

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“CAPTURA DEL CARBONO AZUL MEDIANTE LA GRAMA SALADA  
(Distichlis spicata (L.) Greene) EN EL REFUGIO DE VIDA  
SILVESTRE LOS PANTANOS DE VILLA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**SALAZAR NAVARRO, KAROL**

**Villa El Salvador  
2019**

## **DEDICATORIA**

*A Dios*

*A mi padre Santiago*

*A mi madre Josefina*

*A mi hermana Melissa*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi familia por creer en mí, por enseñarme que con sacrificio y trabajo en equipo se alcanzan las metas.*

*A mi padre Santiago por su entrega y sacrificio.*

*A mi madre Josefina por sus cuidados y motivación.*

*A mi hermana Melissa, a quien admiro y amo profundamente.*

*A Carlos por su complicidad y por darme ánimos durante este camino.*

*A mi asesor el MSc. Obert Marín por su dedicación y orientación en el desarrollo de esta investigación.*

*A la oficina de SERNANP, en especial a la Sra. María del Carmen Díaz por el apoyo brindado para el desarrollo de la investigación.*

*A la oficina de PROHVILLA, por las facilidades brindadas para el desarrollo de la investigación.*

*Al Dr. Héctor Aponte por su orientación y tiempo brindado.*

*Al Sr. José Soto del laboratorio LabSol de SOLDEX, por su tiempo y apoyo.*

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	2
1.2. Justificación del Problema .....	3
1.3. Delimitación del Proyecto.....	5
1.3.1. Teórica .....	5
1.3.2. Temporal .....	5
1.3.3. Espacial.....	5
1.4. Formulación del Problema .....	5
1.4.1. Problema General .....	5
1.4.2. Problemas Específicos.....	6
1.5. Objetivos .....	6
1.5.1. Objetivo General .....	6
1.5.2. Objetivos Específicos .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	10
2.3. Definición de términos básicos .....	27
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL .....	29
3.1. Modelo de solución propuesto.....	29
3.2. Resultados.....	41
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES .....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS .....	55

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. <i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene .....	16
Figura 2. Horno de Inducción ELTRA CS-2000.....	20
Figura 3. Principio de medición del horno de inducción ELTRA CS-2000.....	21
Figura 4. Ejemplo de ecuación alométrica entre biomasa y altura .....	25
Figura 5. Mapa de comunidades bióticas del RVSPV .....	29
Figura 6. Flujograma metodológico del Trabajo de Suficiencia Profesional .....	30
Figura 7. Distribución de sub parcelas en campo.....	31
Figura 8. Muestreo para identificación botánica de la especie Grama salada .....	31
Figura 9. Puntos de muestreo para estimación de la captura del Carbono Azul por la especie Grama salada ( <i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene) en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa .....	32
Figura 10. Muestreo para estimación de biomasa aérea de <i>Distichlis spicata</i> .....	33
Figura 11. Estimación de masa seca de biomasa aérea de <i>Distichlis spicata</i> .....	33
Figura 12. Muestreo para estimación de biomasa subterránea de <i>Distichlis spicata</i> .....	34
Figura 13. Estimación de masa seca de biomasa subterránea de <i>Distichlis spicata</i> .....	34
Figura 14. Muestreo para determinación de densidad aparente del suelo.....	35
Figura 15. Estimación del factor de carbono en el suelo por el método de %LOI	36
Figura 16 . Estándar de carbón para calibración del Horno de inducción ELTRA	37
Figura 17. Pesado de muestras para ser llevadas al analizador de elementos ...	38
Figura 18. Análisis de muestras en Horno de Inducción ELTRA CS 2000.....	38
Figura 19. Muestras y cadena de custodia para análisis de carbono orgánico total por Walkley & Black .....	39
Figura 20. Carbono azul en la biomasa vegetal de <i>Distichlis spicata</i> .....	43
Figura 21. Distribución del Carbono Azul en la biomasa vegetal de <i>Distichlis spicata</i> .....	44
Figura 22. Estimación del Carbono Azul capturado por la especie grama salada ( <i>Distichlis spicata</i> ) .....	49

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de técnicas de laboratorio para determinar el % de carbono orgánico .....	18
Tabla 2. Estimación del carbono azul en la biomasa aérea de <i>Distichlis spicata</i> .	41
Tabla 3. Estimación del carbono azul en la biomasa subterránea de <i>Distichlis spicata</i> .....	42
Tabla 4. Estimación del carbono azul en el suelo de <i>Distichlis spicata</i> por la técnica de %LOI (Loss on Ignition) .....	45
Tabla 5. Estimación del carbono azul en el suelo de <i>Distichlis spicata</i> por la técnica de Walkley & Black.....	46
Tabla 6. Estimación del carbono azul en el suelo de <i>Distichlis spicata</i> por la técnica de Análisis Elemental .....	47
Tabla 7. Estimación del Carbono Azul en el suelo por 3 técnicas de laboratorio .	48
Tabla 8. Estimación del carbono azul total capturado por la grama salada .....	49

## INTRODUCCIÓN

Entendiendo por mitigación a la reducción de emisiones y aumento de sumideros de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático [IPCC], 2014) y con el creciente interés por la protección de los ecosistemas de carbono azul, marismas, manglares y pastos marinos, cuya vegetación secuestra y almacena carbono (Howard, Hoyt, Issensee, Pidgeon, & Telszewski, 2018, p.16), es que creemos de importancia desarrollar aquella que promueva la reducción de los GEI. Dentro de ellos el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es el principal, este circula entre sumideros como el suelo, subsuelo, atmósfera y océanos a través de procesos físicos, químicos y biológicos (ciclo del carbono), siendo capturado y fijado, a través de la fotosíntesis y respiración, en la estructura vegetal de las plantas y en el suelo (Rügnitz, Chacón y Porro, 2009, p.2).

La presente investigación tiene por objetivo principal estimar el carbono azul capturado mediante la grama salada cuyo nombre científico es *Distichlis spicata* (L.) Greene (*D. spicata* en adelante), en el ecosistema marino costero Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV), esta especie se encuentra en la comunidad vegetal gramadal, la cual abarca grandes extensiones dentro de dicho Refugio.

El carbono azul capturado mediante la grama salada, será estimado en su biomasa vegetal (aérea y subterránea), así como en el suelo siguiendo la metodología propuesta en el manual: Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos, principalmente y del manual: Metodología para estimar el stock de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra. Así mismo el carbono en suelo será estimado mediante tres técnicas de laboratorio, dos de ellas son las más empleadas para determinar carbono orgánico total (COT), Walkley & Black y Análisis Elemental, y la técnica de % LOI (Loss on Ignition), la cual determina el % de Materia Orgánica y a través de la multiplicación por un factor conocido, da a conocer el valor de % de Carbono.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

Para el año 2010 solo las emisiones de CO<sub>2</sub> representaron el 76% de las emisiones totales de GEI. Estas emisiones producen impactos negativos como los cambios en las precipitaciones y el derretimiento de hielo que altera los sistemas hídricos, modificación de la distribución geográfica de especies terrestres y marinas, mal rendimiento de los cultivos, entre otros (IPCC, 2014). En cifras de la Organización de las Naciones Unidas para el 2019: “Un 75% de los ecosistemas terrestres y un 66% de los marinos ya están “gravemente alterados y más de un 85% de los humedales que existían en 1700 se han perdido” (Zhang, 2019).

En el Perú, para el año 2012, se distribuyó las emisiones de GEI por categorías, siendo la principal la de uso del suelo con un total de 51% el cual corresponde a 86 742 GgCO<sub>2</sub>-eq (Giga gramos de CO<sub>2</sub>-eq anuales; CO<sub>2</sub>-eq es el dióxido de carbono equivalente, se usa este gas como unidad de medida al ser su emisión la más abundante y conocida entre los GEI), seguido de la categoría agricultura con un 26% correspondiente a 26 044 GgCO<sub>2</sub>-eq. Estas emisiones resultan preocupantes debido a que traen consigo una serie de peligros asociados como, por ejemplo, mayor ocurrencia de lluvias intensas por cambio en los promedios del clima, ocurrencia de heladas, friajes o sequias por variaciones en la temperatura (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016), también podría “presentar retroceso glaciario, aumento de la intensidad y frecuencia del fenómeno del Niño y elevación del nivel del mar”. (Vargas, 2009, p.26).

En vista de estos escenarios alarmantes de emisión de CO<sub>2</sub> y sus consecuencias, surge la necesidad de implementar medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático tanto a nivel global como nacional, dentro de las cuales emerge la de secuestro o captura de carbono en ecosistemas naturales forestales y ecosistema marino costeros o también denominados de carbono azul, quienes brindan el servicio ambiental de almacenamiento de carbono en sus estructuras vegetales a través del proceso de fotosíntesis. (Rügnitz et al.,2009).



Un área natural que ofrece el servicio ambiental de captura de carbono, es el del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, el cual se encuentra localizado en el distrito de Chorrillos, en la provincia de Lima. Este es un área natural de tipo humedal costero el cual ha sufrido de pérdida y deterioro de sus hábitats a causa del incorrecto manejo del recurso hídrico y de las presiones antropogénicas. (Pulido y Bermúdez, 2018, p.680). La vegetación que en el habita cumple un rol importante al servir de alimento y refugio para las especies de aves migratorias que llegan a este humedal costero anualmente. Además de ello las especies vegetales, típicas de este ecosistema de humedal costero, también denominado ecosistema de carbono azul, contribuyen a la mitigación del cambio climático, debido a su capacidad de captura de carbono (Howard et al., 2018).

Reconociendo ello, se considera de importancia desarrollar el estudio de la estimación de la captura del carbono en una de las especies vegetales típicas de un humedal costero, como lo es la grama salada (*D. spicata*), utilizando valores establecidos en la literatura para el factor de carbono en la biomasa vegetal (aérea y subterránea) y determinando el factor de carbono para el suelo según los tres métodos más conocidos, para dar a conocer las diferencias en sus estimaciones.

## **1.2. Justificación del Problema**

El humedal costero Los Pantanos de Villa brinda importantes servicios ambientales como recarga de acuíferos, retención de contaminantes y sedimentos, reproducción de especies, entre otros (Tafur, 2010, p.89). Así mismo, este humedal al ser un ecosistema marino costero secuestra carbono en mayor proporción que los ecosistemas forestales, por ende, posee un rol importante en la mitigación del cambio climático. Sin embargo, este ecosistema de importancia internacional está siendo afectado a consecuencia de las presiones antropogénicas (Pulido y Bermúdez, 2018, p.690).

Según el Ministerio del Ambiente (2016) las emisiones de CO<sub>2</sub> producto del crecimiento económico y demográfico han aumentado, por lo que se considera de importancia ejecutar medidas que permitan secuestrar carbono y evitar que este

sea emitido a la atmosfera, cooperando así con las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Se pueden encontrar en la literatura estudios que establecen los valores del factor o porcentaje de carbono para ecosistemas de carbono azul como marismas, manglares y pastos marinos. Sin embargo, es necesario desarrollar los métodos de laboratorio como Walkley & Black y Análisis elemental para determinar el porcentaje de carbono (%C) o el método %LOI (Loss on Ignition) el cual estima el % de C a partir del % de Materia orgánica, en especies específicas para las cuales no hay valores establecidos. Estos métodos poseen ventajas y desventajas por lo que la utilización de estos por separado puede dar como resultados valores muy diferenciados que podrían subestimar las estimaciones de carbono y por ende de dióxido de carbono.

Por ello en el presente estudio, se estimará la captura del carbono azul mediante la grama salada (*D. spicata*) representativa en la comunidad gramadal del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, siguiendo la metodología planteada por La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), Conservación Internacional (CI) y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, denominada Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos, así como el manual llamado Metodología para estimar el stock de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra desarrollado por el ICRAF (World Agroforestry Centre). Utilizando factores de carbono establecidos en la literatura para la biomasa vegetal (aérea y subterránea) y desarrollando 3 técnicas de laboratorio, dos que estimarán el factor de carbono directamente y otra que estimará el factor de carbono a partir del % de Materia orgánica, en el suelo a 20 cm de profundidad. Con el fin de dar a conocer la captura del carbono por esta especie, demostrando así su rol en la mitigación del cambio climático.

### **1.3. Delimitación del Proyecto**

#### **1.3.1. Teórica**

El presente estudio tiene como finalidad estimar el carbono azul capturado mediante la grama salada (*D. spicata*), tanto en su biomasa aérea como subterránea y en el suelo, en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, siguiendo los lineamientos del manual denominado: Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos, realizado por Conservación Internacional (CI), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (COI-UNESCO) en 2014. Y por el manual llamado: Metodología para estimar el stock de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra, desarrollado por el ICRAF (World Agroforestry Centre) en 2002.

#### **1.3.2. Temporal**

El presente estudio se desarrolló en su etapa de gabinete desde el 08 enero hasta el 04 abril de 2019, y en su etapa de campo durante el mes de marzo del mismo año.

#### **1.3.3. Espacial**

Las muestras de grama salada (*D. spicata*) fueron extraídas de la comunidad vegetal gramadal, en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, ubicado en el distrito de Chorrillos, provincia de Lima,

### **1.4. Formulación del Problema**

#### **1.4.1. Problema General**

- ¿Cuánto carbono azul es capturado mediante la grama salada (*D. spicata*) presente en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa?

#### **1.4.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuánto carbono azul es capturado mediante la biomasa aérea de la grama salada (*D. spicata*)?
- ¿Cuánto carbono azul es capturado mediante la biomasa subterránea de la grama salada (*D. spicata*)?
- ¿Cuánto carbono azul es capturado mediante el suelo perteneciente a la grama salada (*D. spicata*)?

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General**

- Estimar la captura del carbono azul mediante la grama salada (*D. spicata*) en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Estimar la captura del carbono azul mediante la biomasa aérea de la grama salada (*D. spicata*).
- Estimar la captura del carbono azul mediante la biomasa subterránea de la grama salada (*D. spicata*).
- Estimar la captura del carbono azul mediante el suelo perteneciente a la grama salada (*D. spicata*), empleando tres técnicas.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

“Los ecosistemas marino costeros como los manglares, marismas y pastos marinos, también denominados ecosistemas de carbono azul” (Howard et al., 2018, p.18), Adams (como se citó en Ampuero, 2018) menciona que estos ecosistemas tienen la capacidad de almacenar carbono a un ritmo más acelerado que los ecosistemas forestales.

Sousa (2017) en cuyo estudio realizado en Ria de Aveiro, en donde se encuentra uno de las marismas más largas en Europa, se determinó el stock de Carbono, Nitrógeno y Fosforo para especies típicas de este ecosistema. El % de C en el suelo fue determinado a través del contenido de materia orgánica por el método de pérdida por ignición (%LOI, 6 horas de combustión a 500°C), y este se encontró en un rango entre  $5.9 \pm 1.0\%$  a  $12.3 \pm 1.6\%$  para *S. marítima* y  $11.9 \pm 1.2\%$  a  $28.2 \pm 2.4\%$  para *J. maritimus*. Finalmente se obtuvo como resultado que el stock medio total (planta y sedimento) fue mayor para C en *J. maritimus* ( $1517 \pm 26$  gC / m<sup>2</sup>.año) y para N y P en *H. portulacoides* ( $109$  gN / m<sup>2</sup>.año y  $29$  gP m<sup>2</sup>.año). *S. marítima* tuvo las existencias más bajas de C, N y P ( $493 \pm 20$  gC / m<sup>2</sup>.año,  $23.3 \pm 0.1$  gN / m<sup>2</sup>.año y  $5.0 \pm 0.1$  gP / m<sup>2</sup>.año). Considerando el área total de la marisma salina de la laguna ( $\approx 4400$  ha) el promedio total de las existencias de C, N y P, incluidas las cinco especies vegetales más representativas, son:  $252053$  Mg C;  $38100$  Mg N y  $7563$  Mg P. En general, más del 90% de C, N y P se almacenan en el pantano medio-alto (93-97% de las existencias de plantas y 90-96% de la rizo sedimentos).

Radabaugh (2017) cuantificaron el stock de carbono orgánico en marismas, salinas y manglares en la bahía de Tampa, Florida y el resultado obtenido fue de  $128.1 \pm 17.8$  Mg/ha para los manglares,  $100.5 \pm 43.7$  Mg/ha para las marismas y  $26.6 \pm 8.3$  Mg/ha para las salinas, esto equivale a un total de  $996,000$  Mg de carbono almacenado en los humedales costeros de la Bahía de Tampa.

Wilson & Smith (2014) examinaron la variabilidad espacial del almacenamiento de carbono al interior de las marismas pertenecientes al NERRS (National Estuarine Research Reserve System,) en Maine, Delaware, Carolina del Sur, Florida, Misisipi, California, Wisconsin y Ohio, y también entre éstas. Por otro lado, cuantificaron el porcentaje de materia orgánica en el suelo, el contenido porcentual de carbono orgánico y la variabilidad en la densidad del carbono sedimentario en los primeros 20 cm de la capa edáfica superior de un grupo de marismas que difieren en cuanto a contextos geomorfológicos, vegetación dominante y salinidad. En cada uno de los ecosistemas se obtuvieron 20 núcleos al azar de 7.62 cm de diámetro y 20 cm de longitud de los cuales se obtuvieron pares de muestras para analizar el % de Materia orgánica mediante el método de pérdida por calcinación, mientras que el contenido porcentual de carbono orgánico se determinó por un análisis elemental. Los resultados arrojaron que la materia orgánica como el contenido porcentual de carbono orgánico están correlacionados y que las características de los sitios contribuyen a las variaciones en esa relación. La densidad media del carbono orgánico sedimentario en los primeros 20 cm de la capa superior osciló entre 0.001 y 0.061 gC cm<sup>-3</sup>, con una media general de 0.030 ± 0.011 gC cm<sup>-3</sup>, y difirió considerablemente de un sitio a otro.

Kirwan (2014) partió de la hipótesis de que los índices de acumulación de carbono en las marismas se incrementan en respuesta al aumento en el nivel del mar, para confirmar ello, compiló información que comprende 88 cálculos de índices de acumulación en marismas de Canadá y Estados Unidos, también se llevó a cabo un metaanálisis que vinculó los índices de acumulación de carbono en 112 marismas costeras de América del Norte con índices históricos de aumento en el nivel del mar en las costas del Atlántico y el Pacífico de Canadá y Estados Unidos. Encontrándose que los índices de acumulación de carbono varían entre 21 y 928 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>, en tanto que los índices de aumento relativo del nivel del mar a largo plazo se ubicaron entre 2.00 y 9.65 mm año<sup>-1</sup>. Este estudio indicó que son otros los factores que influyen en los índices de depósito de carbono en el suelo, sin embargo, existen tendencias que relacionan la frecuencia de las inundaciones con el depósito de carbono en el suelo y sugieren que la aceleración en los índices de aumento del nivel del mar tenderá a aumentar la importancia del carbono azul en ecosistemas de marismas.

López (2015) quien estimó la captura de carbono en el fundo violeta, en la llanura amazónica. En dicho estudio se realizó el estudio en un fundo con características de bosque primario y otro con actividad agrícola, utilizando la Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales del Centro de Agroforestería Internacional (ICRAF). Los resultados obtenidos fueron de 60.84 t C/ha en vegetación arbórea para el fundo de bosque primario, de 24.6 t C/ha y 7.3 t C/ha en la vegetación no arbórea del fundo de bosque primario y el de actividad agrícola respectivamente. Sin embargo, en los últimos años ecosistemas marino costeros como los manglares marismas y pastos marinos han empezado a tomar protagonismo por su importante rol en la mitigación del cambio climático y su capacidad para capturar carbono como se demuestra en los siguientes estudios.

Vargas (2018) estimó la producción de CO<sub>2</sub> producto de la combustión de biomasa vegetal aérea tras un incendio que afectó 6.74 ha del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa. Dicho incendio afectó especies para las que se identificaron el Factor de Carbono y el Factor de emisión de carbono, este en unidades de Kg CO<sub>2</sub> / Kg, especies como *Schoenoplectus americanus* (Junco) con 0.5393 y 1.9737, *Typha domingensis* (Totora) con 0.4898 y 1.7927, *Cladium jamaicense* (Corta corta) con 0.5265 y 1.9269, *Phragmites australis* (Carrizo) con 0.4905 y 1.7951, *Distichlis spicata*, *Paspalum vaginatum* y *Sporobolus virginicus* (Gramma salada y Gramma), estas tres últimas especies fueron agrupadas como pastos o pastizal, para las cuales el Factor de carbono y de emisión de CO<sub>2</sub> fue de 0.4865 y 1.7807 respectivamente. El autor concluyó en que la emisión promedio de toneladas de CO<sub>2</sub> del incendio fue de 1404.12 y la emisión promedio de todas las especies fue de 20.83 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

Ampuero (2018) realizó la estimación del carbono almacenado en la comunidad del Junco (*Schoenoplectus americanus*) en dos escenarios de crecimiento, una zona afectada por incendio y otra zona de crecimiento natural, en el Humedal costero Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa. Primero se procedió a determinar el % de Carbono mediante el uso de un analizador de elementos en los mismos depositos de carbono para la zona de crecimiento natural y la zona afectada por

incendio, los resultados fueron los siguientes para biomasa herbácea  $36.36 \pm 2.88$  y  $35.07 \pm 3.67$ , para Hojarasca  $34.66 \pm 2.45$  (sólo en zona de crecimiento natural), raíces de 0 a 10 cm de profundidad  $30.33 \pm 7.68$  y  $31.56 \pm 17.87$ , raíces de 10 a 20 cm de profundidad  $30.76 \pm 8.60$  y  $26.75 \pm 11.48$ , para suelo de 0 a 10 cm de profundidad  $10.86 \pm 14.70$  y  $9.11 \pm 17.53$  y para suelo de 10 a 20 cm de profundidad  $13.38 \pm 4.97$  y  $4.56 \pm 36.10$ . Posteriormente se determinó, el stock de carbono en t C obteniendo los valores de 9725.97 y 161.74 para la zona de crecimiento natural y la zona afectada por incendio respectivamente; así como la cantidad de CO<sub>2</sub> capturada por la comunidad junco obteniendo 25694.3 t CO<sub>2</sub> en la zona de crecimiento natural y 593.58 t CO<sub>2</sub> en la zona afectada por incendio.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Ciclo del carbono y ecosistemas**

El carbono es el elemento químico fundamental presente en los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo, y subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono (Rügnitz et al., 2009) y más recientemente sumideros de carbono (IPCC, 2014). El carbono pasa de un sumidero a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos.

La atmósfera es el más dinámico de los sumideros del ciclo del carbono y todos los cambios que ocurren en este sumidero tienen una estrecha relación con los cambios del ciclo global de carbono y del clima. Gran parte del carbono presente en la atmósfera ocurre en la forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En menor proporción, el carbono atmosférico se presenta en la forma de metano (CH<sub>4</sub>), Perfluorocarbonos (PFCs) e Hidrofluorocarbonos (HFC). Todos estos son considerados Gases del Efecto de Invernadero (GEI), que contribuyen con el equilibrio térmico de la Tierra. Cualquier actividad relacionada al uso del suelo que modifique la cantidad de biomasa en la vegetación y en el suelo, tiene el potencial de alterar la cantidad de carbono almacenado y emitido hacia la atmósfera, lo que influencia directamente en la dinámica del clima de la Tierra. El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales de la fotosíntesis y respiración, y de



la emisión de gases causada por la acción humana. La captura de carbono por medio de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y  $\text{CO}_2$  de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de carbono (azúcares como la glucosa), que sirven de base para su crecimiento. Por medio de este proceso las plantas fijan el carbono en la biomasa vegetal, y constituyen, junto con sus residuos (madera muerta y hojarasca), un stock natural de carbono. El proceso inverso ocurre con la emisión de carbono por medio de la respiración de las plantas, animales y por la descomposición orgánica (forma de respiración de las bacterias y hongos). A ésta se suman las emisiones de GEI debido a la deforestación, incendios, gases industriales y quema de combustibles: acciones antropogénicas que contribuyen con el desequilibrio del ciclo de carbono. El carbono presente en el suelo está ampliamente relacionado al proceso de descomposición de la biomasa por las actividades bacterianas. Parte del carbono presente en el suelo regresa a la atmósfera a través del proceso de mineralización del carbono orgánico. De forma natural, otra parte del carbono orgánico es llevado por los ríos hasta llegar a los océanos, donde se deposita en forma de carbonatos ( $\text{CO}_3$ ). Este proceso también puede ser acentuado por la acción humana. El cambio de carbono entre el reservorio oceánico y el atmosférico ocurre por medio de procesos químicos que establecen un equilibrio entre las capas superficiales de los océanos y las concentraciones en el aire sobre la superficie. La cantidad de  $\text{CO}_2$  que el océano absorbe depende de la temperatura del mismo y de la concentración ya presente, de tal manera que temperaturas más altas del agua pueden causar la emisión de  $\text{CO}_2$ . (Rügnitz et al., 2009).

### **2.2.2. El dióxido de carbono y el cambio climático**

Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero han aumentado desde la era preindustrial, en gran medida como resultado del crecimiento económico y demográfico. De 2000 a 2010 las emisiones registraron un máximo histórico. Las emisiones históricas han hecho que las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) alcancen niveles sin precedentes en como mínimo los últimos 800 000 años, lo que ha dado lugar a un secuestro de energía por el sistema climático. Las concentraciones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  han

mostrado grandes aumentos desde 1750, 40%, 150% y 20%, respectivamente. Entre 1750 y 2011 se agregaron a la atmósfera emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénicas acumuladas de 2 040 ± 310 GtCO<sub>2</sub>. En 2011 las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> procedentes del uso de combustibles fósiles, la producción de cemento y la quema en antorcha fueron de 34,8 ± 2,9 GtCO<sub>2</sub>/año. En 2002-2011, las emisiones anuales medias procedentes de la silvicultura y otros usos suelo fueron de 3,3 ± 2,9 GtCO<sub>2</sub>/año. Los resultados multimodelos muestran que, para limitar el calentamiento total provocado por el hombre a menos de 2 °C respecto del período 1861-1880, sería necesario limitar las emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> procedentes de las diversas fuentes antropogénicas desde 1870 a unas 2 900 GtCO<sub>2</sub> (con un rango de 2 550 a 3 150 GtCO<sub>2</sub> dependiendo de los impulsores climáticos distintos del CO<sub>2</sub>). Hasta 2011 ya se habían emitido unas 1 900 GtCO<sub>2</sub> (IPCC, 2014).

#### **2.2.2.1. Captura de carbono para la mitigación del cambio climático**

La mitigación es el proceso consistente en reducir las emisiones o aumentar los sumideros de gases de efecto invernadero (GEI), con el objeto de limitar el cambio climático futuro. Existe una amplia gama de opciones de mitigación sectoriales que pueden reducir la intensidad de las emisiones de GEI, mejorar la intensidad energética por medio de mejoras en la tecnología, el comportamiento, la eficiencia de la producción y los recursos y permitir cambios estructurales o cambios de actividad. Además, entre las diversas opciones directas en el ámbito de la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo cabe destacar la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la reducción la deforestación, la degradación de los bosques y los incendios forestales; el almacenamiento de carbono en los sistemas terrestres; y la producción de materias primas bioenergéticas. (IPCC, 2014)

Los bosques, las tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres ofrecen considerables posibilidades de mitigación de carbono. Aunque no necesariamente permanentes, con la conservación y el secuestro de carbono se puede disponer de tiempo para desarrollar y aplicar más otras opciones. En la mitigación biológica pueden utilizarse tres estrategias: a) conservación de reservorios de carbono existentes, b) secuestro aumentando el tamaño de los reservorios de carbono, y c) sustitución de

productos biológicos producidos de manera sostenible. La conservación de reservorios de carbono amenazados puede ayudar a evitar emisiones, si se impiden las fugas y sólo puede resultar sostenible si es posible abordar las causas socioeconómicas de la deforestación y otras pérdidas de reservorios de carbono. (IPCC; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2001)

### **2.2.3. Carbono azul y ecosistemas de carbono azul**

El carbono azul es el carbono acumulado en el suelo, la biomasa aérea viviente (hojas, ramas y tallos), la biomasa subterránea viviente (raíces) y la biomasa no viviente (por ejemplo, hojarasca y madera seca) de manglares, marismas y pastos marinos (McLeod et al. 2011, citado por Howard y cols, 2018).

En los sistemas de carbono azul (ecosistemas costeros), el suelo está saturado con agua lo que lo mantiene en un estado anaeróbico (bajo nivel de oxígeno o sin oxígeno) y aumenta constantemente en forma vertical a gran velocidad, lo que da lugar a una acumulación continua de carbono a través del tiempo (Chmura et al. 2003, citado por Howard et al. 2018). Estos son los marismas, manglares y pastos marinos.

#### **a. Marisma**

“Una marisma es un ecosistema costero que se encuentra en la zona intermareal superior entre la tierra y las aguas oceánicas abiertas o aguas salobres y que se inunda regularmente de agua a causa de las mareas. En él predominan densos parches de plantas resistentes a la sal, como hierbas, pastos o arbustos bajos. Se pueden considerar tres sumideros principales de carbono en los ecosistemas de marismas, biomasa aérea viva (arbustos, pastos, hierbas, etc.), biomasa subterránea viva (raíces y rizomas) y carbono del suelo” (Howard et al., 2018, p.91).

### **2.2.4. Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa**

Dentro de la clasificación de humedales propuesta por la Convención Ramsar, los cuerpos de agua y las áreas de influencia pertenecen a un humedal costero de los tipos 8 (pantanos intermareales) y 10 (lagunas salinas con una o más conexiones con el mar). Los rangos de altitud varían desde 1 metro por debajo del nivel del mar hasta 5 metros sobre el nivel del mar. Los pantanos costeros son formaciones que se

manifiestan en la parte más baja de los valles de la costa peruana, como producto de las infiltraciones y el afloramiento de las aguas subterráneas que discurren hacia el mar. Algunas de sus características físicas son:

- **Geología:** El área que ocupa pertenece a la Planicie Villa, formada por la acumulación de sedimentos Cuaternarios transportados por la actividad eólica y marina y por el ramal Surco del río Rímac.

- **Fisiografía:** Está definida por un relieve plano a ligeramente ondulado con depresiones. Por el este, está encerrada por colinas de baja altura y por el norte, por el cerro Morro Solar, ambos formados por rocas sedimentarias pertenecientes al grupo Morro Solar cubiertos por una capa de arena de origen eólico.

- **Suelos:** Según el mapa de Capacidad de Uso Mayor del Suelo, el área corresponde a tierras aptas para producción de pastos, de calidad agrológica baja y con tendencia a la salinización.

- **Hidrología:** está integrado al sistema hidrológico de la cuenca del río Rímac, a través del acuífero Ate-Surco-Chorrillos, que se manifiesta en 9 puquiales u ojos de agua, 2 en Lomas de Villa (nor este) y 7 en Villa Baja, (sur este). De estos depende su origen y conservación.

- **Clima:** La temperatura media anual es de 18.6 grados centígrados, fluctuando la humedad relativa entre el 85 y 99 %. La precipitación en el lugar es escasa, alcanzando un promedio de 60 mm. al año.

- **Agua:** El agua es salobre, aumentando la salinidad en la proximidad al litoral. La concentración promedio de sales registrada es de 1,6400 partes por mil. En relación al pH, aunque este varía a través del año, sus valores promedio fluctúan entre 7,33 - 7,8; es decir, ligeramente básico. (Universidad Nacional Agraria la Molina, 1996)

La flora de Pantanos de Villa, representa el elemento esencial para el funcionamiento y la existencia de este ecosistema, de hecho, en la caracterización del espacio natural, la flora es el eje principal sobre el cual interactúan otros grupos biológicos para determinar asociaciones especiales reconocidas como comunidades bióticas (Instituto Promoción y Desarrollo Agrario, 2009):

Las comunidades bióticas de los pantanos de Villa están determinadas por:

- **Totalal:** Comunidad biótica que denomina la *Typha domingensis*, y se ubican bordeando las lagunas, los canales y drenes, y en suelos inundables. Es abundante en insectos y artrópodos terrestres, por lo que es común encontrar una alta abundancia de arañas. Muchas aves hacen uso de los totorales, algunas especies lo usan para construir sus colonias e instalarse.

- **Juncal-Vega ciperácea:** Comunidad transicional entre las comunidades acuáticas y las áreas más secas con abundancia de grama salada. Es dominada por *Cyperus laevigatus* y *Eleocharis geniculata*. Esta comunidad es característica por tener suelos húmedos, a veces inundables. Sirve de hábitat de una considerable cantidad de artrópodos, especialmente arañas.

- **Gramadal:** Comunidad donde predomina la gramínea *Distichlis spicata*, conocida como grama salada, acompañada de *Sarcocornia fruticosa*. Estas plantas crecen en suelos saturados y altamente salinos. A veces también están presentes *Paspalum vaginatum*, *Scirpus americanus* y *Sporobolus virginicus*. El sustrato es principalmente de arena.

- **Zona arbustiva:** Comunidad biótica que se caracteriza por tener vegetación abundante en especies arbustivas leñosas de porte medio. Se puede identificar dos tipos de zonas, una al interior del área en la que se forman masas compactas de *Myrsine manglilla*, *Cladium jamaicense* y la especie introducida *Schinus molle*. La otra zona arbustiva se da en los bordes del área protegida, donde abunda *Myoporum sp.* y *Malvaviscus arboreus*. (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, 2016)

### **2.2.5 Grama salada (*Distichlis spicata* (L) Greene)**

La grama salada, también denominada “pasto puno”, es una planta de muy extendida área en América, pudiéndola calificar como panamericana para los grados fitoclimáticos áridos y de suelos más o menos salinos.

Es una planta perenne nativa de estación cálida, que forma césped, de bajo crecimiento. En la madurez, crece a una altura de 6 a 18 pulgadas (15-45 cm), pero generalmente no crece más 12 pulgadas (30 cm). Los tallos aéreos son erectos, sólidos y resistentes. Las hojas se distribuyen de manera equitativa a lo largo del tallo y se encuentran apiñadas, planas y afiladas, por lo general de 0.8 a 4.7 pulgadas (2-12 cm) de largo y de 1 a 3.5 mm de ancho como se observa en la Figura 1. Los rizomas son escamosos y alcanzan profundidades promedio de 4 a 10 pulgadas (10-30 cm), creando densas matas. La inflorescencia masculina de la hierba es más grande y densa que la inflorescencia de las plantas femeninas. Crece en ambientes altamente estresantes donde con frecuencia se somete a temperatura, sequía y el estrés salino o en marismas de marea donde toda su biomasa aérea se inunda periódicamente con agua de mar. Se encuentra generalmente en suelos arenosos y salinos con escaso drenaje, compuestos de arena de grano fino. Crece vigorosamente en suelos salinos húmedos donde la mayoría de otras especies no pueden sobrevivir (Hauser, 2006).



*Figura 1. Distichlis spicata (L.) Greene*

#### **2.2.5.1. Muestreo aleatorio estratificado**

En este tipo de muestreo la población en estudio se separa en subgrupos o estratos que tienen cierta homogeneidad. Después de la separación, dentro de cada subgrupo se debe hacer un muestreo aleatorio simple. El requisito principal para aplicar este método de muestreo es el conocimiento previo de la información que

permite subdividir a la población, se debe cuadrangular el croquis o mapa y, del total de estos cuadros, se debe seleccionar, aleatoriamente, un determinado número de cuadros que serán muestreados.

#### **2.2.5.2. Tipos de muestreo de vegetación: Cuadrantes**

El método de los cuadrantes es una de las formas más comunes de muestreo de vegetación. Los cuadrantes hacen muestreos más homogéneos y tienen menos impacto de borde en comparación a los transectos. El método consiste en colocar un cuadrado sobre la vegetación, para determinar la densidad, cobertura y frecuencia de las plantas. Hoy en día, los cuadrantes pueden ser utilizados para muestrear cualquier clase de plantas. El tamaño del cuadrante está inversamente relacionado con la facilidad y velocidad de muestreo. El tamaño del cuadrante, también, depende de la forma de vida y de la densidad de los individuos. Para muestrear vegetación herbácea, el tamaño del cuadrante puede ser de 1 m<sup>2</sup> (1x1m). (BOLFOR, Mostacedo, & Fredericksen, 2000) Para el ecosistema de tipo marisma se utiliza cuadrantes de 0.30 m x 0.30 m (Howard et al., 2018).

#### **2.2.6. Técnicas para estimar el % de carbono orgánico en laboratorio**

Las técnicas más utilizadas para estimar el carbono orgánico, en estudios sobre captura de carbono, son las de combustión seca por Analizador de elementos y de combustión húmeda por Walkley & Black, por otro lado, también se utiliza la técnica de combustión seca llamada %LOI (Loss on Ignition) la cual permite estimar el % de carbono a partir del % de materia orgánica.

Estas técnicas brindan resultados diferenciados, lo que en muchos casos puede llevar a subestimar el C almacenado en los sumideros. Dichos métodos presentan ventajas y desventajas, las cuales se muestran a continuación:

Tabla 1

*Comparación de técnicas de laboratorio para determinar el % de carbono orgánico*

Método de Combustión Seca		Método de Combustión Húmeda
Analizador de elementos	LOI	Walkley & Black
Ventajas	Ventajas	Ventajas
Medida cuantitativa del contenido de carbono.	Medida semicuantitativa del contenido de carbono orgánico; bajo costo y tecnología sencilla.	Medida semicuantitativa del contenido de carbono orgánico; bajo costo y química sencilla.
Desventajas	Desventajas	Desventajas
Requiere de instrumentos especiales; puede ser costoso.	El porcentaje de carbono orgánico se determina a partir de relaciones derivadas empíricamente entre el carbono y la materia orgánica.	El H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> no siempre digiere el carbono por igual; produce residuos peligrosos.

Fuente. Carbono Azul. Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos. (Howard, Hoyt, Issensee, Pidgeon, & Telszewski, 2018)

### 2.2.6.1. Walkley & Black

La determinación de materia orgánica del suelo se evalúa a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe<sup>3+</sup> y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo.

Los reactivos a utilizar para esta técnica son:

1. Dicromato de potasio 0.166 M o 1N.- Disolver 48.82 g de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en agua destilada aforar a 1000 ml en un matraz volumétrico.
2. Ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).



3. Ácido fosfórico concentrado (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).
4. Indicador de difenilamina. Disolver 0.5 g de difenilamina en 20 ml de agua y añadir 100 ml de ácido sulfúrico concentrado.
5. Sulfato ferroso 1.0 M (aproximadamente). Disolver 278 g de FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O en agua a la que previamente se le añadieron 80 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, enfriar y diluir a un litro. Esta solución debe ser valorada con K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1 N antes de realizar la determinación.

El procedimiento consiste en:

Pesar 0.5 g de suelo seco, pasarlo por un tamiz de 0.5 mm y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Procesar un blanco con reactivos por triplicado. Seguido adicionar exactamente 10 ml de dicromato de potasio 1 N girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con todo el suelo. Luego agregar cuidadosamente con una bureta 20 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado a la suspensión, girar nuevamente el matraz y agitar de esa forma durante un minuto. Dejar reposar durante 30 minutos sobre una lámina de asbesto o sobre una mesa de madera, evitando las mesas de acero o cemento. Seguido añadir 200 ml de agua destilada, añadir 5 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> concentrado, adicionar de 5 a 10 gotas del indicador de difenilamina y finalmente titular con la disolución de sulfato ferroso gota a gota hasta un punto final verde claro.

El % de Carbono orgánico se obtiene mediante la fórmula:

$$\%C \text{ Orgánico} = \left( \frac{B - T}{g} \right) (N)(0.39)mcf$$

Donde:

B = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml).

T = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml).

N = Normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras).

g = Peso de la muestra empleada (g).

mcf = factor de corrección de humedad.

El factor de 0.39 resulta de multiplicar:  $\frac{12}{4000} \times \frac{1}{0.77} \times 100 = 0.39$

Donde:  $\frac{12}{4000}$  es el peso mini equivalente del carbono,  $\frac{1}{0.77}$  es un factor de corrección debido a que se supone que el método sólo oxida 77% del C, y 100 es la conversión a porcentaje. En la mayoría de los laboratorios se sigue usando el factor de Van Bemelen de 1.724 para estimar la M.O. a partir de C orgánico, el cual resulta de la suposición de que la M.O. contiene un 58% de C,  $\frac{1}{0.58} = 1.724$  (Secretariat of Environment and Natural Resources, 2002).

Walkley y Black en 1934 encontraron que, para los veinte suelos ensayados, el porcentaje de C recuperado promediaba el 77%, proponiendo el uso de un factor de 1.3 para expresar los resultados en porcentaje de carbono orgánico. Trabajos posteriores confirman en general ese valor medio, pero ponen de relieve la gran variabilidad para los diferentes tipos de suelos (Carreira, 2010).

#### **2.2.6.2. Analizador de elementos**

“Los analizadores de elementos sirven para determinar la composición elemental de una muestra, utiliza un horno de inducción a alta temperatura como se observa en la Figura 2 y o bien espectroscopia infrarroja o separación de gases por cromatografía de gases y detección de conductividad térmica para medir el contenido de carbono, hidrógeno y nitrógeno (así como también de otros elementos) de la muestra y reporta el resultado en unidades de porcentaje de carbono” (Howard et al., 2018, p.58).



*Figura 2. Horno de Inducción ELTRA CS-2000*

El CS-2000 es el único analizador del mercado capaz de determinar el contenido de carbono y azufre en muestras orgánicas e inorgánicas. Para ello ha sido equipado con un horno de inducción y un horno de resistencia (ELTRA Dual Furnace Technology) que le permiten analizar ambos elementos en el rango completo de concentraciones. Las muestras típicas analizables son: carburos, fundiciones, metales refractarios, acero, vidrios, cerámicas, basura, cal, carbón, coque, petróleo, yeso, suelos, etc.

En el horno de resistencia la muestra es quemada en atmósfera de oxígeno puro, transformándose el azufre en dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), y el carbono en una mezcla de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Los gases de la combustión son dirigidos hacia un absorbente de humedad (perclorato de magnesio) y luego hacia el módulo de detección del horno de inducción. Allí se realiza primeramente la detección del dióxido de azufre en las celdas infrarrojas. El CS-2000 puede configurarse con celdas infrarrojas de diferente sensibilidad (alta/baja). Después de la oxidación del dióxido de azufre a trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), el  $\text{SO}_3$  gaseoso es eliminado con lana de celulosa y el contenido de carbono es determinado en celdas infrarrojas con un rango de medición definido por el operador del equipo como se muestra en la Figura 3.

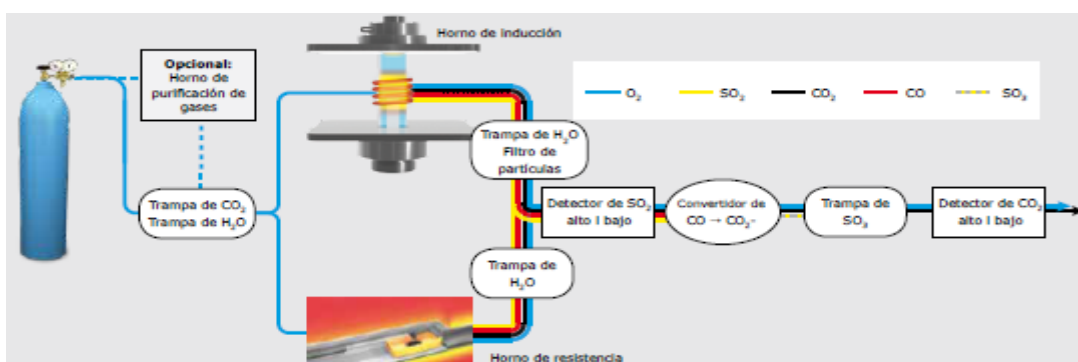


Figura 3. Principio de medición del horno de inducción ELTRA CS-2000

Algunas ventajas de la utilización de este equipo son la flexibilidad completa gracias a la integración de un solo sistema de un horno de inducción y un horno de resistencia con temperatura de hasta 1550 °C. (ELTRA Elemental Analyzers, 2017)

### 2.2.6.3. %LOI (Loss on Ignition)

La LOI es una medida de la masa de la muestra perdida (por ejemplo, oxidada y liberada como gas o volatilizada) al ser calentada a altas temperaturas. Por lo general, la muestra se calienta hasta llegar a la combustión a 450 °C durante 4 a 8 horas. Esta temperatura se utiliza para garantizar que solo se oxide el carbono orgánico (no el inorgánico). (Heiri et al. 2001 citado por Howard et al. 2018). El % de LOI es calculado por la fórmula:

$$\%LOI = \left[ \frac{(Masa\ seca\ antes\ de\ combustión - Masa\ seca\ después\ de\ combustión)}{Masa\ seca\ antes\ de\ combustión} \right] \times 100$$

Es importante tener en cuenta que la LOI representa la pérdida de materia orgánica, que está formada por carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre, etc. y no solamente la pérdida de carbono orgánico. Por lo tanto, debe determinarse una relación entre el % LOI y el % C<sub>orgánico</sub>. Si bien el % LOI puede ser un indicador adecuado del contenido de materia orgánica en muchos tipos de muestras, es importante comprender las posibles limitaciones de esta técnica. Se ha reportado que la técnica de la LOI lleva a sobrestimar el contenido de carbono orgánico de dos formas:

a. Si una muestra que contiene carbonato (por ejemplo, aquellas que provienen de las capas subyacentes de praderas de pastos marinos con brotes cubiertos por abundantes epífitas o suelos en la región de arrecifes de coral) se calienta por encima de los 500 °C, también podrá dispararse la pérdida de agua y CO<sub>2</sub> derivados de CaCO<sub>3</sub> (Hirota & Szyper 1975; Leong & Tanner 1999 citado por Howard et al. 2018).

b. En suelos que contienen >11 % de minerales de arcilla, una cantidad importante de agua estructural puede perderse con el calentamiento a temperaturas de esta magnitud (Barillé-Boyer et al. 2003 citado por Howard et al. 2018).

El método de % de LOI es uno de los métodos más ampliamente utilizados para la medición de materia orgánica en suelos, pero no posee un protocolo estándar universal. Un gran número de factores pueden influir en su precisión, como tipo de

horno, masa de la muestra, duración y temperatura de ignición y contenido de arcilla de las muestras. En un estudio realizado por Hoogsteen et al. (2015) se desarrollaron una serie de experimentos para cuantificar efectos, que les permitieron derivar (i) pautas para las condiciones de ignición (masa de la muestra, duración y temperatura), (ii) temperatura específica de la materia orgánica del suelo (MOS) para suelo factores de conversión del carbono orgánico del suelo (COS) y (iii) factores de corrección dependientes del contenido de arcilla para la pérdida estructural de agua. Se utilizaron muestras a granel de un suelo arenoso (4% de arcilla) y un suelo franco limoso (25% de arcilla) para evaluar los efectos de condiciones de ignición. El % LOI aumentó con la duración a menor temperaturas ( $\leq 550^{\circ}\text{C}$ ) para el suelo arenoso. A temperaturas mayores ( $600$  y  $650^{\circ}\text{C}$ ), ningún efecto de duración fue encontrado. El factor de conversión de MOS a COS disminuyó fuertemente con la temperatura en una duración de ignición de 3 horas de  $0,70$  ( $350^{\circ}\text{C}$ ) a  $0,57$  ( $500^{\circ}\text{C}$ ) y se estabilizó alrededor de  $0,55$  entre  $550$  y  $650^{\circ}\text{C}$ , lo que indica que a temperaturas  $\geq 550^{\circ}\text{C}$ , se había eliminado toda la MOS. Para minimizar la variación de % LOI se recomiendan una duración de encendido estándar de 3 horas, giro de la bandeja a la mitad del tiempo, una masa de muestra  $\geq 20$  g y temperaturas iguales o superiores a  $550^{\circ}\text{C}$ . (Hoogsteen, Lantinga, Bakker, Groot, & Tittonell, 2015)

Se registró el tratamiento de muestras de suelo de humedal de agua dulce por pérdida a la ignición a  $450^{\circ}\text{C}$  durante 4 h, para las cuales se aplicó la siguiente fórmula para calcular el % carbono orgánico a partir del % de materia orgánica: (Marín Muñiz, Hernández Alarcón, & Moreno-Casasola Barceló, 2011)

$$\% C_{org} = \% MO \times 0.58$$

Donde:

%C<sub>org</sub>: Porcentaje de Carbono Orgánico

%MO: Porcentaje de Materia Orgánica

0.58: Factor de Van Bemmelen

### **2.2.7. Estimación de biomasa vegetal aérea**

Para la estimación de la biomasa aérea de pastos, juncos y plantas herbáceas características de marismas, la reciente literatura (Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos) recomienda la elaboración de ecuaciones alométricas en función a las características físicas de la especie, sin embargo, este método demanda una mayor destrucción en la toma de muestra, así como tiempo y recursos económicos. Por otro lado, es posible usar la metodología planteada por el ICRAF (World Agroforestry Centre), en relación a la diferencia de pesos, la cual resulta más factible.

#### **a. Ecuación alométrica**

El método habitualmente utilizado para estimar la biomasa aérea utiliza un cuadrante para definir áreas de muestreo dentro de parcelas. Los cuadrantes para este ecosistema son por lo general de 30 cm x 30 cm, aunque debería utilizarse un cuadrante más grande en caso de que sea probable que se cuenten menos de 10 individuos en el área de 30 cm x 30 cm. Dentro de cada cuadrante, cuente el número de tallos por especie (por lo general, las marismas contienen grandes parches de una única especie dominante, pero no siempre) y se mide la altura total de cada especie presente en el cuadrante. Si el tallo presenta señales de senescencia (material muerto) en la punta, se mide la altura de la parte verde.

En laboratorio, se determina la biomasa vegetal secando los tallos en el horno hasta llegar al peso constante (aproximadamente 72 horas a 60 °C, pero el tiempo variará en función del tamaño del tallo). Para cada especie, se grafican los resultados en un gráfico de dispersión que represente la biomasa vegetal (eje y) contra la altura de la parte verde del tallo (eje x) como se observa en la Figura 4. Se desarrolle una ecuación alométrica (con análisis de regresión) que represente la relación entre la biomasa vegetal y la altura del tallo. Se aplica esta ecuación a la altura promedio de las plantas muestreadas en el cuadrante para obtener la estimación de la masa total por especie dentro del área de 30 cm x 30 cm.

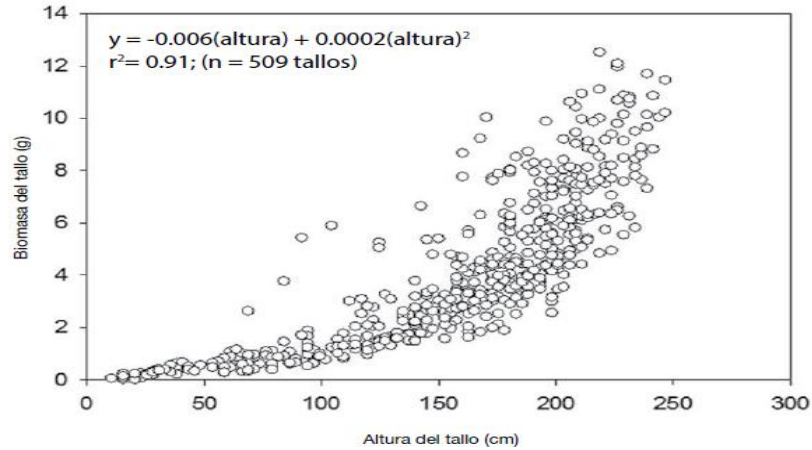


Figura 4. Ejemplo de ecuación alométrica entre biomasa y altura

### b. Estimación de biomasa arbustiva y herbácea

La biomasa arbustiva y herbácea es representada por la biomasa sobre el suelo de arbustos con menos de 2.5 cm de diámetro, de gramíneas y otras hierbas.

Para estimar la biomasa se marcan al azar dos cuadrantes de 1 m x 1 m, dentro de parcelas de 4 m x 25 m. En estas se corta toda la biomasa al nivel de suelo. Se registra el peso fresco total por m<sup>2</sup>, luego se colecta una muestra, se coloca en una bolsa correctamente identificada y se envía al laboratorio para ser secada en estufa de aire caliente a 70 °C hasta alcanzar el peso seco constante. (Arevalo, Alegre, y Montoya, 2002). El peso seco de la muestra es estimado en tn/ha mediante la siguiente fórmula:

$$BAH (tn/ha) = \left( \frac{PSM}{PFM} \right) \times 0.1$$

Donde:

BAH: Biomasa arbustiva/herbácea, materia seca

PSM: Peso seco de la muestra colectada

PFM: Peso fresco de la muestra colectada

0.1: Factor de conversión cuando se utiliza una parcela de 4 m x 25 m

### 2.2.8. Estimación de biomasa vegetal subterránea

El muestreo directo será el método más preciso para determinar la biomasa subterránea. Para hacer esto, se recolectan muestras mediante la extracción núcleos (barrena). Se recomienda muestrear a 1 m de profundidad debido a que existen pruebas de que las especies de las marismas pueden aprovechar agua dulce a esta profundidad (Arp et al. 1993 citado por Howard et al. 2018). Los protocolos recomiendan el uso de núcleos de 10 cm de diámetro y extraer segmentos, estos se lavan sobre un tamiz de 1 mm y se separan visualmente en raíces, rizomas y detritus. Las raíces y rizomas vivos se secan luego en el horno a 60 °C hasta llegar al peso seco constante. La biomasa subterránea se determina de la siguiente manera:

$$Biomasa_{subterránea} = \frac{\frac{masa\ seca_{submuestra}}{masa\ fresca_{submuestra}} (gr)}{\pi \cdot r_{cilindro}^2 (cm^2)}$$

### 2.2.9. Estimación del factor de carbono de la biomasa vegetal

#### a. Biomasa aérea

El factor de conversión de carbono para los pastos puede o bien determinarse mediante análisis de laboratorio con un analizador de elementos o puede aplicarse un factor de conversión de 0.45 (Fang et al. 1996 citado por Howard et al. 2018).

#### b. Biomasa subterránea

El factor de conversión de carbono para la biomasa subterránea de pastos en marismas se puede determinar mediante análisis de laboratorio con un analizador de elementos o a través del factor de conversión de 0.34 de la biomasa subterránea de pastos marinos (Duarte 1990 citado por Howard et al. 2018).



## 2.2.10. Estimación del carbono azul en biomasa vegetal

### a. Biomasa aérea

El componente de carbono de los pastos se determina multiplicando la biomasa (kg) de cada especie por el factor de conversión de carbono para la especie de pasto en particular.

$$\begin{aligned} \text{Carbono en componente de los pastos } \left( \frac{\text{kg C}}{\text{m}^2} \right) \\ = \frac{[\text{Biomasa estimada del pasto (kg)} \times \text{Factor de carbono (0.45)}]}{\text{Área del cuadrante (m}^2\text{)}} \end{aligned}$$

### b. Biomasa subterránea

Si la biomasa utilizada se determinó mediante la toma de muestras de núcleos, el promedio de la biomasa subterránea para el área de muestreo se multiplica por el factor de conversión de carbono y luego se calcula a la escala del tamaño de la parcela.

$$\begin{aligned} \text{Carbono en el componente subterráneo } \left( \frac{\text{gr C}}{\text{cm}^2} \right) \\ = \text{Promedio de la biomasa subterránea } \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^2} \right) \times \text{Factor de carbono (0.34)} \end{aligned}$$

## 2.3. Definición de términos básicos

- **Cambio climático:** Es el cambio de clima producto de la actividad humana directa o indirectamente la cual altera la composición de la atmósfera global y que es adicionada a la variabilidad natural del clima la cual ha sido observada durante períodos extensos de tiempo. (Naciones Unidas, 1992).

- **Carbono azul:** Es el carbono acumulado en manglares, marismas y pastos marinos, en el suelo, la biomasa aérea viva (hojas, ramas, tallos), la biomasa subterránea viva (raíces) y la biomasa muerta (detritos y madera muerta). (Howard, et al., 2018)

- ***Distichlis spicata*:** Es una planta perenne nativa, de estación cálida, con formación de césped, de bajo crecimiento. En la madurez, el pasto salado crece a una altura de 6 a 18 pulgadas (15-45 cm), pero generalmente no crece más alto que 12

pulgadas (30 cm), particularmente cuando se encuentra en colonias densas y crece en suelos con niveles de salinidad altos. (Hauser, 2006)

- **Marismas:** Es un ecosistema costero que se encuentra en la zona intermareal superior entre la tierra y las aguas oceánicas abiertas o aguas salobres y que se inunda regularmente de agua a causa de las mareas. En él predominan densos parches de plantas resistentes a la sal, como hierbas, pastos o arbustos bajos. (Howard, et al., 2018)

- **Mitigación del cambio climático:** Es una estrategia deliberada de gestión para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de sus fuentes y aumentar la extensión y el funcionamiento de los sumideros y depósitos de los mismos. (Bergkamp & Orlando, 1999)

- **Los Pantanos de Villa:** Es un ecosistema de tipo humedal costero de los Tipos 8 (pantanos intermareales) y 10 (lagunas salinas con una o más conexiones con el mar). Ubicada en el distrito de Chorrillos y cuenta con un área de 263.27 ha. (Instituto Promoción y Desarrollo Agrario, 2009)

- **Captura de carbono:** Es un proceso consistente en la separación del CO<sub>2</sub> emitido por la industria y fuentes relacionadas con la energía, su transporte a un lugar de almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera a largo plazo. (Metz, Davidson, de Coninck, Loos, & Meyer, 2005)

- **Servicio ambiental:** Son los beneficios sociales, económicos y ambientales, pueden ser directos e indirectos, que los individuos obtienen del correcto funcionamiento de los ecosistemas, como la regulación hídrica en cuencas, el secuestro de carbono, la belleza paisajística, el mantenimiento de la biodiversidad y la provisión de recursos genéticos constituyendo así un patrimonio de la nación. (Ministerio del Ambiente, 2015)

- **Sumidero de carbono:** Son reservorios de carbono tales como el suelo, la vegetación, el agua y la atmósfera que absorben y liberan carbono. En conjunto, los sumideros de carbono forman una existencia de carbono. (Howard et al. 2018).

## CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

### 3.1. Modelo de solución propuesto

El modelo de solución propuesto de la presente investigación comprende cuatro fases principales las cuales son: fase de identificación, fase de muestreo, fase de laboratorio y resultados, estas y las respectivas actividades desarrolladas dentro de cada una se grafican en la Figura 6.

#### 3.1.1. Fase de identificación

##### a. Estratificación del área de estudio

Según el Mapa de Comunidades Bióticas presente en el Plan Maestro del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa 2016-2020, éste se encuentra principalmente poblado por Totoral, Gramadal, Juncal y arbustos. En dicho mapa podemos identificar la estratificación del RVS, de la cual será tomada en cuenta aquella dominada por la comunidad gramadal, dentro de la cual se encuentra la grama salada (*Distichlis spicata*) (Instituto Promoción y Desarrollo Agrario, 2009), objetivo del presente estudio.



Figura 5. Mapa de comunidades bióticas del RVSPV

# FLUJO GRAMA METODOLÓGICO

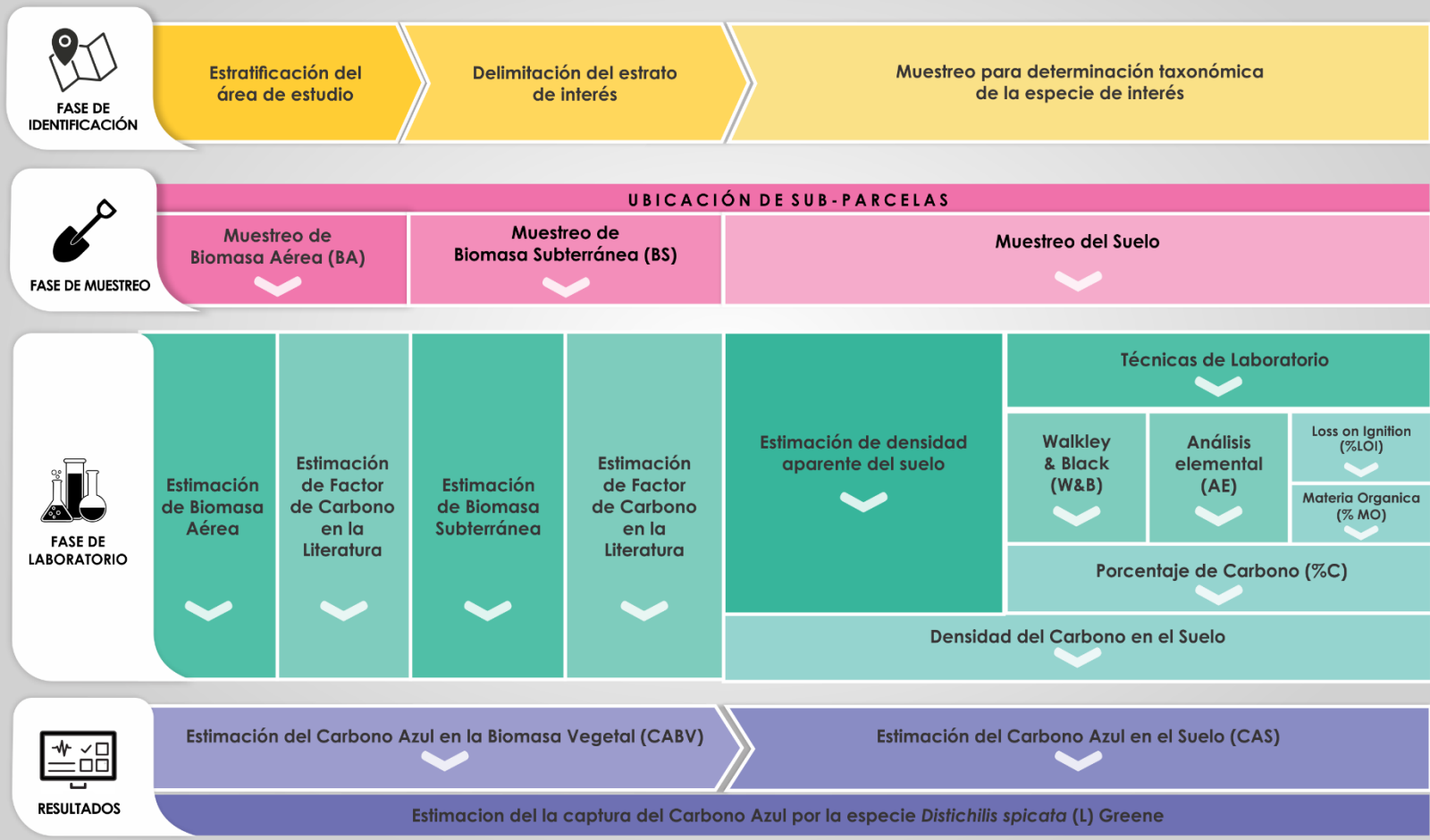


Figura 6. Flujo grama metodológico del Trabajo de Suficiencia Profesional

## b. Muestreo para determinación taxonómica

Se desarrolló un muestreo aleatorio estratificado según (BOLFOR, Mostacedo, & Fredericksen, 2000), distribuyéndose 2 sub parcelas de 0.30m x 0.30m, en un área donde predomina la grama salada apoyándonos en el mapa de comunidades bióticas y acompañados de un personal de PROHVILLA. Posteriormente se extrajo una especie de cada sub parcela con tallo y raíces y se envió al Herbario del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, para su respectiva determinación botánica.



Figura 7. Distribución de sub parcelas en campo

### 3.1.2. Fase de muestreo y laboratorio

#### a. Ubicación de sub parcelas

Dentro del área predominada por *Distichlis spicata* se distribuyeron aleatoriamente 5 sub parcelas de 0.30 m x 0.30 m. y se registró su ubicación con ayuda de un GPS.



Figura 8. Muestreo para identificación botánica de la especie Grama salada

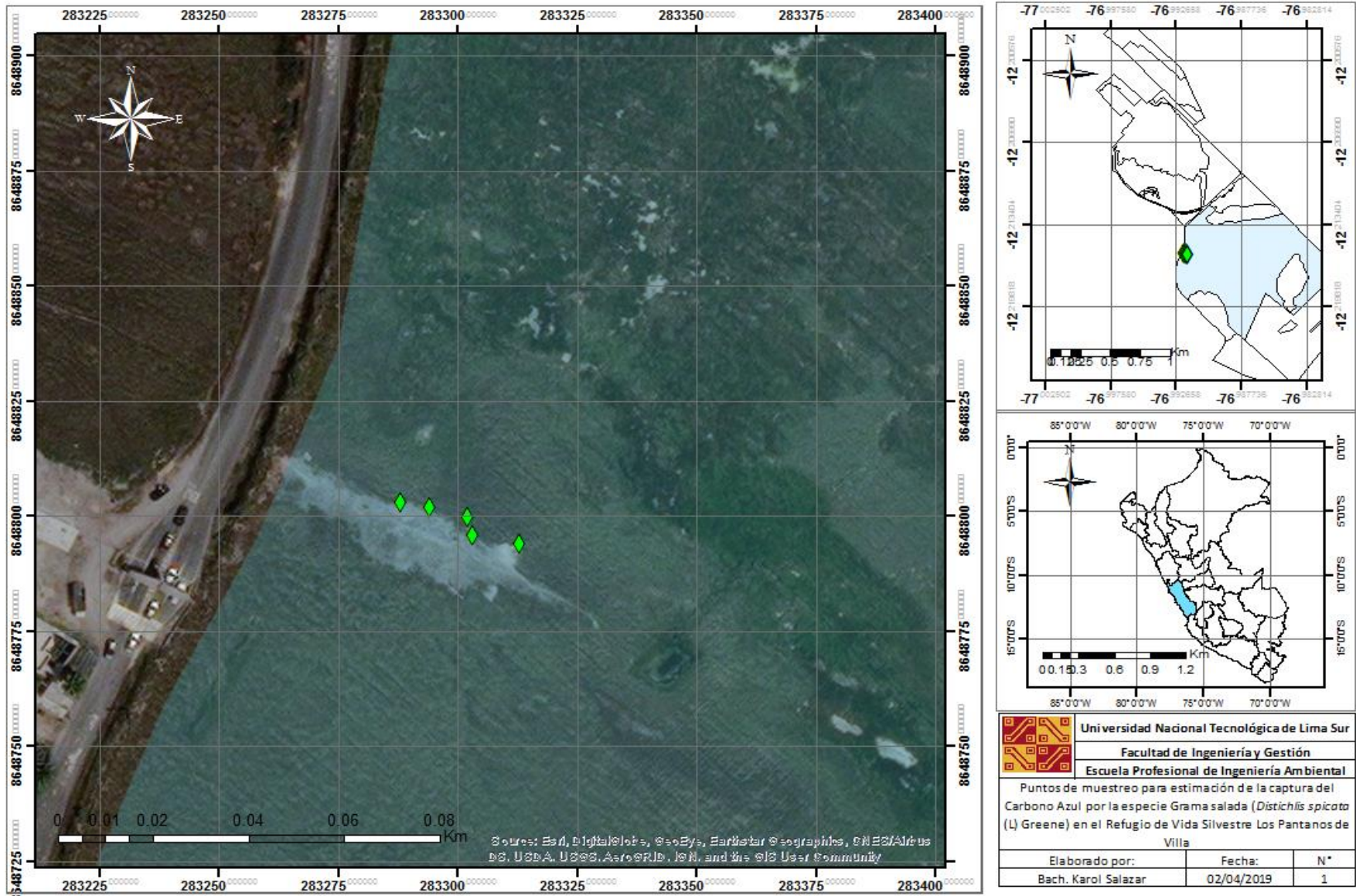


Figura 9. Puntos de muestreo para estimación de la captura del Carbono Azul por la especie Grama salada (*Distichlis spicata* (L) Greene) en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa

## b. Muestreo y estimación de la biomasa aérea

En cada una de las 5 sub parcelas, se extrajo toda la biomasa sobre el suelo, se registró la masa fresca en campo con ayuda de una balanza de mano y se recolectó una sub muestra en una bolsa ziploc, debidamente rotulada, para posteriormente ser llevada al laboratorio.



Figura 10. Muestreo para estimación de biomasa aérea de *Distichlis spicata*

En laboratorio se registró la masa fresca exacta de la sub muestra con ayuda de una balanza analítica y posterior a ello se llevó a estufa a 60 °C durante 24 horas hasta alcanzar la masa seca constante.



Figura 11. Estimación de masa seca de biomasa aérea de *Distichlis spicata*

Finalmente se retiró de estufa, se registró la masa seca constante y se estimó la biomasa aérea para cada sub parcela, mediante la fórmula:

$$Biomasa_{a\acute{e}rea} = \frac{masa\ seca_{subm}}{masa\ fresca_{subm}} \times masa\ fresca_{parcela}$$

### c. Muestreo y estimación de la biomasa subterránea

En cada una de las 5 sub parcelas de donde previamente se retiró toda la biomasa aérea, se introdujo un cilindro de volumen conocido (5 cm de diámetro) hasta una profundidad de 20 cm. Se retiró el cilindro y se recolectó todo el material en una bolsa ziploc debidamente rotulada para ser llevada a laboratorio.



Figura 12. Muestreo para estimación de biomasa subterránea de *Distichlis spicata*

En laboratorio se lavó todo el material sobre un tamiz, evitando la pérdida de biomasa subterránea, se separaron las raíces cuidadosamente y se registró la masa fresca con ayuda de una balanza analítica. Posteriormente se llevó a estufa a 60 °C durante 24 horas hasta alcanzar el peso constante.

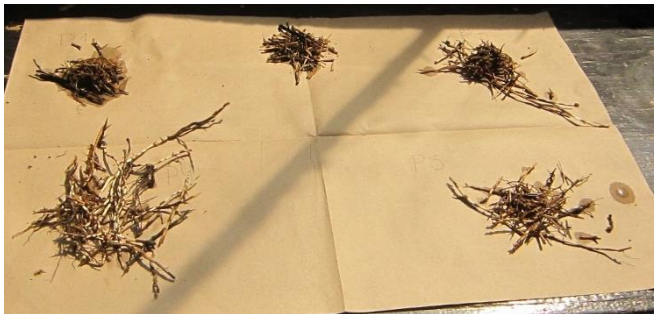


Figura 13. Estimación de masa seca de biomasa subterránea de *Distichlis spicata*

Se retiró de estufa y se registró la masa seca. Finalmente se estimó la biomasa subterránea para un área de suelo conocido, mediante la siguiente fórmula:

$$Biomasa_{subterránea} = \frac{\frac{masa\ seca_{submuestra}}{masa\ fresca_{submuestra}} (g)}{\pi \cdot r_{cilindro}^2 (cm^2)}$$



#### d. Estimación de la densidad aparente del suelo

En cada una de las 5 sub parcelas, se introdujo un cilindro de volumen conocido a 20 cm de profundidad, se retiró y se recolectó todo el material dentro del cilindro en una bolsa ziploc debidamente rotulada, para ser llevada posteriormente a laboratorio.



Figura 14. Muestreo para determinación de densidad aparente del suelo

En laboratorio se llevó a estufa a 60° durante 24 horas hasta alcanzar el peso constante. Se retiró de estufa y se registró la masa seca para calcular la densidad aparente del suelo en función del diámetro del cilindro utilizado, mediante la siguiente fórmula:

$$Densidad_{aparente\ del\ suelo} = \frac{masa_{seca}(g)}{volumen_{cilindro}(cm^3)}$$

#### e. Estimación del carbono azul en la biomasa aérea

Para estimar el carbono azul en la biomasa aérea se calculó el cociente del producto de la biomasa aérea y el valor del factor de carbono de la misma entre el área de la sub parcela (0.09 m<sup>2</sup>). Para lo cual se utilizó el valor de la biomasa determinado en laboratorio y el valor de 0.45 para el factor de carbono establecido en la literatura. Para convertir a la unidad de  $\frac{t\ C}{ha}$  se divide el resultado entre 100.

$$Carbono\ azul_{Biomasa\ aérea} = \frac{Biomasa_{aérea}(g) \times 0.45}{0.09\ m^2}$$

#### f. Estimación del carbono azul en la biomasa subterránea

Para estimar el carbono azul en la biomasa subterránea se multiplicó el valor de la biomasa subterránea y el valor del factor de carbono de la misma. Para lo cual se utilizó el valor de la biomasa determinado en laboratorio y el valor de 0.34 para el factor de carbono establecido en la literatura. Para convertir a la unidad de  $\frac{tC}{ha}$  se multiplica por 100.

$$\text{Carbono azul}_{\text{Biomasa subterránea}} = \text{Biomasa}_{\text{subterránea}} \left( \frac{g}{cm^2} \right) \times 0.34$$

#### g. Estimación del carbono azul en el suelo

Para la estimación del carbono azul en el suelo primero se determinó la densidad del carbono en el suelo mediante el producto de la densidad aparente del suelo y el factor de carbono, de las parcelas 1 y 2, luego se multiplicó este producto por la profundidad del suelo a la que se tomó la muestra.

##### - Estimación del carbono azul en el suelo por %LOI

Se determinó el factor de carbono por el método de pérdida por ignición o %LOI, para las parcelas 1 y 2 a 20 cm de profundidad y por triplicado. Se pesaron 2 gr. de suelo seco y tamizado con ayuda de una balanza analítica y se registró el peso previo a la ignición, luego se llevó a mufla a una temperatura de 450 °C durante 6 horas.



Figura 15. Estimación del factor de carbono en el suelo por el método de %LOI

Se retiraron las muestras de la mufla y se registró nuevamente el peso, despreciando el peso del crisol y su tapa. Posteriormente se determinó el porcentaje de la Materia Orgánica (%MO) en función a la diferencia de pesos, mediante la siguiente fórmula:

$$\% MO = \frac{\text{Diferencia de pesos}}{2 \text{ g}} \times 100$$

Conociéndose que la materia orgánica del suelo posee un 58 % de Carbono se determinó el %C mediante la siguiente fórmula:

$$\%C = \%MO \times 0.58$$

Se dividió el porcentaje obtenido entre 100 para obtener el factor del carbono, dicho cociente se multiplicó por la densidad del suelo y la profundidad de la muestra (20 cm) para la estimación del carbono azul.

$$\text{Carbono azul}_{\text{suelo-\%LOI}} = \text{Densidad}_{\text{aparente}} \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) \times \text{Factor de carbono} \times 20 \text{ (cm)}$$

#### - Estimación del carbono azul en el suelo por Análisis Elemental

Se determinó el factor de carbono en un Horno de inducción ELTRA CS – 2000 del laboratorio LabSol en SOLDEX S.A., para las parcelas 1 y 2 a 20 cm de profundidad y por triplicado. Primero se calibró el equipo con ayuda de un estándar de carbón.



Figura 16 . Estándar de carbón para calibración del Horno de inducción ELTRA

Posteriormente se pesaron los aceleradores tungsteno y iron chip en un crisol de cerámica, luego se taró en la balanza analítica y se pesó 1 g. de suelo seco y tamizado.



Figura 17. Pesado de muestras para ser llevadas al analizador de elementos

Se llevaron los crisoles al analizador de elementos, en la computadora se inició el software UNI y se pulsó la tecla F5, 60 segundos después se mostraron los resultados en el software.



Figura 18. Análisis de muestras en Horno de Inducción ELTRA CS 2000

El software da los resultados en la unidad de porcentaje de carbono. Se dividió dicho porcentaje entre 100 para obtener el factor del carbono, dicho cociente se multiplicó por la densidad del suelo y la profundidad de la muestra (20 cm) para la estimación del carbono azul.

$$\text{Carbono azul}_{\text{suelo-AE}} = \text{Densidad}_{\text{aparente}} \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \times \text{Factor de carbono} \times 20 \text{ (cm)}$$

- **Estimación del carbono azul en el suelo por Walkley & Black**

Debido a los residuos químicos peligrosos producto de la determinación del Carbono orgánico total por el método de Walkley & Black, este análisis se desarrolló en el laboratorio acreditado Servicios Analíticos Generales (SAG S.A.C.), para las parcelas 1 y 2 a 20 cm de profundidad y por triplicado. Se desarrolló la toma y transporte de muestras según lo indicado por el laboratorio.



Figura 19. Muestras y cadena de custodia para análisis de carbono orgánico total por Walkley & Black

El análisis se desarrolló según la Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos (NOM-021-SEMARNAT-2000), el resultado es dado en la unidad de porcentaje de carbono.

Se dividió dicho porcentaje entre 100 para obtener el factor del carbono, dicho cociente se multiplicó por la densidad del suelo y la profundidad de la muestra (20 cm) para la estimación del carbono azul.

$$\text{Carbono azul}_{\text{suelo-W\&B}} = \text{Densidad}_{\text{aparente}} \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \times \text{Factor de carbono} \times 20 \text{ (cm)}$$

**h. Estimación del carbono azul capturado mediante la grama salada (*Distichlis spicata*)**

Para la estimación del carbono azul total capturado mediante la grama salada (*Distichlis spicata*) se aplicó la metodología establecida en el Manual denominado Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos. La cual establece lo siguiente:

$$\text{Carbono Total} = \text{Carbono del suelo} + \text{Carbono Vegetal}$$

Habiéndose determinado previamente la desviación estándar tanto para el carbono azul presente en la biomasa vegetal (carbono vegetal) como en el carbono del suelo, se procede a determinar:

- Estimación Conservadora:

$$(\text{Carbono del suelo} - \text{Desviación estándar}) + (\text{Carbono Vegetal} - \text{Desviación Estándar})$$

- Estimación Alta:

$$(\text{Carbono del suelo} + \text{Desviación estándar}) + (\text{Carbono Vegetal} + \text{Desviación Estándar})$$

Finalmente, se suman las desviaciones estándar de cada sumidero y el carbono azul total será representado por el valor de la estimación conservadora más la suma de desviaciones estándar o la estimación alta menos la suma de desviaciones estándar. La existencia de carbono azul total en un ecosistema será determinada mediante el producto del Carbono azul total y las hectáreas del ecosistema.

## 3.2. Resultados

### 3.2.1. Identificación de la especie

Según el Sistema de clasificación de Cronquist (1988), la muestra de grama salada recolectada en el área de estudio y llevada al Herbario del Museo de Historia Natural de la UNMSM, presenta la siguiente posición taxonómica:

- **División:** Magnoliophyta
- **Clase:** Liliopsida
- **Sub Clase:** Commelinidae
- **Orden:** Cyperales
- **Familia:** Poaceae
- **Género:** *Distichlis*
- **Especie:** *Distichlis Spicata* (L) Greene\*

\*Nombre científico certificado por el Herbario del Museo de Historia Natural, para fines prácticos y por sugerencia del jurado evaluador será mencionado durante el trabajo como *Distichlis spicata*.

### 3.2.2. Estimación del carbono azul en la biomasa vegetal

#### 3.2.2.1. Carbono azul en la biomasa aérea

Se estimó la biomasa aérea en las 5 sub parcelas, posteriormente se determinó el carbono azul para cada una de ellas.

Tabla 2.

*Estimación del carbono azul en la biomasa aérea de Distichlis spicata*

PARCELA	BIOMASA AÉREA (g) por sub parcela	FACTOR DE CARBONO	PARCELA (m <sup>2</sup> )	CARBONO AZUL (t C/ha)
P1	585.51	0.45	0.09	29.28
P2	295.12	0.45	0.09	14.76
P3	208.39	0.45	0.09	10.42
P4	252.75	0.45	0.09	12.64
P5	225.90	0.45	0.09	11.29

Fuente. Elaboración Propia

En la tabla 2 se muestran las cantidades de carbono azul en la biomasa aérea, en unidades de tonelada de carbono por hectárea estimada para cada una de las cinco parcelas estudiadas, siendo la parcela 1 la que presentó mayor cantidad de carbono azul con un total de 29.28 t C/ha y la parcela 3 la de menor cantidad con un total de 10.42 t C/ha. Para esta estimación se requirió de la biomasa y el factor de carbono para la biomasa aérea de una marisma, establecido en la literatura.

### 3.2.2.2. Carbono azul en la biomasa subterránea

Se estimó la biomasa subterránea en 5 sub parcelas, posteriormente se determinó el carbono azul para cada una de ellas.

Tabla 3.

*Estimación del carbono azul en la biomasa subterránea de Distichlis spicata*

<i>PARCELA</i>	<i>BIOMASA SUBTERRÁNEA (g/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>FACTOR DE CARBONO</i>	<i>CARBONO AZUL (t C/ha)</i>
<i>P1</i>	0.020	0.34	0.685
<i>P2</i>	0.020	0.34	0.682
<i>P3</i>	0.020	0.34	0.684
<i>P4</i>	0.019	0.34	0.650
<i>P5</i>	0.019	0.34	0.638

Fuente. Elaboración Propia

En la tabla 3 se muestran las cantidades de carbono azul en la biomasa subterránea, en unidades de tonelada de carbono por hectárea estimada para cada una de las cinco parcelas estudiadas, siendo la parcela 1 la que presentó mayor cantidad de carbono azul con un total de 0.685 t C/ha y la parcela 5 la de menor cantidad con un total de 0.638 t C/ha. Para esta estimación se requirió de la biomasa y el factor de carbono para la biomasa subterránea de una marisma, establecido en la literatura.

Se sumaron los depósitos de carbono aéreo y subterráneo para determinar el carbono azul capturado por la biomasa vegetal, determinándose que la mayor cantidad



de carbono es capturado por la biomasa aérea con respecto a la biomasa subterránea. (Figura 20)

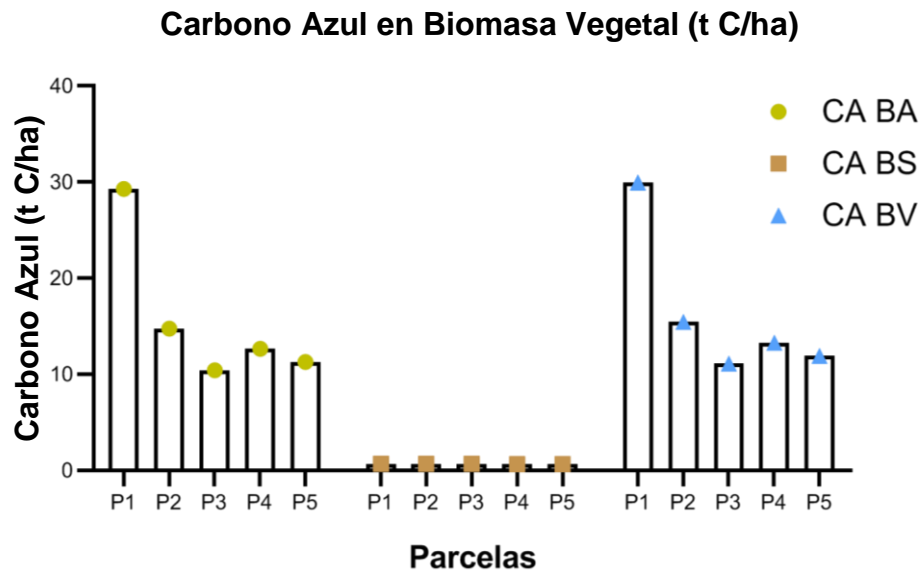
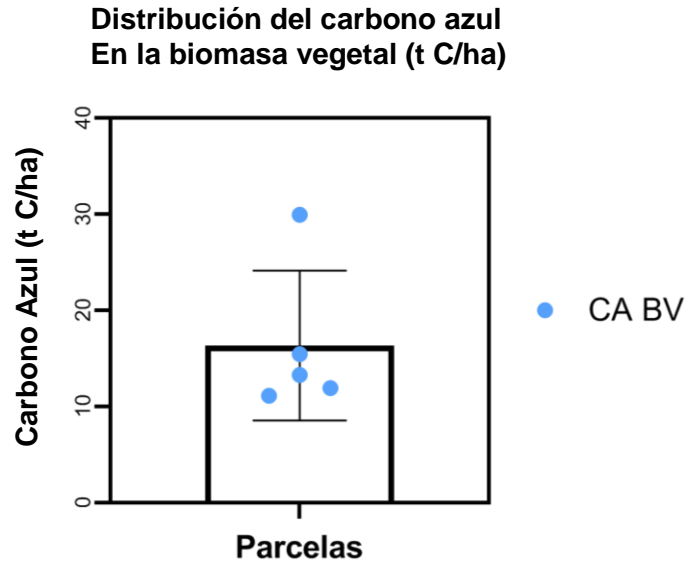


Figura 20. Carbono azul en la biomasa vegetal de *Distichlis spicata*

CA BA: Carbono Azul en Biomasa Aérea / CA BS: Carbono Azul en Biomasa Subterránea / CA BV: Carbono Azul en Biomasa Vegetal

Se sumó el carbono azul presente en los 5 sumideros aéreo y subterráneo y se determinó el promedio y la desviación estándar, obteniéndose que la cantidad de carbono azul capturada por la biomasa vegetal de la especie Grama salada (*Distichlis spicata* (L) Greene) presente en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa es de:

$$16.35 \pm 7.79 \frac{t C}{ha}$$



*Figura 21.* Distribución del Carbono Azul en la biomasa vegetal de *Distichlis spicata*

### 3.2.3. Estimación de carbono azul en el suelo

Se determinó la densidad aparente del suelo para las parcelas 1 y 2 (P1 y P2), se tomaron 3 muestras de suelo de cada parcela y analizaron según las técnicas mencionados, mediante el análisis elemental y Walkley & Black se determinó el % de C, y por el método de %LOI se determinó el % de Materia orgánica, se multiplicó por el factor de corrección para obtener a partir de ello el % de C en el suelo. Una vez determinada la densidad aparente y el % de C por cada técnica se determinó la densidad del carbono en el suelo, se multiplicó estos valores por la profundidad hasta la que se introdujo el nucleador y se determinó en carbono azul en el suelo.

### 3.2.3.1. Carbono azul en el suelo por %LOI (Loss on Ignition)

Tabla 4.

*Estimación del carbono azul en el suelo de Distichlis spicata por la técnica de %LOI (Loss on Ignition)*

<i>PARCELA</i>	<i>MUESTRAS</i>	<i>DENSIDAD APARENTE (g/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>CONTENIDO DE MO (%)</i>	<i>Factor de Corrección</i>	<i>%C</i>	<i>Factor de carbono</i>	<i>DENSIDAD DE C EN SUELO (g/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>PROFUNDIDAD (cm)</i>	<i>CARBONO AZUL (g/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>CARBONO AZUL (t C/ha)</i>
<b>P1</b>	P1A	1.34	13	0.580	7.250	0.073	0.097	20	1.943	194.300
	P1B	1.34	13	0.580	7.540	0.075	0.101	20	2.021	202.072
	P1C	1.34	12	0.580	6.670	0.067	0.089	20	1.788	178.756
<b>P2</b>	P2A	1.14	13	0.580	7.540	0.075	0.086	20	1.719	171.912
	P2B	1.14	15	0.580	8.410	0.084	0.096	20	1.917	191.748
	P2C	1.14	11	0.580	6.670	0.067	0.076	20	1.521	152.076

Fuente. Elaboración Propia

En la tabla 4 podemos observar los resultados obtenidos de la determinación del carbono azul en el suelo mediante la técnica de %LOI para 3 sub muestras tomadas tanto de la parcela 1 como la parcela 2 a 20 cm de profundidad. Dentro de la parcela 1 la sub muestra que representa mayor cantidad de carbono azul es la P1B con un total de 202.072 t C/ ha, mientras que en la parcela 2 la sub muestra que presenta mayor cantidad de carbono azul es la P2B con un total de 191.748 t C/ ha. Para la estimación de estos valores se requirió conocer la densidad aparente del suelo y el porcentaje de materia orgánica, los cuales a través de la multiplicación por el factor de corrección de carbono dió como resultado el % de carbono, el cual multiplicado por la profundidad a la cual fue tomada la muestra da como resultado la cantidad de carbono azul capturada en los 20 primeros centímetros de la superficie del suelo.

### 3.2.3.2. Carbono azul en el suelo por Walkley & Black

Tabla 5.

*Estimación del carbono azul en el suelo de Distichlis spicata por la técnica de Walkley & Black*

<b>PARCELA</b>	<b>MUESTRAS</b>	<b>DENSIDAD APARENTE (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>CONTENIDO DE C (%)</b>	<b>FACTOR DE C</b>	<b>DENSIDAD DE C EN SUELO (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>CARBONO AZUL (g/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CARBONO AZUL (t C/ha)</b>
<b>P1</b>	<b>P1A</b>	1.34	2.22	0.022	0.030	20	0.595	59.496
	<b>P1B</b>	1.34	2.43	0.024	0.033	20	0.651	65.124
	<b>P1C</b>	1.34	2.57	0.026	0.034	20	0.689	68.876
<b>P2</b>	<b>P2A</b>	1.14	2.14	0.021	0.024	20	0.488	48.792
	<b>P2B</b>	1.14	2.34	0.023	0.027	20	0.534	53.352
	<b>P2C</b>	1.14	2.28	0.023	0.026	20	0.520	51.984

Fuente. Elaboración Propia

En la tabla 5 podemos observar los resultados obtenidos de la determinación del carbono azul en el suelo mediante la técnica de Walkley & Black para 3 sub muestras tomadas tanto de la parcela 1 como la parcela 2 a 20 cm de profundidad. Dentro de la parcela 1 la sub muestra que representa mayor cantidad de carbono azul es la P1C con un total de 68.876 t C/ ha, mientras que en la parcela 2 la sub muestra que presenta mayor cantidad de carbono azul es la P2B con un total de 53.352 t C/ ha. Para la estimación de estos valores se requirió conocer la densidad aparente del suelo y el porcentaje de carbono, cuya multiplicación por la profundidad da como resultado la cantidad de carbono azul capturada en los 20 primeros centímetros de la superficie del suelo.

### 3.2.3.3. Carbono azul en el suelo por análisis elemental

Tabla 6.

*Estimación del carbono azul en el suelo de Distichlis spicata por la técnica de Análisis Elemental*

<b>PARCELA</b>	<b>MUESTRAS</b>	<b>DENSIDAD APARENTE (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>CONTENIDO DE C (%)</b>	<b>FACTOR DE C</b>	<b>DENSIDAD DE C EN SUELO (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>CARBONO AZUL (g/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CARBONO AZUL (t C/ha)</b>
<b>P1</b>	<b>P1A</b>	1.34	4.28	0.043	0.057	20	1.147	114.704
	<b>P1B</b>	1.34	3.93	0.039	0.053	20	1.053	105.324
	<b>P1C</b>	1.34	4.40	0.044	0.059	20	1.179	117.920
<b>P2</b>	<b>P2A</b>	1.14	5.00	0.050	0.057	20	1.14	114.000
	<b>P2B</b>	1.14	4.90	0.049	0.056	20	1.117	111.720
	<b>P2C</b>	1.14	4.31	0.043	0.049	20	0.983	98.268

Fuente. Elaboración Propia

En la tabla 6 podemos observar los resultados obtenidos de la determinación del carbono azul en el suelo mediante la técnica de Análisis Elemental para 3 sub muestras tomadas tanto de la parcela 1 como la parcela 2 a 20 cm de profundidad. Dentro de la parcela 1 la sub muestra que representa mayor cantidad de carbono azul es la P1C con un total de 117.920 t C/ ha, mientras que en la parcela 2 la sub muestra que presenta mayor cantidad de carbono azul es la P2A con un total de 114.000 t C/ ha. Para la estimación de estos valores se requirió conocer la densidad aparente del suelo y el porcentaje de carbono, cuya multiplicación por la profundidad da como resultado la cantidad de carbono azul capturada en los 20 primeros centímetros de la superficie del suelo.

Se calculó el promedio de las 6 muestras analizadas por cada técnica, así como su respectiva desviación estándar y se obtuvo que el carbono azul en el suelo por cada técnica es de:

Tabla 7.

*Estimación del Carbono Azul en el suelo por 3 técnicas de laboratorio*

<i>Técnica</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Carbono en el suelo (t C/ha)</i>
<i>%LOI (Loss on Ignition)</i>	181.8	18.20	181.8 ± 18.20
<i>W&amp;B (Walkley &amp; Black)</i>	57.94	7.92	57.94 ± 7.92
<i>AE (Análisis Elemental)</i>	110.3	7.25	110.3 ± 7.25

Fuente. Elaboración Propia

En la tabla 7 podemos observar la comparación de los resultados de cantidad de carbono azul capturado en el suelo perteneciente a la grama salada, mediante las tres técnicas de laboratorio estudiadas. De ello podemos identificar que los resultados obtenidos distan representativamente siendo la técnica de %LOI la que mayor contenido de carbono azul estimó con un total de 181.8 ± 18.20 t C/ ha, seguido de la técnica de análisis elemental la cual estimo un total de 110.3 ± 7.25 t C/ ha y finalmente la técnica de combustión húmeda denominada Walkley & Black fue la que menor cantidad de carbono azul estimó con un total de 57.94 ± 7.92 t C/ ha. Lo cual nos demuestra que el uso de una sola técnica podría llegar a sobrestimar la cantidad de carbono azul capturada en el suelo perteneciente a una determinada especie

### 3.2.4. Estimación del carbono azul capturado por la grama salada (*Distichlis spicata*)

El carbono azul total capturado mediante la grama salada (*Distichlis spicata*) se determinó según lo establecido en el Manual denominado Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos.

Tabla 8.

*Estimación del carbono azul total capturado por la grama salada*

Depósito de Carbono		Estimación del Carbono Azul capturado mediante la especie grama salada ( <i>Distichlis spicata</i> )			
Carbono Azul en Biomasa Vegetal	Carbono Azul el en Suelo	Estimación Conservadora	Estimación Alta	Desviación Estándar	CARBONO TOTAL
	181.8 ± 18.20*	172.16	224.19	26	198.16 ± 26
16.35 ± 7.79	57.94 ± 7.92**	58.58	90	15.71	74.29 ± 15.71
	110.3 ± 7.25***	111.61	141.69	15.04	126.65 ± 15.04

Fuente. Elaboración Propia

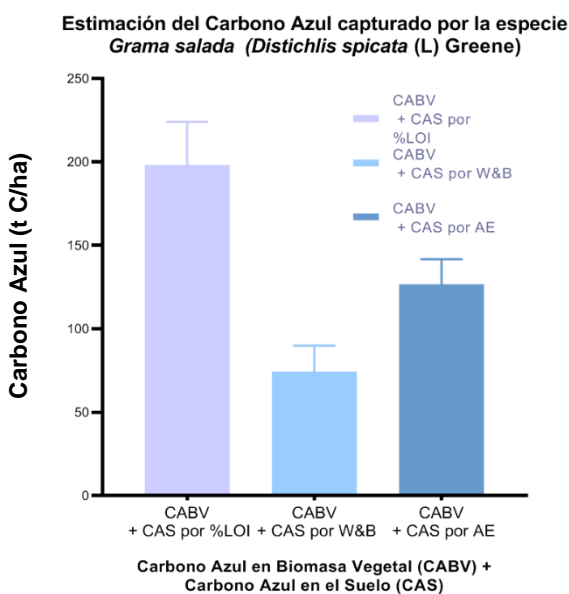


Figura 22. Estimación del Carbono Azul capturado por la especie grama salada (*Distichlis spicata*)

## CONCLUSIONES

1. El carbono azul total capturado mediante la grama salada (*Distichlis spicata*), es de  $74.29 \pm 15.71$  t C/ha,  $126.65 \pm 15.04$  t C/ha y  $198.16 \pm 26$  t C/ha (Walkley & Black, Análisis Elemental y %LOI respectivamente).

2. El carbono azul capturado mediante la biomasa aérea de la grama salada (*Distichlis spicata*) es de  $15.68 \pm 7.78$  t C/ha.

3. El carbono azul capturado mediante la biomasa subterránea de la grama salada (*Distichlis spicata*) es de  $0.6678 \pm 0.02210$  t C/ha.

4. El carbono azul capturado mediante el suelo perteneciente a la grama salada (*Distichlis spicata*) es de  $57.94 \pm 7.92$  t C/ha,  $110.3 \pm 7.25$  t C/ha y  $181.8 \pm 18.20$  t C/ha (Walkley & Black, Análisis Elemental y %LOI respectivamente).



## RECOMENDACIONES

1. La estimación del carbono azul total capturado por especies vegetales presentes en ecosistemas marino costeros como los humedales revela la importancia de estas en la mitigación del cambio climático al capturar carbono en su estructura vegetal y suelo, por ello, se recomienda profundizar y llevar a cabo un mayor número de investigaciones en la vegetación de ecosistemas similares.

2. El uso de factores de carbono establecidos en la literatura puede facilitar la estimación de la captura de carbono azul, reduciendo el tiempo y presupuesto, sin embargo, este puede variar ya sea por factores geográficos o meteorológicos, por ende, se recomienda realizar un análisis a una pequeña cantidad de muestras si es posible.

3. La toma de muestras para el análisis del carbono azul en la biomasa subterránea de la grama salada se realizó en los primeros 20 cm del suelo, se recomienda separar la profundidad en 2 secciones de 10 cm cada una para así conocer el carbono presente a profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm.

4. El análisis de carbono en marismas propone como mínimo un número de 5 sub parcelas a ser analizadas, sin embargo, es recomendable analizar un número mayor de sub parcelas y sus respectivas repeticiones, que puedan brindar un resultado representativo de la especie de interés y así evitar caer en el error.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ampuero, W. (2018). *Estimación del carbono almacenado en la comunidad del Junco (Schoenoplectus americanus) bajo dos escenarios de crecimientos en el Humedal Costero Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa* (tesis de pregrado). Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.
- Arevalo, L. A., Alegre, J. C., y Montoya, L. J. (2002). *Metodología para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra*. Colombo.
- Bergkamp, G., & Orlando, B. (1999). *Los Humedales y el Cambio Climático. Examen de colaboración entre la Convención sobre los Humedales y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Carreira, D. (2010). *Ministerio de Producción y Trabajo: Agroindustria*. Recuperado de: [https://www.agroindustria.gov.ar/sitio/areas/proinsa/informes/\\_archivos//002010\\_Ronda%202010/000003\\_Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira%20\(Carb%20on%20oxidable%20y%20Nitr%C3%B3geno\)/000008\\_Carbono%20oxidable%20-M%C3%A9todo%20de%20Walkley&Black-%20%20y%20en%20Ni](https://www.agroindustria.gov.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos//002010_Ronda%202010/000003_Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira%20(Carb%20on%20oxidable%20y%20Nitr%C3%B3geno)/000008_Carbono%20oxidable%20-M%C3%A9todo%20de%20Walkley&Black-%20%20y%20en%20Ni)
- ELTRA Elemental Analyzers. (2017). *Analizadores de carbono - azufre (CS-800 / CS-2000)*. Alemania. Obtenido de ELTRA Elemental Analyzers Web site: <https://www.eltra.com/products/chs-analyzers/chs-580a/function-features/>
- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/>
- Hauser, A. S. (2006). *Fire Effects Information System*. Recuperado de FEIS Web site: <https://www.fs.fed.us/database/feis/plants/graminoid/disspi/all.html>
- Hoogsteen, M., Lantinga, E., Bakker, J., Groot, C., & Tittonell, P. (2015). *Estimating soil organic carbon through loss on ignition: effects of ignition conditions and structural water loss*. European Journal of Soil Science, 1-9.
- Howard, J., Hoyt, S., Issensee, K., Pidgeon, E., y Telszewski, M. (Eds.). (2018). *Carbono Azul: Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos*. Recuperado de: <https://www.thebluecarboninitiative.org/manual-espanol>
- Instituto Promoción y Desarrollo Agrario. (2009). *Plan Maestro de Gestión y Manejo Ambiental de los Pantanos de Villa*. Lima, Perú.
- Kirwan, M. (2014). *Five coastal blue carbon research projects. Índices de acumulación de carbono en el suelo en marismas y su respuesta al aumento en el nivel del mar*. Estados Unidos.
- López Valenzuela, G. C. (2015). *Valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono en el fundo violeta*. (tesis de pregrado) Lima.

- Marín Muñiz, J. L., Hernández Alarcón, M. E., & Moreno-Casasola Barceló, P. (2011). *Secuestro de Carbono en suelos de Humedales Costeros de agua dulce en Veracruz*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 365 – 372.
- Metz, B., Davidson, O., de Coninck, H., Loos, M., & Meyer, L. (2005). *Informe especial del IPPCC: La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono*.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Manual de valoración económica del patrimonio natural*. Lima: Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Lima.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Nueva York.
- Zhang, J. (2019). Noticias ONU. Recuperado de: <https://news.un.org/es/story/2019/05/1455481>
- Pulido, V., y Bermúdez, L. (2018). Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos de Villa. *Arnaldoa*, 679-702.
- Intergovernmental Panel on Climate Change; United Nations Environment Programme. (2001). *Tercer Informe de Evaluación Cambio Climático 2001 Mitigación Resumen para responsables de políticas y resumen técnico*. Accra.
- Radabaugh, K., Moyer, R., Chappel, A., Powell, C., Bociu, I., Clark, B., & Smoak, J. (2017). *Coastal Blue Carbon Assessment of Mangroves, Salt Marshes, and Salt Barrens in Tampa Bay, Florida, USA*. *Estuaries and Coasts*.
- Rügnitz, M., Chacón, M., y Porro, R. (2009). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. Recuperado de: [http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF\\_GuiaDeterminacionCarbono\\_esp.pdf](http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF_GuiaDeterminacionCarbono_esp.pdf)
- Secretariat of Environment and Natural Resources. (31 de Diciembre de 2002). *NOM-021-SEMARNAT-2000 Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Diario Oficial de la Federación, págs. 17-19.
- Sousa, A., Santos, D., Ferreira da Silva, E., Sousa, L., Cleary, D., Soares, A., & Lilebo, A. (2017). *Blue Carbon' and Nutrient Stocks of Salt Marshes at a Temperate Coastal Lagoon (Ria de Aveiro Portugal)*. *Scientific Reports*, 1-11.
- Tafur, V. (2010). Valoración económica para el desarrollo sostenible de los Pantanos de Villa. *Exégesis*, 3(3) p.87-96.

- Vargas, P. (2009). *El Cambio Climático y sus efectos en el Perú*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.
- Vargas, R. H. (2018). *Emisión de CO<sub>2</sub> e impacto en el suelo por un incendio en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa*. (tesis de pregrado). Lima, Perú.
- Wilson, K., & Smith, E. (2014). *Five coastal blue carbon research projects. Cuantificación de las reservas de carbono orgánico en el suelo en ocho ecosistemas de marismas del Sistema Nacional de Reservas para la Investigación Estuarina de Estados Unidos*. Estados Unidos.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Estimación de biomasa aérea

<i>PARCELA</i>	<i>MASA FRESCA PARCELA (g)</i>	<i>MASA FRESCA SUBM (g)</i>	<i>MASA SECA SUBM (g)</i>	<i>BIOMASA AÉREA (g) por sub parcela</i>
<i>P1</i>	760	33.19	25.57	585.51
<i>P2</i>	390	24.54	18.57	295.12
<i>P3</i>	300	25.74	17.88	208.39
<i>P4</i>	330	21.23	16.26	252.75
<i>P5</i>	310	28.64	20.87	225.90

Fuente: Elaboración propia

### ANEXO 2. Estimación de biomasa subterránea

<i>PARCELA</i>	<i>MASA FRESCA SUBM (g)</i>	<i>MASA SECA SUBM (g)</i>	<i>MS/MF</i>	$\pi \cdot r^2$	<i>BIOMASA SUBTERRÁNEA (g/cm<sup>2</sup>)</i>
<i>P1</i>	5.01	1.98	0.395	19.635	0.0201
<i>P2</i>	5.28	2.08	0.394	19.635	0.0201
<i>P3</i>	7.73	3.05	0.395	19.635	0.0201
<i>P4</i>	8.47	3.18	0.375	19.635	0.0191
<i>P5</i>	5.65	2.08	0.368	19.635	0.0187

Fuente: Elaboración propia

### ANEXO 3. Estimación de la densidad aparente del suelo

<i>PARCELA</i>	<i>MASA SECA (g)</i>	<i>VOLUMEN CILINDRO (cm<sup>3</sup>)</i>	<i>DENSIDAD APARENTE (g/cm<sup>3</sup>)</i>
<i>P1</i>	527.66	392.5	1.34
<i>P2</i>	446.35	392.5	1.14
<i>P3</i>	544	392.5	1.39
<i>P4</i>	482.39	392.5	1.23
<i>P5</i>	440.19	392.5	1.12

Fuente: Elaboración propia

#### ANEXO 4. Estimación del % de carbono mediante la técnica de %LOI

Sub-muestras	Crisoles			Sub muestra (g) pre ignición	Crisoles con sub muestra		Sub muestra (g) post ignición	Diferencia de pesos (g)	%LOI		Factor Carbono
	Vaso	Tapa	Total		Antes Mufla	Después Mufla			% M.O.	%C	
P1A	23.62	9.09	32.71	2	34.71	34.46	1.75	0.25	12.5	7.3	0.07
P1B	25.3	9.4	34.7	2	36.7	36.44	1.74	0.26	13.0	7.5	0.08
P1C	23.25	9.78	33.03	2	35.03	34.8	1.77	0.23	11.5	6.7	0.07
P2A	24.23	14.29	38.52	2	40.52	40.26	1.74	0.26	13.0	7.5	0.08
P2B	31.41	15.58	46.99	2	48.99	48.7	1.71	0.29	14.5	8.4	0.08
P2C	24.98	9.53	34.51	2	36.51	36.28	1.77	0.23	11.5	6.7	0.07

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 5. Constancia de determinación taxonómica de Grama salada (*Distichlis spicata* (L) Greene)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO  
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

### CONSTANCIA N° 059-USM-2019

EL JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (planta estéril) recibida de **Karol Salazar Navarro**, estudiante de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur; ha sido estudiada y clasificada como: ***Distichlis spicata*** (L) Greene; y tiene la siguiente posición taxonómica según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1988).

**DIVISION: MAGNOLIOPHYTA**

**CLASE: LILIOPSIDA**

**SUB CLASE: COMMELINIDAE**

**ORDEN: CYPERALES**

**FAMILIA: POACEAE**

**GENERO: *Distichlis***

**ESPECIE: *Distichlis spicata* (L) Greene**

Nombre vulgar: "Grama salada"  
Determinado por: Mg. María Isabel La Torre Acuy

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que considere conveniente.

Lima, 08 de marzo de 2019



**Mag. ASUNCIÓN CANO ECHEVARRIA**  
JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

ACE/ddb



## ANEXO 6. Carta de aceptación de PROHVILLA para el desarrollo de la investigación



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"



Chorrillos, 27 Febrero del 2019.

### OFICIO N° 083-2019-MML-PROHVILLA

Srta.  
**Karol Salazar Navarro**  
Presente.

**Asunto:** Respuesta a su solicitud

**Ref. :** (a) Carta s/n recibida el día 20/02/19

De mi mayor consideración:

En grato saludarla y en atención al documento de la referencia (a) se aprueba su solicitud para realizar la investigación titulada "**Estimación de la captura de carbono azul por la especie Grama salada (*Distichlis spicata*) en el refugio de vida silvestre Pantanos de Villa.**"

Debido a las características de la investigación, es importante para la institución contar con un ejemplar del estudio una vez sustentada y aprobada la tesis, ya que nos permitirá adoptar planes de gestión ambiental, que promuevan la conservación y protección de los Pantanos de Villa.

Atentamente,

MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA  
AUTORIDAD MUNICIPAL DE LOS PANTANOS DE VILLA  
*[Firma manuscrita]*  
ING. MAGALY ALDASORO  
DIRECTORA TÉCNICA  
PROHVILLA

## ANEXO 7. Primera página de resolución de SERNANP para autorización de extracción de muestras en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa



### RESOLUCIÓN DEL JEFE DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE LOS PANTANOS DE VILLA N°001-2019-SERNANP-JEF

Chorrillos, 16 de marzo de 2019

#### VISTO:

La solicitud de fecha 11.03.2019 presentada por la Srta. Karol Salazar Navarro, bachiller de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, responsable de realizar la investigación titulada: "Estimación de la Captura del Carbono Azul por la Especie Grama Salada (*Distichlis spicata*) en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa", hasta el mes de Julio del año en curso.

#### CONSIDERANDO:

Que, según lo previsto en los incisos g) e i) del artículo 2° de la Ley N° 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas, unos de sus principales objetivos de protección es servir de sustento y proporcionar medios y oportunidades para el desarrollo de la investigación científica;

Que, en concordancia con ello, en el artículo 29° de la precitada Ley, se establece que el Estado reconoce la importancia de las Áreas Naturales Protegidas para el desarrollo de la investigación científica básica y aplicada, siempre que no afecte los objetivos de conservación, se respete la zonificación y las condiciones establecidas en el Plan Maestro;

Que, la actualización del Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas, aprobada por Decreto Supremo N°016-2009-MINAM, refiere que la investigación científica constituye una herramienta básica para la generación de información que permita mejorar el conocimiento sobre la diversidad biológica, así como para el manejo de recursos naturales y la gestión de riesgos y amenazas;

Que, mediante la Resolución Presidencial N°250-2013-SERNANP, publicado el 26 de diciembre del 2013, se aprobó el Certificado de Procedencia de los recursos naturales renovables forestales, flora y/o fauna silvestre provenientes de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional;

Que, mediante Decreto Supremo N°010-2015-MINAM, publicado el 23 de setiembre de 2015, se declara de interés nacional el desarrollo de investigaciones al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional, determinándose su gratuidad, así como los procedimientos de aprobación automática y evaluación previa para su otorgamiento;

Que, en el artículo 4° del mencionado Decreto Supremo, se prevé cinco supuestos en los que la autorización de investigación requiere de evaluación previa: a) ingreso a



# ANEXO 8. Cadena de custodia para el análisis de carbono orgánico total en muestras de suelo en laboratorio SAG S.A.C.

FR - 005  
VIGENCIA  
F.E. 30/2016  
Página: 1 de 10



## CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

Cliente: **Karol Salazar Navarro** Contacto: **Karol Salazar Navarro** E-mail: **KarolSalazar@gmail.com** Telef.(s) **991768825**

Lugar: **Refugio de Vida Silvestre las Parícutas de Villa** Empresa:

Carta/Cotización: **N° 2019 - 02VE - 60 - 1** OS: **175652**

Planta: **Analisis de Suelo** Proyecto: **Analisis de Suelo**

MUESTREO POR SAG MUESTREO POR CLIENTE




MUESTREO		PARAMETROS IN SITU		ANÁLISIS DE LABORATORIO		N° Informe:	
PUNTO DE MUESTREO o CODIGO DEL CLIENTE	FECHA	HORA	TIPO DE MATRIZ	CONDICIONES DE MUESTREO	CONDICIONES DE LABORATORIO	CODIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES
P1 A	7-3-19	10:34am	suelo	✓			
P1 B	7-3-19	10:34am	suelo	✓			
P1 C	7-3-19	10:34am	suelo	✓			
P2 A	7-3-19	11:22am	suelo	✓			
P2 B	7-3-19	11:22am	suelo	✓			
P2 C	7-3-19	11:22am	suelo	✓			

**SERVICIOS ANALÍTICOS GENERAL**  
**RECIBIDO**  
**07 MAR 2019**  
**RECEPCIÓN DE MUESTRAS**  
**SAG**

Observaciones de Muestreo:

Nombre(s) y Apellido: **Karol Salazar Navarro** Recibido en laboratorio: **CA**  
 Nombre(s) y Apellido: **Karol Salazar Navarro** Firma(s): **[Firma]** Día/Hora: **18:40**  
 Nombre(s) y Apellido: **[Firma]** Firma(s): **[Firma]**

## ANEXO 9. Informe de ensayo de análisis químico Soldexa

LAB-F-42																																											
Edición: 03																																											
 <small>UNIA COMERCIAL S.A.S</small>	<h3>INFORME DE ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO</h3>																																										
<p>Razón Social (Nombre Cliente): Bachiller Karol Salazar Navarro                  Contacto / Teléfono: Móvil 991-768-825                  Referencia: Ensayos para Tesis Profesional                  Descripción de la Muestra: Muestras de Suelo de Humedal                  Fecha de Informe: 2019-03-19                  Informe de Ensayo N°: EQ-2019-15</p>																																											
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">Identificación de la Muestra</th> <th style="width: 10%;">%C</th> <th colspan="4">Resultados en Concentración (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>PIA</td><td style="text-align: center;">4.28</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>PIB</td><td style="text-align: center;">3.94</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>PIC</td><td style="text-align: center;">4.41</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>P2A</td><td style="text-align: center;">5.01</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>P2B</td><td style="text-align: center;">4.91</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>P2C</td><td style="text-align: center;">4.31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Identificación de la Muestra	%C	Resultados en Concentración (%)				PIA	4.28					PIB	3.94					PIC	4.41					P2A	5.01					P2B	4.91					P2C	4.31				
Identificación de la Muestra	%C	Resultados en Concentración (%)																																									
PIA	4.28																																										
PIB	3.94																																										
PIC	4.41																																										
P2A	5.01																																										
P2B	4.91																																										
P2C	4.31																																										
<p>Observaciones:</p>																																											
	<div style="text-align: right;">                   _____                  Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad                  Ronald Requejo Vilanueva                  CIP: 101024             </div>																																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>Método de Ensayo :</td><td>MRC C59%</td></tr> <tr><td>Equipo Usado :</td><td>Horno de Inducción Eltra</td></tr> <tr><td>Código Interno del Equipo :</td><td>CC-ED43</td></tr> <tr><td>Temperatura de Ensayo (°C) :</td><td>22.5°C</td></tr> <tr><td>Nombre del Analista :</td><td>José Soto</td></tr> <tr><td>Fecha de Recepción Muestra :</td><td>2019-03-15</td></tr> <tr><td>Fecha de Ejecución de Ensayo :</td><td>2019-03-15</td></tr> </tbody> </table>	Método de Ensayo :	MRC C59%	Equipo Usado :	Horno de Inducción Eltra	Código Interno del Equipo :	CC-ED43	Temperatura de Ensayo (°C) :	22.5°C	Nombre del Analista :	José Soto	Fecha de Recepción Muestra :	2019-03-15	Fecha de Ejecución de Ensayo :	2019-03-15																												
Método de Ensayo :	MRC C59%																																										
Equipo Usado :	Horno de Inducción Eltra																																										
Código Interno del Equipo :	CC-ED43																																										
Temperatura de Ensayo (°C) :	22.5°C																																										
Nombre del Analista :	José Soto																																										
Fecha de Recepción Muestra :	2019-03-15																																										
Fecha de Ejecución de Ensayo :	2019-03-15																																										
<p>1. Este Informe al ser emitido sin el Símbolo de Acreditación, no se encuentra dentro del marco de la Acreditación Otorgada por el INACAL - DA.                  2. Las Probetas han sido suministradas por el Cliente.                  3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa.                  4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas.                  5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.</p>																																											
																																											
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 - Lurín - Lima - Perú Correo: jose.soto@esab.com.pee Teléfonos: 619-9600 Anexos 2240-2233																																											

# ANEXO 10. Informe de ensayo N° 131348- 2019 Laboratorio SAG



**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Registros N° 001

## INFORME DE ENSAYO N° 131348 - 2019 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : KARDL SALAZAR NAVARRO  
**DOMICILIO LEGAL** : CHORRILLOS- LIMA- LIMA  
**SOLICITADO POR** : KARDL SALAZAR NAVARRO  
**REFERENCIA** : RESERVADO POR EL CLIENTE  
**PROCEDENCIA** : REFUGIO DE VIDA SILVESTRE LOS FANTASMAS DE VILLA  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS** : 2019-03-07  
**FECHA(S) DE ANÁLISIS** : 2019-03-11 AL 2019-03-22  
**FECHA(S) DE MUESTREO** : 2019-03-07  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Carbono orgánico total (COT)	NDM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.7, Método A5-07. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Materia Orgánica. 2002.	0.13	%

L.C.: límite de cuantificación.

### II. RESULTADOS

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	
Fecha de muestreo	2019-03-07	2019-03-07	2019-03-07	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:34	10:34	10:34	
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	
Código del Cliente	P 1 A	P 1 B	P 1 C	
Código del Laboratorio	19030324	19030325	19030326	
Ensayo	unidades	Resultados		
Carbono orgánico total (COT)	%	2.22	2.43	2.57
Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	
Fecha de muestreo	2019-03-07	2019-03-07	2019-03-07	
Hora de inicio de muestreo (h)	11:22	11:22	11:22	
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	
Código del Cliente	P 2 A	P 2 B	P 2 C	
Código del Laboratorio	19030327	19030328	19030329	
Ensayo	unidades	Resultados		
Carbono orgánico total (COT)	%	2.14	2.34	2.28

Resultados de Suelo reportado en base seca.

NOTA: Para la metodología de Carbono Orgánico Total, el peso utilizado para cada muestra es:

- Código 19030324: 0.5 g.
- Código 19030325: 0.5 g.
- Código 19030326: 0.5 g.
- Código 19030327: 0.5 g.
- Código 19030328: 0.5 g.
- Código 19030329: 0.5 g.

Lima, 05 de Abril del 2019.

Quim. Belbeth Y. Fajardo Leo  
 C.Q.P. N° 648  
 Asesor Técnico Químico

**EXPERTS  
 WORKING  
 FOR YOU**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO

\* El Método utilizado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana

**OBSERVACIONES:** + Esta presenta la reproducción parcial o total del presente documento o método que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. + Los resultados analíticos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. + Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de preservación del método si analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. + Para confirmar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. + Cualquier modificación no autorizada, hecho o hecho de cualquier índole que afecte la legalidad de este documento no podrá ser procesado de acuerdo a las normas.

### SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1566 Urb. Chacara Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Mujica de Terner N° 2075 - Lima  
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 1 de 1

**ANEXO 11. Área de Gramadal en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa**



## ANEXO 12. Muestreo aleatorio y localización GPS de sub parcelas

