

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Estimación de la captura de (CO<sub>2</sub>) en totora (Schoenoplectus  
tatora) de la Laguna Altoandina Orurillo – Puno**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Harold Isaac Suaña Jaen

**Asesor:**

Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani

**Juliaca, diciembre de 2023**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Veronika Haydeé Pari Mamani, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE (CO<sub>2</sub>) EN TOTORA (SCHOENOPLECTUS TATORA) DE LA LAGUNA ALTOANDINA ORURILLO – PUNO”** del autor **Harold Isaac Suaña Jaen** tiene un índice de similitud de 14% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 11 días del mes de diciembre del año 2023.



---

Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 11 día(s) del mes de diciembre del año 2023 siendo las 10:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Msc. Franklyn Elard Zapana Yucra el (la) secretario(a): Msc. Laysda Abigail Condori Escobar y los demás miembros: Mtro. Juan Eduardo Vega Kircsa  
Msc. Bernardino Espia Aguilar y el (la) asesor(a) Ing. Yeronika Najdei Paris Mamani

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Estimación de la captura de CO2 en totora (Schoenoplectus tatora) de la Laguna Altoandina Orurillo - Puno"

del(los) bachiller(es): a) Harold Isaac Suaña Tasm  
 b) \_\_\_\_\_  
 c) \_\_\_\_\_

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental  
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:  
 Bachiller (a): Harold Isaac Suaña Tasm

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>19</u>	<u>A</u>	<u>Excelente</u>	<u>Escalencia</u>

Bachiller (b): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior  
 Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]  
 Presidente/a

[Firma]  
 Asesor/a

[Firma]  
 Miembro

[Firma]  
 Secretario/a

[Firma]  
 Miembro

[Firma]  
 Bachiller (a)

[Firma]  
 Bachiller (b)

[Firma]  
 Bachiller (c)

## INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
2.1. Lugar de estudio .....	7
2.2. Muestreo de biomasa foliar y suelo.....	8
2.3. Caracterización del suelo .....	8
2.4. Metodología para la determinación de las reservas de carbono.....	9
2.5. Método de determinación del factor de conversión de carbono.....	9
2.6. Metodología para determinar carbono orgánico del suelo.....	10
3. RESULTADOS.....	10
3.1. Caracterización del suelo de la laguna de Orurillo.....	10
3.2. Captura de carbono en el suelo.....	11
3.3. Captura de carbono en biomasa foliar.....	12
3.4. Comparación de la captura de carbono en el suelo y biomasa foliar.....	13
4. DISCUSIÓN .....	14
4.1. Comparación de la captura de carbono en el suelo y biomasa foliar.....	14
4.2. Captura de carbono en biomasa foliar.....	15
4.3. Comparación de Captura de carbono en biomasa foliar y suelo .....	15
5. CONCLUSIÓN .....	16
REFERENCIAS .....	17

## **Estimación de la captura de (CO<sub>2</sub>) en totora (Schoenoplectus tatora) de la Laguna Altoandina Orurillo – Puno**

### **RESUMEN**

El objetivo es estimar la captura de carbono en totora (*Schoenoplectus tatora*) de la laguna altoandina Orurillo, del distrito de Orurillo, región Puno-Perú. La metodología consistió en identificar 9 puntos de muestreo de toda la laguna, y en ella determinar el almacenamiento de carbono en biomasa aérea en la totora, utilizando el método de Walkley y Black; y para la estimación de carbono en el suelo se utilizó el método Colorimétrico, a una profundidad de 0-10m. Los resultados muestran que hay diferencias en los dos sumideros: la captura de carbono en suelo fue de 437.7 t CO<sub>2</sub>/ha, y en la biomasa aérea fue de 31.4 tCO<sub>2</sub>/ha. Finalmente, se concluye que la totora es un sumidero de carbono, siendo el secuestro de CO<sub>2</sub> mayor en el suelo.

**Palabras clave:** biomasa, captura, carbono, suelo, sumideros

## **Estimation of the capture of (CO<sub>2</sub>) in reeds (Schoenoplectus tatora) of the Altoandina Lagoon Orurillo – Puno**

### **ABSTRACT**

The objective is to estimate carbon capture in reeds (*Schoenoplectus tatora*) from the high Andean Orurillo lagoon, in the Orurillo district, Puno-Peru region. The methodology consisted of identifying 9 sampling points throughout the lagoon, and determining the carbon storage in aerial biomass in the reed, using the Walkley and Black method; and to estimate carbon in the soil, the Colorimetric method was used, at a depth of 0-10m. The results show that there are differences in the two sinks: carbon capture in soil was 437.7 t CO<sub>2</sub>/ha, and in aerial biomass it was 31.4 tCO<sub>2</sub>/ha. Finally, it is concluded that the cattail is a carbon sink, with CO<sub>2</sub> sequestration being greater in the soil.

**Keywords:** biomass, capture, carbon, soil, sinks

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una variable que forma parte de la historia de la tierra, anteriormente fue progresiva y permitió a las especies generar mecanismos de adaptación para sobrevivir. Sin embargo, en los últimos 150 años el clima está sufriendo una serie de alteraciones, debido principalmente a las actividades humanas generando emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de larga permanencia como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y halocarburos (grupo de gases que contiene flúor, cloro o bromo), ocasionando cambios en el régimen climático, calentamiento global y aumento de la variabilidad climática con graves consecuencias para el equilibrio del planeta (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2008).

En este sentido, los humedales andinos son reconocidos globalmente como los ambientes más frágiles por sus características, amenazadas y alta significancia social y económica, determinada por los servicios ecosistémicos que presentan (Castro, 2011). Hoy frente a los pronósticos de cambio climático es esencial tomar medidas concretas sobre el uso y conservación de los humedales (Cuellar Bautista et al., 2016). La preocupación a nivel mundial y nacional, ha impulsado diferentes estrategias de conservación, junto a una serie de investigaciones sobre la biodiversidad de estos ecosistemas (Ahumada et al., 2011).

Castro (2011) menciona que los humedales altoandinos tienen una función de regulación y almacenamiento de carbono, evitando la liberación de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera y minimizando la intensificación del cambio climático. Palomino Contreras y Cabrera Carranza (2008) realizó un estudio de servicio ambiental de captura de dióxido de carbono de flora nativa (grama salada, salicornia, totora y el junco), determinando la “totora” presenta mayor cantidad de captura de carbono en la biomasa foliar.

El distrito de Orurillo, de la Región Puno-Perú cuenta con recursos naturales y culturales, el que lo convierte en un gran potencial de desarrollo turístico; la laguna Orurillo es uno de los recursos más promisorios del distrito, está ubicada a una gran altitud (3889 msnm); asimismo, conserva una importante variedad de flora y fauna altoandina, como complejo de humedales, y variedad de aves (Venero Gonzales, 2012). La mayor parte de flora nativa es “Totora” que corresponde a la familia de la Cyperaceae y su nombre científico se este tipo de totora del altiplano es “Schoenoplectus tatora” a diferencia de la totora “Schoenoplectus californicus”. Por lo tanto, se necesita un enfoque drástico en términos de formulación de políticas para abordar este desafío global de la captura de carbono (Wilberforce et al., 2021).

Los lagos del altiplano peruano como el lago Titicaca albergan una abundante vegetación acuática, principalmente compuesta por totorales y llachales, que desempeñan un papel crucial en la mitigación de los impactos derivados de las actividades humanas (Goyzueta Camacho, 2009) , tales como la emisión de gases provenientes del sistema vehicular y el vertimiento de aguas residuales, impactando negativamente en el desarrollo de las especies predominantes en la zona (Maldonado-Jiménez y Aparicio-Saavedra, 2021).

Ante lo expuesto, se planteó la siguiente pregunta de investigación ¿Cuál será la estimación de la captura de CO<sub>2</sub> en la totora en la Laguna altoandina Orurillo, del distrito de Orurillo, Puno-Perú? Para dar respuesta a la pregunta se formuló el objetivo general de estimar la captura de carbono como servicio ambiental de la totora (*Schoenoplectus tatora*) en la Laguna altoandina Orurillo, del distrito de Orurillo, Puno; y como objetivos específicos,

determinar las reservas de carbono orgánico almacenado en 9 unidades de superficie (t C/ha) en el sistema de suelo – vegetación del Laguna altoandina Orurillo en estudio y comparar el carbono orgánico en el suelo y almacenamiento de carbono en la biomasa foliar.

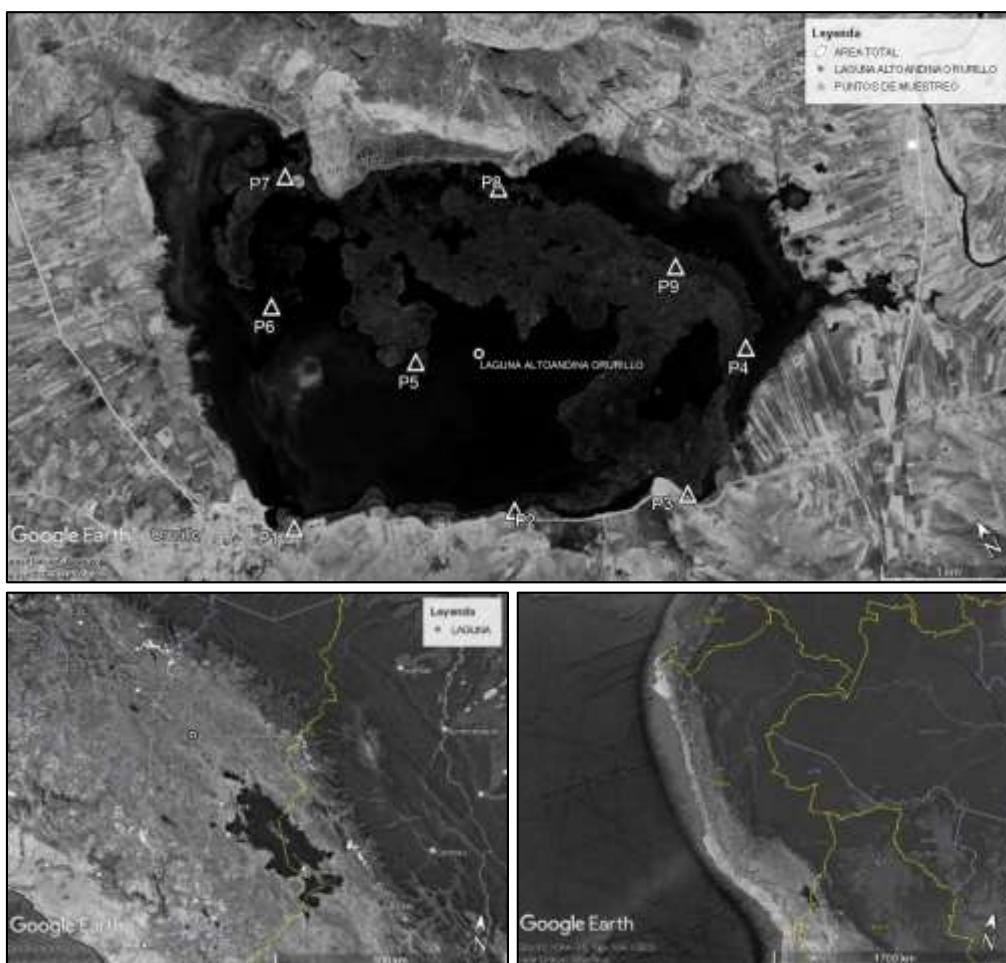
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Lugar de estudio

El área de estudio es la laguna altoandina Orurillo, que se encuentra a una altitud de 3889 m.s.n.m y está ubicada al norte del distrito de Orurillo, provincia de Melgar, departamento de Puno a una latitud de 14°43'29.49"S y a una longitud de 70°29'20.59"O. La laguna cuenta con una dimensión de 1206 has aproximadamente, y la variedad de totora es *Schoenoplectus tatora*, ocupando un 38.6% de la laguna (465.72 has aprox.).

**Figura 1**

*Laguna de Orurillo de la Provincia de Melgar. A: Ubicación de los nueve puntos de muestreo. B: Mapa del Departamento de Puno. C: Mapa del Perú*



Nota: “P” significa punto de muestreo; A: mapa de ubicación local; B: mapa de ubicación regional y C: mapa de ubicación nacional.

## 2.2. Muestreo de biomasa foliar y suelo

Se consideró un muestreo aleatorio simple con una repetición en nueve puntos de la laguna (Figura 1), en las zonas más representativas (P1: zona Suroeste cercana a la zona urbana que limita con el malecón de la ciudad de Orurillo y que presenta vertimientos de origen domésticos; P2 y P3: zona Sur de tiene alimentación de acuíferos por riachuelos; P4 y P9: zona Este de tiene alimentación de acuíferos por riachuelos; P8: zona Norte alimentada por riachuelos; P6: zona oeste que tiene influencia por vertidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Municipalidad Distrital de Orurillo y P7: zona Oeste alimentada por riachuelos). Para el muestreo de suelo fue aleatorio simple según la Guía de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente - MINAM (2014) y se consideró 10 cm<sup>2</sup> para la toma de muestra para determinar la cantidad de carbono secuestrado en los suelos de totora, para el muestreo de la biomasa foliar se consideró a Arévalo (2003) donde sugiere una biomasa de un metro cuadrado. La tabla 1 muestra los puntos de monitoreo de la laguna de Orurillo, en mapas de ubicación local (A), ubicación regional (B) y nacional (C).

La tabla 1 muestra las coordenadas de los nueve puntos de muestreo en la laguna de Orurillo en la provincia de Melgar, en coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), limitando la laguna de Orurillo por el Este con el centro poblado de Balsapata, por el Oeste con la zona urbana de Orurillo y con la comunidad de Santa Cruz, por el Norte con el centro poblado de Carme Alto y por el Sur con el Centro Poblado de Caluyo Rosaspata y el Sector Retiro.

**Tabla 1**

*Fuentes de datos para los modelos de Servicios ecosistémicos*

UTM	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Este	337764	339339	340588	341550	339224	338441	339031	340459	341382
Norte	8371093	8370374	8369830	8370597	8371757	8372688	8373530	8372627	8371419

## 2.3. Caracterización del suelo

La tabla 2 muestra los parámetros, las unidades y el método de análisis para determinar la captura de carbono y la caracterización de suelo. Los parámetros son: densidad aparente, potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo disponible, potasio, cationes de Al<sup>3+</sup> + H<sup>+</sup>, nitrógeno, y carbono orgánico del suelo.

**Tabla 2***Metodología de análisis de los parámetros analizados*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de análisis</b>
Densidad aparente	(g/cm <sup>3</sup> )	Método del cilindro de metal (Volumen conocido)
pH	-	Medición el potenciómetro de la suspensión de suelo: agua en relación 1:1
Conductividad eléctrica	dS/m	Medición del contenido de sales solubles del extracto acuoso en la relación suelo: agua o en el extracto de la pasta de saturación
Materia Orgánica	%	Método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio.
Fósforo disponible	ppm	Método de Olsen modificado, extracción con NaHCO <sub>3</sub> 0.5N, pH 8.5
Potasio	ppm	Extracción con acetato de amonio y lectura por espectrofotometría de absorción atómica
Cationes de Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	meq/100	Método de Yuan, extracción con KCl 1N
Nitrógeno	%	Johan Kjeldahl
Carbono orgánico	%	Método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio (Ecuación).

#### **2.4. Metodología para la determinación de las reservas de carbono**

Para determinar reservas de carbono en biomasa foliar de totora (*Schoenoplectus tatora*) y en suelo se empleó el Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la Tierra en Perú, desarrollado por Centro Internacional para la investigación en Agroforestería – ICRAF (Arévalo 2003). Primero se 1) seleccionó una área representativa de la laguna para evaluar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa foliar de la totora, ya que esto estará compuesto por la biomasa sobre el suelo (epigea) de gramíneas y de otras hierbas; 2) la biomasa herbácea de la totora se estimó por muestreo directo en nueve cuadrantes de 1m<sup>2</sup>, distribuidas al azar; 3) se cortó toda la vegetación a nivel del suelo y se registró el peso fresco por m<sup>2</sup>; 4) luego se sacó una submuestra de 1 Kg; para luego embalarlo en una bolsa de ziplot apropiadamente rotulada para ser enviada al laboratorio. Para el cálculo de la biomasa se determinó el peso seco de esta biomasa en t C/ha multiplicado por el factor que determina el porcentaje de carbono en las muestras recolectada.

#### **2.5. Método de determinación del factor de conversión de carbono**

La tabla 2 muestra los parámetros, las unidades y el método de análisis para determinar la captura de carbono y la caracterización de suelo. Los parámetros son: densidad aparente, potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica, materia orgánica, fosforo disponible, potasio, cationes de Al<sup>3+</sup> + H<sup>+</sup>, nitrógeno, y carbono orgánico del suelo.

## 2.6. Metodología para determinar carbono orgánico del suelo

La muestra de suelo se tomó de mismo área de muestreo de la totora restringiéndose a la capa arable de (0-10 cm) para determinar la cantidad de carbono secuestrado en el suelo de totora, siendo el siguiente el procedimiento para la toma de muestras: Primero se 1) se toma la muestra de suelo de 0 a 10 cm de profundidad (caparable); 2) Sacar 1kg de cada muestra de suelo de la flora en estudio y hacerlo secar como luego se embalo en una bolsa de ziplot debidamente rotulada para ser enviada al laboratorio.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Caracterización del suelo de la laguna de Orurillo

A continuación, se presenta los resultados obtenidos en la investigación bajo el objetivo general de cuantificar la captura de carbono como servicio ambiental de la totora (*Schoenoplectus tatora*) en la laguna altoandina Orurillo, del distrito de Orurillo-Puno. La tabla 3 muestra los parámetros fisicoquímicos, el análisis mecánico y el balance iónico del suelo en la laguna de Orurillo.

El pH es mayor en el Punto 6 y 7, y menor en el P2, pero la laguna tiene un pH medio de 7.41(Tabla 3). La laguna presenta una conductividad media de 5.1 dS/m, con valores de 2.54 hasta 8.51 dS/m.

**Tabla 3**

*Caracterización del suelo de los puntos de muestreo de la laguna Orurillo*

Puntos de monitoreo	pH	Parámetros fisicoquímicos						
		C.E (1:1) dS/m	CaC O <sub>3</sub> %	Materia Orgánica %	P Ppm	K ppm	Densidad aparente g/cc	Carbono ( C ) %
P1	7.63	6.83	10.97	17.63	9.8	496	1.39	10.22
P2	<b>6.84</b>	6.08	5.72	16.48	8.5	<b>530</b>	1.28	9.56
P3	7.51	5.25	21.47	<b>30.75</b>	21.6	430	<b>0.59</b>	<b>17.83</b>
P4	7.34	<b>2.57</b>	14.79	29.94	19.9	408	0.60	17.37
P5	7.09	7.25	18.13	18.03	11.8	426	1.62	10.46
P6	<b>7.88</b>	3.41	64.87	<b>9.42</b>	22.5	<b>89</b>	1.44	<b>5.46</b>
P7	7.84	3.06	<b>65.83</b>	10.76	23.7	100	1.56	6.24
P8	7.34	<b>8.51</b>	<b>1.43</b>	15.61	<b>6.4</b>	319	<b>1.89</b>	9.05
P9	7.21	2.94	11.93	18.17	<b>24.2</b>	472	0.82	10.54
<b>Promedio</b>	<b>7.41</b>	<b>5.10</b>	<b>23.90</b>	<b>18.53</b>	<b>16.49</b>	<b>363.33</b>	<b>1.24</b>	<b>10.75</b>
Análisis Mecánico (%)								
		Are	Lim	Arcill	Clase Textural			
		na	o	a				
P1		66	29	5	Franco arenoso			
P2		62	31	7	Franco arenoso			
P3		70	21	9	Franco arenoso			
P4		72	19	9	Franco arenoso			
P5		52	39	9	Franco			

P6	50	41	9							Franco
P7	50	41	9							Franco
P8	46	47	7							Franco
P9	72	21	7							Franco arenoso
<b>Balance iónico</b>										
	Cationes Cambiables (meq/100 g)					Suma de Cationes	Suma de Bases	CIC	% Sat. de bases	
	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+</sup> <sub>2</sub>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>					
P1	25.95	2.42	0.61	0.15	0.00	29.12	29.12	29.12	100	
P2	15.24	8.75	0.67	0.15	0.00	24.80	24.80	24.80	100	
P3	15.30	11.07	0.37	0.46	0.00	27.20	27.20	27.20	100	
P4	16.44	9.50	0.45	0.33	0.00	26.72	26.72	26.72	100	
P5	13.62	7.97	0.55	0.27	0.00	22.40	22.40	22.40	100	
P6	8.68	4.30	0.14	0.31	0.00	13.44	13.44	13.44	100	
P7	7.68	4.18	0.14	0.32	0.00	12.32	12.32	12.32	100	
P8	13.55	8.23	0.56	1.34	0.00	23.68	23.68	23.68	100	
P9	21.86	14.83	0.34	0.41	0.00	37.44	37.44	37.44	100	
Relación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	
K/Mg	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	
Ca/Mg	10.7	1.7	1.4	1.7	1.7	2.0	1.8	1.6	1.5	
	K/Mg		Promedio					0.07		
	Ca/Mg		Promedio					2.70		

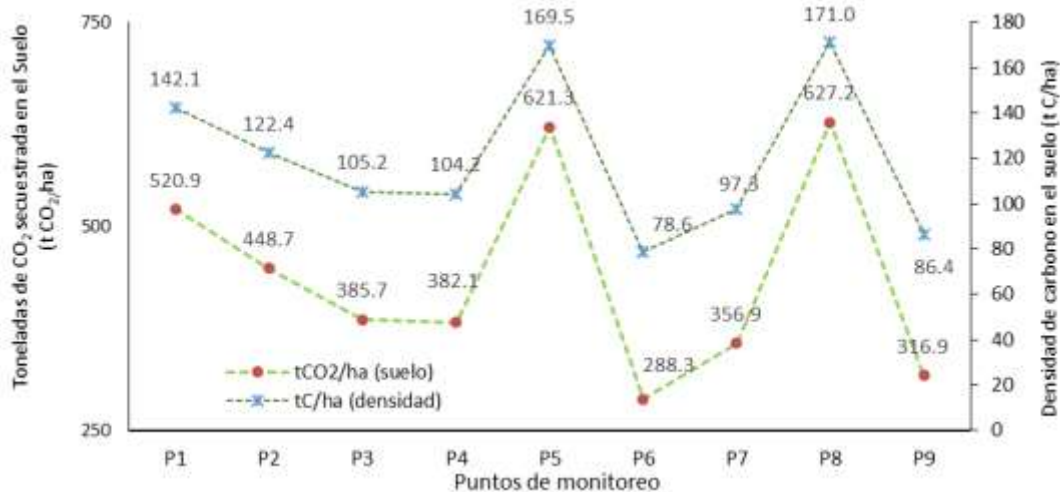
La alcalinidad media del suelo de laguna es de 23.9% de CaCO<sub>3</sub>. La media de la laguna de "materia orgánica" es de 18.53% que está en una clasificación alta (Guerrero B. 1998). Y el fósforo y potasio es alto del suelo es de 16.49 y 363.33 ppm de P y K (Guerrero B. 1998). La densidad aparente de la textura es 1.24. La textura del suelo es franco (Punto 5,6,7 y 8) y franco arenoso (punto 2, 3, 4 y 9). La relación K/Mg es de 0.07 y la de Ca/Mg es de 2.70. Y el carbono del suelo de la laguna es de 10.75% y presenta el valor mínimo de 5.46 en el P6 y el valor máximo de 17.83 en el punto 3.

### 3.2. Captura de carbono en el suelo

La figura 2 muestra que el punto 8 y el 5 presentan el valor más alto de secuestro de CO<sub>2</sub>, y de densidad de carbono en el suelo; pero la tabla 3 el mayor porcentaje de carbono está en el punto 3 y 4.

**Figura 2**

Estimación del secuestro de CO<sub>2</sub> y densidad de carbono en el suelo de los puntos de muestreo de la laguna Orurillo, multiplicado por el factor de 1.724 de (t CO/ha) a (t CO<sub>2</sub>/ha)



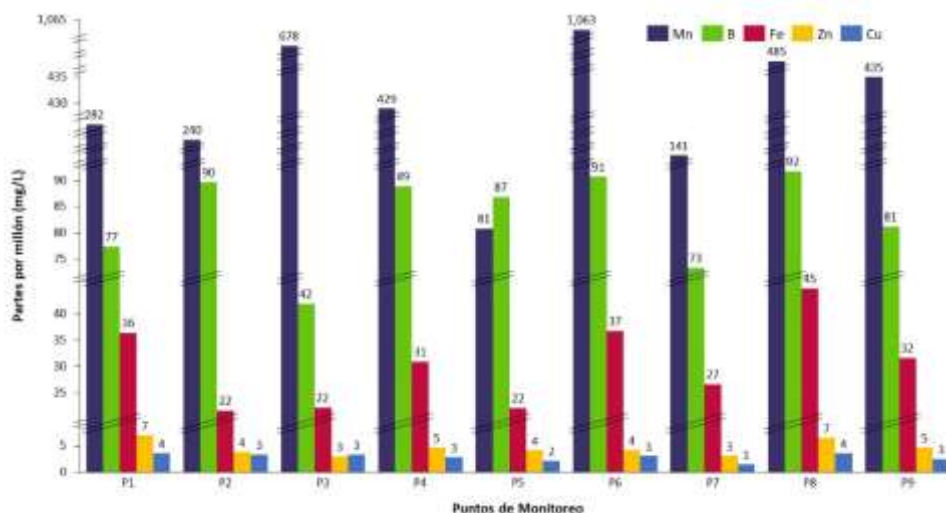
### 3.3. Captura de carbono en biomasa foliar

La figura 3 muestra el análisis foliar para la estimación del secuestro de CO<sub>2</sub>, de los micronutrientes en ppm.

La figura 3 muestra los micronutrientes que se encuentran en la biomasa foliar, el manganeso es el más abundante, seguido del boro y el hierro, pero el zinc y el cobre se encuentran con valores muy bajos.

**Figura 3**

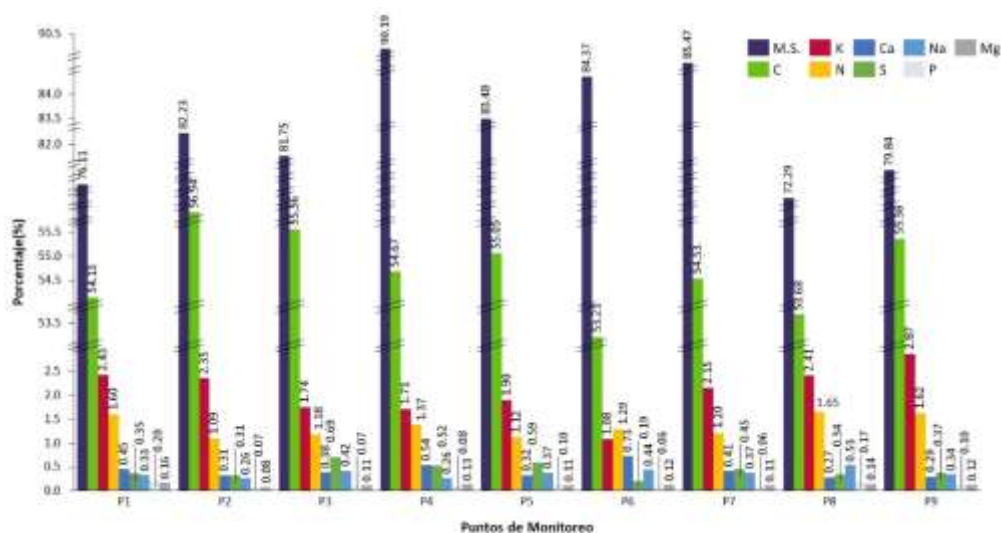
Análisis foliar para la estimación del secuestro de CO<sub>2</sub>.



La figura 4 muestra los porcentajes de elementos en la biomasa folia, la materia seca es la más abundante seguida de carbono, nitrógeno y fósforo. Los valores de carbono están en el rango de 53.21 a 56.94 % de la laguna de Orurillo a 3889 msnm.

**Figura 4**

*Análisis de los elementos en la biomasa foliar de los nueve puntos muestreados en la laguna*

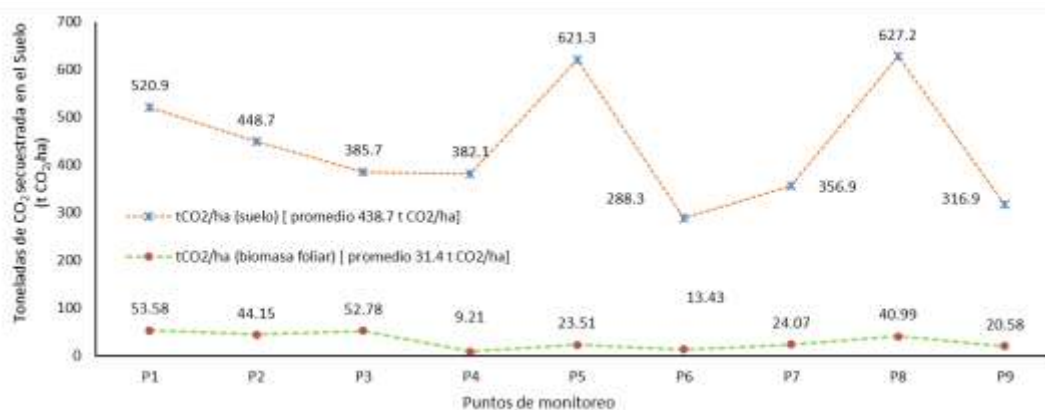


### 3.4. Comparación de la captura de carbono en el suelo y biomasa foliar

La figura 5 muestra las toneladas de carbono secuestrado tanto en el suelo como en la biomasa foliar de la totora.

**Figura 5**

*Toneladas de CO<sub>2</sub> secuestrado en el suelo y totora (t CO<sub>2</sub>/ha).*



La figura 5 muestra que hay mayor captura de dióxido de carbono en el suelo (promedio 438.7 t CO<sub>2</sub>/ha), especialmente en los puntos 5 y 8. Para la biomasa foliar el valor medio de secuestro de carbono es de 31.4 t CO<sub>2</sub>/ha, con mayor valor en el Punto 1, 3, 8 y 3.

Aplicando la t-student para muestras independientes se obtiene un estadístico t de 9.65 y un p valor de 4.4696 x 10<sup>-8</sup>, lo que indica que hay diferencia significativa entre ambas muestras tal como muestra la tabla 4.

**Tabla 4**

*Prueba t para muestras independientes*

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Suelo	438.66	125.44	288.3	627.2
Biomasa foliar	31.36	16.77	9.21	53.58
Estadístico t	9.65	p -valor	0.00000004470	

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Comparación de la captura de carbono en el suelo y biomasa foliar

El pH es ligeramente alcalino en los puntos 6 y 7 causado por vertimientos de la PTAR de Orurillo; a comparación de P2 donde hay menos impacto por la actividad antropogénica con un pH de 6.84; pero la Laguna presente una media de 7.41 de potencial de hidrogeno lo se clasifica en un suelo ligeramente alcalino que para Garrido Valero, (1993) está dentro del intervalo óptimo (6.5 -7.7) para el desarrollo de cultivos, y de acuerdo a Aguilar Sánchez y Cubas Irigoín, (2021) el exceso de pH encontrado en los suelos lo hace alcalino. La laguna presente una conductividad eléctrica moderadamente salina debido al ingreso en la zona norte de un riachuelo con características salinas, para Garrido Valero (1993) los puntos 4, 6 , 7 y 9 presentan conductividades que favorecen el buen desarrollo de la totora, y en los Puntos 1, 2 , 3, 5 y 8 la conductividad puede originar problemas en el desarrollo de la totora. La “Materia orgánica” de la laguna es “alta” que para Garrido Valero (1993) es un indicador de forma indirecta que favorece la fertilidad de un suelo. Para el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2022) la laguna contenidos de potasio y fósforo que favorecen la fertilización. Los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de diversos factores, como textura, contenido en materia orgánica o tipo de manejo del suelo (Ingaramo et al., 2007); estos valores tienen relación con los valores de la textura de suelos franco y franco arenosos. La relación K/Mg y Ca/Mg no es normal (Guerrero B., 1998). El fosforo y potasio del suelo es de 16.49 y 363.33 ppm de P y K está en la clasificación alta. Para Lefèvre et al. ( 2017) menciona que el carbono orgánico del suelo (COS) es dinámico, pero los impactos antropogénicos sobre el suelo pueden convertirlo en un sumidero o fuente neta de gases de efecto invernadero (GEI). Esta Laguna de Orurillo presenta suelos similares a los del Lago Titicac (PEBLT, 2020); por otro lado Pérez (2015) mencionan al humedal dominado por la presencia de totoras siendo esta una planta silvestre perenne que crece en sitios inundados o planos, de sustrato arcilloso.

## **4.2. Captura de carbono en biomasa foliar**

Según Novillo y Rico (1995), la mayor presencia de manganeso (Mn) actúa como activador enzimático en reacciones relacionadas con el metabolismo de ácidos orgánicos. Este micronutriente, junto con el hierro (Fe), desempeña un papel en la síntesis de clorofila y en la producción de oxígeno durante la fotosíntesis en los cloroplastos. El micronutriente boro (B) desempeña un papel crucial en la utilización y distribución de glúcidos en la planta, posiblemente facilitando el transporte de azúcares a través de la membrana mediante la formación de un complejo azúcar-borato (Vera, 2001).

El zinc (Zn) es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, requerido en cantidades muy pequeñas, típicamente entre 15 y 20 ppm de tejido seco. A pesar de su baja cantidad, el zinc desempeña funciones indispensables en el metabolismo celular, siendo irremplazable por otros elementos (César et al., 2017). La presencia de cobre (Cu) en varias proteínas es crucial para funciones fundamentales como fotosíntesis, respiración, desintoxicación de radicales superóxido y lignificación. La deficiencia de Cu reduce drásticamente la actividad de estas enzimas, afectando negativamente procesos clave como el transporte fotosintético de electrones y la fijación de CO<sub>2</sub> (Agronomías, 2007).

## **4.3. Comparación de Captura de carbono en biomasa foliar y suelo**

La tabla 5 muestra que los valores de captura de carbono (tCO<sub>2</sub>/ha) son similares a los estudios de Chang Ocaña y Mandarachi Misari (2021) y Medrano Yanqui et al. (2012) en condiciones altiplánicas; pero son menores a los estudios de Palomino Contreras (2007) que fueron realizados a una altitud de 6 msnm. Para Lefèvre et al. (2017) la retención de carbono orgánico en el suelo puede contribuir a mitigar estos problemas mientras se ofrece una solución parcial al calentamiento global.

La presencia de micronutrientes como el manganeso (Mn), hierro (Fe), boro (B), zinc (Zn) y cobre (Cu) en el suelo desempeña roles cruciales en el metabolismo de las plantas. Estos elementos actúan como activadores enzimáticos, participan en la síntesis de clorofila, intervienen en la fotosíntesis y tienen impactos significativos en funciones celulares esenciales. Aunque requeridos en pequeñas cantidades, su influencia es vital para el desarrollo y crecimiento de las plantas. Los resultados de la captura de carbono en la tabla 5 son consistentes con estudios previos en condiciones altiplánicas, mostrando valores similares a investigaciones anteriores en la misma región. Sin embargo, se observa una diferencia con estudios realizados a altitudes más bajas. Estos hallazgos respaldan la idea de que el secuestro de carbono en el suelo, como indican Lefèvre et al. (2017), puede proporcionar una solución parcial al problema del calentamiento global, ofreciendo una estrategia para mitigar sus impactos.

## 5. CONCLUSIÓN

La captura de carbono está directamente relacionada con la densidad aparente de los suelos, en el punto 5 y el 8 la densidad aparente es mayor, favoreciendo la captura de carbono. Para la FAO y GTIS (2015) las barreras causadas por la actividad humana, factores incontrolables como el clima y la textura del suelo pueden restringir la capacidad del suelo para capturar carbono, especialmente afectando los procesos del ciclo del carbono facilitados por la biota del suelo. Se deben tomar medidas para disminuir la incertidumbre en las reservas globales de carbono orgánico del suelo, enfocándose en suelos que abarcan grandes extensiones, presentan niveles elevados de carbono orgánico, baja densidad aparente o gran profundidad. (Köchy et al., 2015)

La Laguna de Orurillo exhibe variaciones en sus propiedades físicas y químicas, influenciadas por vertimientos de la PTAR, riachuelos salinos y la presencia de totoras. Aunque el pH ligeramente alcalino en algunos puntos puede ser beneficioso para el desarrollo de cultivos según Garrido Valero, la conductividad eléctrica moderadamente salina y los niveles altos de materia orgánica pueden tener impactos en la vegetación acuática. La fertilidad del suelo, indicada por contenidos de potasio y fósforo, es favorable según el MIDAGRI. Sin embargo, la relación K/Mg y Ca/Mg anormal, así como la alta concentración de fósforo y potasio, podrían generar desafíos. Además, la presencia de totoras sugiere similitudes con el Lago Titicaca y destaca la importancia de considerar la dinámica del carbono orgánico en suelos expuestos a impactos antropogénicos. La densidad aparente influye directamente en la captura de carbono, siendo más favorable en puntos con mayor densidad aparente, como el 5 y el 8. Sin embargo, las barreras inducidas por la actividad humana, factores climáticos y la textura del suelo pueden limitar esta capacidad. Para abordar la incertidumbre en las reservas globales de carbono, es esencial focalizar las medidas en suelos extensos, con alto contenido de carbono orgánico, baja densidad aparente o gran profundidad.

## REFERENCIAS

- Agronomicas, I. 2007. Micronutrientes en la fisiología de las plantas : ( Segunda Parte ).
- Aguilar Sánchez, J. de D., y N. Cubas Irigoín. 2021. Contaminación de suelos por el uso de aguas residuales. ALFA. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias 5:132-144. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.104>
- Ahumada, M., F. Aguirre, M. Contreras, y A. Figueroa. 2011. Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos:1-46.
- Arévalo, L. A. 2003. Manual determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Página (2003 INIA, Instituto Nacional de Investigación Agraria, Ed.).
- Castro, M. 2011. Proyecto “ Creación de Capacidades para la Valoración Socioeconómica de los humedales altoandinos ”.
- César, J., A. Romero, y L. Flores. 2017. El zinc en las plantas:28-35.
- Chang Ocaña, C., y L. M. Mandarachi Misari. 2021. Estimación de la captura de carbono en las especies predominantes del Humedal Tragadero - Junin. Universidad San Ignacio de Loyola.
- Condori Quiñonez, S. 2020. Universidad nacional del altiplano.
- Cuellar Bautista, J. E., E. J. Salazar Hinostroza, y INIA. 2016. Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. Lima. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- FAO y GTIS, . 2015. Estado Mundial del Recurso Suelo. Roma - Italia.
- Garrido Valero, S. 1993. Interpretación y análisis de suelos. Página Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid-España. <https://doi.org/10.14350/rig.58865>
- Goyzueta Camacho, G. 2009. Totorales del lago Titicaca Importancia, conservación y gestión ambiental. Página (U. N. del A. Puno, Ed.). Puno - Perú.
- Guerrero B., J. 1998. Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima -Perú.
- Ingaramo, O. E., J. Paz Ferreiro, J. M. Mirás Avalos, y E. Vidal Vázquez. 2007. Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo. Cuadernos Lab. Xeolóxico de Laxe 32:127-137.
- IPCC. 2008. Cambio climático 2007. Informa de síntesis. Página Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. <https://doi.org/10.1109/MELCON.2008.4618473>
- Köchy, M., R. Hiederer, y A. Freibauer. 2015. Global distribution of soil organic carbon – Part 1 : Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics , permafrost regions , wetlands , and the world:351-365. <https://doi.org/10.5194/soil-1-351-2015>
- Lefèvre, C., R. Fatma, A. Viridiana, y W. Liesl. 2017. Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Roma, Italia.
- Maldonado-Jiménez, I., y M. E. Aparicio-Saavedra. 2021. Estimación del almacenamiento de carbono en la biomasa de macrófitas en la Bahía interior de Puno - lago Titicaca.

- Medrano Yanqui, R., L. Chupan Minaya, y M. Vila Balbín. 2012. Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. *Apuntes de Ciencia y Sociedad* 02:110-117. <https://doi.org/doi.org/10.18259/acs.2012013>
- MINAM. 2014. Guía para el muestreo de suelos:6674.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. MIDAGRI. 2022. Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI. Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor:2008-2010.
- Novillo, J., y M. I. Rico. 1995. Manganeso: Deficiencia en plantas cultivadas y su corrección:614-618.
- Palomino Contreras, D. 2007. Estimación del servicio ambiental de captura del CO<sub>2</sub> en la flora de los Humelades de Puerto Viejo.
- Palomino Contreras, D., y C. Cabrera Carranza. 2008. Estimación del servicio ambiental de captura del CO<sub>2</sub> en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* 10:49-59.
- PEBLT. 2020. Informe de monitoreo de la red de aguas superficiales Lago Titicaca (Crucero Hidroquímico). Puno - Perú.
- Pérez, P. 2015. Cuantificación de la captura de CO<sub>2</sub> por la flora nativa de totora en un humedal costero en Perú 13.
- Venero Gonzales, J. 2012. Guía de aves y flora laguna orurillo.
- Vera, A. L. A. 2001. artículo El boro como nutriente esencial.
- Wilberforce, T., A. G. Olabi, E. T. Sayed, K. Elsaid, y M. A. Abdelkareem. 2021. Progress in carbon capture technologies. *Science of the Total Environment* 761:143203. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143203>

## ANEXOS

### Anexo 1.

#### *Evidencia de sumision del articulo*

[EA] Acuse de recibo de envío

Esteban Jobbágy via Ecología Austral <noreply@ecologiaaustral.com.ar>

Vie 08/12/2023 13:21

Para: Juan Eduardo Vigo Rivera <eduardo.vigo@upeu.edu.pe>

Juan Eduardo Vigo Rivera:

Gracias por enviar el manuscrito, "Estimación de la captura de (CO2) en totora (*Schoenoplectus tatora*) de la Laguna Altoandina Orurillo – Puno" a Ecología Austral. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito:

[https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia\\_Austral/authorDashboard/submission/2365](https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/authorDashboard/submission/2365)

Nombre de usuario/a: jevr72

En caso de dudas, contáctenos a [manuscritos@ecologiaaustral.com.ar](mailto:manuscritos@ecologiaaustral.com.ar)

Eva L. Florio

Editora de compaginación y comunicación

Ecología Austral

Esteban Jobbágy

Este es un mail automatico, por favor no lo responda

---

Ecología Austral - <http://ojs.ecologiaaustral.com.ar>

## Anexo 2.

*Copia de resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente*



"AÑO DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA SALUD"

**RESOLUCIÓN N° 0856/A-2020/UPeU-FIA-CF-T**

Lima, Naña, 10 de diciembre de 2020

**VISTO:**

El expediente de **Harold Isaac Suaña Jaen**, identificado con Código Universitario N° 201422193, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO:**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Harold Isaac Suaña Jaen**, ha solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Cuantificación del servicio ambiental de captura de (CO<sub>2</sub>) en totora (*Scirpus Californicus*) en la Laguna Altoandina Orurillo – Puno" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 09 de diciembre de 2020, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "Cuantificación del servicio ambiental de captura de (CO<sub>2</sub>) en totora (*Scirpus Californicus*) en la Laguna Altoandina Orurillo – Puno" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a la **Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani** como ASESORA para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera** y el **MSc. Bernardino Tapia Aguila**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Milva Valleros Atalaya de Cornejo  
DECANA



Mg. Sergio Omar Valladares Castillo  
SECRETARIO ACADÉMICO

cc:  
-Interesado  
Asesor  
Dirección General de Investigación  
Archivo

**Anexo 3.**

*Panel fotográfico de la ejecución del proyecto de investigación*

