el futuro de la humanidad, dado que los gases de efecto invernadero se distribuyen uniformemente en la atmósfera global, es posible reducir las emisiones a escala global mediante Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) (Rivera, 2018 citado por Duarte *et al.*, 2006).

El informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), indica que existen pruebas claras sobre un incremento de 0.6°C en las temperaturas globales y de 20 centímetros del nivel del mar del siglo XX. El resumen de la IPCC predice que las temperaturas globales podrían incrementar entre 1.4°C y 5.8°C y el nivel del mar podría subir entre 20 cm y 88 cm para el año 2100 (Menzie, 2022).

El cambio climático es una problemática global y como tal, la comunidad internacional debe unirse para luchar contra este fenómeno. Cabe precisar que desde la década de los noventa se han logrado algunos éxitos; la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Protocolo de Kyoto y sus instrumentos y sobre todo, la voluntad política y pública de actuar frente al cambio climático. Uno de los instrumentos diseñados el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), una herramienta para reducir la emisión de gases de efecto invernadero; el cual consiste en la implementación la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en naciones en desarrollo, con el propósito de lograr reducciones sostenibles a los menores costes posibles y fomentando a su vez el desarrollo sostenible de las naciones más pobres mediante la transferencia tecnológica limpia y de mayor eficiencia (López, 2019) .

En teoría, los MDL son un medio de apoyo para que las naciones desarrolladas cumplan sus compromisos cuantitativos de reducir las emisiones al comprar “Bonos de Carbono” a naciones en proceso de desarrollo, el cual también es un apoyo económico al

obtener un ingreso adicional y acceso a créditos internacionales y de acuerdo a González (2007) los proyectos que se incluyen en el MDL son:

1. Aquellas iniciativas reducen la emisión de gases de efecto invernadero al usar fuentes de energía renovable (el viento, el sol, el agua, entre otras), mejora la eficiencia energética, cambios en los combustibles y otras acciones similares.
2. Aquellas actividades que absorban el dióxido de carbono mediante la fotosíntesis (mediante la plantación de bosques y cultivos que capturan CO<sub>2</sub>) y mediante técnicas de almacenamiento geológico.
3. Aquellas acciones que promuevan el desarrollo sostenible en países en proceso de desarrollo, para ayudar a las naciones desarrolladas a concretar con los compromisos establecidos.

Ante este panorama y de acuerdo al MDL, y se reconoce la importancia de medir la cantidad de carbono almacenado en los "sumideros de GEI". Los principales depósitos de gases de efecto invernadero son principalmente los bosques, especialmente aquellos que crecen rápidamente, estos bosques acumulan grandes cantidades de carbono en su madera y en el ecosistema, gracias al proceso de fotosíntesis que absorbe el CO<sub>2</sub> atmosférico, este almacena carbono en distintos elementos y libera oxígeno de vuelta a la atmósfera. La captura y retención del carbono constituye un servicio ecológico que implica convertir el carbono atmosférico en orgánico, que se almacena en el suelo y en el sistema vegetal (hojas, tallos, raíces, necromasa) y de acuerdo al ciclo de carbono nutren de carbono orgánico hacia el suelo.

El MDL en nuestro país ofrece la posibilidad de agregar valor medioambiental a las inversiones en una variedad de proyectos, como la producción de energía, el transporte, la gestión de residuos, el desarrollo forestal, y más. La Estrategia Nacional MDL fue diseñada con la participación de varios actores liderados por el MINAM. (Kiwitt y López, 2009)

## 2.2 Marco conceptual

### 2.2.1 Carbono Orgánico

Constituye una fracción pequeña en el ciclo global del carbono, que abarca la circulación del carbono entre suelo, vegetación, océano y atmósfera.

Se calcula que las reservas de carbono almacenan unos 1500 PgC al primer metro de suelo, es decir, más carbono que la suma del contenido atmosférico (aproximadamente 800 PgC) y la vegetación terrestre (500 PgC). Este impresionante depósito de carbono orgánico no permanece inmóvil, sino que circula constantemente entre las distintas reservas mundiales de carbono en diferentes formas moleculares según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2017).

### 2.2.2 Carbono orgánico total

Según lo citado por Rivera y Zamora (2020) citado por Ordóñez (1999), se puede definir el carbono orgánico total como el contenido en diferentes almacenes (sumideros) como los que se describen a continuación;

- ✓ **Carbono en vegetación ( $C_v$ )**, Presente en la vegetación incluye tanto la cantidad que se encuentra en la parte aérea de las plantas como la que está en las raíces (biomasa radicular).
- ✓ **Carbono en necromasa ( $C_n$ )**, Se refiere al material orgánico en descomposición, que se forma cuando las partes aéreas de las plantas (hojas, ramas o troncos) se depositan en el suelo.
- ✓ **Carbono en el suelo ( $C_s$ )**, Esta en las capas del suelo forestal. Se forma a partir del fragmento de roca madre erosionada, debido al asentamiento de organismos vegetales y que, con el tiempo, acumulan material, formando capas. Con el tiempo, estas capas se compactan y retienen cierta cantidad de carbono, la cual aumentará conforme continúe el proceso de formación del suelo.

- ✓ **Carbono en productos (Cp)**, Se refieren a los productos derivados de los bosques que retienen carbono durante su vida útil. Una vez que su vida útil llega a su fin, el carbono contenido en ellos volverá al ciclo, en función al proceso de descomposición del producto. A medida que la duración de un producto forestal sea mayor, el carbono permanecerá almacenado durante un período más prolongado.
- ✓ **Carbono ahorrado por sustitución de combustibles fósiles (Cf)**, Se presenta como una opción para capturar carbono al reemplazar los combustibles derivados de fuentes fósiles con biomasa forestal para generar energía.

Después de definir cada elemento, para calcular el total de carbono (Ct), se suma cada componente individual de carbono, como se muestra en la fórmula:

$$Ct = Cv + Cn + Cs + Cp + Cf \quad \text{Ecuación 1. Estimación del carbono total}$$

De acuerdo con la ecuación (1), la suma da como resultado el carbono total (Ct), que equivale al C total fijado (en tn/ha) se calcularse como:

$$Ct = \int \frac{Cv + Cn + Cs + Cp}{Tiempo} + \sum Cf \quad \text{Ecuación 2. Carbono total en un tiempo}$$

Para fines de la presente investigación se utilizó la Ecuación 2, ya que se calculó el carbono total conformador por carbono en la biomasa área, radicular, necromasa y carbono en el suelo.

### 2.2.3 Dióxido de carbono

Según el Instituto para la salud Geoambiental (2020) es un gas incoloro e inodoro el cual está integrado por un átomo de oxígeno y carbono con enlaces covalentes, y se encuentra

en el aire de manera natural en concentración, teniendo una variación de 300 a 500 partes por millón. Siendo este mismo muy importante para la naturaleza dado con él ( $\text{CO}_2$ ) se genera el gas para la fotosíntesis y de no existir no tendríamos una vida vegetal.

#### **2.2.4 Ciclo del carbono**

El carbono, un elemento clave en los compuestos orgánicos, circula a través de los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo, funcionando como reservorios o depósitos de carbono. La transferencia de carbono entre estos depósitos ocurre mediante procesos físicos, químicos y biológicos. El flujo entre el reservorio terrestre y la atmósfera procede de fenómenos propios de la naturaleza, por ejemplo la fotosíntesis, la respiración y la emisión de gases producidos por las actividades humanas (Burbano Orjuela, 2018 citado por Rüginitz *et al.*, 2009).

El ciclo inicia cuando el dióxido de carbono de la atmósfera es capturado en la fotosíntesis, un proceso realizado por plantas y algunos microorganismos. Durante la fotosíntesis, el  $\text{CO}_2$  y el agua se combinan y generan hidratos de carbono, mientras que simultáneamente se libera oxígeno hacia la atmósfera. Algunos carbohidratos se emplean como energía para las plantas y el  $\text{CO}_2$  se libera por sus hojas o raíces. Los animales utilizan otra porción de estos carbohidratos, y durante sus procesos metabólicos desprenden dióxido de carbono. En última instancia, los organismos muertos, tanto plantas como animales, se descomponen por efecto de los microorganismos del suelo. Esto provoca la oxidación del carbono contenido en sus tejidos se convierta en  $\text{CO}_2$  y vuelva a la atmósfera (Burbano y Orjuela, 2018 citado por Orellana *et al.*, 2012).

Es importante destacar que en el suelo ocurre un fenómeno conocido como respiración, que implica la generación de dióxido de carbono mediante dos procesos: Los microorganismos presentes en el suelo, junto con la respiración de las células radiculares de las plantas, llevan a cabo la descomposición u oxidación material orgánica del suelo. El ritmo al que se produce

el CO<sub>2</sub> es significativo, pues indica la rapidez para descomponer la materia orgánica del suelo y, consecuentemente, la cantidad de carbono que se desprende del sistema del suelo. Por lo tanto, medir la respiración del suelo es útil para estimar la contribución de este al balance de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Burbano Orjuela, 2018 citado por Lessard *et al.*, 2006).

### **2.2.5 Calentamiento global**

Se puede definir como el ascenso progresivo de la temperatura del planeta Tierra provocado por la mayor emisión de gases de efecto invernadero (GEI), provocando que la luz solar salga de la tierra y estos al ser retenidos hacen elevar la temperatura. Desde el año 1950 la atmósfera y el océano se han elevado su nivel de temperatura, generando que los volúmenes de nieve y hielo disminuyan y por consiguiente, el nivel del mar se eleve (Miranda y Cruzado, 2020).

### **2.2.6 Modelos alométricos**

Los métodos alométricos de la presente investigación hacen referencia a las fórmulas matemáticas que nos ayudan a calcular la biomasa, el volumen y el carbono de los árboles, arbustos y en general de la vegetación en base alguna variable de mediciones sencillas como el diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP) y altura total (Ht) (Segura y Andrade, 2008).

### **2.2.7 Microcuenca**

Una cuenca y/o microcuenca es un territorio cuyos cuerpos de aguas (quebradas) fluyen todas hacia un tributario principal (rio principal), lago o mar.

Asimismo, se puede definir que cualquier región cuyo drenaje fluye directamente hacia el curso de agua matriz de una cuenca; diversas microcuencas pueden unirse para formar una subcuenca y varias subcuencas conforman una cuenca hidrográfica.

### 2.2.8 *Stipa ichu*

Según Rivera y Zamora (2020) citado por Ruiz y Pavón (1289), es una planta de larga duración que se desarrolla en forma de grupos compactos (cespitosa), con brotes o ramificaciones herbáceas en nudos muy próximos entre sí (amacollada), alcanza 1,5 m de altura. Sus tallos tienen una altura que va de 25 a 90 cm, son rectos y carecen por completo de pelos (glabros), mientras que las hojas alcanzan longitudes de 10 a 33 cm y tienen extremos puntiagudos. Su estructura floral consiste en un racimo que generalmente es alargado, con una apariencia sedosa y densamente poblado de flores, que mide entre 15 y 30 cm. Sus pequeñas espiguillas suelen tener pedicelos cortos.

Según Tapia (1971) el *Stipa ichu* es característico de la región andina de Perú y Bolivia, y guarda mucha similitud con el *Stipa pseudo-ichu*. Se diferencian por presentar dos tipos de hojas en el caso de *Stipa pseudo-ichu*, mientras que el *Stipa ichu* presenta hojas uniformes en toda la planta.

La presencia de *Stipa ichu* abarca del sur de México hasta Argentina, incluyendo países como Colombia, Costa Rica, Venezuela, Perú, Ecuador, Bolivia y Chile. La distribución en Perú incluye regiones como , Arequipa, Ancash, Ayacucho, Cuzco, Cajamarca, Huánuco, Huancavelica, Junín, La Libertad, Lima, Lambayeque, Pasco y Puno.

### 2.2.9 Biomasa

La biomasa se refiere al peso total de los seres vivos que se encuentran en una zona o volumen específico, donde se hallan materia vegetal fallecida recientemente, siendo denominado materia orgánica sin vida. La biomasa se es un factor de estudio muy importante, por intereses energéticos, industriales y medioambientales. Ante ello la biomasa cumple una tarea altamente relevante en el ciclo del carbono. De esta manera, la concentración de carbono puede ser calculada a partir de la biomasa, dado que existe una

estimación aproximada que un 50% de la biomasa consiste en carbono, esto nos permite conocer la cantidad de CO<sub>2</sub> que se introduce en la atmósfera al talar o incendiar un bosque (Carranza, 2018).

#### **2.2.10 Biomasa aérea**

Hace referencia a toda aquella biomasa que está bajo la superficie del suelo; como ramas, semillas, hojas, cortezas, ente otros; excluyendo o no considerando a materias en descomposición (necromasa).

#### **2.2.11 Biomasa radicular**

Hace referencia a toda aquella biomasa que se encuentra debajo de la superficie del suelo; exactamente hace referencia a todo el sistema radicular (raíces) de la vegetación.

#### **2.2.12 Necromasa**

Se trata de materia orgánica presente en el suelo, típicamente fresca y con un nivel bajo de descomposición. Esta puede abarcar desde residuos de plantas hasta materia orgánica depositada por animales (Martínez, 2019 citado por FAO *et al.*, 2011)

Así también se puede considerar que es una agrupación de cuerpos en descomposición y material vegetal sin vida, aún unidos a la vegetación viva; madera muerta en pie en los bosques, raíces muertas, cobertura vegetal con hojas secas (Martínez, 2019 citado por Sarmiento, 2014).

#### **2.2.13 Servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos, surgen en la década de 1970 en el movimiento ambientalista de EE.UU, siendo definido como el componente y/o los procesos de los ecosistemas consumidos y disfrutados que generan un mayor bienestar humano en función de su demanda, así como del funcionamiento de los ecosistemas.

También se define como el subconjunto de funciones del ecosistema, que tiene la capacidad para producir un bienestar favorable de manera directa e indirecta para el ser

humano o todo ser vivo. Haciendo mención que una vez definidas las funciones de un ecosistema estas pueden ser evaluadas a través de bienes y servicios (Balvanera *et al.*, 2020)

#### **2.2.14 Valoración económica**

Establece que asignar un valor económico al medio ambiente implica disponer de un indicador que permita cuantificar los costos y beneficios que genera; entre ellos podemos mencionar los siguientes: La implementación de una mejora ambiental, la ocurrencia de un impacto ambiental negativo, o la utilización de un recurso ambiental, entre otros.

El valor económico en relación con el ambiente implica asignar un valor monetario a los bienes y servicios ambientales que carecen de precio en el mercado, lo que implica que su valor económico puede variar. Es así que la misma población decide darle una valoración económica a los beneficios del servicio ambiental que ellos reciben (Gutiérrez, 2019),

Según Azqueta (1994) se puede divisar cuatro métodos y son los siguientes en mención:

Método de los costos evitados o inducidos:

*Método que nos ayuda a calcular las 3 categorías de valor de uso que forman el valor económico total (VET) que son el valor de uso directo, el valor de uso indirecto y el valor de Opción. El método se aplica cuando un bien o servicio ambiental no se comercializa en el mercado, se asocia a otro bien que sí tiene un precio establecido en el mercado. La conexión entre ambos se basa en que son sustitutos en la función de producción.*

Método de costo de viaje:

Según Azqueta (1994) se basa en estudiar la relación de bienes y servicios privados y ambientales que se complementan. Es decir, la relación complementaria que existe en el uso de servicios ambientales propios que un bosque, parque nacional o reserva natural puede generar al consumir otros bienes particulares como: el coste del viaje, el coste de la entrada

al lugar, las estadías y entre otras; en su mayoría esta estimación se obtiene en los ecosistemas o ambientes con actividades a la recreación.

Podemos decir que este método está basado en las acciones de los individuos en lugar de lo estas personas declaran y lo que estas personas estarían dispuestas a abonar una cantidad para acceder al lugar, siendo las visitas que realizan un medio para poder estimar los diversos costos de viaje.

#### Método de los Precios Hedónicos:

Es empleado para poder estimar el valor económico de bienes y servicios ambientales que tienen un impacto directo en los precios del mercado.

Asimismo, se define como el modelo en donde un bien es homologable a partir de sus atributos y si este tiene nuevos productos, formaran parte o combinación para los atributos ya existentes dándole un mayor valor a este.

Podemos decir que este método hace referencia a la compra de un bien que no solo es para satisfacerla necesidad, sino que se puede estimar los beneficios y costos que este nos brinda; como la calidad ambiental del área, la ubicación, los servicios ambientales estéticos (paisajes), etc.

#### Método de Valoración Contingente

Este enfoque busca que los individuos expresen su preferencia por el bien o servicio medioambiental. Este método permite estimar el valor económico total del bien o servicio ambiental, ya que se estima el valor de uso y de no uso generado.

### **2.3 Marco Legal**

Se refiere al conjunto de normativas, decretos, normas, reglamentos, etc., de carácter obligatorio o indicativo que regulan en un país, estado o entidad el cual se tiene que cumplir.

Este ítem hace la síntesis de los lineamientos jurídicos que dan soporte a la presente investigación:

### **2.3.1 Acuerdos internacionales**

#### **Convenio de Viena sobre la protección de la capa de ozono**

La validación científica de la disminución de la capa de ozono motivó a la comunidad internacional a implementar mecanismos de colaboración a fin de adoptar acciones de protección de la capa de ozono. Se oficializó mediante el Convenio de Viena para Proteger la Capa de Ozono, celebrado y firmado por 28 países en 1985, 22 de marzo (Naciones Unidas, 2022).

Este suceso fue base y fundamento para conducir a la formulación del Protocolo de Montreal sobre sustancias que deterioran la capa de ozono en 1987.

#### **Protocolo de Montreal**

Es un tratado ambiental internacional establecido en 1987, el propósito esencial es proteger la capa de ozono. Este tratado busca controlar y reducir globalmente la producción y uso de sustancias que la perjudican, proponiendo su eliminación progresiva. Esta estrategia se sustenta en los últimos desarrollos científicos y avances tecnológicos (Naciones Unidas, 2022).

La implementación del Protocolo de Montreal avanzó satisfactoriamente en países desarrollados y en vías de desarrollo. En la mayoría de los casos, se cumplieron todos los plazos de eliminación, y en algunos incluso se han adelantado a lo programado. Dado el avance sostenido bajo el Protocolo, en el año 2003, el ex secretario general Kofi Annan afirmó: *Posiblemente el acuerdo internacional más exitoso hasta ahora fue el Protocolo de Montreal.*

## **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC**

Adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y entrando en vigor el 21 de marzo de 1994, esta medida tiene por finalidad estabilizar los niveles de gases de efecto invernadero para prevenir los daños nocivos al planeta.

En 1995, se concluyó que los principios fijados en la mencionada Convención no eran suficientes para alcanzar los objetivos previstos en cuanto a la reducción de los GEI. Un hito significativo de la Convención es su reconocimiento de la autenticidad del problema del cambio climático. La ratificación del acuerdo marcó un avance significativo, especialmente considerando que en ese momento se contaba con menos respaldo científico que en la actualidad (aunque aún persisten dudas sobre la realidad del cambio climático por parte de algunos). Obtener consenso entre las naciones del mundo es un desafío considerable, especialmente cuando se trata de establecer una postura común frente a una dificultad compleja cuyas consecuencias futuras no están completamente claras y cuyos impactos más graves se proyectan para varias décadas e incluso siglos por venir (Rivera y Zamora, 2020 citado por Naciones Unidas, 2014 ).

## **Protocolo de Kyoto**

En 1997, un 11 de diciembre en Kioto, las naciones industrializadas acordaron adoptar acciones que reduzcan la emisión de gases de efecto invernadero. Los estados que firmaron el acuerdo se propusieron reducir sus emisiones contaminantes en un 5% promedio, teniendo de referencia a los niveles de 1990, de 2008 a 2012. El tratado se hizo efectivo el 16 de febrero de 2005, luego de ser ratificado por Rusia el 18 de noviembre de 2004.

Dicho Protocolo constituye un acuerdo internacional enfocado a reducir la emisión de 6 gases que contribuyen al calentamiento global. Estos gases incluyen el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O,

así como 3 gases fluorados utilizados industrialmente: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) (SINIA, 2020).

Este instrumento partió de los principios de la Convención, estableciendo objetivos obligatorios para reducir las emisiones de 37 naciones industrializadas y la Unión Europea. Reconoció que son los principales emisores de GEI, resultado principalmente de la combustión de combustibles.

### **2.3.2 Normas nacionales**

#### **Constitución Política del Perú, (1993)**

- ✓ Art. 2, párrafo 22, establece que el individuo es el objetivo fundamental de la sociedad y del Estado, por lo que tiene el derecho esencial a disfrutar de un entorno armonioso que propicie el desarrollo de la vida.
- ✓ El Art. 67 aborda la Política Ambiental, señalando que es responsabilidad del Estado establecer la política nacional sobre el medio ambiente y fomentar el uso sostenible de los recursos naturales.
- ✓ El Art. 68 aborda la conservación de la diversidad biológica y la protección de los espacios naturales. Es obligación del Estado promover la conservación de la diversidad biológica y de los espacios naturales protegidos existentes.

#### **Ley General del Ambiente, (2005)**

Ley 28611, en su Art. 94 aborda sobre los servicios ambientales:

- ✓ 94.1 Los recursos naturales y otros elementos ambientales desempeñan roles esenciales para sustentar las condiciones de los ecosistemas y del ambiente, ofreciendo beneficios que se utilizan sin compensación económica directa. Por ello, el Estado implementa estrategias para valorar, compensar y sostener la

provisión de estos servicios ambientales; buscando así preservar los ecosistemas, la biodiversidad y otros recursos naturales.

- ✓ 94.2 Los servicios ambientales incluyen la protección de los recursos hídricos, la conservación de la biodiversidad, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la preservación de la belleza paisajística, entre otros.
- ✓ 94.3 La autoridad Nacional Ambiental fomenta el establecimiento de sistemas para el financiamiento, pago y monitoreo de servicios ambientales.

### **Política Nacional del Ambiente, (2009)**

Ratificado por el Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, y cumpliendo el art. 67° de la Carta magna peruana y en consonancia a la normativa reguladora de políticas ambientales públicas. Este enfoque es una pieza fundamental en la gestión orientada al desarrollo sostenible del país. Ha sido diseñado considerando la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, así como los Objetivos del Milenio propuestos por la Organización de las Naciones Unidas, además de otros acuerdos y declaraciones internacionales sobre medio ambiente suscritos por el Estado Peruano (MINAM, 2017).

La Política Nacional del Ambiente debe ser cumplida de manera obligatoria por los 3 niveles de gobierno, y tiene un carácter guía para el sector privado y la sociedad civil. Se organiza alrededor de cuatro pilares fundamentales de la gestión ambiental, que establecen directrices políticas para lograr el desarrollo sostenible del país:

- *Eje de Política 1: Conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica*
- *Eje de Política 2: Gestión Integral de la calidad ambiental*
- *Eje de Política 3: Gobernanza ambiental*
- *Eje de Política 4: Compromisos y oportunidades ambientales internacionales.*

**Ley marco sobre cambio climático (Ley N° 30754, 2018).**

La finalidad de esta ley es definir los principios, enfoques y disposiciones básicas para articular, unir, planificar, llevar a cabo, informar, supervisar, evaluar y divulgar las políticas públicas destinadas a gestionar integralmente el cambio climático, garantizar la participación y transparencia en la implementación de medidas orientadas a la adaptación al cambio climático y su mitigación, a efectos de lograr un país menos vulnerable y capitalizar las oportunidades de un desarrollo que emita bajas cantidades de carbono, además de cumplir los compromisos internacionales adoptados en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, se adopta un enfoque que considera las necesidades tanto de las generaciones actuales como futuras (Ley N° 30754, 2018).

En su Art. 3. Lit. 3.4 Fomenta la inclusión activa de las comunidades locales y pueblos indígenas para preservar, conservar y usar sosteniblemente los bosques, reconociendo su valor como reservas significativas de carbono. Además, busca restaurar las áreas deforestadas en todo el país para aumentar la extensión de estas reservas forestales.

**Ley N° 30215: Ley de Mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos**

El Art. 1 indica que la ley impulsa, regula y vigila los sistemas de compensación por servicios ambientales resultantes de convenios voluntarios que definen medidas de preservación, restauración y gestión sostenible, para garantizar la continuidad de los ecosistemas.

### III. MÉTODO

#### 3.1 Tipo de Investigación

De acuerdo a la metodología de Rivera y Zamora (2020) citado por Hernández. *et al.* (2010), el estudio es no experimental de los siguientes tipos:

**Por su finalidad la investigación:** será Básica, porque incrementará el conocimiento del valor económico del servicio ambiental de la fijación del carbono total en la cobertura vegetal de *Stipa ichu*.

**Por su profundidad:** Explicativa (correlacional), porque se analizará el valor económico de la fijación del carbono total, frente al cambio climático.

**Por su naturaleza:** Cuantitativa, debido a que se medirá los resultados de laboratorio de la cantidad de carbono fijado tanto en el *stipa ichu* y el suelo de la cobertura vegetal.

**Por su alcance temporal:** Transversal, puesto que se evalúa en un momento del año.

#### ✓ Nivel de investigación

Según Rivera y Zamora (2020) citado por Supo (2015) el nivel de investigación de este estudio es **descriptivo**. Esto es porque se caracterizó y describió la población, se determinó el potencial de la especie *Stipa ichu* para almacenar carbono en términos de servicio ambiental.

#### 3.2 Población y muestra

##### Población

Son los individuos de la especie *Stipa ichu*, que se encuentran en el área de estudio; microcuenca del río ichu a nivel de toda su área (10529,03 ha) restringiendo ciertas áreas que se encuentran erosionadas y/o que no se encuentran la especie objetiva de estudio.

**Tamaño y muestra**

Las muestras de *Stipa ichu*, y las muestras de suelo fueron seleccionados aleatoriamente, tomando una muestra representativa, los cuales serán distribuidos aleatoriamente en el área objetiva de la microcuencia.

**Tipo de muestreo:**

El diseño del tipo de muestreo tanto para las muestras de *Stipa ichu* y suelos serán de tipo aleatorio y según experticia del investigador.

**3.3 Operacionalización de variables**

A continuación, se describe la operacionalización de variables

**Tabla 1***Matriz de Operacionalización de Variables*

Objetivo General		Variable	Indicador	Forma de calculo	Unidad de medida
Determinar la fijación de carbono total de la cobertura vegetal de <i>Stipa ichu</i> de la microcuenca del rio ichu para la estimación de su valor económico ambiental	VD	Valor económico ambiental total	Costo de la fijación de carbono total en la cobertura vegetal del <i>Stipa ichu</i>	$VEt = VEA_{Stipa} + VEAs$	\$ y S/.
	VI	fijación de carbono total en la cobertura vegetal del <i>Stipa ichu</i>	Cantidad de carbono total en el <i>Stipa ichu</i>	Método de "walkley y black"	tC/ha
<b>Objetivos específicos</b>					
Determinar la fijación del carbono en la cobertura vegetal de <i>Stipa ichu</i> para estimar su valor económico ambiental.	VD	valor económico ambiental en la cobertura vegetal de <i>Stipa ichu</i>	Costo por tonelada de carbono fijado en la cobertura vegetal de <i>Stipa ichu</i>	$VEC_{Stipa} = \text{Costo de C} * \text{ton C}$	tC/ha
	VI	Fijación del carbono en la cobertura vegetal de <i>Stipa ichu</i>	Porcentaje de carbono en la cobertura de <i>Stipa ichu</i> .	Método de "walkley y black"	tC/ha
Cuantificar el almacenamiento de carbono en el suelo de la cobertura vegetal de <i>Stipa ichu</i> para determinar su valor económico ambiental.	VD	valor económico ambiental del carbono en el suelo de la cobertura vegetal del <i>Stipa ichu</i>	Costo por tonelada de carbono fijado en el suelo de la cobertura vegetal del <i>Stipa ichu</i>	$VEC_{Suelo} = \text{Costo de C} * \text{ton C}$	\$/ tC/ha
	VI	Almacenamiento de carbono del suelo en el suelo de la cobertura vegetal de <i>Stipa ichu</i>	Cantidad de carbono almacenado en el suelo de la cobertura vegetal de <i>Stipa ichu</i> en un área determinado	Método de "walkley y black"	tC/ha
Analizar el valor económico ambiental de las reservas de carbono total de la cobertura vegetal de <i>Stipa ichu</i> para la gestión de su conservación.	VD	Gestión para la conservación de la cobertura vegetal de <i>Stipa ichu</i>	Viabilidad en la conservación de la cobertura vegetal de <i>stipa ichu</i> .	Cualitativo	**
	VI	Valor económico de la fijación de carbono total	Costo total de la fijación de carbono total en la cobertura vegetal del <i>Stipa ichu</i>	$VEt = VEAb + VEAs$	\$ y S/.

Donde;

VEt = Valor económico ambiental total

VEA<sub>Stipa</sub> : Valor económico ambiental del *Stipa ichu*

VEAs : Valor económico ambiental del suelo

VEC<sub>Suelo</sub> : Valor económico de carbono en el suelo

### 3.4 Instrumentos

Hace referencia a los materiales y equipos utilizados para desarrollar el presente estudio.

#### 3.4.1 Material cartográfico

- ✓ Cartografía a escalas 1/100 000 de cuencas a nivel de Huancavelica, los cuales fueron descargados de geoservidor del MINAM.
- ✓ Base de datos vectorial (*shapefiles*) de la carta nacional a escala 1/ 100 000, hoja 27m, lo cual se usó para delimitar el área de estudio.
- ✓ Base de datos vectorial (*shapefiles*) del mapa de cobertura vegetal nacional a escala 1/100,000 del MINAM.

#### 3.4.2 Materiales y equipos

##### Materiales de escritorio

**Materiales de escritorio:** lapiceros, lápices, plumón indeleble, papel bond A4, libreta de campo, papel bond A3.

**Equipos de escritorio:** Impresora A-4 y A-3, computadora de escritorio y laptop.

##### Materiales de campo

- Flexómetro
- Bolsas herméticas de polietileno de 15 x 10 pulgadas
- Bolsa de rafia de 25 kg
- Tablero tamaño A4

- Libreta de apuntes tamaño A4
- Soguilla de nylon de 20 m
- Un (01) pico
- Una (01) hoz
- Una (01) Tejiera podadera
- Cilindro *uhland*

#### **Equipos de campo:**

- Sistema de posicionamiento global GPSMAP® 64s.
- Balanza analítica de precisión modelo SF-400C precisión 0.001 g.
- Cámara fotográfica.

#### **3.4.3 Software y/o programas**

- ArcGIS 10.3
- Google Earth Pro
- Microsoft Office 2013 (Word, Excel, PPT y Visio)
- Software IBM SPSS Statistics 25.0.
- Zotero 5.0 for Window.

#### **3.4.4 Fichas y formatos de campo**

### **3.5 Procedimientos**

Hace referencia a todo el proceso que se siguió desde elaborar el proyecto de investigación hasta culminar la presente investigación.

#### **3.5.1 Etapa de pre-campo**

##### **✓ Identificación y delimitación del área de estudio.**

Para identificar el área de estudio se cruzó la base de datos (*shapefile*) de la carta nacional de la hoja 27 m a una escala 1/ 100 000, con la finalidad corroborar las áreas donde crecen los individuos de la especie *Stipa ichu*.

Una vez identificada se procedió con la delimitación del área de estudio; siguiendo la línea divisoria de aguas y finalmente se obtuvo la microcuenca lo cual fue verificada tanto en las imágenes satelitales del Google earth.

✓ **Tipo de muestreo**

El muestreo fue a nivel cualitativo y cuantitativo en parcelas de cuatro metros cuadrados ( $4 \text{ m}^2$ ) con la finalidad de calcular la densidad de individuos de *Stipa ichu* y subparcelas de un metro cuadrado ( $1 \text{ m}^2$ ) y determinar biomasa.

Para obtener muestras representativas, se efectuó el muestreo **aleatorio**.

✓ **Tamaño de la unidad muestral.**

La selección del tamaño de la unidad de muestra se fundamentó en el análisis de la relación entre el área y el número de individuos, obtenida a partir de los inventarios piloto realizado con este propósito en diversos ecosistemas del país, según lo indicado por la "Guía de inventario de flora y vegetación" del Ministerio del Ambiente, aprobada por la RM N° 059-2015-MINAM (MINAM, 2015).

Seguidamente, se especifica el tamaño mínimo de la unidad de muestra en el inventario de matorrales y herbazales, de acuerdo guía.:

**Tabla 2**

*Tamaño mínimo de la unidad muestral para matorrales y herbazales*

<b>Coberturas arbustivas y herbáceas</b>	<b>Unidad muestral</b>	<b>Tamaño mínimo de la unidad muestral</b>
Matorrales en general	Parcela	$100 \text{ m}^2$
Herbazales en general	Parcela	$1 \text{ m}^2 - 4 \text{ m}^2$
	Transecto	100 registros

Fuente: Guía de inventario de la flora y vegetación (MINAM, 2015).

Con la finalidad de tener una mayor representatividad en el muestreo; el tamaño de la unidad muestral fue en parcela de 4 m<sup>2</sup> (2m x 2m). Se llevó a cabo un muestreo superficial en esta parcela, durante el cual se registraron los siguientes parámetros del *Stipa ichu*:

- Área basal (cm)
- Área cubierta (cm)
- Altura (cm)

Asimismo, se delimitó dos (02) subparcelas cuadradas solo de 1m x 1m en diferentes parcelas del ámbito de la investigación para aplicar el método de estudio que implicaba la destrucción, mediante el cual se identificó los siguientes parámetros:

- Peso de raíz (gramos)
- Peso de tallo (gramos)
- Peso de hojas (gramos)
- Peso de flores (gramos)
- Peso de la necromasa (gramos)

Con la finalidad de extraer muestras del suelo se realizó calicatas con dimensiones de 0.5m x 0.5m y una profundidad 0.20 m.

✓ **Determinación de forma y distribución de unidades de muestreo.**

Según la “Guía de inventario de flora y vegetación” del MINAM (2015) las unidades de muestreo o parcelas de área constante son comúnmente empleadas en los inventarios de flora y vegetación, siendo las parcelas cuadradas las más frecuentemente utilizadas. Para estudiar las formaciones de arbustos o matorrales, se pueden emplear parcelas separadas por distancias iguales de al menos 100 metros.

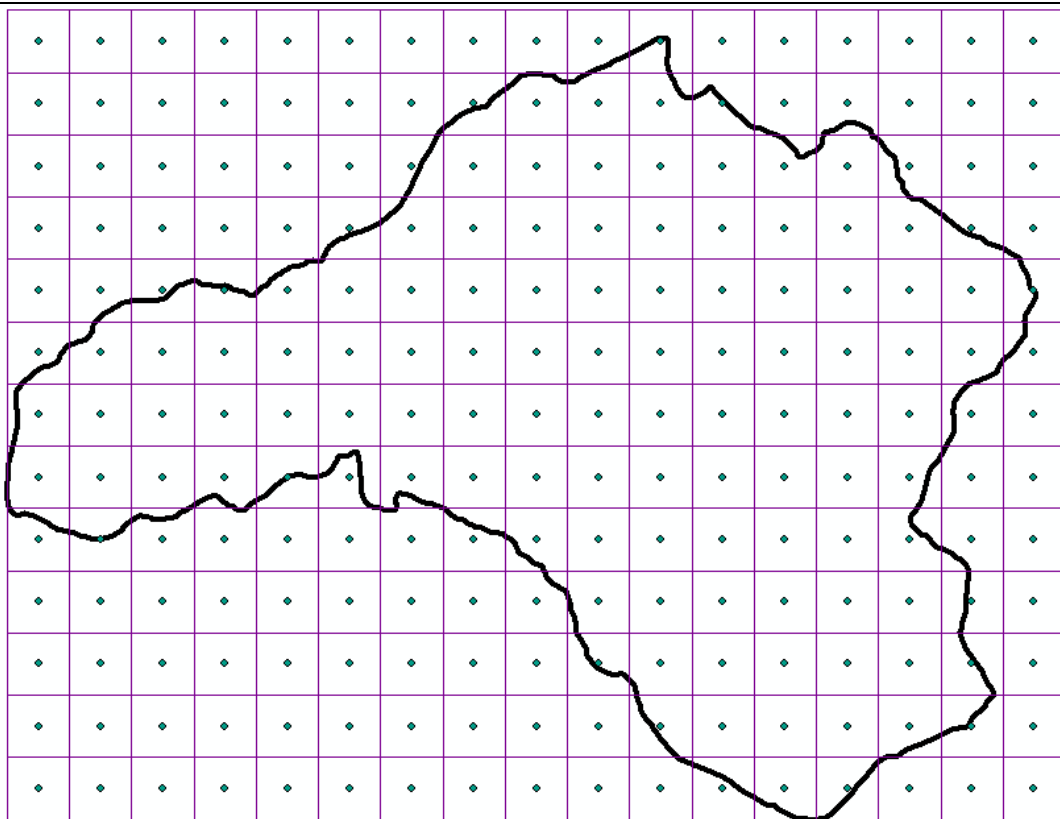
Sin embargo, debido a que el área de la unidad muestral abarca una gran extensión se realizó grillas de parcelas de 1000 m x 1000 m a nivel del área de estudio y cada una de

estas grullas representan una parcela muestral, el cual fue base para la cantidad de unidades muestrales.

Con el apoyo de las herramientas del software ArcGIS 10.3, se dividieron las áreas en parcelas cuadradas (grillas) de 1000 m x 1000 m. Posteriormente, se exportaron los datos de la tabla de atributos a MS Excel. Este proceso se realizó con el objetivo de ubicar y seleccionar de forma aleatoria las unidades de muestreo.

### Figura 1

*Generación de las grillas y unidades de muestreo*

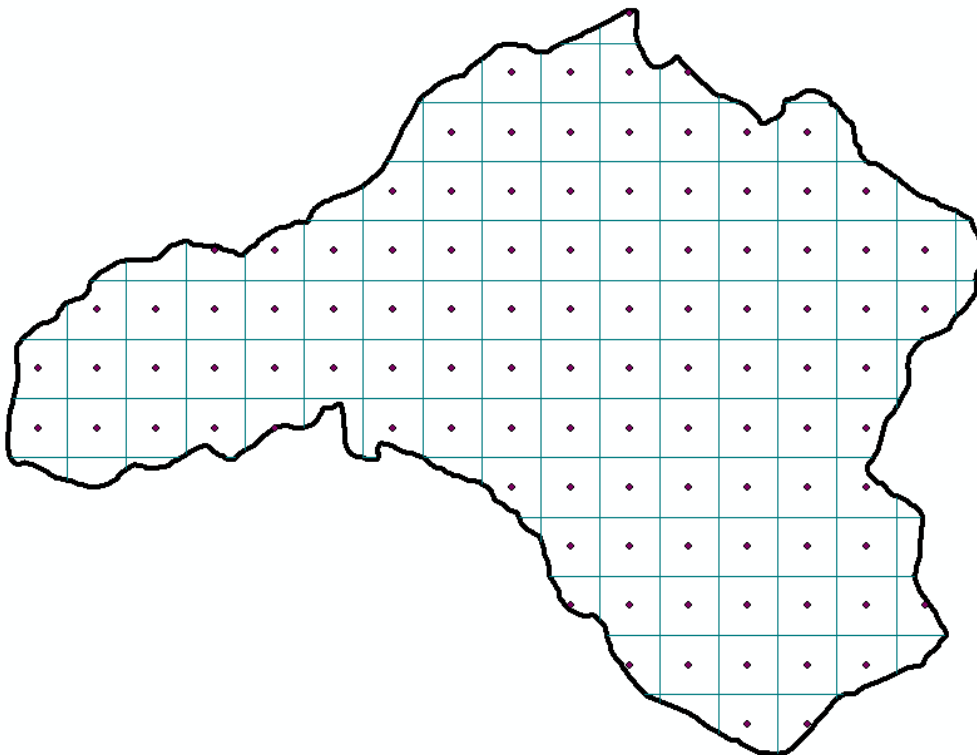


Generación de las grillas de 1000 m x 1000 m, en todo el área de estudio, del cual solo se selección todas las parcelas que están dentro del area de estudio.

**Figura 2**

*Área de estudio con las unidades muestrales*

---



---

Con el apoyo del MS Excel con la función “aleatorio”, se seleccionó la mejor distribución representativa; el número mencionado corresponderá al número de unidades de muestreo, las cuales se colocan en el mapa junto a sus coordenadas UTM correspondientes.

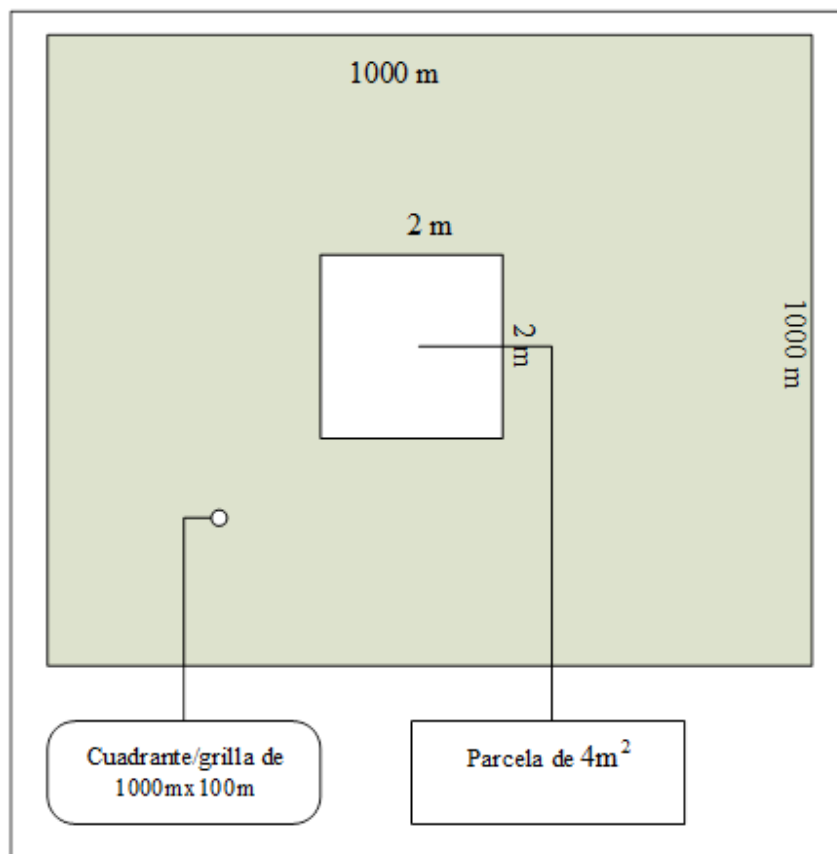
En Microsoft Excel, se registrarán las coordenadas UTM correspondientes a cada cuadrante generado en toda el área de interés. Utilizando la función "aleatorio", se seleccionará la cantidad de puntos igual al número de unidades de muestreo (Rivera, 2018 citado por Rueda, 2014), es importante destacar que, de todos los cuadrantes que conforman la rejilla en el área de estudio, se eligió aleatoriamente en Microsoft Excel la cantidad de unidades de muestra, estas unidades de muestra fueron dispersadas en el área de estudio, determinando su ubicación específica.

En el trabajo de campo, dentro de las grillas o cuadrante de 1000 m x 1000 m, Se empleó un dispositivo GPS para marcar las coordenadas UTM, las cuales representan el punto central de cada cuadrante. Luego, se delimitaron las unidades de muestra mediante la creación de parcelas cuadradas de 2m x 2m (4 m<sup>2</sup>) para realizar el muestreo superficial.

Además, se establecieron subparcelas de 1m<sup>2</sup> en cada estrato para llevar a cabo el método "destrutivo", en la siguiente ilustración detalla lo descrito;

### Figura 3

*Forma y tamaño de la parcela y sub parcela*



Fuente: Adaptación de Rivera y Zamora (2020)

#### ✓ **Determinación del número de unidades de muestreo (N).**

Para identificar las unidades de muestreo, se hizo una visita piloto al área de estudio en 2022, para confirmar la especie a investigar. A lo largo de esta visita, se empleó un muestreo piloto utilizando el método del área mínima para calcular el coeficiente de

variabilidad del *Stipa ichu*. Esto se hizo con el fin de obtener hallazgos representativos de las muestras (Rivera, 2018 citado por Flores, 2017).

Después, se calcular (N), utilizando como referencia la "Guía de inventario de la flora y vegetación" del MINAM, (2015);

$$N = (CV\%)^2 \times \frac{t^2}{E\%^2} \quad \text{Ecuación 3. Estimación del número de unidades muestrales}$$

Donde:

N : Número de unidades muestrales

CV% : Coeficiente de variabilidad relacionado a las matas de *Stipa ichu*

E% : Error de muestreo igual a 15%

t : 2 (al 95% de probabilidad)

$$CV = \frac{\sigma}{X} \times 100 \quad \text{Ecuación 4. Coeficiente de variabilidad}$$

Donde:

$\sigma$  : Desviación estándar

X : Promedio

Se realizó una muestra preliminar en el 2022 con el propósito de estimar el coeficiente de variabilidad del *Stipa ichu*. En la tabla 3 se especifican las coordenadas UTM – WGS 84 – 18 S los puntos evaluados:

**Tabla 3**

*Inventario de muestras piloto*

Nº parcela	Este	Norte	Nº de individuos de <i>Stipa ichu</i>
1	494501	8578308	21
2	493515	8581325	28
3	482509	8582330	32

Nº parcela	Este	Norte	Nº de individuos de <i>Stipa ichu</i>
4	484545	8582313	25
5	488556	8583345	35

Fuente: Trabajo de campo piloto - Elaboración propia (2022).

A partir de la tabla obtenemos:

Promedio ( $\bar{x}$ ) : 28.20

Desviación estándar (S) : 5.54

Coefficiente de variabilidad (CV%) : 20%

Reemplazando en la ecuación de (N)

$$N = (20)^2 \times \frac{2^2}{15^2} = 6.86 \approx 7$$

De acuerdo a la fórmula para la determinación de las unidades muestrales del MINAM, (2015) se obtuvo cinco (5) unidades muestrales (N), que fueron asignados de forma aleatoria.

Se realizaron estimaciones para el inventario superficial en todas las áreas de estudio basadas en estas 5 unidades de muestreo (N).

Para recoger las muestras se empleó el método "*destrutivo*", se establecieron subparcelas de 1m<sup>2</sup> (1m x 1m) y para la recolección de muestras de carbono orgánico en suelos de 0,5 m x 0,5 m y una profundidad 0,20 m respectivamente. A continuación, se detalla las unidades muestrales.

**Tabla 4**

*Ubicación de las unidades de muestreo (N)*

Ítem	Este	Norte	Alt. (msnm)
1	494596	8578364	4656
2	492776	8582326	4026

Ítem	Este	Norte	Alt. (msnm)
3	490414	8582221	4231
4	486755	8583387	4538
5	493554	8583323	3937
6	489739	8585276	4247
7	492342	8585244	4345

Fuente: Elaboración propia, (2023).

### 3.5.2 Etapa campo

#### A. Actividades desarrolladas en el área de estudio:

##### ✓ Verificación y ubicación de las unidades muestrales

Con el apoyo del GPS, se ubicaron los límites del área de estudio, así como de los elementos muestrales.

Una vez verificada, las coordenadas establecidas en gabinete se reubicaron en la misma área de la parcela establecida, esto debido a que se evidencio en campo que el acceso hacia el punto no cumplía con los parámetros de seguridad y accesibilidad. Esta reubicación ya fue a criterio y experticia del tesista.

##### ✓ Determinación de los parámetros muestrales; conteo, medición y extracción de los individuos del *Stipa ichu*

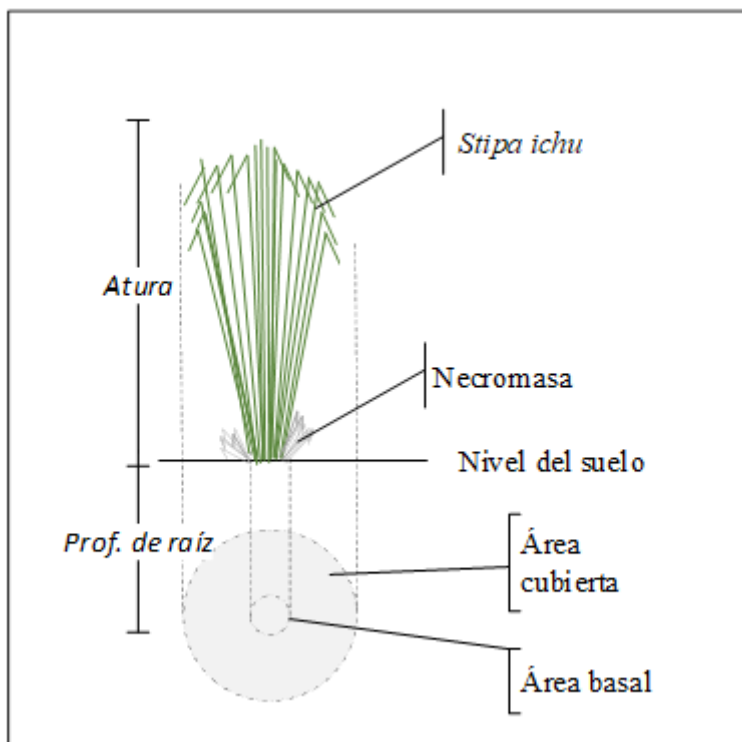
Una vez reubicada en algunos puntos, se delimito los 4m<sup>2</sup>, y en esta área se realiza el conteo de la cantidad de matas/individuos de *Stipa ichu*, determinando los siguientes parámetros;

- Área basal
- Área cubierta
- Altura de cada individuo

A continuación, se ilustra la morfología del *Stipa ichu* y los parámetros.

**Figura 4**

*Proyección de los parámetros del Stipa ichu.*



Fuente: Elaboración propia, (2023), adaptación de Tapia (1971).

Una vez estimado los parámetros de los individuos se seleccionó dos (02) subparcelas en las cuales se delimitó un área de 1m<sup>2</sup> donde se empleó el método “destrutivo”; procediendo el corte de la biomasa aérea, necromasa y recolección de la biomasa radicular. Consecutivamente, sobre esta misma área se realizó una calicata pequeña de 0,5 m x 0,5 m y una profundidad 0,20 m para extraer la muestra del suelo y así lograr determinar el carbono orgánico.

Se procedió al separado de cada componente del *Stipa ichu* (tallos, flores, raíces, hojas, necromasa) así como la extraer la muestra del suelo.

#### ✓ **Preparación de las muestras; pesaje y rotulado**

Después de separada los componentes se colocó en la bolsa siplox para ser pesado con la balanza analítica a fin de estimar la biomasa aérea y radicular verde de cada individuo. Este proceso fue llevado a cabo en cada subparcela de 1m<sup>2</sup>.

De las muestras obtenidas en cada subparcela, se procedió colocar a cada una de ellas en las bolsas herméticas y mezclar con la finalidad de homogenizar las muestras, luego de ello se pesó 0,5 kg de cada componente con la finalidad de analizar las muestras a nivel de laboratorio, tal como se ilustra a continuación:

**Figura 5**

*Muestras para análisis de carbono*



Donde:

1: Muestras de raíz

4: Muestras de flor

2: Muestras de Tallo

5: Muestras de necromasa

3: Muestras de hojas

6: Muestras de suelo

✓ **Muestreo de suelo**

Se realizó una calicata pequeña de 0,5 m x 0,5 m y una profundidad 0,20 m en dos (02) subparcelas, del cual solo se extrajo solo los primeros 0,10 m de profundidad el cual corresponde al horizonte O del suelo.

Cada muestra extraída se homogenizó y se llevó 0,5 kg para ser trasladado al laboratorio.

Asimismo, se midió la densidad aparente del suelo, para lo cual se usó un cilindro metálico y con apoyo de un martillo se recogió la muestra para su posterior pesado (Rügnitz *et al.*, 2009), este procedimiento se realizó con la finalidad de obtener la densidad aparente del suelo.

#### **B. Trabajo a nivel de laboratorio:**

Las muestras fueron selladas apropiadamente rotuladas en bolsas con pesos de 0,25 kg los cuales se llevó a laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) y con la finalidad de hacer un comparativo y tener mayor precisión se llevó a un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

#### ✓ **Métodos utilizados**

Por el laboratorio de suelos de la UNALM.

#### **Tabla 5**

*Método aplicado por el laboratorio de suelo de UNALM*

<b>Ensayo</b>	<b>Método</b>	<b>L.C</b>	<b>Unidad</b>
<b>Suelo</b>			
Carbono orgánico total (COT)	Por calcinación o Método de Walkley y Black	--	%
Humedad	Gravimetría. Diferencia de pesos	--	%
<b>Tejido</b>			
Contenido de Materia seca y Humedad	Por calcinación o Método de Walkley y Black	--	%
Carbono orgánico total	Gravimetría. Diferencia de pesos	--	%

Fuente: Informe de análisis foliar HR 79915, Informe de análisis en suelo HR 79914 – Laboratorio de suelos, plantas y fertilizantes – UNALM

Análisis por laboratorio acreditado:

**Tabla 6**

*Método aplicado por el laboratorio acreditado*

<b>Ensayo</b>	<b>Método</b>	<b>L.C</b>	<b>Unidad</b>
<b>Suelo</b>			
Carbono orgánico total (COT)	Norma Oficial Mexicana NOM-021- EMARNAT-2000 ítem 7.1.7, Método AS-07. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Materia Orgánica. 2002.	0,13	%
Humedad	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.5 AS- 05 - Método Gravimétrico (31 de diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0,10	%
<b>Tejido</b>			
Contenido de Materia seca y Humedad	INIA 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales, ítems. 1.0 /1.1 Descontaminación y secado de muestra	0,50	%
Carbono orgánico total	UNE 77321:2003 Calidad del suelo. Determinación de carbono orgánico y carbono total mediante combustión seca (análisis elemental).	0,05	%

INFORME DE ENSAYO N° 173705-2023, INFORME DE ENSAYO N° 173705-2023 – Servicios Analíticos Generales – SAG

✓ **Determinación de la biomasa seca.**

Las muestras empleadas estaban frescas; inicialmente se pesaron (P0), posteriormente se eliminó el agua libre o capilar a través de la estufa eléctrica, donde las muestras se mantuvieron durante 48 horas a 70°C de temperatura hasta alcanzar el peso estable, seguidamente se registró el peso de la materia seca (Pf) y así se calculó el contenido de materia seca (MS) (Rivera, 2018 citado por Flores, 2017).

✓ **Determinación de carbono**

Para medir el contenido de porcentaje de carbono orgánico total (%C) se emplearon muestras de la biomasa sobre el suelo (tallos, hojas, flores y necromasa) y radicular (raíz) todas en estado de materia fresca; para luego ser llevadas a los laboratorios.

**Método de Walkley y Black:**

El método de Walkley y Black según lo descrito en el método AS-07 de la NOM-021-SEMARNAT-2000, así como lo describe Rodríguez *et al.* (2014);

Este método implica la oxidación del carbono orgánico de una muestra de suelo seco de 0,5 g, previamente tamizada a través de un tamiz de 0,5 mm. Esto se realiza mediante una solución de 10 mililitros de dicromato de potasio y la reacción de calor que surge al combinar con 20 mililitros de ácido sulfúrico concentrado. Tras 30 minutos de espera, la combinación se diluyó con 200 mililitros de agua destilada, se agregaron 5 ml de ácido fosfórico y de 5 a 10 gotas de un indicador de difenilamina. La solución fue titulada con una solución de sulfato ferroso hasta que se observó un cambio de color. En cada evaluación se incorporó una muestra de control. Este proceso detecta entre el 70% y el 84% del carbono orgánico total, lo que hace necesario aplicar un factor de corrección. A continuación, se detalla la reacción;



*Ecuación 5.  
Reacción del  
método de  
Walkley y Black*

Los resultados de laboratorio fueron:

**Tabla 7**

*Resumen de resultados de laboratorio*

N° de Muestra	Componente	Laboratorio de Suelos - UNALM		Laboratorio Acreditado		Análisis de lab. Promedio	
		% C	%H	% C	%H	% C	%H
Muestra 1	Muestras de raíz	31,89	36,71	27,48	33,37	<b>29,685</b>	<b>35,04</b>
Muestra 2	Muestras de Tallo	48,46	51,62	48,52	56,71	<b>48,49</b>	<b>54,165</b>
Muestra 3	Muestras de hojas	48,46	49,14	46,4	42,37	<b>47,43</b>	<b>45,755</b>
Muestra 4	Muestras de flor	48,46	42,63	44,68	43,69	<b>46,57</b>	<b>43,16</b>
Muestra 5	Muestras de necromasa	23,16	66,44	46,23	46,76	<b>34,695</b>	<b>56,6</b>
Muestra 6	Muestras de suelo	17,18	15,19	12,23	16,73	<b>14,705</b>	<b>15,96</b>

Fuente; INFORME DE ENSAYO N° 173705-2023, INFORME DE ENSAYO N° 173705-2023 – Servicios Analíticos Generales – SAG  
Informe de análisis foliar HR 79915, Informe de análisis en suelo HR 79914 – Laboratorio de suelos, plantas y fertilizantes – UNALM

Con fines de mayor precisión se va procesar la información del promedio de los resultados de cada laboratorio debido a que son casi similares.

### 3.5.3 Etapa de gabinete

Principalmente involucra el análisis y procesamiento de los hallazgos alcanzados tanto en el trabajo de campo como en el laboratorio.

#### ✓ Estimación de la densidad

La densidad se calcula aplicando el método de registro de individuos (N) en una zona específica (A), conforme a la RM 019-2017-MINAM (inventario de flora y fauna). Para calcular la densidad (D) o el número de individuos de *Stipa ichu* en una parcela, se aplica la fórmula siguiente:

$$D = \frac{N}{A} \quad \text{Ecuación 6. Estimación de la densidad}$$

Donde:

**N** : Numero de matas y/o individuos de *Stipa ichu*

**A** : Área de la parcela (m<sup>2</sup>)

Para calcular el área promedio ocupada por *Stipa ichu* en los estratos del área de estudio, se empleó la ecuación de Rivera (2018) citado por Tapia (1971) donde se establece que la densidad es la superficie ocupada por los individuos.

$$\text{Densidad (\%)} = \frac{\sum \text{Área basal de la especie (m}^2\text{)}}{\text{Área de la parcela (m}^2\text{)}} \times 100 \quad \text{Ecuación 7. Estimación de la densidad en \%}$$

#### ✓ Estimación de la biomasa total

##### **Biomasa total (Bt)**

Es toda biomasa verde (aérea y radicular) que es pesada en campo y cuyo resultado y/o cantidad se procede a dimensionar a toda el área de interés del estudio; según la ecuación citada por Rivera (2018).

$$Bt (t/ha) = \sum (Ba + Br + Bn) \quad \text{Ecuación 8. Estimación de la biomasa total}$$

Donde:

$Bt (tn/ha)$  : Biomasa total expresada en toneladas por hectáreas.

$Ba$  : Biomasa aérea; comprende tallos, hojas, flores

$Br$  : Biomasa radicular; comprende toda la raíz

$Bn$  : Biomasa de la necromasa

Para calcular la biomasa, se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$\%H = \frac{P_0 MV - P_f MS}{P MV} \times 100 \quad \text{Ecuación 9. Estimación de la humedad}$$

$$\%MS = 1 - \%H \quad \text{Ecuación 10. Estimación del porcentaje de materia seca}$$

Donde:

$\%H$  : Porcentaje de humedad

$\%MS$  : Porcentaje de la materia seca

$P_0 MV$  : Peso inicial de la materia verde

$P_f MS$  : Peso final de la materia seca

$PMV$  : Peso de la materia seca

Se determinó la biomasa total al aplicar la misma ecuación de biomasa verde, con la diferencia que entrara a la ecuación la biomasa seca.

#### ✓ Estimación del carbono en la biomasa total.

Una vez calculado la biomasa total, se procede a realizar los procedimientos para estimar el porcentaje de carbono orgánico (%C), empleando la siguiente ecuación de acuerdo

al procedimiento del método AS-07 de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Rodríguez *et al.*, 2014).

$$\%C = \frac{Vsfb - Vsfm}{Pm} \times Fc \times 0.39 \times N$$

*Ecuación 11. Estimación el porcentaje del carbono*

Donde:

$Vsfb$  = volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml)

$Vsfm$  = volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml)

$N$  = normalidad exacta del sulfato ferroso

$Pm$  = peso de la muestra empleada (g)

$Fc$  = factor de corrección de humedad

Para cuantificar el contenido de carbono orgánico (tC/ha) almacenado en los diversos elementos del *Stipa ichu* (hoja, tallo, flor, raíz y necromasa) se utilizará la ecuación descrita en (Rügnitz *et al.*, 2009).

$$C = Bt \times \%C$$

*Ecuación 12. Estimación de carbono*

Donde;

$C$  = Contenido de carbono orgánico (tC/ha)

$Bt$  = Biomasa total seca (t/ha)

$\%C$  = Porcentaje de carbono, según resultados del laboratorio.

#### ✓ **Determinación de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Una vez obtenida los resultados de carbono orgánico total (tC/ha) se calculó la captura del CO<sub>2</sub> en la cobertura vegetal del *Stipa ichu*, para lo cual se emplea la ecuación descrita en (Flores, 2017; citado por Eduarte y Segura, 1998);

$$CO_2 = C \times Kr$$

*Ecuación 13. Estimación de carbono*

Dónde:

$CO_2$  : Toneladas de dióxido de carbono

C : Carbono (tC/ha)

Kr : 44/12 (Factor de conversión de carbono a dióxido de carbono)

#### ✓ **Determinación de carbono orgánico en el suelo**

El carbono orgánico almacenado en el suelo es calculado por medio de la sumatoria del carbono almacenado en cada horizonte (Rügnitz *et al.*, 2009; citado por IPCC, 2006) el cual para la presente investigación se traduce en la siguiente ecuación;

$$CO_s = \sum_{\text{horizonte}-1}^{\text{horizonte}-0} [COS] \times DA \times H$$

*Ecuación 14. Estimación del carbono en el suelo*

Así como se estimará el carbono orgánico en el horizonte O, en los primeros 0,10 m de profundidad (H), la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

$$CO_s = [COS] \times DA \times P$$

Donde;

$CO_s$  : El carbono orgánico del suelo, indicativo del tipo de uso del suelo  
(tC/ha)

[COS] : Porcentaje de carbono orgánico obtenida del análisis de laboratorio (%)

DA : Densidad aparente del suelo ( $gr/cm^3$ )

P : Profundidad (cm)

100 : Factor de conversión de unidad a *t/ha*

Cálculo de DA:

$$DA = \frac{Psn}{Vc} \quad \text{Ecuación 15. Estimación de la densidad aparente del suelo}$$

Donde;

Psn: Peso seco neto del suelo

Vc: Volumen del cilindro (constante)

### ✓ Estimación del valor económico ambiental del (CO<sub>2</sub>)

Para el valor económico se aplicó el método de “precios de mercado” debido a que La función del ecosistema se intercambia en un mercado específico, como el mercado de bonos de carbono, del Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub> (SendeCO<sub>2</sub>).

De acuerdo al portal de SendeCO<sub>2</sub> (2023), contiene información de costos mensuales de hasta agosto del 2023 según muestran en el siguiente cuadro;

**Tabla 8**

*Precios CO<sub>2</sub> en el mercado europeo según SendeCO<sub>2</sub>*

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
80,29 €	91,82 €	89,23 €	90,52 €	83,89 €	85,62 €	86,36 €	84,37 €

Media anual: **86,43 €**

Nota: para la estimación del Carbono se utilizará la media anual (**86,43 €/tCO<sub>2</sub>**)

La ecuación a utilizar para la valoración económica será según lo descrito por Porras y Izaguirre (2019), el cual se traduce en;

$$VE_{CO_2} = ton CO_2 \times P \quad \text{Ecuación 16. Valoración económica del CO}_2.$$

Donde;

VE<sub>CO<sub>2</sub></sub>: Valor económico del CO<sub>2</sub>

tCO<sub>2</sub>: Toneladas de dióxido de carbono-eq

### 3.6 Análisis de datos

De acuerdo a las actividades de campo, se evidencian la cobertura vegetal de *Stipa ichu* casi uniforme en la región de investigación.

De acuerdo a la determinación de las unidades muestrales (N), en total se evaluó siete (07), los cuales se distribuyeron aleatoriamente.

En estas unidades muestrales se contabilizaron la cantidad de matas/individuos en un área de 4 m<sup>2</sup>.

**Tabla 9**

*Síntesis de los resultados del trabajo de campo*

Sub parcela	Coordenadas UTM - WGS 84 -18 S			Cantidad de individuos/	Área (m <sup>2</sup> )
	Este	Norte	Alt. (msnm)		
1	494596	8578364	4656	31	4
2	492776	8582326	4026	37	4
3	490414	8582221	4231	31	4
4	486755	8583387	4538	27	4
5	493554	8583323	3937	38	4
6	489739	8585276	4247	32	4
7	492342	8585244	4345	29	4

Asimismo, se han realizado las mediciones de los elementos de *Stipa ichu* para ello se utilizó el enfoque de extracción, con el propósito de recopilar data para calcular la biomasa en un área de 1 m<sup>2</sup>. En total se realizaron dos (02) puntos; el primero en la subparcela dos (2) y lo otro en la subparcela cinco (5), cuya síntesis se detalla en la tabla siguiente;

**Tabla 10***Parcela 2 para el método destructivo*

Nº de matas	Altura (m)	Hojas (g)	P. Tallos (g)	P. Raíz (g)	P. Flores (g)	Necromasa (g)
1	0,79	226	81	29	43	120
2	0,89	257	35	24	17	15
3	0,21	248	49	22	19	105
4	0,42	85	36	26	15	35
5	0,79	735	45	13	12	205
6	0,37	26	23	15	20	13
7	0,87	250	164	71	70	115
8	0,68	89	25	11	13	20
9	0,68	85	33	15	15	28

Fuente: Trabajo de campo, (2023).

**Tabla 11***Parcela 5 para el método destructivo*

Nº de matas	Altura (m)	Hojas (g)	P. Tallos (g)	P. Raíz (g)	P. Flores (g)	Necromasa (g)
1	0,85	210	110	11	12	89
2	0,35	105	85	15	8	75
3	0,85	298	110	12	12	98
4	0,75	320	125	12	8	115
5	135	298	130	45	17	130
6	120	120	85	13	9	58
7	0,85	205	86	18	16	95
8	0,9	267	96	13	15	119

Fuente: Trabajo de campo, (2023).

✓ **Estimación de la densidad *Stipa ichu***

Para estimar la densidad de la cobertura vegetal del *Stipa ichu*, se contabilizó la cantidad de individuos que se encontraba en un área de cuatro (4 m<sup>2</sup>). A partir del inventario en cada sub parcela se estima la cantidad de individuos de la especie *Stipa ichu* que se hallan en un ara de una hectárea.

**Tabla 12**

*Estimación de la densidad del Stipa ichu*

Nº de Subparcela	Área (m <sup>2</sup> )	Nº de individuos
Nº 01	4	31
Nº 02	4	37
Nº 03	4	31
Nº 04	4	27
Nº 05	4	38
Nº 06	4	32
Nº 07	4	29
<b>Promedio</b>	<b>4</b>	<b>32.14</b>

$$D = \frac{N}{A} = \frac{32.14}{4} = 8 \frac{\text{Individuos de Stipa ichu}}{1 \text{ m}^2} = \mathbf{80,357} \frac{\text{Individuos de Stipa ichu}}{\text{ha}}$$

Finalmente resulta 80,357 individuos de *Stipa ichu* en una (01) hectárea del área de estudio con una altura promedio de 0.59 m.

✓ **Estimación de la de biomasa de la especie *Stipa ichu***

Para cuantificar la biomasa, lo primero que se realiza aplicando el método destructivo en un área de 1 m<sup>2</sup>, lo cual se separa entre sus elementos; flor, tallo, hojas, necromasa y raíz para que luego separarlos y pesaje correspondiente de la biomasa verde. Una vez pesado en campo, se recolectan muestras considerables para llevaros al laboratorio, y aplicando el método gravimétrico se estima la biomasa seca;

**Tabla 13***Resultados de la Parcela 2, pesos de la biomasa verde y seca*

Área: 1 m <sup>2</sup>		Peso de los componentes de las matas – Verde (Información de campo)					Peso de los Componente de las matas – Seco (Data procesada)				
N° de mata	Altura m	Hojas (g)	Tallos (g)	Raíz (g)	Flores (g)	Necromasa (g)	Hojas Kg	Tallos kg	Raíz Kg	Flores Kg	Necromasa Kg
1	0,79	226	81	29	43	120	0,123	0,037	0,019	0,024	0,052
2	0,89	257	35	24	17	15	0,139	0,016	0,016	0,010	0,007
3	0,21	248	49	22	19	105	0,135	0,022	0,014	0,011	0,046
4	0,42	85	36	26	15	35	0,046	0,017	0,017	0,009	0,015
5	0,79	735	45	13	12	205	0,399	0,021	0,008	0,007	0,089
6	0,37	26	23	15	20	13	0,014	0,011	0,010	0,011	0,006
7	0,87	250	164	71	70	115	0,136	0,075	0,046	0,040	0,050
8	0,68	89	25	11	13	20	0,048	0,011	0,007	0,007	0,009
9	0,68	85	33	15	15	28	0,046	0,015	0,010	0,009	0,012

**Tabla 14***Resultados de la Parcela 5, pesos de la biomasa verde y seca*

Área: 1 m <sup>2</sup>		Peso de los componentes de las matas – Verde (Información de campo)					Peso de los Componente de las matas – Seco (Data procesada)				
N° de mata	Altura m	Hojas (g)	Tallos (g)	Raíz (g)	Flores (g)	Necromasa (g)	Hojas kg	Tallos Kg	Raíz kg	Flores Kg	Necromasa Kg
1	0,85	210	110	11	12	89	0,114	0,050	0,007	0,007	0,039
2	0,35	105	85	15	8	75	0,057	0,039	0,010	0,005	0,033
3	0,85	298	110	12	12	98	0,162	0,050	0,008	0,007	0,043
4	0,75	320	125	12	8	115	0,174	0,057	0,008	0,005	0,050
5	135	298	130	45	17	130	0,162	0,060	0,029	0,010	0,056
6	120	120	85	13	9	58	0,065	0,039	0,008	0,005	0,025
7	0,85	205	86	18	16	95	0,111	0,039	0,012	0,009	0,041
8	0,9	267	96	13	15	119	0,145	0,044	0,008	0,009	0,052

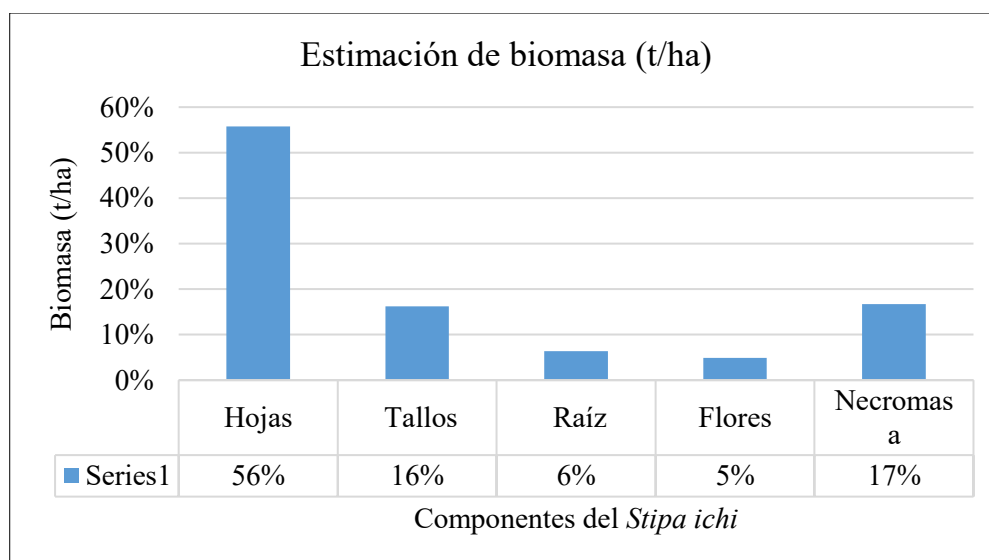
Haciendo los cálculos y conversiones respectivos, se obtiene como resultado siguiente:

**Tabla 15**  
*Resultados obtenidos después de la conversión*

Parámetro	Hojas	Tallos	Raíz	Flores	Necromasa
Biomasa (tB/ha)	10,37	3,02	1,19	0,91	3,11
Biomasa (%)	56%	16%	6%	5%	17%

**Figura 6**

*Estimación de biomasa (t/ha)*



✓ **Almacenado de carbono en la biomasa en la especie *Stipa ichu***

Se efectuaron cálculos para determinar la cantidad de carbono retenido en las partes de la especie *Stipa ichu* analizados a través de dos laboratorios; laboratorio de suelos de la UNALM aplicando el método de Walkley y Black y mediante el laboratorio Servicios Analíticos Generales, es un laboratorio acreditado por INACAL donde aplicó el método UNE 77321:2003. Calidad del suelo y con la finalidad de tener mayor precisión se consideró promediar los resultados de ambos laboratorios.

Asimismo, se llevó a ambos laboratorios muestras de suelo donde crece la cobertura vegetal de *Stipa ichu* con el propósito de calcular el porcentaje de carbono.

Como resultado el porcentaje de carbono para cada componente del *Stipa ichu* resulta de la siguiente manera;

**Tabla 16**

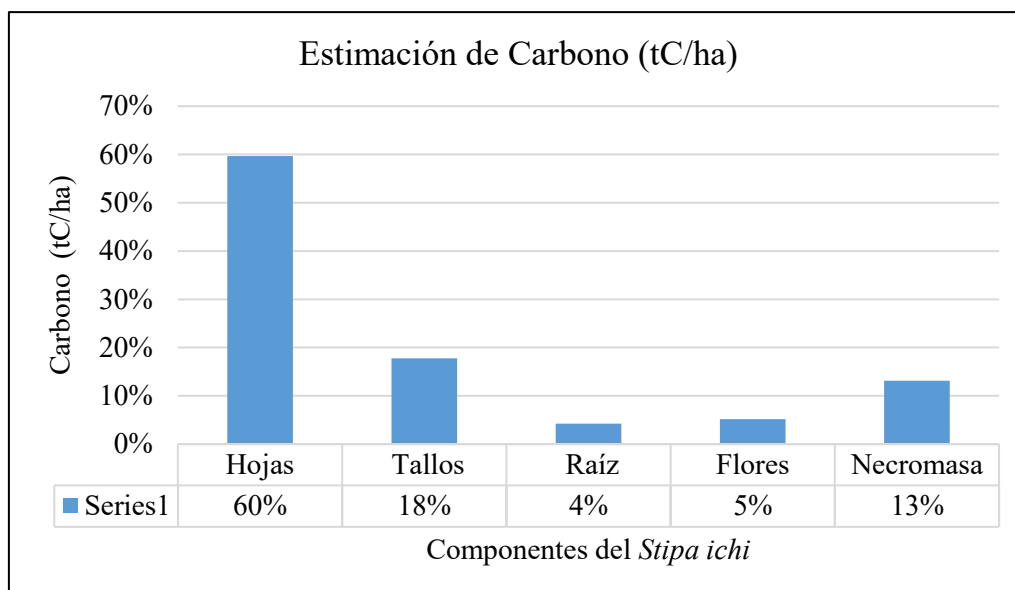
*Resultado de análisis de carbono proporcionado por los laboratorios*

Muestra	Componente	Resultados de laboratorio		Promedio
		UNALM	SAG (Laboratorio Acreditado)	
		% C	% C	% C
Muestra 1	Muestras de raíz	31,89	27,48	<b>29,685</b>
Muestra 2	Muestras de Tallo	48,46	48,52	<b>48,49</b>
Muestra 3	Muestras de hojas	48,46	46,4	<b>47,43</b>
Muestra 4	Muestras de flor	48,46	44,68	<b>46,57</b>
Muestra 5	Muestras de necromasa	23,16	46,23	<b>34,695</b>
Muestra 6	Muestras de suelo	17,18	12,23	<b>14,705</b>

Una vez obtenida el porcentaje promedio de carbono contenido en la biomasa seca de los componentes del *Stipa ichu*, se procede a estimar el porcentaje de contenido de carbono en cada componente de la especie estudiada.

**Figura 7**

*Estimación de porcentaje de Carbono (tC/ha)*



De acuerdo a los resultados se sintetiza en la Tabla 17.

**Tabla 17**

*Cantidad de carbono almacenado en componentes del *Stipa ichu**

Parámetro	Hojas	Tallos	Raíz	Flores	Necromasa	Total
Carbono (tC/ha)	4,92	1,46	0,35	0,42	1,08	<b>8,24</b>
Carbono (%)	60%	18%	4%	5%	13%	<b>100%</b>

Según el cuadro anterior, se evidencia que las hojas son la principal fuente de almacenamiento de carbono, representando un 60 % (4,92 tC/ha), seguida por los tallos con 18 % (1,46 tC/ha), por la necromasa con 13% (1,08 tC/ha), por las flores con 5 % (0,42 tC/ha) y finalmente por la raíz con 4% (0,35 tC/ha).

Asimismo, según el resultado del análisis del laboratorio se infiere que del suelo analizado el contenido de carbono presente es de 14,705 %.

✓ **Dióxido de Carbono en la especie *Stipa ichu***

A partir del carbono estimado, se realizan los procedimientos para calcular el contenido de CO<sub>2</sub> en cada uno de los componentes de la especie de *Stipa ichu*, para ellos se le hace la conversión multiplicando por el factor 3,67.

**Tabla 18**

*Dióxido de carbono en la especie Stipa ichu*

<b>Parámetro</b>	<b>Hojas</b>	<b>Tallos</b>	<b>Raíz</b>	<b>Flores</b>	<b>Necromasa</b>	<b>Total</b>
Dióxido de carbono (tCO <sub>2</sub> /ha)	18,04	5,37	1,29	1,56	3,96	30,22
Dióxido de carbono (%)	60%	18%	4%	5%	13%	100%

Se infiere que el contenido de CO<sub>2</sub> en los elementos del *Stipa ichu* es directamente proporcional al contenido de carbono, es por ello que los contenidos en porcentajes guardan la misma proporción que el contenido de carbono.

Este cálculo se lleva a cabo con el propósito de calcular el valor económico ambiental del servicio ecosistémico de captura de carbono el cual se expresa en dióxido de carbono de acuerdo al Sistema Europeo de negociación de CO<sub>2</sub>.

#### ✓ **Almacenado de carbono en el suelo**

Con el propósito de calcular la cantidad de carbono presente en el suelo, se extrajo la muestra de los 10 cm del suelo superficial (horizonte O), y posteriormente se trasladó al laboratorio de análisis de suelos de la UNALM y otra muestra de suelo al laboratorio SAG, el cual está debidamente acreditado ante INALCAL; esto con el propósito de calcular el porcentaje de carbono orgánico, el cual se obtuvo como resultado lo siguiente:

**Tabla 19**

*Resultado de análisis de carbono en muestra de suelo*

N° de Muestra	Componente	Laboratorio de Suelos UNALM		Laboratorio Acreditado		Análisis de lab. Promedio	
		% C	%H	% C	%H	% C	%H
Muestra 6	Muestras de suelo	17,18	15,19	12,23	16,73	<b>14,705</b>	<b>15,96</b>

Fuente; INFORME DE ENSAYO N° 173705-2023, INFORME DE ENSAYO N° 173705-2023 – Servicios Analíticos Generales – SAG

Informe de análisis foliar HR 79915, Informe de análisis en suelo HR 79914 – Laboratorio de suelos, plantas y fertilizantes – UNALM

De los resultados de ambos laboratorios se promedian con la finalidad de obtener un resultado más preciso por lo que el contenido de carbono en el suelo de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* es de 14,705% y el porcentaje de humedad es de 15,96 %.

Asimismo, para estimar la densidad aparente del suelo estudiado, se empleó un cilindro metálico Uhland de volumen conocido y se introdujo en la estufa a 105°C 24 horas para extraer una muestra de suelo en un volumen específico del horizonte O, esta muestra se pesó. Los datos de las muestras fueron;

- Diámetro del cilindro: 10 cm
- Altura del cilindro: 6.4 cm
- Peso de la muestra de suelo húmedo: 631 g
- Peso de la muestra de suelo seco: 530.29 g
- Volumen de la muestra de suelo: 1,0550 g/cm<sup>3</sup>

Procesando los datos para la densidad aparente del suelo (DA);

$$DA = \frac{Psn}{Vc} = \frac{530.29 \text{ g}}{502.66 \text{ cm}^3} = 1.055 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

La densidad aparente del suelo donde crece la el *Stipa ichu* es de 1,055 g/cm<sup>3</sup>, este resultado se utilizará para calcular la retención de carbono fijado en el suelo.

#### IV. RESULTADOS

En total se determinaron siete (07) unidades muestrales distribuidas aleatoriamente a nivel del área de estudio; en cada una de ellas se han realizado estudios y levantamiento de información minuciosa de los elementos de *Stipa ichu* (flor, tallo, hojas, raíz y necromasa) y en el suelo en el cual se desarrollan esta especie. En dos (02) subparcelas se ha levantado información del pesaje de cada componente aplicando el método destructivo.

**Tabla 20**

*Resultados de levantamiento de campo*

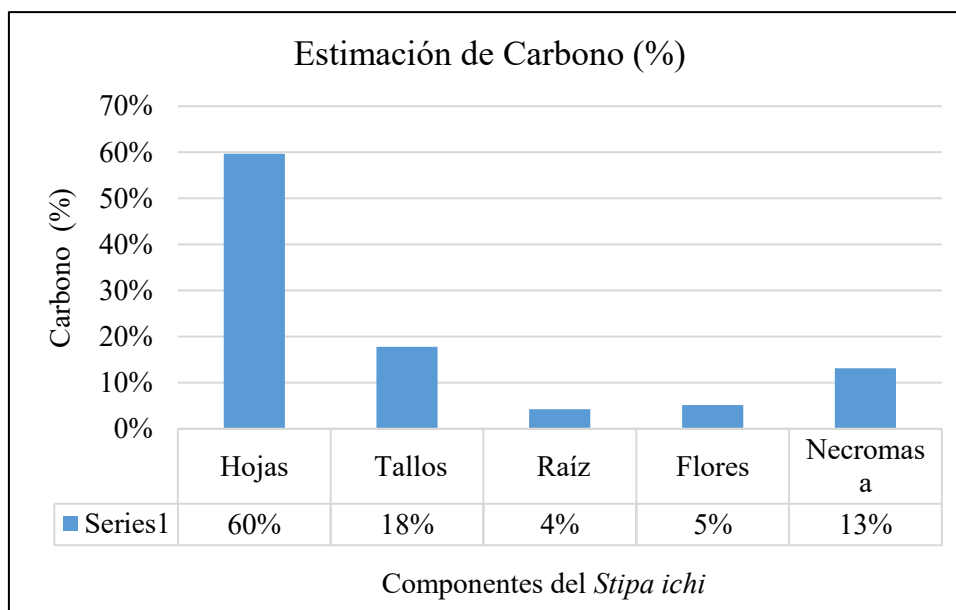
N° de Subparcela	Coordenadas UTM - WGS 84 -18S		Altitud (msnm)	Área (m <sup>2</sup> )	N° de individuos (Und.)	Altura Promedio (m)	Método aplicado
	Este	Norte					
N° 01	494596	8578364	4656	4	31	0,5174	Conteo superficial
N° 02	492776	8582326	4026	4	37	0,8686	Destructivo
N° 03	490414	8582221	4231	4	31	0,4955	Conteo superficial
N° 04	486755	8583387	4538	4	27	0,4696	Conteo superficial
N° 05	493554	8583323	3937	4	38	0,6689	Destructivo
N° 06	489739	8585276	4247	4	32	0,5507	Conteo superficial
N° 07	492342	8585244	4345	4	29	0,5507	Conteo superficial

#### 4.1 Fijación del carbono en la cobertura vegetal de *Stipa ichu*

Una vez obtenida el porcentaje promedio de carbono contenido en la biomasa seca de los componentes del *Stipa ichu*, se procede a estimar el porcentaje de contenido de carbono en cada elemento de la especie estudiada.

**Figura 8**

*Estimación de Carbono en porcentaje por componente (t C/ha)*



Según los resultados de la gráfica anterior el mayor porcentaje de carbono es almacenado es en las hojas con un 60 %, seguido de los tallos con 18 %, necromasa con 13%, por las flores con 5% y finalmente la raíz con un 4%. De acuerdo a los hallazgos se sintetiza en la Tabla 21.

**Tabla 21**

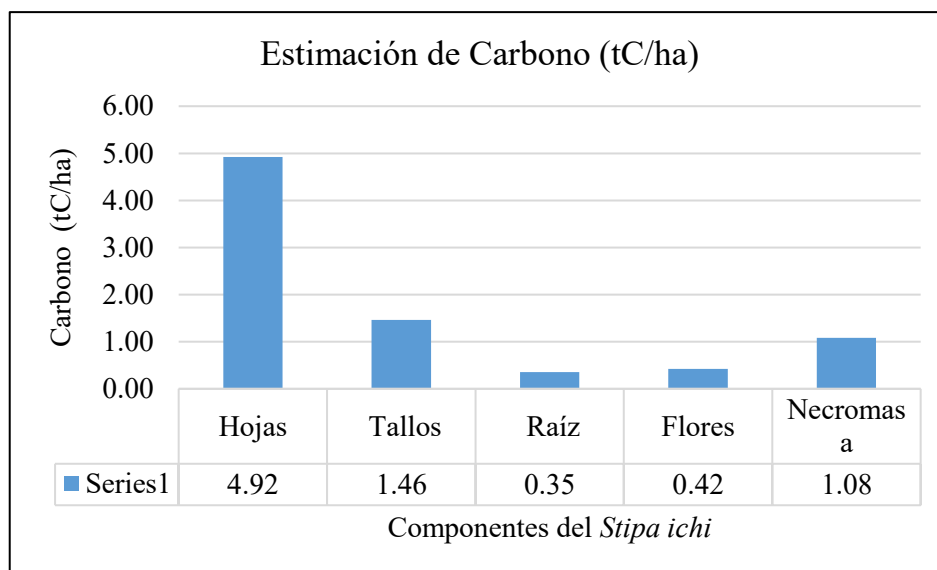
*Cantidad de carbono almacenado en componentes del *Stipa ichu**

Parámetro	Hojas	Tallos	Raíz	Flores	Necromasa	Total
Biomasa (tB/ha)	10,37	3,02	1,19	0,91	3,11	<b>18,60</b>
Biomasa (%)	56%	16%	6%	5%	17%	<b>100%</b>
<b>Carbono (tC/ha)</b>	<b>4,92</b>	<b>1,46</b>	<b>0,35</b>	<b>0,42</b>	<b>1,08</b>	<b>8,24</b>
Carbono (%)	60%	18%	4%	5%	13%	<b>100%</b>

Los hallazgos se detallan en la Figura 9.

**Figura 9**

*Estimación de Carbono por componente (tC/ha)*



A partir de los resultados de la biomasa que se encuentran en los elementos del *Stipa ichu* se evidencia que la mayor cantidad de Carbono almacenado son en las hojas con 4,92 tC/ha, seguido por los tallos con 1,46 tC/ha, por la necromasa con 1,08 tC/ha, seguido por las flores con 0,42 tC/ha y finalmente por la raíz con 0,35 tC/ha.

En total, haciendo la suma total del contenido de carbono de cada componente de la especie resulta 8,24 toneladas de carbono en una hectárea (8,24 tC/ha) de terreno donde crece la cobertura vegetal de la especie *Stipa ichu*.

Además, haciendo los cálculos a nivel del área de estudio el cual equivale a 10,529.03 ha se obtiene es siguiente resultado;

**Tabla 22**

*Almacenamiento de carbono en la biomasa de Stipa ichu.*

Área de estudio (ha)	Contenido total de biomasa (tB/ha)	Contenido de carbono (tC/ha)	Carbono total (tC)
10,529.03	18,60	8,24	86,613.08

En total, el almacenamiento de carbono en toda el área de estudio es de 86 613,08 toneladas.

**Tabla 23**

*Almacenamiento de CO<sub>2</sub> en la biomasa de Stipa ichu.*

Área de estudio (ha)	Contenido total de biomasa (tB/ha)	Contenido de carbono (tCO <sub>2</sub> /ha)	Carbono total (tnCO <sub>2</sub> )
10,529.03	18,60	30,16	317 581,30

A partir de esta información se puede inferir que la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado en la cobertura vegetal de *Stipa ichu* es de 30,16 tCO<sub>2</sub>/ha y en toda el área de estudio es de 317 581,30 tCO<sub>2</sub>.

#### 4.2 Almacenamiento de carbono en el suelo

Teniendo como resultado el porcentaje de almacenamiento de carbono en el suelo ([COS]), la densidad aparente del suelo (DA) y la profundidad (P) se realizan la valoración de carbono acumulado en el suelo bajo los siguientes cálculos;

- DA: 1.055 g/cm<sup>3</sup>
- [COS]: 14.71 %
- P: 10 cm

Aplicando la ecuación:  $COs = [COS] \times DA \times P$ , Se obtiene el siguiente resultado;

$$COs = 1.55 \text{ gC/cm}^2$$

Aplicando el factor de conversión (100) para que sean expresados en t/ha se obtiene lo siguiente:

$$COs = 155.13 \text{ tC/ha}$$

Teniendo en cuenta que el área de estudio es de 10529,03 ha, el total de carbono almacenado es de 1 633 420,74 toneladas. En la siguiente tabla se resume lo descrito:

**Tabla 24***Almacenamiento de carbono en el suelo*

Almacenamiento de carbono en el suelo (COs) en gC/cm <sup>2</sup>	Almacenamiento de carbono en el suelo (COs) en tC/ha	Almacenamiento de carbono en el suelo (COs) en toda el área de estudio en toneladas.
1,55	155,13	1 633 420,74

Asimismo, el almacenamiento de carbono expresados en CO<sub>2</sub> se aplica el factor de conversión ( $K_r = 44/12$ ) el cual se sintetiza en la siguiente tabla.

**Tabla 25***Almacenamiento de carbono expresados en CO<sub>2</sub>*

Almacenamiento de CO <sub>2</sub> en el suelo (g/cm <sup>2</sup> )	Almacenamiento de CO <sub>2</sub> en tCO <sub>2</sub> /ha	Almacenamiento de CO <sub>2</sub> toda el área de estudio en toneladas.
5,68	568,81	5 989 209,38

El suelo de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* almacena 568,81 tCO<sub>2</sub>/ha y en toda el área de estudio asciende a 5 989 209,38 toneladas.

#### 4.3 Valor económico ambiental de las reservas de carbono total

Teniendo en consideración los resultados de fijación de carbono expresados en CO<sub>2</sub> en la biomasa los diferentes componentes del *Stipa ichu*, así como el suelo en el que crece esta especie y tomando en cuenta el precio del CO<sub>2</sub> en el mercado europeo según SendeCO<sub>2</sub>, aplicamos la ecuación  $VE_{CO_2} = tCO_2 \times P$  se obtiene el valor económico ambiental de la acumulación del carbono total de la cobertura vegetal de *Stipa ichu*.

Teniendo los siguientes parámetros:

- Precio de CO<sub>2</sub> en €/toneladas ; CO<sub>2</sub>: € 86,43 (media anual hasta agosto del 2023)
- Fijación de CO<sub>2</sub> en el *Stipa ichu*: 30,16 tCO<sub>2</sub>/ha

- Fijación de CO<sub>2</sub> en el suelo: 568.83 tCO<sub>2</sub>/ha
- Tipo de campo del euro: € 1 equivale a 3,99 soles hasta agosto de 2023.
- Área total de estudio: 10529,03 ha.

Considerando los parámetros descritos se obtiene el siguiente resultado:

**Tabla 26**

*Valor económico ambiental del carbono en el área de estudio*

Parámetro	Cantidad tCO <sub>2</sub> /ha	Valoración	Valoración	En toda el área de estudio (S/.)
		económica en euros € (€ CO <sub>2</sub> /ha)	económica en soles s/. (S/. CO <sub>2</sub> /ha)	
Fijación de CO <sub>2</sub> en biomasa de <i>Stipa ichu</i>	30,16	2 603,02	10 386,04	109 354 990,68
Fijación de CO <sub>2</sub> del suelo	568,83	49 089,86	195 868,54	2 062 306 384, 25
<b>Total</b>		<b>51 692,88</b>	<b>206 254,58</b>	<b>2 171 661 374,93</b>

La fijación del carbono en el *Stipa ichu* equivale a S/. 10 386,04/ ha y en toda el área de estudio S/. 109 354 990,68; y la captura de carbono en el suelo es de S/. 195 868,54/ ha y en toda el área de estudio es de S/. 2 062 306 384,25.

El valor económico ambiental de carbono total equivale a S/. 206 254,58/ha y S/. 2 171 661 374,93 en toda el área de investigación.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A comparación de las investigaciones de evaluación económica de la retención de carbono en los bosques, en ecosistemas de pastos altoandinos son escasos; por esta razón al no existir muchos datos pertinentes sobre la especie investigada en la documentación, este capítulo se llevó a cabo con referencia la literatura similar a lo estudiado.

### 5.1 Fijación del carbono en la cobertura vegetal de *Stipa ichu*

El resultado de la presente investigación; fijación de carbono en la planta *Stipa ichu* es de 8,24 tC/ha y expresado en dióxido de carbono es de 30,16 tCO<sub>2</sub>/ha, con lo cual se seleccionaron tres investigaciones de diferentes especies, como se especifica en la Tabla 27.

**Tabla 27**

*Comparativo de contenido de carbono en diferentes especies*

<b>Autor</b>	<b>Especie</b>	<b>Contenido de Carbono (tC/ha)</b>	<b>Contenido de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>/ha)</b>
Rivera y Zamora (2020)	<i>Stipa ichu</i>	8,67	31,7
Barrientos (2021)	<i>Polylepis sp</i>	69,93	256,65
Barnachea (2019)	<i>Glóbulos eucalipto</i>	142,13	521,18

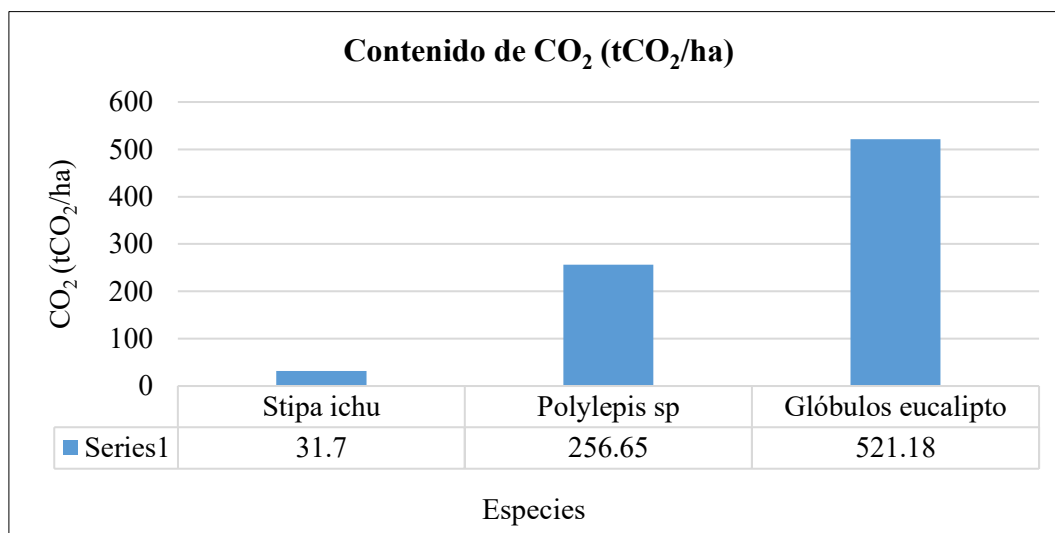
La fijación de carbono en *Stipa ichu* según Rivera y Zamora (2020) es 8,67 tC/ha y 31,7 tCO<sub>2</sub>/ha el cual es muy similar que difiere solo con 0,43 tC/ha, esta diferencia se le puede atribuir al tamaño de crecimiento de dicha especie, así como la fecha de evolución. En teoría los resultados de la presente investigación debieron ser ligeramente mayor que del autor mencionado, esto debido a que adicionalmente, en la presente investigación se evalúa el componente “crecromasa” de la especie estudiada.

Sin embargo, se rescata que los resultados sean similares por lo que corrobora que los el método, procedimientos y el resultado obtenido de la investigación son correctos.

Por otro lado, se hace la comparación del contenido de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) obtenido con otras especies, evidenciando que existe una gran diferencia del contenido a comparación de especies que conforman bosques.

**Figura 10**

*Dióxido de Carbono en diferentes especies ( $\text{tCO}_2/\text{ha}$ )*



Se realiza la comparación entre las especies de *Stipa ichu* (herbazal), *Polylophus sp* (árbol) y *Glóbulos eucalipto* (árbol); el *Stipa ichu* fija 30,16  $\text{tCO}_2/\text{ha}$ , *Polylophus sp* fija 256,65  $\text{tCO}_2/\text{ha}$  y el *Glóbulos eucalipto* fija 521,18  $\text{tCO}_2/\text{ha}$ , del cual se infiere que la retención de carbono es directamente proporcional de la producción de biomasa; el árbol tiene mucho mayor producción de biomasa que una hierba, y a la vez es directamente proporcional al tamaño de la especie estudiada.

## 5.2 Almacenamiento de carbono en el suelo

La fijación de carbono en el suelo se comienza en la fijación del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) mediante la fotosíntesis que llevan a cabo todas las especies vegetales; en este proceso en los diferentes componentes de las especies fijan el carbono (C) y liberan oxígeno ( $\text{O}_2$ ) que retorna a la atmósfera. Asimismo, en el proceso de descomposición de las biomásas de

las plantas que llevan a depositarse en el suelo, el cual es considerado un almacenamiento de carbono de largo plazo (Burbano, 2019).

La retención de carbono en el suelo varía y está de acuerdo a las regiones geográficas, la composición mineralógica y las especies que crecen sobre este. En la Tabla 28 se analiza tres composiciones de suelos en cuya superficie crecen diferentes especies;

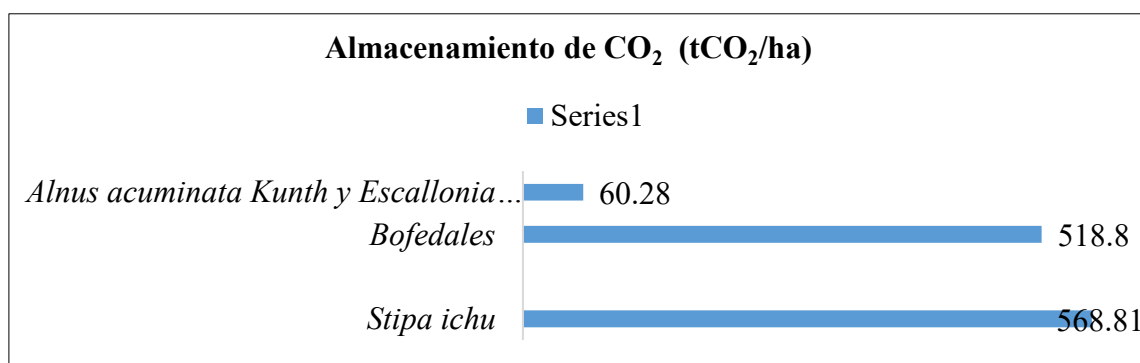
**Tabla 28**

*Reservas de carbono en el suelo*

Autor	Especie	Contenido de Carbono en suelo (tC/ha)	Contenido de CO <sub>2</sub> en suelo (tCO <sub>2</sub> /ha)
Tesista (2023)	<i>Stipa ichu</i>	155,13	568,81
Crispin y Jimenez (2019)	<i>Bofedales</i>	141,49	518,8
Justo y Laurente (2020)	<i>Alnus acuminata</i> <i>Kunth y Escallonia</i> <i>resinosa</i>	16,66	60,28

**Figura 11**

*Fijación de CO<sub>2</sub> (tC/ha) en diferentes especies.*



En la Tabla 28 y Figura 11 se tiene registro de almacenamiento de carbono expresado en CO<sub>2</sub>, de las cuales se evidencia que el de mayor proporción fija el *Stipa ichu* con 568,81

tCO<sub>2</sub>/ha, seguido por los bofedales con 568,81 tCO<sub>2</sub>/ha y *Alnus acuminata Kunth* y *Escallonia resinosa* con 60,28 tCO<sub>2</sub>/ha.

Este último fue cuyo autor es Justo y Laurente (2020), fue desarrollado en el distrito de Saño, departamento de Junín sin embargo los resultados son muy inferiores a los hallazgos del estudio y la de bofedales, a pesar de que las especies *Alnus acuminata Kunth* y *Escallonia resinosa* son arbóreas, que crecen a una altitud desde 1200 msnm a 4000 msnm que es el hábitat también del *Stipa ichu* y los bofedales.

Según los resultados del estudio, el suelo de la especie *Stipa ichu* fija 568,81 tCO<sub>2</sub>/ha ligeramente un poco más que la del suelo de los bofedales (518,8 tCO<sub>2</sub>/ha) según Crispin y Jimenez (2019); ambos estudios son desarrollados en el departamento de Huancavelica y en similares escenarios de pisos altitudinal.

Se infiere que la fijación de carbono en el suelo no depende del tamaño de las especies que crece sobre ella sino más depende de la dinámica que existe en las etapas de humificación que este proceso se puede dar en ciclos cortos a ciclos de largo plazo que pueden alcanzar cientos o incluso miles de años (Burbano, 2018).

Bajo la premisa anterior bajo los antecedentes de Crispin y Jimenez (2019); y de la presente investigación se infiere que los suelos de ecosistemas de producción de biomasa cíclico en corto tiempo almacenan mayor cantidad de carbono a comparación de suelos de producción de biomasa con ciclos prolongados.

### **5.3 Valor económico ambiental de las reservas de carbono total**

El valor económico ambiental (VEA) de las reservas de carbono según Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub> esta valorizado en moneda europea (euros) y con la finalidad de hacer un comparativo del valor económico ambiental de la cobertura vegetal de

*Stipa ichu*, los cuales VEA de reservas de carbono serán analizados con su respectiva equivalencia en moneda nacional.

**Tabla 29**

*Valor económico ambiental de carbono en soles (S/.)*

<b>Autor</b>	<b>Especie</b>	<b>Valor económico ambiental de CO<sub>2</sub> en soles (S/. CO<sub>2</sub>/ha)</b>
Investigador (2023)	<i>Stipa ichu</i>	10 386,04
Crispin y Jimenez, (2019)	<i>Bofedales</i>	578,98
Justo y Laurente, (2020)	<i>Alnus acuminata Kunth y Escallonia resinosa</i>	4 549,24

Para el análisis del valor económico ambiental de las reservas de carbono solo se analizará lo existente en la biomasa de la especie investigada.

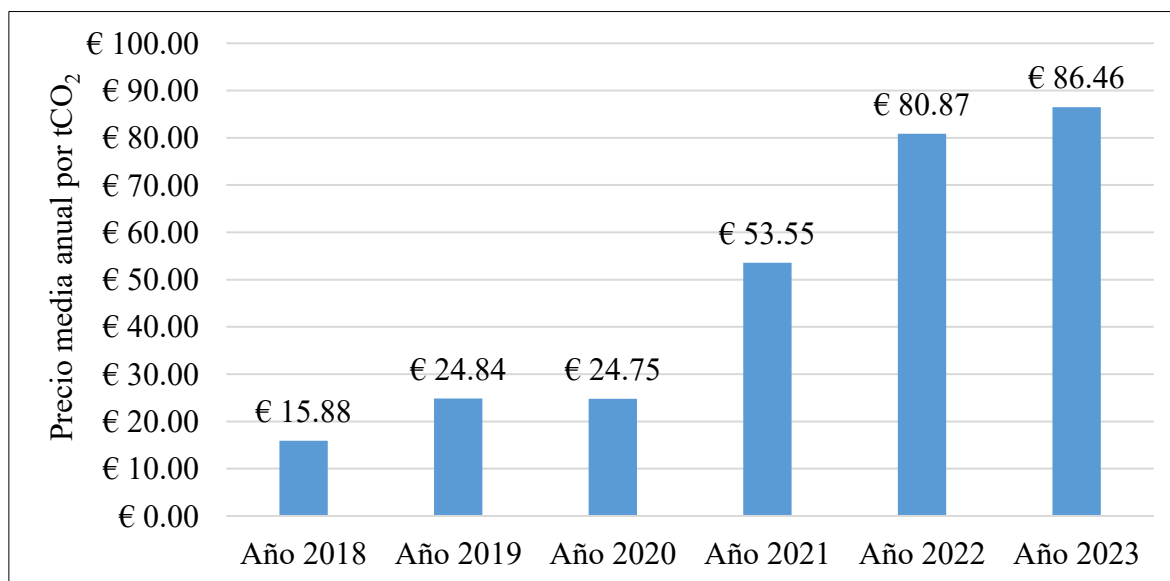
Para llegar a valorizar ambientalmente la fijación de carbono se empleó el método e “precio de mercado” de SENDECO2, (2023) el cual fluctúa y varía de acuerdo a cada año y generalmente este precio de la media anual por tonelada de CO<sub>2</sub> está en constante crecimiento a medida que pasan los años.

Para valorizar las reservas de carbono del estudio se consideró el precio de la media anual hasta agosto del 2023, el cual asciende a € 86,46.

La evolución de los costos de carbono según SENDECO2 se refleja en la Figura 12.

**Figura 12**

*Evolución de precios de CO<sub>2</sub> según SENDECO2.*



Fuente: SENDECO2 (2023)

El valor económico ambiental del carbono del *Stipa ichu* expresado en CO<sub>2</sub> asciende a 10,386.04 soles y para el caso de carbono almacenado en bofedales determinado por Crispin y Jimenez (2019) asciende a 578.98 soles y en las especies *Alnus acuminata Kunth* y *Escallonia resinosa* asciende a S/. 4,549.24.

El valor económico ambiental es directamente proporcional a la capacidad de retención de carbono que tiene la especie; a mayor cantidad de carbono almacenado, mayor será el costo, sin embargo los resultados de la Figura 11 no reflejan ello, esto debido a que en las investigaciones de años anteriores se utilizó el precio de CO<sub>2</sub> de ese año el cual era muy inferiores que a la fecha (2023), es por ello que en la presente investigación es mucho mayor que el valor económico fijado por otras especies.

## VI. CONCLUSIONES

- ✓ En el campo de estudio, que es la microcuenca del Rio ichu que abarca una extensión de 10 529.03 ha, ubicado en el departamento de Huancavelica existe y abunda la especie *Stipa ichu*. La cobertura vegetal de esta especie es uniforme, para la fecha de evaluación presentaba una altura promedio de 0,70 cm con una densidad promedio de ocho (08) individuos en un (01) metro cuadrado.

La producción de biomasa promedio es de 18.6 toneladas en una hectárea (tB/ha) y la mayor generación de biomasa está dada por las hojas (56 %), seguido por la necromasa (17%), seguido por el tallo (16%), raíz (5%) y finalmente las flores (5%).

- ✓ Para evaluar la retención de carbono total de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* se analizaron muestras de cada componente de dicha especie para lo cual se estimó el contenido de carbono en forma porcentual (%) mediante dos laboratorios; por laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina y por el laboratorio Servicios Analíticos Generales (SAG) este último es un laboratorio certificado por el Instituto Nacional de Calidad – INACAL. Los resultados de ambos laboratorios se promediaron del cual se obtiene que el mayor porcentaje de carbono se acumula en las hojas con un 60 %, seguido de los tallos con 18 %, necromasa con 13%, por las flores con 5% y finalmente la raíz con un 4%. Estimando el total de carbono almacenado en cada componente del *Stipa ichu* se concluye que la fijación de carbono asciende a 8,24 toneladas de carbono en una hectárea (8,24 tC/ha), y en toda el área de estudio es de 86 613,08 toneladas de Carbono, expresado en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), se concluye que la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado en la cobertura vegetal de *Stipa ichu* es de 30,16 tCO<sub>2</sub>/ha y en toda el área de estudio es de 317 581,30 tCO<sub>2</sub>.

- ✓ La medición de la retención de carbono en el sustrato de la cobertura vegetal de *Stipa ichu*, primero se determinó en los dos laboratorios mencionado la concentración de carbono en forma porcentual, se calculó la retención de carbono orgánico en la muestra de suelo es de 14,71 %, asimismo se calculó la densidad aparente del suelo (1,055 g/cm<sup>3</sup>), con estos datos se hacen los cálculos y se concluye que la retención de carbono en el suelo de *Stipa ichu* (COs) asciende a 155,13 tC/ha, y en todo el ámbito de investigación el total de carbono almacenado es de 1 633 420,74 toneladas.

El carbono almacenado en la cobertura vegetal del *Stipa ichu* expresado en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 568.81 toneladas de CO<sub>2</sub> en una hectárea de área y en toda el área de estudio asciende a 5 989 209,38 toneladas. Este análisis solo se realizó solo a una profundidad de 10 centímetros de la superficie del suelo.

- ✓ El valor económico ambiental de las reservas de carbono total de la cobertura vegetal de *Stipa ichu* asciende a € 51 692,88 ; € 2 603,02 (S/. 10 386,04) por la fijación de carbono por la biomasa del *Stipa ichu* en una hectárea y € 49 089,86 (S/. 195,868.54 soles) por la fijación de carbono del suelo todo ello expresado en CO<sub>2</sub>, en moneda nacional la sumatoria de estos asciende a S/. 206 254,58/ ha y en toda el área de estudio asciende a S/ 2 171 661 374,93. El precio del CO<sub>2</sub> según SENDECO2 (2023) varia a cada año y por cada mes, es por ello que se trabajó con el precio de la media anual.

## VII.RECOMENDACIONES

- ✓ A la comunidad científica; tomar mayor importancia e incentivar las investigaciones en temas vinculados a la retención de carbono, captura de CO<sub>2</sub> y evaluación económica del medio ambiente en ecosistemas altoandinos para promover su conservación y así contribuir a mitigar las consecuencias derivadas del cambio climático.
- ✓ A los estudiantes; la presente investigación sea base y fuente de conocimiento para futuras investigaciones, plantear proyectos que conlleven a una gestión de cuencas, gestión de ecosistemas altoandinos y conservación de especies de ecosistemas altoandinos.
- ✓ Ampliar el conocimiento a través de estudios sobre los distintos beneficios ambientales proporcionados por el *Stipa ichu* y en el suelo que estos crecen; almacenamiento de carbono, almacenamiento de agua, servicio de provisión, servicio de soporte, et casi como su valoración económica ambiental.
- ✓ Elaborar políticas a los tres niveles gubernamentales; formular proyectos de inversión de manejo de cuencas, gestión de conservación de especies altoandinas, conservación de suelos, etc, en áreas donde hay una alta presencia de la planta conocida como *Stipa ichu* y especies afines, con el propósito de valorar y participar en la comercialización de bonos de carbono, así como se hace con los bosques.

## VIII. REFERENCIAS

- Balvanera, P., Castillo, A., Chavero, E., Caballero, K., Quijas, S., Flores, A., Galicia, C., Martínez, L., Sánchez, M., Maass, M., Ávila, P., Martínez, Y., ... Galindo, M. (2020). *Marcos conceptuales interdisciplinarios para el estudio de los servicios ecosistémicos en américa latina*. Ediciones INTA
- Barrientos, P. (2021). Valoración económica del servicio ecosistémico de captura de carbono en “queñua” *Polylepis* sp., y el almacenamiento de agua en el bosque de Paras, Cangallo – Ayacucho. [Trabajo de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75966>
- Bernachea, J. (2019). Valoración económica y secuestro de CO<sub>2</sub> en bosques plantados de eucalipto (*eucalyptus globulus labil*) y pino (*pinus radiata*) de 11 años de edad en cochatama, distrito Huacar, provincia Ambo departamento Huánuco – Setiembre, 2018 – Febrero, 2019. [Trabajo de grado, Universidad de Huánuco]. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1776>
- Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
- Carranza, D. (2018). *Captura de carbono mediante estimación de biomasa aérea y necromasa en la zona de aguajales del alto mayo, Sector Tingana Moyobamba-San Martin*. 110. [Trabajo de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional - UCV.
- Condori, T. (2019). *Valoración económica del servicio ambiental como sumidero de carbono en la reserva forestal el Choré, del departamento de Santa Cruz*. [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/21824>

- Constitución Política del Perú [Const] Art. 2, 29 de diciembre de 1993 (Perú). (29 de diciembre de 1993).  
<https://www.congreso.gob.pe/Docs/files/constitucion/constitucion-12-2024.pdf>
- Crispin, M., y Jimenez, L. (2019). Valoración económica ambiental de los bofedales del distrito de Pilpichaca, Huancavelica, Perú. *Natura@economía*, 4(1), Artículo 1.  
<https://doi.org/10.21704/ne.v4i1.1299>
- Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM. Política Nacional del Ambiente. (23 de mayo de 2023). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/Pol%C3%ADtica-Nacional-del-Ambiente.pdf>
- Duarte, C., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A., Simó, R., ... Valladares, F. (2006). *Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra*. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/8520>
- Flores, M. (2017a). *Captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la “chillihua” (festuca dolichophylla presl) de los pastizales del cip illpa-puno* [Tesis de grado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Flores, M. (2017b). *Captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la “Chillihua” (Festuca dolichophylla presl) de los pastizales del CIP Illpa-Puno* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3900>
- Gestión, N. (2019). *Degradación de pastizales por cambio climático genera millonarias pérdidas a comunidades*. Gestión; NOTICIAS GESTIÓN.  
<https://gestion.pe/peru/degradacion-pastizales-cambio-climatico-genera-millonarias-perdidas-comunidades-261385-noticia/>

- González, A. (2007). La frontera norte de México ante el cambio climático global y los mercados de carbono. *Frontera norte*, 19(38), 219-226.
- Gutiérrez, I. (2019). *Modelo alométrico y la estimación de captura decarbono de las especies eucalyptus globulus y pinus radiata, y su valoración económica, en la zona sur de Ayacucho – Perú*. Universidad Peruana Unión.
- Kiwitt, A. y López, U. (2009). *Guía para la elaboración de proyectos en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio en el Perú*. Deutscher Entwicklungsdienst.
- Ley N° 28611. Ley General del Ambiente (15 de octubre 2005).  
<https://www.leyes.congreso.gob.pe/documentos/leyes/28611.pdf>
- Ley N° 30754. *Ley Marco sobre Cambio Climático*. (18 de abril de 2018). Diario Oficial El Peruano. <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-marco-sobre-cambio-climatico-ley-n-30754-1638161-1/>
- López, F. (2019). *Permisos de emisión y mecanismos de desarrollo limpio*. Editorial Elearning, S.L.
- Maza, W. (2019). Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura, Ecuador. [Tesis para optar grado de Doctor en Ciencias Ambientales]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Medina, C., Medina, Y., Bocardo, E., Medina, C., Medina, Y., y Bocardo, E. (2020). Valoración económica del secuestro y almacenamiento de carbono en la puna seca del suroeste del Perú. *Bosque (Valdivia)*, 41(2), 165-172.  
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000200165>
- Menzie, K. (2022). *Todo Sobre el Calentamiento Global: Descubre lo que esta Causando los Cambios más Fuertes en Nuestro Planeta*. Kit Menzie.

- Ministerio del Ambiente del Perú [MINAM]. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación* (p. 50). Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- Ministerio del Ambiente del Perú [MINAM]. (2017). *Política Nacional del Ambiente* Política Nacional del Ambiente. Ministerio del Ambiente. <http://www.minam.gob.pe/politica/politica-nacional-del-ambiente/>
- Miranda, A. y Cruzado, I. (2020). *Determinación de la captura de Carbono en pastos naturales altoandinos Stipa ichu y Alchemilla vulgaris, Tantachual bajo, Cajamarca* [Tesis de grado]. Universidad Privada del Norte.
- Miranda, R. (2018). Valoración económica del servicio de secuestro de carbono aportado por la vegetación existente en el centro ecoturístico de Seccsachaca, Huancavelica, Perú—2017. [Trabajo de grado, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4838>
- National Geographic. (2010, septiembre 5). *¿Qué es el calentamiento global?* National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>
- Naciones Unidas. (2022). *Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono ES | Naciones Unidas. United Nations; United Nations.* <https://www.un.org/es/observances/ozone-day>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2017). *Carbono Orgánico del Suelo: El potencial oculto.* <https://www.fao.org/3/i6937es/I6937ES.pdf>
- Pérez, M., Gamarra, R., y Roberto, C. (2022). Valoración económica de la reserva de Carbono del recurso arbóreo del Parque Dr. Claudio Pavetti, Asunción, Paraguay.

*Investigación Agraria*, 24(1), 40-45.

<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2022.junio.2401708>

- Pinos, D., Morales, O., Durán, M., Pinos, D., Morales, y Durán, M. (2021). Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 151-173. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.8>
- Porras, C. y Izaguirre, W. (2019). *Valoración económica de la reserva de carbono de Escallonia resinosa (Ruiz & Pav.) Pers. En San Pedro de Saños y Pucará* [Tesis de grado]. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Rivera, E., y Zamora, N. (2020). Evaluación del potencial almacenamiento de carbono en stipa ichu en la microcuenca Chaclatacana, Huancavelica, Perú. *The Biologist*, 17, 237-247. <https://doi.org/10.24039/rtb2019172351>
- Rodríguez, M., Vargas, R. y Valenzuela, G. (2014). *Metales potencialmente toxicos en tejido de rhizophora mangle y sedimentos del sistema lagunas San Ignacio – Navachiste – Macapule*. Departamento de Medio Ambiente, CIIDIR - Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional.
- Rueda, C. (2014). *Estimación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de una plantación de inga edulis en campo verde, Ucayali*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Rügnitz, M., Chacón, M., y Porro, R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales* (p. 79) [Guía]. Centro Mundial Agroflorestral (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA).
- Sánchez, I., Zamalloa, V., Aguilar, M., Champi, V., Ezquerro, M. y Zapata, J. (2018). Captura y almacenamiento de carbono como servicio ambiental en el bosque de

q'euña “La Paz” Parque Arqueológico de Sacsayhuamán, Cusco. *Cantua*, 17, 10-16.

<https://doi.org/10.51343/cantu.v17i0.755>

Segura, M., y Andrade, H. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería en las Américas*, 46.

SendeCO2. (2023). *Precios CO2—Sendeco2*. <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>

Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA, 2020). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/protocolo-kyoto-convencion-marco-las-naciones-unidas-cambio-climatico>

Tapia, M. (1971). *Pastos naturales del Altiplano de Perú y Bolivia* (Casilla B-67, Vol. 85).

Bib. Orton IICA / CATIE.

<https://books.google.com.pe/books?id=I3QOAQAIAAJ&pg=PA133&dq=utilizacion+de+pastizales+naturales&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiYpbfxo-zZAhVOzIMKHanyB1kQ6AEINTAD#v=onepage&q=utilizacion%20de%20pastizales%20naturales&f=false>