



The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

EVALUATION OF THE POTENTIAL CARBON STORAGE IN *STIPA ICHU* (RUIZ & PAV.) KUNTH 1829 (ICHU) IN THE MICROCUENCA CHACLATACANA, HUANCVELICA, PERÚ

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN *STIPA ICHU* (RUIZ & PAV.) KUNTH 1829 (ICHU) EN LA MICROCUENCA CHACLATACANA, HUANCVELICA, PERÚ

Edvin Rivera-Ticllacondor¹ & Noe Sabino Zamora-Talaverano¹

¹Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima, Perú.
Corresponding author: nzamora@unfv.edu.pe

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the potential environmental service of carbon storage in the *Stipa ichu* (Ruiz & Pav.) Kunth 1829 species in the microbasin. The secondary objectives were: a) Determine the variation of the density of the *S. ichu* species in relation to the altitude of the microbasin, b) Estimate the production of aerial and radicular biomass, c) Generate an allometric equation to determine the carbon content and d) Determine the aerial and root carbon content at the micro-basin level. To determine the density of *S. ichu* shrubs, the microbasin was stratified in low part (stratum 1), middle (stratum 2) and high part (stratum 3), in each stratum was counted, the height, basal area and covered area were measured of each bush in plots of 4m² and in plots of 1m² the "destructive" method was applied, separating in their components (root, leaves, stems and flowers) for its weighing in order to estimate the production of green biomass, the samples were taken to the laboratory to estimate the dry biomass by the "gravimetric" method and part of the samples to determine the carbon content in each component by the "Walkley and Black" method and for the generation of the allometric model, the statistical regression method was applied. The results of the determination of the density of *S. ichu* in stratum 1 is 53 750 shrubs/ha, stratum 2 is 82500 shrubs/ha and in stratum 3 it is 52 857 shrubs/ha. The average production of green biomass is 26.560 tn·ha⁻¹ and 15.433 tn·ha⁻¹ of dry biomass, and the total biomass production at the level of the study area is 3 635.82 tn of green biomass and 2 106.51 tn dry biomass. The best mathematical model to estimate indirectly the carbon content is of exponential type of the form: $Carbon (kg) = 0.0023e^{4.802 * Height \text{ of } Stipa \text{ ichu (m)}}$. The average carbon storage is 8,670 tnC/ha and in the whole study area is 3 549.07 tnC, also, the components of *S. ichu* with the highest carbon storage are in the leaves with 56.56%, followed by the stem with 55.72%, the root with 54.03% and finally the flower with 53.06%.

Keywords: *Stipa ichu* biomass – *Stipa ichu* density – *Stipa ichu* – carbon estimate – Chaclatacana Microbasin

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el potencial de almacenamiento de carbono en *Stipa ichu* (Ruiz & Pav.) Kunth 1829 en la microcuenca Chaclatacana – Huancavelica, Perú. Los objetivos secundarios fueron: a) determinar la variación de la densidad de la especie *S. ichu* en relación a la altitud de la microcuenca, b) estimar la producción de biomasa aérea y radicular, c) generar una ecuación alométrica para determinar el contenido de carbono y d) determinar el contenido de carbono aéreo y radicular a nivel de la microcuenca. Para determinar la densidad de las matas de *S. ichu*, se estratificó la microcuenca en parte baja (estrato 1), media (estrato 2) y alta (estrato 3). En cada estrato se contabilizó, se midió la altura, el área basal y el área cubierta de cada mata en parcelas de 4m², y en parcelas de 1 m² se aplicó el método “destrutivo”, separando en sus componentes (raíz, hojas, tallos y flores) para su pesaje con la finalidad de obtener la producción de biomasa verde. Las muestras se llevaron al laboratorio para estimar la biomasa seca por el método “gravimétrico” y parte de las muestras para determinar el contenido de carbono en cada componente mediante el método de “Walkley y Black” y para la generación del modelo alométrico, se aplicó el método de regresión estadística. Los resultados de la determinación de la densidad del *S. ichu* en el estrato 1 es de 53750 matas·ha⁻¹, el estrato 2 es de 82 500 matas·ha⁻¹ y en el estrato 3 es de 52 857 matas·ha⁻¹. La producción promedio de biomasa verde es 26.560 tn·ha⁻¹ y 15.433 tn·ha⁻¹ de biomasa seca, y la producción de biomasa total a nivel del área de estudio es de 3 635,82 tn de biomasa verde y 2 106,51 tn biomasa seca. El modelo matemático de mejor ajuste para estimar de manera indirecta el contenido de carbono es de tipo exponencial de la forma: $Carbono (kg) = 0.0023e^{4.802 * \text{Altura del } Stipa\ ichu (m)}$. El almacenamiento de carbono promedio es de 8,670 tnC·ha⁻¹ y en todo el área de estudio es de 3 549,07 tnC. Los componentes de *S. ichu* de mayor almacenamiento de carbono están en las hojas con un 56,56 %, seguida por el tallo con un 55,72%, la raíz con un 54,03% y por último la flor con un 53,06%.

Palabras clave: biomasa de *Stipa ichu* – densidad de *Stipa ichu* – estimación de carbono – Microcuenca Chaclatacana – *Stipa ichu*

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es provocado por el incremento de las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, debido a que en los últimos años las actividades antrópicas y la sobreexplotación de los recursos naturales han incrementado de forma exponencial (Dufour, 2009). La alteración significativa de la atmósfera se debe principalmente a uso de combustibles fósiles de fácil acceso que son usados para la mayoría de las actividades de las personas como por ejemplo; suministro de energía fósil para el uso doméstico y en mayor proporción para la producción industrial, lo que hace posible el comercio mundial; sin embargo, su empleo también ha incrementado las concentraciones de CO₂ en la atmósfera los cuales contribuyen al incremento de la temperatura en efecto al calentamiento global (Dufour, 2009).

Ante este panorama y de acuerdo a los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) tratados en el protocolo de Kyoto, se establece la necesidad de cuantificar el carbono almacenado en los

“sumideros de los GEI”. Los principales sumideros de GEI en definitiva son los bosques y más si son de crecimiento rápido, los cuales acumulan enormes cantidades de carbono en la madera y en el ecosistema a través de la fotosíntesis que absorbe CO₂ atmosférico, el cual almacena en los diferentes componentes y devuelven oxígeno a la atmósfera. La fijación y almacenamiento de carbono, es un servicio ambiental que se basa en el proceso de transformación del carbono atmosférico a carbono orgánico almacenado en el suelo y en los sistemas vegetales aéreo y radicular (Burbano, 2018).

En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue la cuantificación del almacenamiento de carbono en *Stipa ichu* (Ruiz & Pav.) Kunth 1829, especie propia de las zonas altoandinas, los cuales no son investigadas debido a que no se le da un aprovechamiento directo; sin embargo, por su gran extensión y representatividad son potenciales sumideros de CO₂ por lo que no se puede omitir o dejar de lado el servicio ambiental que brinda, que también contribuyen en la mitigación del cambio climático reduciendo los niveles CO₂ atmosférico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo, diseño y nivel de investigación

Tipo de investigación: No experimental, prospectivo, transversal y descriptivo.

Diseño de la investigación

Población: Son todos los individuos del *S. ichu* presentes en el área objetivo de la microcuenca Chaclatacana – Huancavelica, Perú.

Muestra: Los individuos de *S. ichu*, fueron clasificados según tamaño; pequeño (1 - 35 cm), mediano (36 - 70 cm) y grande (71 cm a más). Las muestras fueron establecidas en parcelas cuadradas de dimensiones 2 m x 2m de (4 m²). Asimismo, se delimitó subparcelas de 1m x 1m (1m²) para el muestro por el método destructivo. En esta parcela se extrajeron muestras de biomasa aérea y radicular, los cuales se separaron en diferentes

componentes (hojas, tallo, flores y raíz) para su pesaje respectivo y parte de las muestras se trasladó al laboratorio para estimación de biomasa seca; el cual se trabajó con muestras en condición verde, este último se deshidrató mediante una estufa eléctrica por un tiempo de 48 h a una temperatura de 70°C hasta alcanzar un peso constante (Flores, 2017); asimismo se determinó el almacenamiento de Carbono; para lo cual se estimó la fracción de carbono de las muestras por el método de “Walkley y Black” (Rügnitz *et al.*, 2009; Meneses, 2017).

Aspectos éticos

Los autores señalan que se cumplieron todos los aspectos éticos nacionales e internacionales.

RESULTADOS

En la Tabla 1, se sintetiza los resultados de la investigación.

Tabla 1. Sistematización de los resultados de la investigación.

Descripción	Resultado
Densidad del <i>S. ichu</i>	63 036 matas de <i>S. ichu</i> por ha a nivel de la microcuenca Chaclatacana
Producción de biomasa del <i>S. ichu</i>	Producción promedio de biomasa verde 26,56 t·ha ⁻¹ y biomasa seca fue de 15.43 t·ha ⁻¹ .
Ecuación alométrica para el contenido de carbono en <i>S. ichu</i>	El modelo matemático que mejor ajuste tiene fue la ecuación de tipo exponencial de la forma $Y = 0,0023e^{4,802X}$; donde Y = Contenido de carbono (kg) y X = Altura del <i>S. ichu</i> (m).
Carbono almacenado en la biomasa en <i>S. ichu</i>	El almacenamiento de carbono promedio fue de 8,67 tC/ha.

Densidad del *Stipa ichu*

Para determinar la densidad de *S. ichu*, se realizó un conteo de cada mata de la especie en un cuadrante de 4 m². Los individuos fueron clasificados según

tamaño, en total se inventariaron 21 parcelas los cuales fueron distribuidas proporcionalmente en cada estrato según su tamaño a nivel de la microcuenca.

Tabla 2. Densidad de *Stipa ichu* en la microcuenca Chaclatacana - Huancavelica.

Tamaño	Altura del <i>Stipa ichu</i> (cm)	Estrato 1			Estrato 2			Estrato 3		
		N° de matas			N° de matas			N° de matas		
		4 m ²	1 ha	%	4 m ²	1 ha	%	4 m ²	1 ha	%
Pequeño	0,01 – 0,35	8	20 000	37,21	10,8	27 000	32,73	6,14	15 357	29,05
Mediano	0,36 – 0,70 cm	10,5	26 250	48,84	15,4	38 500	46,67	12,71	31 786	60,14
Grande	0,71 cm - más	3	7 500	13,95	6,8	1 7000	20,61	2,29	5 714	10,81
Total		21,5	53 750	100	33	82 500	100,00	21,14	52 857	100,00
Promedio total		63 036 matas de <i>S. ichu</i> por ha a nivel de la microcuenca.								

La densidad de *S. ichu*, en los tres estratos·ha⁻¹ corresponde al tamaño mediano, tamaño pequeño y finalmente tamaño grande (Tabla 2).

La densidad de matas de *S. ichu* en el estrato 2, es mayor que el estrato 1 y este a la vez es menor que la del estrato 3. Lo que indica que dentro de la microcuenca la distribución de las matas de “ichu” no es uniforme y que varía de acuerdo a la altitud de la microcuenca. En la parte media (estrato 2), presenta matas de “ichu” más densa que la parte baja y alta, presentando en su mayoría “ichu” de tamaño mediano (0,36m – 0,70m), seguido del tamaño pequeño (0,01m – 0,35m) y en menor

proporción del tamaño grande (0,71m - más). En la temporada de estudio, la especie alcanzó su máximo vigor, donde el “ichu” de tamaño mediano fue el predominante, seguido del tamaño pequeño y en menor proporción matas de “ichu” de tamaño grande. Esta predominancia se aprecia en los tres estratos del área del estudio.

Producción de biomasa de *Stipa ichu*

El porcentaje de biomasa seca se representa en la Fig. 1. Con estos resultados de materia seca se estimó la cantidad de biomasa seca por componentes, estas se proyectan a t·ha⁻¹ por cada estrato.

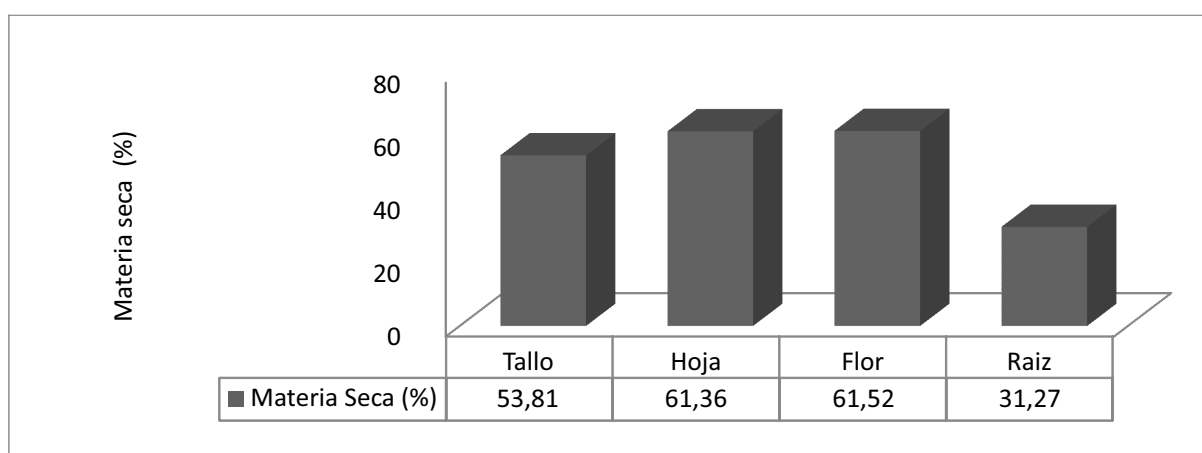


Figura 1. Contenido de materia seca (MS%) en los componentes de *Stipa ichu*.

De la Fig. 1, se aprecia que el componente de *S. ichu* que mayor biomasa seca produce son las hojas.

Las Tablas 3 y 4 muestran la producción de biomasa verde y seca en la microcuenca Chaclatacana, y por componentes de *S. ichu*, respectivamente.

Tabla 3. Producción de biomasa verde y seca en % por estrato en la microcuenca Chaclatacana.

Componentes	Estrato 1				Estrato 2				Estrato 3			
	Producción de biomasa Verde		Producción de biomasa Seco		Producción de biomasa Verde		Producción de biomasa Seco		Producción de biomasa Verde		Producción de biomasa Seco	
	t·ha ⁻¹	%	t·ha ⁻¹	%	t·ha ⁻¹	%	t·ha ⁻¹	%	t·ha ⁻¹	%	t·ha ⁻¹	%
Hoja	20,10	76	12,33	80	22,37	73	13,73	78	16,02	70	9,83	74
Tallo	4,24	16	2,28	15	4,17	14	2,24	13	3,46	15	1,86	14
Flor	0,75	3	0,46	3	1,24	4	0,76	4	1,67	7	1,03	8
Raíz	1,19	5	0,37	2	2,68	9	0,84	5	1,79	8	0,56	4
Total	26,28	100	15,45	100	30,46	100	17,57	100	22,94	100	13,28	100

Tabla 4. Producción de biomasa verde y seca por componentes de *Stipa ichu*.

Estrato	Hojas (t·ha ⁻¹) Biomasa		Tallo (t·ha ⁻¹) Biomasa		Raíz (t·ha ⁻¹) Biomasa		Flor (t·ha ⁻¹) Biomasa		Total Bv (tn·ha ⁻¹)	Total Bs (tn·ha ⁻¹)
	V	S	V	S	V	S	V	S		
E1	20,10	12,33	4,24	2,28	1,19	0,37	0,75	0,46	26,28	15,45
E2	22,37	13,73	4,17	2,24	2,68	0,84	1,24	0,76	30,46	17,57
E3	16,02	9,83	3,46	1,86	1,79	0,56	1,67	1,03	22,94	13,28
Prom	19,50	11,96	3,96	2,13	1,89	0,59	1,22	0,75	26,56	15,43

V: Verde, S: Seca, Bv = Biomasa verde. Bs = Biomasa seca.

La producción de biomasa total el cual resulta de la sumatoria de todos los componentes (flor, tallo, hojas y raíz) (Tabla 5).

Tabla 5. Producción de biomasa total de la microcuenca Chaclatacana.

Estrato	Área objetiva por estrato (ha)	Biomasa verde total (t)	Biomasa seca total (t)
1	72,00	1 892,28	1 112,36
2	185,32	5 644,71	3 256,18
3	146,93	3 370,46	1 950,99
Biomasa total de la microcuenca Chaclatacana		10 907,46	6 319,53

A nivel de la microcuenca Chaclatacana la producción de biomasa verde total es de 10907.46 t y la biomasa seca es de 6319.53 t, y que, para ambos casos, el estrato 2 tiene mayor producción de biomasa, seguido por el estrato 3 y finalmente el estrato que menor biomasa produce es el estrato 1 (Tabla 5). La cantidad de producción de biomasa es directamente proporcional al tamaño de la especie y área en estudio.

Ecuación alométrica para el contenido de carbono en *Stipa ichu*

A continuación, se desarrolla la regresión estadística entre la altura del “ichu” con relación al contenido de carbono almacenado (Tabla 6).

Tabla 6. Ecuaciones para la estimación de carbono en *Stipa ichu*.

Estrato	Parte de la microcuenca	Ecuación tipo: $Carbono (kg) = Ae^{BX}$	R ²
3	Parte alta	$Carbono (kg) = 0,0038e^{4,3307*Altura (m)}$	0,90
2	Parte media	$Carbono (kg) = 0,0011e^{5,5996*Altura (m)}$	0,95
1	Parte baja	$Carbono (kg) = 0,0024e^{0,9447*Altura (m)}$	0,94

Generalizando los modelos alométricos de los estratos 1, 2 y 3 los cuales resultan ecuaciones de tipo exponencial, generamos un modelo matemático a nivel de la microcuenca

Chaclatacana para estimar el contenido de carbono en función de la altura de *S. ichu* para lo cual se genera la Figura 2 con todos los datos de la microcuenca.

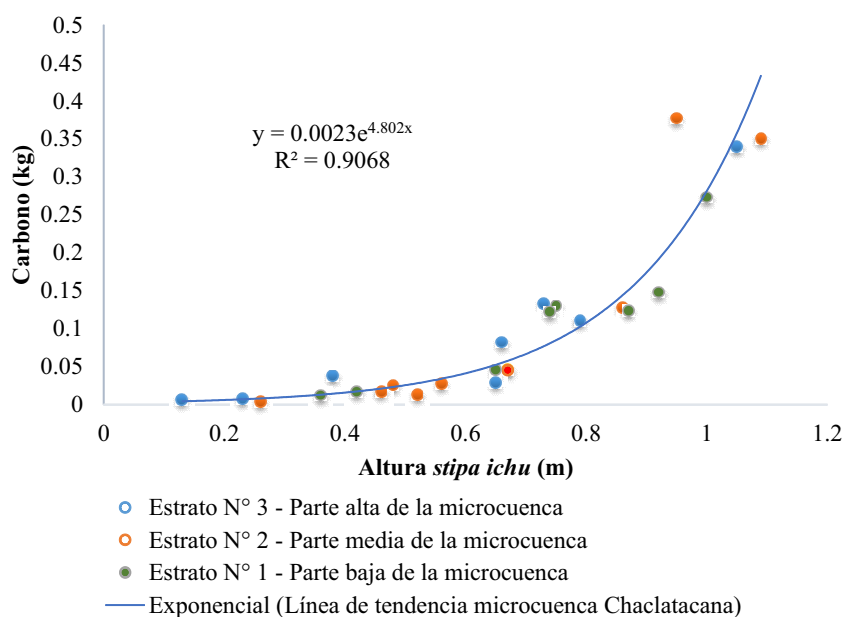


Figura 2. Modelo matemático para la estimación de carbono en *Stipa ichu*.

El modelo matemático que mejor ajuste tiene a nivel de la microcuenca Chaclatacana para la estimación de carbono en función de la altura, es la ecuación de tipo exponencial de la forma $Y=0,0023e^{4,802X}$; donde Y = Contenido de carbono (kg) y X= Altura de *St. ichu* (m), el cual tiene un mejor ajuste que presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0,90 lo cual indica que la correlación entre las variables es buena, lo que indica que el 90,68% de la variable dependiente (contenido de carbono), es explicada por la ecuación de tipo exponencial en función de la variable altura (m) de la *S. ichu*.

Carbono almacenado en la biomasa en *Stipa ichu*

Para la estimación de carbono almacenado en los componentes de *S. ichu* fueron determinados mediante el método de “Walkley y Black” en el laboratorio de Suelos y Plantas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. En la Tabla 7 se detallan los resultados obtenidos.

De acuerdo al análisis de la Tabla 7 se aprecia que el mayor contenido de carbono almacenado está dado por las hojas, seguida del tallo, la raíz y el que menos carbono almacena es la flor. Se puede inferir que el almacenamiento de carbono en los componentes del *S. ichu* no varía significativamente ya que el promedio es de 54,84%.

Tabla 7. Contenido de carbono de *Stipa ichu* en los 3 estratos en tC/ha.

Componente	% de C	Estrato 1		Estrato 2		Estrato 3	
		Biomasa seca (t·ha ⁻¹)	Contenido de carbono (tC/ha)	Biomasa seca (t·ha ⁻¹)	Contenido de carbono (tC/ha)	Biomasa seca (t·ha ⁻¹)	Contenido de carbono (tC/ha)
Tallo	55,72	2,28	1,27	2,24	1,25	1,86	1,03
Hoja	56,56	12,33	6,97	13,72	7,76	9,83	5,56
Flor	53,06	0,46	0,24	0,76	0,40	1,02	0,54
Raíz	54,03	0,37	0,20	0,83	0,45	0,56	0,30
Total de carbono tC/ha			8,69	17,57	9,87	13,27	7,44

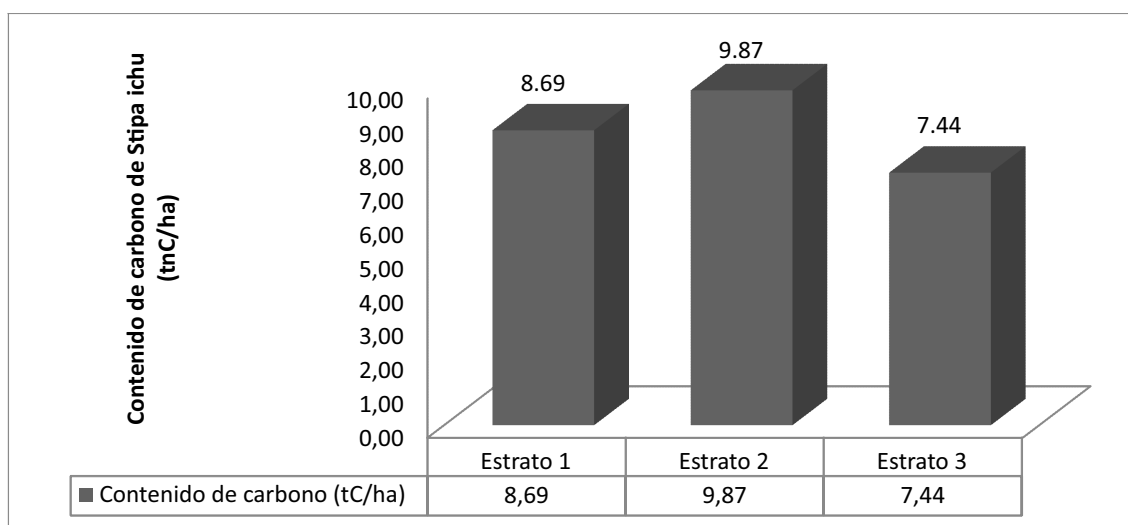


Figura 3. Contenido de carbono en tC/ha.

El contenido de carbono almacenado varía a nivel de la microcuenca, donde el mayor almacenamiento de carbono está dado por las especies del estrato 2 con 9,87 tC/ha, seguida por el estrato 1 con 8,69 tC/ha y el que menos carbono almacena es el estrato 3, que presenta 7,44 tC/ha. Se puede inferir que a nivel de la microcuenca Chaclatacana el almacenamiento de carbono promedio es de 8,67 tC/ha (Fig. 3).

Contenido de carbono total

Para la determinación del contenido del carbono total se suman los contenidos de carbono en los diferentes componentes de *S. ichu* (raíz, tallo, hojas, flores), lo cual se dimensiona a tC, multiplicando el área objetiva de cada estrato, con el que se obtiene el contenido de carbono almacenado en la especie en estudio a nivel de la microcuenca Chaclatacana – Huancavelica, Perú.

Tabla 8. Carbono total en la microcuenca Chaclatacana – Huancavelica, Perú.

Estrato N°	Área objetiva por estrato (ha)	Contenido de carbono (tC/ha)	Carbono total (tC)
Estrato 1	72,00	8,69	625,93
Estrato 2	185,32	9,87	1 829,32
Estrato 3	146,93	7,44	1 093,82
Carbono total en la microcuenca Chaclatacana			3 549,07

Se concluye que en el estrato 2 que abarca 185.32 ha, acumula mayor cantidad de carbono con 1 829.32 tC, seguido por el estrato 3 que tiene un área de 146.93 ha con un 1 093.82 tC y por último el estrato 1 que tiene un área de 72.00 ha acumula 625.93 tC. A nivel de la microcuenca Chaclatacana alcanza un área objetiva de 404.25 ha, con lo que se calcula que almacena un total de 3 549.07 tC (Tabla 8).

DISCUSIÓN

Densidad del *Stipa ichu*

La variación en la densidad y la predominancia de matas de “ichu” en el estrato 2, el cual pertenece a la parte media de la microcuenca Chaclatacana, se le puede atribuir al suelo fértil, pendiente

moderada, y altitud entre 4100–4300 msnm. Estas características son factores físicos favorables para que *S. ichu* crezca y se distribuya de manera uniforme. Mientras que en el estrato 1 que es la parte baja de la microcuenca, es una zona de transición de cobertura vegetal de tipo matorral y arbórea a cobertura vegetal tipo herbácea donde predomina la especie en estudio, pero en menor proporción que la del estrato 2, pero mayor que el estrato 3. Por último, en el estrato 3 que es la parte alta de la microcuenca presenta en promedio la menor cantidad de matas que los otros estratos, se debe a que en esta parte predomina el sistema de bofedales y pajonales, así como en los picos altos de la microcuenca se encuentra erosionada, por estas características es que la especie crece en grupos per dispersos.

Flores (2017) determina la densidad de *Festuca dolichophylla* J.Presl 1830 (chillihua) en Chijji Mocco y Quello Circa Pampa en el distrito de Paucarcolla, Puno, Perú, y obtiene como resultado 11 100 matas·ha⁻¹ y 10 200 matas/ha respectivamente, resultando una densidad promedio de 10 650 matas·ha⁻¹ de “chillihua”. Este resultado es mucho menor a lo obtenido en el presente estudio, y se le puede atribuir principalmente a que esta última especie crece de manera dispersa, debido a que necesita espacio para que sus componentes aéreos puedan desarrollarse; asimismo tiene un crecimiento dificultoso ya que sufre presión antrópica por la actividad ganadera al ser muy palatable. Choque (2015), indica que las praderas de “chillihua” se encuentran distribuidas en forma discontinua en el altiplano, y ocupan principalmente zonas de relieve plana, planicie angosta ondulada, se desarrollan en suelos profundos de textura franco-arcilloso y estacionalmente húmedos, de permeabilidad moderadamente lenta y ligeramente ácido a neutro. Mientras que *S. ichu* es una especie perenne que resistente a cambios de temperaturas bruscas, que crece en zonas secas, en zonas accidentadas y al borde de campos de cultivo y caminos (Tapia, 1971; Ruiz et al., 1829), se ha adaptado a altitudes entre 3200-4200 msnm en promedio (Tovar, 1993) y no sufre mucho de fuente de presión como la ganadería debido ya que no es muy palatable, salvo cuando sus brotes son tiernos que principalmente son apetecibles para el ganado bovino y equino (Tapia, 1971), lo cual implica que pueda crecer la mayoría de las especies germinadas.

Producción de biomasa de *Stipa ichu*

Flores (2017) en el distrito de Paucarcolla–Puno, obtiene como resultado que la producción de biomasa de la *F. dolichophylla* en el sitio Chijji Mocco Pampa fue 4.98 t/ha biomasa verde y 4,41 t·ha⁻¹ biomasa seca, y que en el sitio Quello Circa Pampa la producción de biomasa verde fue 7,56 t·ha⁻¹ y de biomasa seca fue 6,61 t·ha⁻¹, con lo que se obtiene 6,27 t·ha⁻¹ de biomasa verde promedio y 5,51 t·ha⁻¹ de biomasa seca promedio. Estos resultados son menores que lo obtenido en el presente estudio. 24 % menor en la producción de biomasa verde promedio y 36% menor que la producción de biomasa seca promedio en toneladas por ha. Esto se debe a la densidad, ya que este parámetro es directamente proporcional al igual que al tamaño de la especie estudiada, esto se aprecia en que la densidad de *F. dolichophylla* es mucho menor que la del *S. ichu* en el presente estudio. También se puede mencionar que la mayor contenido de biomasa en la *F. dolichophylla* es en el tallo esto es debido a que está compuesta mayormente por tallos floríferos sobresalientes (Flores, 2017 citado por Fernández, et al. 1992), mientras que en la presente investigación se encuentra en las hojas, ya que su mayor composición está conformado por hojas uniformes o todas iguales (Tapia, 1971 citado por Caro, 1966).

Ecuación alométrica

La ecuación para la estimación de carbono en función de la altura, es la ecuación de tipo exponencial de la forma $\text{Carbono (kg)} = 0,0023e^{4,802 \cdot \text{Altura del Stipa ichu (m)}}$, esta ecuación es la que mejor ajuste que presenta con un coeficiente de determinación (R²) de 0,90 lo cual indica que la correlación entre las variables es buena.

Rügnitz et al. (2009), se citan varias ecuaciones alométricas para estimar la biomasa sobre el suelo (kg de materia seca por árbol) para especies comerciales que conforman bosques.

Se observan ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa en arboles comerciales, estas ecuaciones generalmente son de tipo potencial de la forma $Y = A \cdot X^B$.

La ecuación alométrica generada en el presente estudio es un aporte al conocimiento para la estimación indirecta de carbono en *S. ichu* y especies similares, lo cual contribuirá a las futuras

investigaciones, ya que facilitará en la estimación de almacenamiento de carbono de manera indirecta a partir de la altura de la especie. Para cuantificar en un área específica se requerirá la densidad de la especie estudiada y el área en que se distribuye con lo cual de manera rápida y económica se podrá realizar futuras investigaciones.

Contenido de carbono de *Stipa ichu*

Se aprecia que el estrato 2 que es la parte media de la microcuenca tiene mayor contenido de carbono que los otros estratos, y el estrato que almacena carbono en menor proporción es el estrato 1. Esta diferencia de almacenamiento de carbono en t/ha se le atribuye a la distribución de *S. ichu*, ya que la densidad en el estrato 2 es mayor que los otros dos y que la menor densidad que se reporto es el estrato 1. Asimismo, el contenido de carbono está directamente relacionado a la producción de biomasa y este a la vez a densidad.

Por otra parte Flores (2017) en el distrito de Paucarcolla – Puno concluye que el contenido de carbono total promedio en la especie *F. dolichophylla* (chillihua) es de 2,52 t·ha⁻¹. Este resultado es mucho menor que de la presente

investigación debido a que la densidad de la “chillihua” encontrados en los sitios de estudio (Chijji Mocco y Quello Circa Pampa) son menores que la densidad del *Stipa ichu* de la microcuenca Chaclatacana.

Asimismo, Flores (2017) menciona que el mayor contenido de carbono en la especie *F. dolichophylla* se encuentra en el tallo, seguido de la hoja y por último en la raíz, mientras que en la investigación realizada (*S. ichu*) el mayor contenido de carbono es en las hojas, seguido del tallo, la raíz y por último en la hoja. En el orden de la proporción de contenido de carbono en los componentes de la “Chilluhua” y del “ichu” difieren por la composición y la naturaleza de las especies ya que la “Chilluhua” en su composición tiene más tallos mientras que el “ichu” en mayor proporción tiene más hojas. Así también se le puede atribuir a la diferencia en la determinación de carbono a nivel de laboratorio ya que para la “chillihua” el autor utilizo el método del “poder calorífico” mientras que para el presente estudio (*S. ichu*) se aplicó el método de “Walkley y Black”.

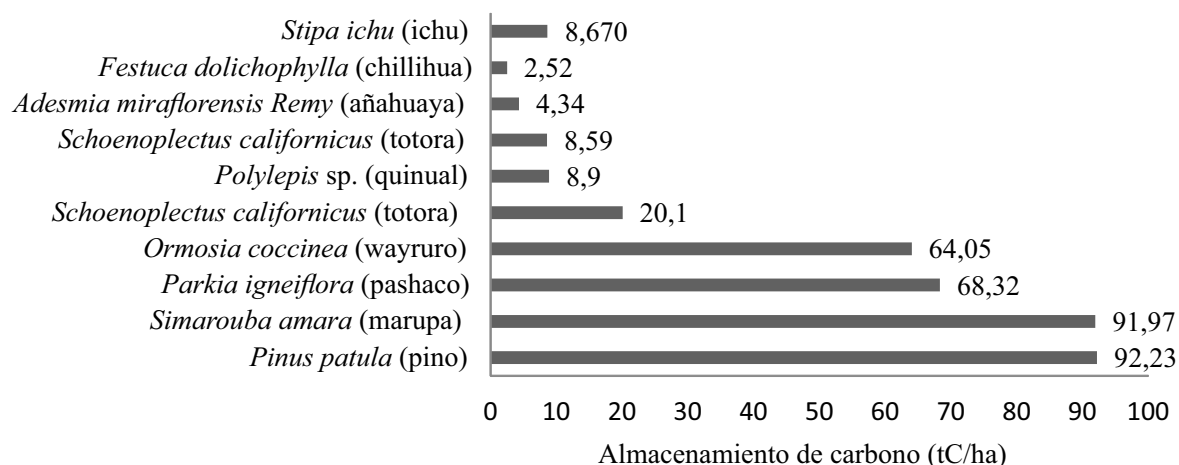


Figura 4. Carbono almacenado en diferentes especies vegetales.

La Figura 4 sintetiza y compara el almacenamiento de carbono en diferentes especies y diferentes lugares, se deduce que el almacenamiento de carbono en el *S. ichu* es mayor y significativa que las otras especies (chillihua y totora) que también conforman el sistema de pastos alto andinos. Asimismo, se deduce que las especies que

conforman bosques como el “pino, “wayruro” y otros, superan significativamente a los resultados obtenidos en el presente estudio. Estas diferencias se le atribuyen a la densidad, tamaño y producción de biomasa de cada especie, así como menciona Alegre *et al.* (2002) citado por Flores (2017), que los sistemas de plantación según el tiempo de

crecimiento van incrementando en tamaño, vigor y producción de biomasa, en efecto, la fijación y almacenamiento de carbono será mayor tanto en los componentes aéreos y radiculares ya que este proceso es directamente proporcional a la producción de biomasa. Asimismo, podemos agregar que las condiciones geográficas, tipo de suelo, condiciones climáticas, fuentes de presión antrópica influyen directamente en el crecimiento de la especie y este en el almacenamiento de carbono (Hungate *et al.*, 2017; Dass *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2019).

La distribución de *S. ichu* a nivel de la microcuenca Chaclatacana varía, esto se refleja en la densidad, que en la parte media se encuentra mayor densidad que en la parte baja y alta, asimismo, de la investigación se puede concluir:

A nivel de la microcuenca Chaclatacana alcanza un área objetiva de 404,25 ha acumula un total de 3549,07 t. Asimismo, los componentes de *S. ichu* de mayor almacenamiento de carbono están en las hojas con un 56,56 %, seguida por el tallo con un 55,72%, la raíz con un 54,03% y por último la flor con un 53,06%.

El servicio ambiental de almacenamiento de carbono en *S. ichu* es mayor y significativo que *Adesmia miraflorensis* J.Rémy (añahuaya) y *F. dolichophylla*, que también al igual que el “ichu”, conforman el sistema de pastos altoandinos e incluso casi igual que la “totora”, pero es muy inferior que las especies que conforman bosques como es el caso del *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., por lo que concluye que el almacenamiento de carbono dependerá de las especies que según el tiempo de crecimiento van incrementando en tamaño, vigor y producción de biomasa, por lo que, la fijación y almacenamiento de carbono será mayor tanto en los componentes aéreos y radiculares (Steinbeiss *et al.*, 2008; Mendoza-Ponce & Galicia, 2010).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burbano, H. 2018. *El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático*. Revista de Ciencias Agrícolas, 34: 82-96.
- Choque, J. 2015. *Manual de inventario y evaluación de pastizales naturales y pasturas*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Dass, P.; Houlton, B.Z.; Wang, Y. & Warlind, D. 2018. Grasslands may be more reliable carbon sinks than forests in California. *Environmental Research Letters*, 13: 074027.
- Dufour, J. 2009. *Autoaceleración del calentamiento global | Energía y Sostenibilidad*. Recuperado 8 de agosto de 2019, de Energía y Sostenibilidad website: <https://www.madrimas.org/blogs/energias alternativas/2009/01/13/111066>
- Flores, M. 2017. *Captura de dióxido de carbono (CO2) en la “Chillihua” (Festuca dolichophylla presl) de los pastizales del CIP Illpa-Puno* (tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNA P/3900>.
- Hungate, B.A.; Barbier, E.B.; Ando, A.W.; Marks, S.P.; Reich, P.B.; van Gestel, N.; Tilman, D.; Knops, M.H.J.; Hooper, D.U.; Butterfield, B.J. & Cardinale, B.J. 2017. The economic value of grassland species for carbon storage. *Science Advances*. 3: e1601880.
- Mendoza-Ponce, A. & Galicia, L. 2010. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 83: 497–506.
- Meneses, R. 2017. *Valoración económica del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en la cobertura forestal – Parque Nacional Huascarán* (Tesis de grado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.
- Rügnitz, M.; Chacón, M. & Porro, R. 2009. *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales* (Manuala técnico No. 1) (p. 79). Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazônica (IA).
- Ruiz, H.; Pavon, A. & Kunth. 1829. *Révision des Graminées*. Recuperado de <http://tropicos.org/Name/25512983>
- Steinbeiss, S.; Beßler, H.; Engels, C.; Temperton, V.M.; Buchmann, N.; Croscher, C.; Kreutziger, Y.; Baade, J.; Habekost, M. &

- Gleixner, G. 2008. Plant diversity positively affects short term soil carbon storage in experimental grasslands. *Global Change Biology*, 14: 2937-2949
- Tapia, M. 1971. *Pastos naturales del Altiplano de Perú y Bolivia* (Casilla B-67, Vol. 85). Quito, Ecuador: Bib. Orton IICA / CATIE. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=I3QOAQAIAAJ&pg=PA133&dq=utilizacion+de+pastizales+naturales&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiYpbfxozZAhVOzIMKHanyB1kQ6AEINTAD#v=onepage&q=utilizacion%20de%20pastizales%20naturales&f=false>
- Tovar, O. 1993. *Las gramíneas (Poaceae) del Perú* (Vol. 13). Madrid, España: Editorial CSIC - CSIC Press.
- Yang, Y.; Tilman, D.; Furey, G. & Lehman, C. 2019. Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. *Nature Communications*, 10: 718.

Received April 25, 2019.
Accepted August 18, 2019.