TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LOS TOTORALES Y GRAMADALES DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE LOS PANTANOS DE VILLA, LIMA, PERÚ"

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

María Fernanda Corvacho Cárdenas

Asesor:

Dr. Héctor A. Aponte Ubillús

Lima – Perú

2020

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 06 de marzo de 2020.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Karen Ilse Eckhardt Rovalino
Miembro: Mg. Alexander Emanuel Diaz Sotil
Miembro: Ing. Melissa Giovanna Olivera Huamán

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:
ESTIMACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN LOS TOTORALES Y GRAMADALES DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE LOS PANTANOS DE VILLA, LIMA, PERÚ.

Presentada por la bachiller:

- Maria Fernanda Corvacho Cardenas

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental

Asesorada por:

- Dr. Hector Alonso Aponte Ubillus

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime ( ) por mayoría simple ( ) calificar a:

• Tesista: Maria Fernanda Corvacho Cardenas		Nota (en letras): quince	
Aprobado (X)	Aprobado - Muy buena ( )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

Mg. Karen Ilse Eckhardt Rovalino
Presidente del Jurado

Dr. Hector Alonso Aponte Ubillus
Asesor

Mg. Alexander Emanuel Díaz Sotil
Miembro 1

Ing. Melissa Giovanna Olivera Huamán
Miembro 2

T // (511) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
CIENTÍFICA
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada con mucho cariño a mis padres, mis hermanos, mi familia, mi compañero, profesores, amistades y a todas las personas que de una u otra manera me apoyaron para desarrollarla y lograr culminarla.

A todas las personas que se encuentren interesadas en conocer un poquito más o contribuir en la conservación de los ecosistemas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
CIENTÍFICA
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

AGRADECIMIENTOS

Me encuentro muy agradecida con mis padres, familia y personas cercanas por todo el apoyo, palabras de aliento, compresión y compañía durante esta etapa de elaboración de la tesis.

Agradezco profundamente a mi asesor, el Dr. Héctor Aponte, por todo su apoyo y confianza desde un inicio, así como su disposición para asesorarme constantemente e incentivarme a hacer un buen trabajo. A los profesores Dámaso Ramírez y Gustavo Lértora por su guía, sugerencias y apoyo durante las labores de campo.

A la Dirección General de Investigación Desarrollo e Innovación de la Universidad Científica del Sur, quienes financiaron el proyecto dentro del cual se encuentra enmarcada mi tesis.

Al SERNANP y ProhVilla por facilitarnos los permisos e ingresos necesarios para realizar las actividades de campo en Los Pantanos de Villa.

A Wendy Ampuero por su disposición para apoyarme y asesorarme respecto a la metodología empleada en la investigación.

A las personas que nos apoyaron constantemente en campo, a Piero Uceda, Cristina Burga y Telassim Aldave. Al profesor Aldo Indacochea por su apoyo con el empleo del laboratorio.

A todas las personas que de alguna manera hicieron posible que se pueda realizar y culminar este estudio.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS CIENTÍFICA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA 1
AGRADECIMIENTOS 2
ÍNDICE GENERAL 3
ÍNDICE DE FIGURAS 5
ÍNDICE DE TABLAS 6
ÍNDICE DE ANEXOS 7
I. RESUMEN 8
II. ABSTRACT 9
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 10
IV. MARCO TEÓRICO 13
1. Gases de Efecto Invernadero (GEI) 13
2. CO_2 equivalente 15
3. Cambio Climático 16
3.1. Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático 17
4. Secuestro y almacenamiento de Carbono 19
5. Carbono Azul 21
6. Humedales y carbono 22
7. Reservas de Carbono en los Humedales Costeros de Lima 25
8. Reserva de Carbono en otros ecosistemas 27
9. Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa 28
10. Totorales y Gramadales 32
11. Mecanismos de Mercado de Servicios Ecosistémicos 33
V. OBJETIVOS E HIPÓTESIS 33
1. Objetivo Principal 33
2. Objetivos Específicos 33
3. Hipótesis 34
VI. METODOLOGÍA 34
1. Área de Estudio 35
2. Estimación de las áreas de totorales y gramadales 36
3. Determinación de los sitios de muestreo 37
4. Muestreo 39
5. Determinación del porcentaje de carbono de las muestras 41
6. Estimación del Peso Seco 41

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

7. Determinación de las reservas de carbono en cada uno de los compartimientos 42
7.1. Carbono en la biomasa aérea 42
7.2. Carbono en el suelo 43
8. Estimación de las reservas de carbono por compartimiento, de cada comunidad 44
9. Estimación del stock de CO_2 en los gramadales y totorales del RVSPV 45
10. Análisis estadísticos 45
VII. RESULTADOS 45
1. Áreas de los totorales y gramadales 45
2. Reservas de Carbono en los Totorales y Gramadales del RVSPV 46
2.1. Reservas de carbono en los totorales 49
2.2. Reservas de carbono en los gramadales 50
3. Análisis Estadísticos 51
4. CO_2 secuestrado en los gramadales y totorales del RVSPV 52
VIII. DISCUSIÓN 52
1. Análisis de la hipótesis 52
2. Reservas de carbono en los compartimentos evaluados 53
3. Comparación con otros humedales 55
4. Secuestro de CO_2 en los totorales y gramadales del RVSPV 63
5. Potencial del RVSPV para su aplicación en mecanismos económicos 64
IX. CONCLUSIONES 66
X. RECOMENDACIONES 67
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69
XII. ABREVIATURAS 80
XIII. ANEXOS 81

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
CIENTÍFICA
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Resultados de la Huella de Carbono por sector, índice per cápita y población en seis ciudades (Fuente: CAF, 2016). 14

Figura 2: Captura de carbono en humedales costeros intactos (de izquierda a derecha: manglares, pantanos de marea y algas marinas) (Howard et al., 2017a). 24

Figura 3: Mapa Base del RVSPV (Fuente: Servicio Nacional de Áreas Naturales protegidas por el Estado, s.f. Recuperado de: http://www.sernanp.gob.pe/los-pantanos-de-villa). 29

Figura 4: Ubicación del RVSPV. Fuente: Mapa de Cobertura Vegetal del RVSPV, elaborado por: Héctor Aponte, Dámaso W. Ramírez, Gustavo Lértora, Fernando Gil Villacres (2018). 36

Figura 5: Ubicación de los transectos donde se colocaron las parcelas de muestreo... 38

Figura 6: Promedios de carbono por compartimiento evaluado del totoral. 49

Figura 7: Promedios de carbono por compartimiento evaluado del gramadal. 50

Figura 8: Promedios de carbono por compartimiento evaluado del gramadal mixto... 51

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS CIENTÍFICA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de Potencial de Calentamiento Global (GWP) relativos a CO_2 15

Tabla 2: Áreas de los Gramadales y Totorales en el RVSPV 46

Tabla 3: Pesos frescos y secos promedio, densidad aparente promedio del suelo y porcentajes de carbono obtenidos en los compartimientos biomasa aérea (BA), suelos de 0-10 cm y suelos de 10-20 cm de profundidad, respectivamente. 47

Tabla 4: Reservas promedio de carbono obtenidas en los compartimientos: biomasa aérea (BA), suelos de 0-10 cm, suelos de 10-20 cm de profundidad y por comunidad vegetal evaluada. Para el carbono por compartimiento, por hectárea, se presenta los promedios, coeficientes de variación (±) y valores mínimos y máximos (mínimo-máximo). 48

Tabla 5: Comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio y en otros humedales 57

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
CIENTÍFICA
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Mapa de Cobertura Vegetal del RVSPV 81
Anexo 2: Permiso de Colecta emitido por SERNANP 82
Anexo 3: Panel Fotográfico 86
Anexo 4: Curvas de Performance 93
Anexo 5: Pruebas Estadísticas 95

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

I. RESUMEN

El almacenamiento de carbono es un servicio ecosistémico de suma importancia para la adaptación de las poblaciones humanas frente al cambio climático. Recientemente, se ha realizado estudios sobre este servicio en los ecosistemas marino costeros, debido a que pueden llegar a almacenar altas cantidades de carbono y por mayor tiempo en comparación con algunos ecosistemas terrestres. En ese contexto, el presente estudio tuvo como objetivo principal, comparar las reservas de carbono de los totorales y gramadales del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV; área natural protegida y sitio RAMSAR del Perú), comunidades vegetales, que por su rápido crecimiento, cuentan con un alto potencial para la captura de carbono, así como efecto remediador. Para ello, se realizaron parcelas en ambas formaciones vegetales, en las que se midió el carbono de la biomasa aérea y del suelo (hasta 20 cm de profundidad). Los resultados nos indican que el gramadal almacena 48.07 tC/ha, 20.44 tC/ha y 16.95 tC/ha en biomasa aérea, suelos de 0 - 10 cm y suelos de 10 - 20 cm, respectivamente; el gramadal mixto almacena 49.12 tC/ha, 27.06 tC/ha y 31.85 tC/ha en su biomasa aérea, suelos de 0 a 10 cm y suelos de 10 a 20 cm, respectivamente; y el totoral almacena 63.05 tC/ha, 29.42 tC/ha y 32.24 tC/ha, en su biomasa aérea, suelos de 0 - 10 cm y suelos de 10 - 20 cm, respectivamente. La reserva total de carbono almacenado en los gramadales es de 6 273.29 tC, equivalente al secuestro de 23 022.98 tCO_2; en el gramadal mixto esta reserva es de 979 tC, equivalente al secuestro de 3 596.14 tCO_2; y en los totorales, esta reserva es de 5 579.29 tC, equivalente al secuestro de 20 476 tCO_2. Asimismo, los resultados muestran que la única diferencia en el almacenamiento de carbono, entre las comunidades evaluadas, ocurre en el compartimento de 10 a 20 cm de profundidad ($p < 0.05$). Estos resultados contribuyen al conocimiento del potencial de captura de carbono en los humedales costeros de Lima, siendo el primer estudio que muestra, con este nivel de detalle, estas características de los totorales y gramadales del RVSPV.

Palabras clave: Humedal costero, carbono, totoral, gramadal, cambio climático

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

II. ABSTRACT

Carbon storage is a very important ecosystem service for the human adaptation to climate change. Recently, some studies about this service in marine and coastal ecosystems have been carried out, because they can store high amounts of carbon and for longer periods, compared to some terrestrial ecosystems. In this context, the main objective of this study was to compare the carbon stock of the cattails and grasses communities of Los Pantanos de Villa Wildlife Refuge (RVSPV, in spanish; protected natural area and RAMSAR site of Perú), being vegetable communities with fast growth and high potential to store carbon, as well as remedial effect. For this study, some plots were made in both of the vegetal communities, where aerial biomass and soil (up to 20 cm deep) carbon was measured. The results show that the grassland can store 48.07 tC/ha, 20.44 tC/ha y 16.95 tC/ha, in aerial biomass, 0 - 10 cm soil and 10 - 20 cm soil, respectively; the mixed grassland can store 49.12 tC/ha, 27.06 tC/ha y 31.85 tC/ha in aereal biomass, 0 to 10 cm soil and 10 to 20 cm soil, respectively; and cattail community can store 63.05 tC/ha, 29.42 tC/ha y 32.24 tC/ha, in aerial biomass, 0 – 10 cm soil and 10 - 20 cm soil, respectively. The total carbon stock of the grassland, is 6 273.29 tC, equivalent to the sequestration of 23 022.98 tCO_2; in the mixed grassland, the stock is 979 tC equivalent to the sequestration of 3 596.14 tCO_2; and in the cattails communities, the stock is 5 579.29 tC, equivalent to the sequestration of 20 476 tCO_2. Likewise, the results show that the only difference in carbon storage, among the studied communities, occurs in the 10 to 20 cm deep compartment ($p < 0.05$). These results contribute to the knowledge of the potential of carbon sequestration in the coastal wetlands of Lima, being the first study that shows this level of detail, in these characteristics of the cattails and grasses of the RVSPV.

Key words: Coastal wetland, carbon, cattail, grassland, climate change

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A partir de la mitad del siglo XIX han ocurrido cambios en el clima global, atribuidos principalmente al incremento en las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en la atmósfera (Grant, 2016; IPCC, 2014; IPCC, 2013). Como consecuencia de este cambio, las intensidades y frecuencias de los eventos climáticos como las lluvias, sequías, entre otros, varían (FAO, 2017; MINAM, 2015), ocasionando potenciales impactos de tipo económicos, sociales y ambientales (Stillman, 2019; MINAM, 2015; IPCC, 2014).

Al respecto, existe un creciente interés público y científico a nivel nacional (Ley N° 30754, 2018; MINAM, 2015), e internacional (Berruezo y Jiménez, 2017) por desarrollar medidas para lograr la adaptación y mitigación frente al cambio climático, siendo la protección de los stocks de carbono y la reducción de emisiones de GEI, las principales propuestas (A'an et al., 2018; Sutton-Grier y Howard, 2018; Cuellar y Salazar, 2016).

Tomando en cuenta que el Perú es un país vulnerable ante los efectos del cambio climático (Vieira, Vieira & García, 2019; MINAM, 2015), se vienen desarrollando iniciativas para incluir medidas de adaptación y mitigación en las estrategias de gestión a nivel nacional; algunas de estas medidas contemplan incrementar la investigación científica y de tecnología, con enfoque en el cambio climático, mejora e incremento de los sumideros de carbono, reducción de las emisiones y estudio de mecanismos económicos relacionados a la captura y almacenamiento de carbono (Decreto Supremo Nº 013-2019-MINAMLey N° 30754, 2018; MINAM, 2015).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Recientes investigaciones señalan que los humedales costeros constituyen sumideros importantes de carbono por unidad de área, siendo inclusive mayores a los sumideros conformados por otros sistemas terrestres, tales como bosques tropicales, bosques boreales, bosques templados (Ampuero, 2018), otros tipos de bosques terrestres (Tang et al., 2018; Howard et al., 2017a; Hribar, St. Laurent, Sutton-Grier, 2017; Nellemann et al., 2009), y algunas plantas herbáceas como la avena, arroz, maíz, cebada, trigo (Pérez et al., 2015). De esta manera, su conservación es necesaria para la adaptación y mitigación ante el cambio climático, en un enfoque basado en ecosistemas (Kabishch, Korn, Stadler y Bonn, 2017). Sin embargo, a la fecha, el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en los humedales costeros, ha sido poco estudiado en el Perú (por ejemplo, en Ampuero, 2018; Vargas, 2018; Gutiérrez, 2017; Cuellar y Salazar, 2016; Pérez et al., 2015; Cieza, 2014; Palomino y Cabrera, 2008), habiendo aún insuficiente información sobre los stocks en estos ecosistemas.

Asimismo, es fundamental estimar las cantidades de carbono que se encuentran almacenadas en los ecosistemas marino-costeros (actualmente denominado como "carbono azul"), para evaluar su potencial de uso en mecanismos económicos de retribución por servicios ecosistémicos relacionados a la captura y almacenamiento de carbono, ya que existe interés de incorporar el "carbono azul" en este tipo de mecanismos (Invemar, Carbono y Bosques y CVS, 2015; Solaun, Larrea, Genovés y Muñoz, 2013; Pendleton et al., 2012).

Uno de los humedales costeros que cuenta con gestión de conservación, es el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV) (Aponte, Ramírez y Lértora, 2018), el cual fue reconocido como sitio RAMSAR en 1997 (Resolución Presidencial N° 169-2016-

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

SERNANP, 2016), es decir, un humedal de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas (Secretaría de la Convención Ramsar, 2016).

Los Pantanos de Villa son un ecosistema clave para la ciudad de Lima, ya que le proporciona el servicio ecosistémico de captura de carbono, mitigando así parte de los efectos de la contaminación del aire (Aponte et al., 2018). Si bien se han desarrollado investigaciones previas enfocadas en la evaluación de la flora (Ramírez y Cano, 2010), en los impactos en este ecosistema a raíz de incendios (Ampuero, 2018; Vargas, 2018; Aponte et al. 2015), en la estimación de carbono en algunos totorales (Cuellar y Salazar, 2016) y en los juncales (Ampuero, 2018; Cuellar y Salazar, 2016) de este humedal, no se cuenta con investigaciones sobre la cantidad de carbono almacenado en la totalidad de las áreas conformadas por los totorales y gramadales de este pantano. Estas últimas corresponden a las comunidades vegetales que abarcan mayor extensión en el RVSPV (Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA, 1998).

El presente trabajo busca contribuir con las iniciativas para la adaptación y mitigación ante el cambio climático, generando información y conocimiento respecto a al almacenamiento de carbono en un humedal costero, siendo el primer estudio que muestra este nivel de detalle para las comunidades de totorales y gramadales. Asimismo, generará información sobre la distribución del carbono en los primeros 20 cm del suelo en las comunidades vegetales estudiadas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

IV. MARCO TEÓRICO

1. Gases de Efecto Invernadero (GEI)

La atmósfera terrestre está conformada por gases de origen natural, o derivados de las actividades humanas, que retienen radiación, los cuales generan el denominado efecto invernadero; estos GEI son principalmente el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozono (O_3) y óxido nitroso (N_2O) (IPCC, 2018).

El incremento acelerado de las concentraciones de GEI, ha ocasionado varios cambios atmosféricos, entre ellos, un aumento de la temperatura global (Grant, 2016; IPCC 2014; IPCC, 2013). Se estima que al 2017, las emisiones totales de GEI a nivel mundial, superaron los 50 $GtCO_{2e}$, luego de algunos años de estabilidad en su concentración (del 2014 al 2016) (United Nations Environment Programme, 2018). De acuerdo a recientes estudios realizados por el observatorio de Mauna Loa en Hawái, del Instituto Scripps de Oceanografía en Estados Unidos, en lo que va del año 2019, se vienen registrando valores de CO_2 muy altos (mayores a 410 ppm), en comparación con otros periodos antes evaluados, observándose una significativa tendencia de incremento en las concentraciones de este GEI (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019).

En el caso de Perú, según el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero - 2012 (INGEI, 2012), las emisiones/remociones al año 2012, superaron los 171 mil Gg de CO_{2e} (gigagramos de CO_2 equivalente), proviniendo la mayor parte de éstas (más del 50%), del uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura.

Por otro lado, la ciudad de Lima emite alrededor de 15 millones de toneladas de CO_2e por año, de acuerdo al Inventario de Gases de Efecto Invernadero realizado en el año

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

2012 para el Proyecto Huellas de Ciudades (World Wide Fund for Nature-WWF Perú y Periferia, 2019; CAF, 2016), principalmente por las actividades de transporte, seguido de los sectores industria, residencias y residuos sólidos (Figura 1).

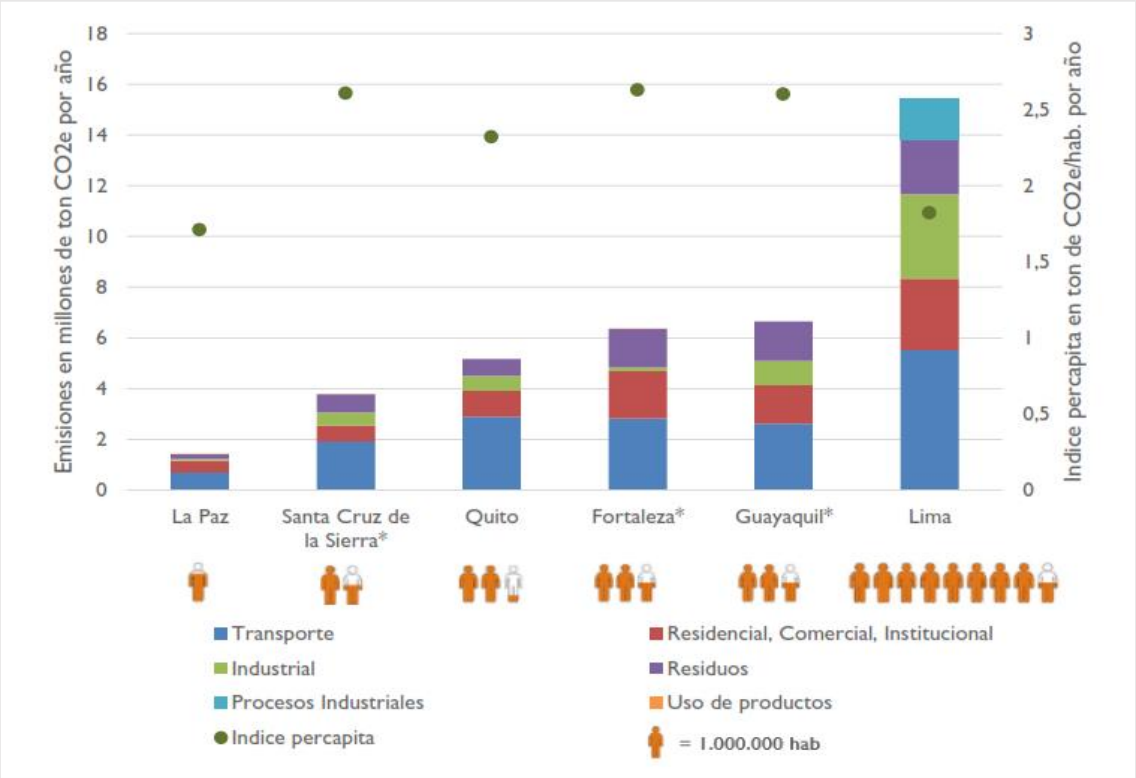


Figura 1: Resultados de la Huella de Carbono por sector, índice per cápita y población en seis ciudades (Fuente: CAF, 2016).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

2. CO_2 equivalente

El CO_2 equivalente (CO_{2e}) o $CO_{2\text{-}eq}$ es una conversión que se aplica a los demás GEI, para expresar su concentración en términos de CO_2. Esta conversión se realiza empleando el potencial de calentamiento global (PCG, o GWP por sus siglas en inglés) de cada gas (Eurostat Commission, s.f.), el cual se calcula sobre un intervalo de tiempo específico, (normalmente a 20, 100 o 500 años).

En la siguiente tabla se presentan los valores de PCG de algunos GEI, para un intervalo de 100 años:

Tabla 1: Valores de Potencial de Calentamiento Global (GWP) relativos a CO_2

Nombre Común del Gas	Fórmula Química	Valores del GWP para un horizonte de 100 años	
		Segundo Informe de Evaluación (SIE)	Quinto Informe de Evaluación (SIE)
Dióxido de Carbono	CO_2	1	1
Metano	CH_4	21	28
Óxido Nitroso	N_2O	310	265
Sustancias controladas por el Protocolo de Montreal			
CFC-11	CCl_3F	3 800	4 660
CFC-12	CCl_2F_2	8 100	10 200
CFC-13	$CClF_3$	--	13 900
CFC-113	CCl_2FCClF_2	4 800	52 820
CFC-114	$CClF_2CClF_2$	--	8 590
CFC-115	$CClF_2CF_3$	--	7 670
Hidrocarburos y otros compuestos			
Cloroformo	$CHCl_3$	4	16
Cloruro de Metileno	CH_2Cl_2	9	9
Cloruro de Metil	CH_3Cl	--	12
Halon-1201	$CHBrF_2$	--	376

Fuente: Myhre, et al. (2013). Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

3. Cambio Climático

Cuando se emplea el término "cambio climático", se suele utilizar las definiciones propuestas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (o IPCC, por sus siglas en inglés) o por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), quienes coinciden en que consiste en un cambio en el clima que puede haberse generado como consecuencia de actividades antrópicas.

Tal como se menciona en diversos estudios, a partir de mediados del siglo XIX, se ha visto un incremento en la temperatura global (también llamado calentamiento global), el cual ha conllevado a cambios en el sistema climático mundial, el cual ha sido atribuido principalmente al acelerado incremento en las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera (Grant, 2016; IPCC, 2014; IPCC, 2013). En la actualidad, esto se está reflejando en incrementos y disminuciones extremas de temperaturas y por medio de cambios en las intensidades y frecuencias de los eventos climáticos (IPCC, 2018).

De acuerdo al Informe Especial de los Impactos del Calentamiento Global de 1.5 °C sobre los niveles pre industriales, emitido por el IPCC (2018), la tendencia en el incremento de la temperatura a nivel global, es de 0.2 °C por década, en promedio; asimismo, las intensidades y frecuencias de climas extremos se detectaron cuando el calentamiento global llegó a aumentar hasta 0.5 °C. Los escenarios presentados en dicho reporte indican que los futuros riesgos asociados al clima dependerán del radio, pico y duración del calentamiento, y éstos serían mayores si el incremento de la temperatura global llegara a superar 1.5 °C de los niveles pre industriales. Esto ocasionaría incrementos en las temperaturas de algunas regiones, generando calor y frío extremos, riesgo de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

inundaciones y precipitaciones extremas o escases de estas últimas, y el incremento del nivel del mar para el año 2100 (IPCC, 2018). Respecto a la biodiversidad y ecosistemas, se estima la pérdida y extinción de algunas especies de insectos, plantas y vertebrados, si el rango de la temperatura global se mantiene hasta 1.5°C de incremento. Se proyecta, que limitando el calentamiento global a un incremento máximo de 1.5° C, en comparación con 2 °C, reduciría los impactos en un 50% aproximadamente (IPCC, 2018).

3.1. Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático

La adaptación y mitigación ante el cambio climático contempla tomar medidas para evitar o enfrentar las consecuencias que éste pueda generar en los ecosistemas o en la población humana (UNEP, 2016). Estas medidas están enfocadas principalmente en mejorar e incrementar el secuestro de carbono y en la reducción de GEI (A'an et al., 2018; Sutton-Grier y Howard, 2018; UNEP, 2016). Si bien se han creado políticas de adaptación y mitigación en conjunto, la adaptación implica amoldarse a las nuevas condiciones creadas por el cambio climático, mientras que la mitigación busca reducir los efectos del mismo fenómeno.

A partir del Protocolo de Kyoto (1992), los países que forman parte de la CMNUCC, incluyendo Perú (MINAM, 2015), suscribieron acuerdos para lograr la reducción de GEI e incluir estrategias en su gestión, para lograr la adaptación y mitigación frente al cambio climático, así como minimizar o detener el incremento de la temperatura global debido al acelerado incremento de GEI (Berruezo y Jiménez, 2017; Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático - CMNUCC, 2015).

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (Nature-Based Solutions – NBS, por sus siglas en inglés) o la Reducción de Riesgos de Desastres basada en Ecosistemas (eco – RRD),

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

son estrategias que están siendo ampliamente estudiadas y consisten en emplear los ecosistemas para contrarrestar los efectos del cambio climático por medio de los servicios ecosistémicos que éstos proveen, contribuyendo de esta manera en la adaptación y mitigación (Kabisch et al., 2017; Kumar et al., 2017; Cohen-Shacham, 2016).

En el Perú, actualmente se cuenta con algunos instrumentos de gestión para la adaptación y mitigación ante el cambio climático, como la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático-ENCC (MINAM, 2015), la Ley Nº 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático (2018), y su reglamento, aprobado mediante el Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM (2019). Mediante estos instrumentos, se tiene proyectado reducir la vulnerabilidad del Perú, relacionada a los impactos del cambio climático, identificar oportunidades para desarrollar actividades bajas en carbono y cumplir con las metas país asumidas ante la CMNCC.

Asimismo, se han formulado metas de adaptación y mitigación, plasmadas en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC, por siglas en inglés), enmarcadas en el Acuerdo de París sobre cambio climático. Estas metas propuestas tienen como finalidad lograr la reducción de las emisiones de GEI, de tal manera, que el país contribuya a evitar el incremento de la temperatura global a 2 °C (Grupo de Trabajo Multisectorial - NDC, 2018).

El presente estudio contribuye con las estrategias mencionadas, las cuales promueven la investigación científica para generar mayor conocimiento sobre los ecosistemas que proveen el servicio de secuestro y almacenamiento de carbono.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

4. Secuestro y almacenamiento de Carbono

El carbono (C) es uno de los elementos fundamentales de las moléculas orgánicas y muy importante para la vida. La dinámica de este elemento en los distintos compartimientos ambientales, como por ejemplo la atmósfera, sistemas marinos, sistemas terrestres, entre otros, conforman el ciclo biogeoquímico del carbono (Harrison, 2003).

Una de las formas más estudiadas del carbono, es el CO_2 (dióxido de carbono), por ser el GEI más abundante en la atmósfera y por su relevante implicancia en el cambio climático (Nair, Kumar, y Kumar, 2018; Harrison, 2003). Debido a ello, la reducción en las emisiones de CO_2, así como su secuestro y almacenamiento, son las propuestas de mayor interés para la adaptación y mitigación frente el cambio climático (A'an, et al., 2018; Nair et al., 2018; Callo – Concha, Krishnamurthy y Alegre, 2001).

Existen diversos métodos para el secuestro y almacenamiento de carbono, incluyendo el uso de tecnología (Ibrahim, El-Naas, Benamor, Al-Sobhi y Zhang, 2019; Figueroa, Fout, Plasynski, McIluried y Srivastava, 2007) y las Soluciones Basadas en la Naturaleza (Nature-Based Solutions – NBS, por sus siglas en inglés) las cuales consisten en emplear servicios que proveen los ecosistemas para contrarrestar los efectos del cambio climático, en este caso, a través del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono (Kabisch et al., 2017; Kumar et al., 2017; Cohen-Shacham, 2016). Dentro de los principales ecosistemas que proveen el servicio de secuestro y almacenamiento de carbono, se encuentran: el océano, los ecosistemas terrestres y ecosistemas marino costeros (Howard et al. 2017a).

Respecto a los ecosistemas terrestres y costeros, a lo largo del tiempo, las plantas se han encargado de la transformación del CO_2 en otros compuestos para su interacción a

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

través de los distintos compartimientos ambientales (Hairiah et al., 2011). Como proceso biótico, las plantas absorben el CO_2 de la atmósfera, regresando una parte de él a este medio y convirtiendo la otra parte en biomasa, a través del proceso de fotosíntesis (Lapeyre, Alegre y Arévalo, 2004). Es importante mencionar que la biomasa muerta también corresponde a un reservorio de carbono, así como el suelo, donde se puede llegar a almacenar la mayor cantidad del carbono y por periodos extensos (Ampuero, 2018).

Se vienen realizado diversos estudios enfocados en los ecosistemas costeros, principalmente en humedales costeros, debido a que se estima que éstos tienen mayor capacidad de almacenamiento de carbono en comparación con otros ecosistemas terrestres (Tang et al., 2018; Li, Bellerby, Craft y Widney, 2018). Asimismo, se ha reconocido la importancia de fomentar mayor investigación en el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono que éstos proporcionan, debido a su potencial para ser incluidos en mercados de carbono (Solaun et al., 2013).

Es importante mencionar que, al degradar los ecosistemas marino costeros, o generar cambios de uso de tierra en ellos, se libera el carbono retenido en el suelo nuevamente a la atmósfera, lo cual, desde una perspectiva económica, se ve reflejado en costos a nivel global (Murray, Pendleton, Jenkins y Sifleet, 2011). Se estima que el costo del impacto por el carbono liberado de ecosistemas marino costeros oscila entre 6.1 y 41.9 billones de dólares americanos por año (con un promedio de 18.5 billones de dólares americanos por año); tan sólo en el caso de las marismas, el costo del impacto económico promedio, es de 2.6 billones de dólares americanos por año.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

5. Carbono Azul

El carbono almacenado en los ecosistemas terrestres, como por ejemplo en los bosques, pastos, tierras agrícolas, entre otros, se denomina "carbono verde". De igual manera, el carbono almacenado en los ecosistemas marino costeros, como el mar, los pastos marinos, manglares o los humedales costeros, se denomina "carbono azul" (Howard, Hoyt, Isensee, Pidgeon y Telszewski, 2014; Solaun, 2013).

En los últimos años se ha incrementado el interés por la investigación en los ecosistemas de carbono azul, debido a que proveen distintos servicios ecosistémicos, necesarios para la adaptación y mitigación adelante el cambio climático, tales como: protección costera ante eventos naturales, provisión de peces y otros recursos hidrobiológicos, regulación del ciclo de nutrientes, tratamiento natural de calidad de agua, secuestro y almacenamiento de carbono, entre otros (Barbier, 2013). Además, las investigaciones realizadas en estos ecosistemas, muestran que son potenciales sumideros de carbono, convirtiéndolos a la vez, en potenciales fuentes de emisión de carbono, de ser degradados (International Union for Conservation of Nature-IUCN, 2017); ésta característica en los humedales costeros, ha despertado la atención de algunas organizaciones, como por ejemplo, National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA (en conjunto con grupos de investigación de zonas costeras; NOAA, s.f.), así como la IUCN (en conjunto con Conservación Internacional, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y Comisión Oceanográfica Intergubernamental; Howard et al., 2014) e investigadores de distintos países, debido a que se están degradando rápidamente y ocupan superficies relativamente pequeñas en comparación con otros ecosistemas empleados como sumideros de carbono (IUCN, 2017).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Asimismo, dichas organizaciones están realizando esfuerzos para poder incluir estos ecosistemas en los mercados de carbono, con el fin de lograr la conservación y restauración de los mismos, así como la preservación del carbono almacenado, a largo plazo, ya que también ofrecen la oportunidad a los países, de lograr sus reducciones de emisiones y sus Contribuciones Nacionales Determinadas (NDCs), en concordancia con sus compromisos asumidos ante la CMNUCC (NOAA, 2019; IUCN, 2017).

6. Humedales y carbono

En 1971 se aprobó la Convención sobre los Humedales por medio de la cual se busca conservar estos ecosistemas por su alto nivel de degradación a nivel internacional y por sus variados servicios ecosistémicos; estos servicios son importantes para la adaptación y mitigación ante el cambio climático (Secretaría de la Convención Ramsar, 2016).

Según la Convención Ramsar, los humedales son:

> *"extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros"* (Convención de Ramsar sobre los humedales, 2018, p. 12).

En el caso del Perú, la importancia de la conservación de los humedales, así como de los servicios ecosistémicos que éstos proveen, fue reconocida a través de la Estrategia Nacional de Humedales aprobada en el 2015, por medio del Decreto Supremo Nº 004-2015-MINAM, siendo a la fecha, el único instrumento nacional enfocado en humedales, ya que aún no se cuenta con un marco legal específico para ellos. En este documento se

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

mencionan los distintos servicios ecosistémicos que éstos proporcionan, algunas de las debilidades en su gestión y algunos de los retos para mejorar dicha gestión.

Diversos autores concuerdan en que los humedales costeros cuentan con una gran capacidad de almacenar carbono (Li et al., 2018; Howard et al., 2014; Figura 2). Esto ocurre en los humedales debido a que el carbono en ellos puede llegar a almacenarse por mayor tiempo debido a su alta producción primaria y secundaria, así como su capacidad para retener materia suspendida (Li et al., 2018; La Chira, 2016; Mcleod et al., 2011). Dicha materia suspendida proveniente principalmente de los sedimentos que son arrastrados por la circulación del agua y de la biomasa muerta, los cuales son descompuestos lentamente por las condiciones anaerobias que se forman en el suelo debido a la saturación de agua, acumulándose continuamente el carbono en el transcurso del tiempo (Hernández, 2010; Howard et al., 2014). Como resultado de ello, el suelo es generalmente la principal reserva de carbono en los humedales costeros, pudiéndose almacenar en promedio, entre 16 y más de 600 Mg (megagramos) de carbono por hectárea (Howard et al., 2014).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

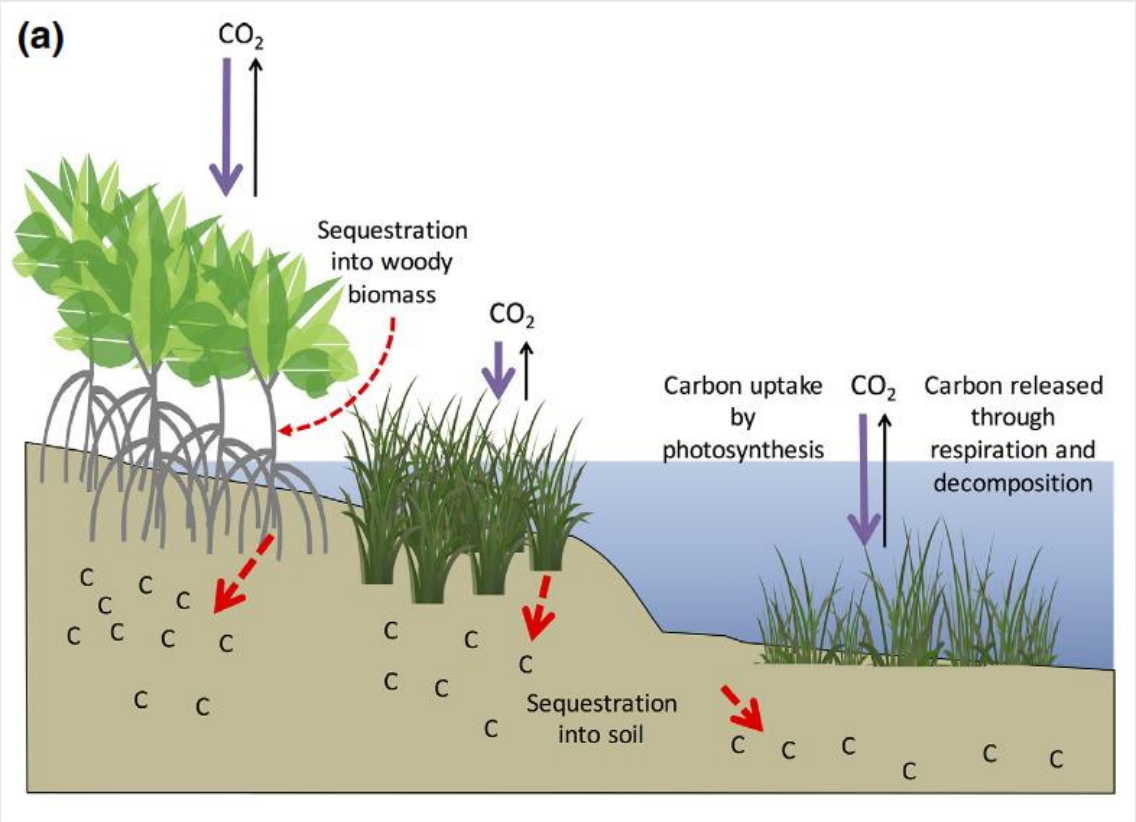


Figura 2: Captura de carbono en humedales costeros intactos (de izquierda a derecha: manglares, pantanos de marea y algas marinas) (Howard et al., 2017a).

A nivel internacional se han desarrollado varios estudios en humedales costeros, considerando el gran potencial que ofrecen estos ecosistemas como sumideros de carbono, como por ejemplo las investigaciones realizadas por Tang et al. (2018), quienes citan cantidades entre 0.25 y 0.3 Tg/año de carbono almacenado en estos ecosistemas. McKinley et al. (2018) y Howard et al. (2017a), argumentan la importancia de fomentar la conservación de los sistemas marino costeros y de los océanos por los servicios ecosistémicos que estos proveen, como estrategia para impulsar la economía azul, es decir, las actividades económicas basadas en el océano o en los sistemas costeros y reducir de esta manera su explotación y degradación. Sifleet, Pendleton y Murray (2011), estimaron que el carbono secuestrado en el compartimiento de la biomasa de un grupo de marismas evaluadas (06 en total), se encontró en un rango de 5.1 a 18.3 $MgCO_{2eq}$/ha; asimismo, el total del carbono almacenado en los primeros

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

100cm del suelo de 126 marismas, se encontró en un rango de 174 a 6967 $MgCO_{2eq}$/ha; entre otros.

Las extensiones ocupadas por los humedales costeros y otros tipos de humedales han ido disminuyendo a lo largo del tiempo (sobre todo en los últimos 45 años) debido a la presión ejercida por las actividades humanas (Convención de Ramsar sobre los humedales, 2018). Esto ha generado preocupación, debido a que existe el riesgo de que algunos humedales se conviertan en potenciales emisores de CO_2, (Ampuero, 2018; Howard et al., 2014; Hernández, 2010).

Otro de los GEI liberados por los humedales, es el metano (CH_4); sin embargo, en el caso de los humedales costeros salinos y salobres, las emisiones de este GEI suelen ser menores, en comparación con su gran capacidad de retención de CO_2 (Adams, 2015; Sifleet, et. al, 2011; Chmura, Anisfeld, Cahoon y Lynch, 2003).

7. Reservas de Carbono en los Humedales Costeros de Lima

Según el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2018), en la Región Lima (incluyendo Callao), se cuenta con 20 humedales costeros, los cuales ocupan en total, una superficie aproximada de 2 684.69 Ha.

Si bien el estudio del servicio ecosistémico de captura de carbono en estos ecosistemas es aún reducido en el Perú, se ha podido identificar la existencia de algunas investigaciones relacionadas a ello en la región de Lima, las cuales se mencionan a continuación:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Ampuero (2018), quien realizó una estimación comparativa de la captura de carbono en juncales del RVSPV bajo dos escenarios; un área afectada por incendio y un área en condiciones naturales. Los resultados de esta investigación indicaron que la zona en condiciones naturales almacenó mayor cantidad de carbono en comparación con la zona incendiada (aproximadamente 43% más en biomasa herbácea y 39% más en suelo y raíces).

- Vargas (2018), estimó la emisión de CO_2 y el impacto en el suelo por un incendio ocurrido en el RVSPV, obteniendo como resultado, que la emisión este gas por la ocurrencia del incendio, fue de 20.83 Kg/m^2, y se comprobó la existencia de variación en las características químicas de los suelos afectados por el incendio, en comparación a las áreas en condiciones naturales, principalmente en los parámetros pH y CE.

- Gutiérrez (2017), estimó la captura de CO_2 en el juncal del Área de Conservación Regional la Albufera de Medio Mundo, obteniéndose como resultado, la captura de 4 378.76 tC/ha, equivalente a 16 070.15 tCO_2.

- Cuellar y Salazar (2016), estimaron la captura de carbono en totora y junco en el RVSPV, obteniéndose como resultado, la captura de 36.4 tC/ha en los totorales y 32.0 tC/ha en el juncal evaluados.

- Cieza (2014), estimó la captura de dióxido de carbono de la flora del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla (en *Salicornia Fructicosa, Cyperus larvigatus, Sporobulus virginicus* y *Scirpus californicus*), obteniéndose

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

como resultado, una captación de 31.53 tC/ha en *Scirpus californicus* (totora) y 22.78 tC/ha en la comunidad vegetal de *Sporobulus virginicus* (gramadal).

- Palomino y Cabrera (2008), estimaron el servicio ambiental de la captura de CO_2 en la vegetación de los humedales de Puerto Viejo para evaluar la cantidad de este GEI que se estaría liberando al ambiente en caso este humedal sea degradado por quema de biomasa o cambios en el uso de suelo. Los mayores resultados de captura de CO_2 correspondieron a las comunidades vegetales de totoral y juncal, con 73.7 y 40.6 tCO_2/ha, respectivamente, seguido de la grama salada, con 40.4 tCO_2/ha y salicornia, con 12.10 tCO_2/ha.

8. Reserva de Carbono en otros ecosistemas

A continuación, se presenta los resultados obtenidos en otras investigaciones de captura de carbono realizadas en distintos ecosistemas del Perú:

- Alvis (2018) evaluó bofedales ubicados en Caylloma, Arequipa, encontrándose 4.77 tC/ha en biomasa aérea y 218.28 tC/ha en el suelo (hasta aproximadamente 30 cm de profundidad).

- Arévalo (2018) estimó la captura de carbono en Tillandsiales de Lima, obteniendo como resultado 1.1 tC/ha, siendo el suelo, el reservorio con mayor cantidad de carbono.

- Pelinco (2018), quien estimó la captura de carbono en la biomasa de la totora (tallo aéreo y sumergido), así como las raíces y rizomas, de un totoral altoandino, obteniendo como resultado promedio (por el método de Wakley Black), 13.12 tC/ha.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Pérez et al. (2015), quienes obtuvieron como resultado, la captación de 84.05 tCO_2/ha correspondientes a la parte aérea y raíces de totora en un humedal costero de Perú (Humedales de Villa María, Ancash).

- Medrano et al. (2012), evaluó el almacenamiento de carbono en bofedal, totoral y pajonal del Lago Chinchaycocha, determinando que la biomasa aérea de la totora (especie *Schoenoplectus californicus Var. Tatora*) captura 30.65 tC/ha.

- Laperyre et al. (2004), menciona los siguientes valores de carbono en biomasa aérea: 1.7, 4.4 y 2.3 tC/ha en cultivos de arroz, maíz y pastos, respectivamente, y más de 20 y 50 tC/ha en sistemas agroforestales de café y cacao respectivamente.

9. Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa

El Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV), es un humedal ubicado en Chorrillos, Lima, en la Costa Central Peruana, a la altura del kilómetro 18 de la antigua Panamericana Sur y está localizado en la región ecológica Desierto Costero (Ampuero, 2018; Pulido y Bermúdez, 2018) (ver la Figura 3).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

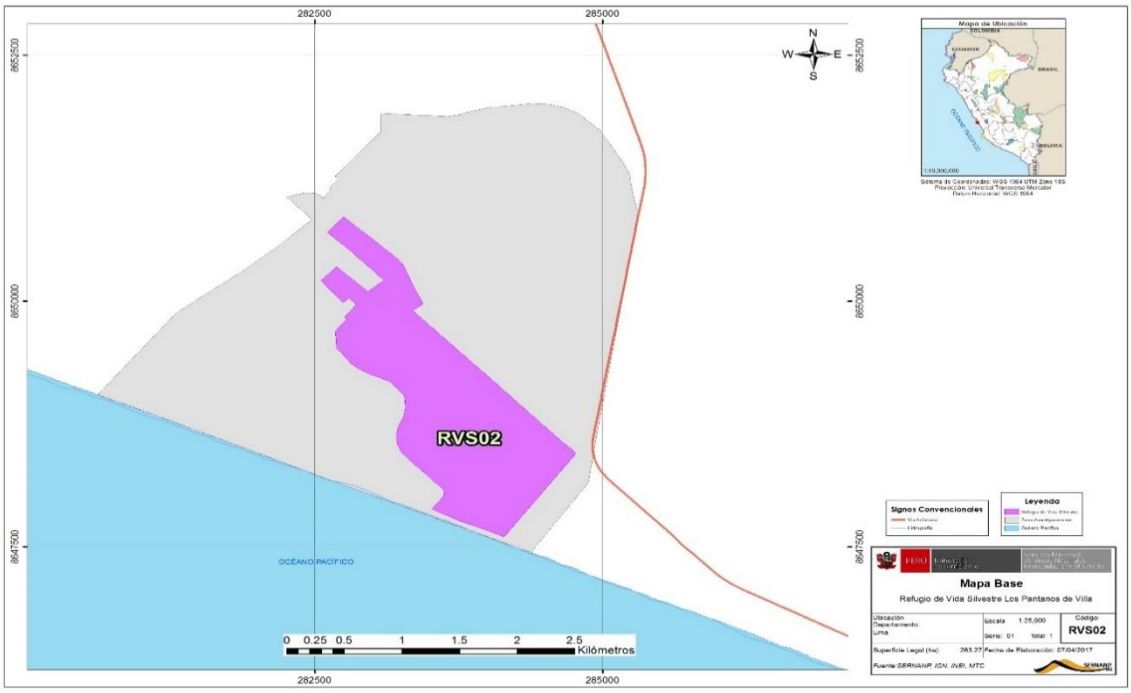


Figura 3: Mapa Base del RVSPV (Fuente: Servicio Nacional de Áreas Naturales protegidas por el Estado, s.f. Recuperado de: http://www.sernanp.gob.pe/los-pantanos-de-villa).

Las tierras donde se encuentra actualmente este humedal costero, alrededor del siglo diecinueve, formaron parte de una Hacienda (la Hacienda Villa), la cual estaba conformada por dos grandes lagunas, tierras agrícolas y ganaderas (Aponte et al., 2018; INRENA, 1998). Con el transcurso del tiempo, se fueron originando los Pantanos de Villa, gracias al sistema del acuífero Ate-Surco-Chorrillos, alimentado por infiltración del agua del río Rímac (INRENA, 1998). Actualmente, los cuerpos de agua que conforman el RVSPV continúan alimentándose del agua subterránea proveniente del río Rímac y de otros sistemas hídricos que derivan aguas de riego y otros afloramientos (Pulido y Bermúdez, 2018; R.P. Nº 169-2016-SERNANP; Aponte y Cano, 2013).

Respecto a su condición como Área Natural Protegida (ANP), los Pantanos de Villa inicialmente estuvieron considerados como parte del Patronato de Parques Nacionales (1964); posteriormente, el gobierno central entregó la administración de parte de este humedal a la Municipalidad Metropolitana de Lima (1977) y en 1989 se cambia su

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

categoría a Zona Reservada, de acuerdo a la Resolución Ministerial Nº 00144-89-AG/DGFF, en la cual se reconocieron como tal, 396 ha (Aponte et al., 2018). Posteriormente, a partir de enero de 1997, los Pantanos de Villa fueron reconocidos como sitio Ramsar o humedal de importancia internacional (R.P. Nº 169-2016-SERNANP), de tipo 8 (pantanos intermareales) y tipo 10 (lagunas salinas con una o más conexiones con el mar) en el marco de la Convención RAMSAR, especialmente como hábitat de aves acuáticas (INRENA, 1996). Este humedal brinda refugio a una gran cantidad de aves migratorias y residentes (R.P. Nº 169-2016-SERNANP), y forma parte de un corredor biológico costero de ciertas aves migratorias (Aponte et al., 2018; Pulido y Bermúdez, 2018). Dentro de esta categorización (como sitio Ramsar), fueron reconocidas 263 ha para su protección. Finalmente, en setiembre de 2006, por medio del Decreto Supremo Nº 055-2006-AG se cambió la categorización de Zona Reservada Los Pantanos de Villa, a Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, sobre 263.27 ha, siendo esta su categorización definitiva (Aponte et al., 2018).

A pesar de ser un Área Natural Protegida, este humedal no es ajeno a los impactos originados por la población, ya que se ha registrado la ocurrencia de algunos incendios de origen antrópico (Aponte et. al, 2015), desecho de residuos (como por ejemplo de desmontes), ocupación de tierras del pantano, por crecimiento urbano y alteración de los flujos de agua que alimentan el RVSPV (Aponte et. al, 2018; Pulido y Bermúdez, 2018). Se estima que la extensión de este humedal se ha reducido en más de 80% desde inicios del siglo pasado, hasta la actualidad (Pulido y Bermúdez, 2018).

La importancia de conservar los humedales costeros, como es el caso del RVSPV, se sustenta en la variedad de bienes y servicios ecosistémicos que proporcionan como por

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ejemplo su potencial para turismo, belleza escénica, refugio de biodiversidad, provisión de especies de interés socio-económico (Aponte et. al, 2018; Ampuero, 2018; Barbier et. al, 2011). La resiliencia ante la ocurrencia de desastres en las zonas costeras (Kumar et. al, 2017), y el almacenamiento de carbono de estos ecosistemas (Howard, et. al, 2017a) son necesarios para la adaptación y mitigación frente al cambio climático (Kabisch et al., 2017; European Commission, 2016).

En este contexto, el RVSPV se seleccionó para desarrollar la presente investigación, tomando en cuenta que es un Área Natural Protegida (ANP), y tal como se indica en el D.S. Nº 10-2015-MINAM, a nivel nacional es prioridad la ejecución de investigaciones en ellas. Asimismo, dentro de los temas prioritarios de investigación en las ANP, se encuentran los estudios de los servicios ecosistémicos, adaptación al cambio climático y almacenamiento de carbono (D.S. Nº 016-2009-MINAM), los cuales son temas que aborda la presente investigación. Además, el RVSPV es un ecosistema clave, tomando en cuenta que, como se mencionó anteriormente, proporciona el servicio ecosistémico de captura de carbono y se encuentra ubicado en plena urbe de la ciudad de Lima. Asimismo, a pesar de estar influenciado por constantes impactos humanos, el RVSPV es uno de los humedales costeros en los cuales se realizan múltiples esfuerzos para su conservación (Ampuero, 2018; Aponte et. al, 2018).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

10. Totorales y Gramadales

La presente investigación se realizó en los totorales y gramadales del RVSPV, debido a que son las comunidades vegetales que abarcan mayor extensión en el RVSPV, tal como se puede observar en el Mapa de Cobertura Vegetal del RVSPV (actualizado), adjunto en el Anexo 1 y también tomando en cuenta que son comunidades frecuentes en los humedales costeros de Lima (Aponte y Cano, 2013; Aponte y Ramírez, 2011).

Los totorales del RVSPV, están principalmente conformados por *Typha domingensis* (de nombre común "totora"), especie que llega a medir hasta tres metros de altura y es de rápido crecimiento. Esta especie se puede encontrar también, junto con *Cladium jamaicense* (de nombre común "corta corta"), cuyo porte es similar al de la totora, formando comunidades mixtas de ambas especies. Estas comunidades vegetales se encuentran principalmente bordeando los cuerpos de agua, en los suelos inundados y son empleadas por algunas aves para anidamiento (Aponte et al., 2018; Pulido y Bermúdez, 2018; R. P. N° 169-2016-SERNANP, 2016). Asimismo, la totora es de importancia socio-económica, ya que es extraída por totoreros autorizados, para la elaboración de artesanías, entre otros (Aponte et al., 2018; R. P. N° 169-2016-SERNANP, 2016).

Por otro lado, los gramadales corresponden a la comunidad vegetal más extensa del RVSPV. En ellos se encuentran tres principales especies de gramas: *Paspalum vaginatum, Sporobolus virginicus,* y *Distichlis spicata,* formando generalmente comunidades conformadas por al menos dos de estas especies (Aponte et al., 2018). Además, se ha podido identificar gramadales asociados a *Schoenoplectus americanus* (junco) (R. P. N° 169-2016-SERNANP, 2016).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Los gramadales en el este humedal, pueden encontrarse sobre suelos que cuentan con distintas condiciones, como alta salinidad, suelos saturados o en suelos arenosos (Aponte et al., 2018). Adicionalmente, esta comunidad vegetal alberga abundancia de arañas, por lo que constituye zonas de alimentación para algunos reptiles y aves (R. P. N° 169-2016-SERNANP, 2016).

11. Mecanismos de Mercado de Servicios Ecosistémicos

Debido al gran potencial de los ecosistemas marino costeros como sumideros de carbono y a las preocupantes tasas de pérdida de estos ecosistemas, su inclusión en los mecanismos de mercados de servicios ecosistémicos, similares a REDD+ (aplicado en bosques), o Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL o CDM, por sus siglas en inglés), se presentan como una alternativa oportuna para corregir este problema, y por lo tanto retener el carbono que se encuentra secuestrado en ellos (principalmente en sus suelos), en vez de que sea liberado al ambiente (Vanderklift, et al., 2019; McKinley et al., 2018; Howard et al., 2017b; Lovelock & McAllister, 2013; Solaun et al., 2013; Murray et al, 2011).

V. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1. Objetivo Principal

- Comparar las reservas de carbono de los totorales y gramadales del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV).

2. Objetivos Específicos

- Estimar las extensiones de las áreas conformadas por los totorales y gramadales del RVSPV.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Estimar la cantidad de carbono almacenado en los compartimientos biomasa aérea y en el suelo (hasta 20 cm de profundidad) de los totorales y gramadales del RVSPV.

- Utilizando análisis estadísticos, comparar los resultados obtenidos para las comunidades vegetales gramadales y totorales.

3. Hipótesis

En vista que la fisionomía de los totorales aparenta tener una mayor biomasa que los gramadales, se espera que la cantidad de carbono almacenado en los totorales del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa sea mayor que la cantidad almacenada en los gramadales de este humedal.

VI. METODOLOGÍA

Para el presente estudio, se empleó la metodología propuesta por "The Blue Carbon Initiative" (Howard et al., 2014). Ésta consistió principalmente en la toma de muestras de campo (compartimientos a ser evaluados), preparación de las muestras recolectadas, para los posteriores análisis de laboratorio (para estimar los pesos secos y porcentajes de carbonos), y finalmente, análisis y cálculos correspondientes a la estimación de las reservas de carbono en las áreas conformadas por los gramadales y totorales del RVSPV, así como el análisis de su potencial uso en mecanismos económicos relacionados a la captura y almacenamiento de carbono.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Los compartimientos de carbono evaluados en ambas comunidades vegetales, se mencionan a continuación:

- Biomasa Aérea (BA): Constituida por la biomasa seca (BM) y biomasa viva (BV) de la planta, encontrada sobre el suelo.

- Suelo (SU): Se evaluó hasta 20 cm de profundidad (de 0 a 10 y de 10 a 20 cm), tomando en cuenta que, generalmente, la mayor acumulación de carbono, se encuentra en los primeros centímetros del suelo (Ampuero, 2018; Cieza, 2014; Bernal y Mitsch 2008). Como parte de este compartimiento, se consideraron las raíces y rizomas, como se encuentra recomendado en la metodología que se empleó (Howard et al., 2014).

Cabe mencionar que, el presente estudio se ejecutó contando con el correspondiente permiso de colecta establecido por R.J. N°001-2018-SERNANP, el cual fue otorgado al proyecto "Estimación y valoración del Stock de Carbono en el RVS Pantanos de Villa" (Anexo 2) en cuyo marco se desarrolló la presente tesis.

1. Área de Estudio

La presente investigación se realizó en las comunidades vegetales "totorales" y "gramadales" del sitio Ramsar Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Lima, en las coordenadas 12°12'43.18"S, 76°59'24.75"O (referenciales), entre 0 y 5 m.s.n.m. Este humedal se encuentra en el litoral costero y colinas a sus alrededores, que llegan hasta 300 m.s.n.m, posicionándose entre la superficie continental y el mar (Pulido y Bermúdez, 2018; Figura 4).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

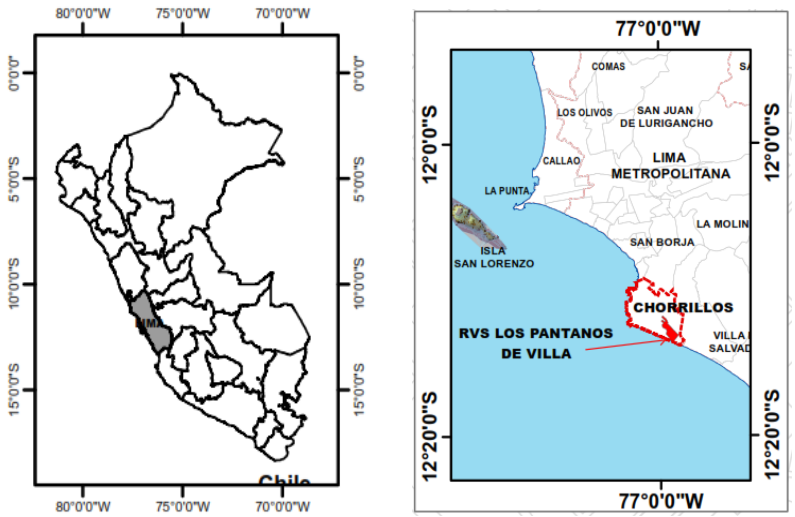


Figura 4: Ubicación del RVSPV. Fuente: Mapa de Cobertura Vegetal del RVSPV, elaborado por: Héctor Aponte, Dámaso W. Ramírez, Gustavo Lértora, Fernando Gil Villacres (2018).

2. Estimación de las áreas de totorales y gramadales

Para estimar las extensiones de las áreas conformadas por los totorales y los gramadales del RVSPV, se ejecutaron visitas *in situ*, en las cuales se realizó un reconocimiento (visual)de campo, se tomaron fotografías y se georreferenciaron puntos determinados de las comunidades vegetales que conforman el RVSPV. Con la información recolectada a partir de las visitas en mención, se actualizó el "Mapa de Comunidades Bióticas" del RVSPV, del Plan Maestro del RVSPV periodo 2016-2020, para lo cual se empleó el software ArcGis, además de imágenes satelitales disponibles de Google Earth, 2018 (ver el Mapa de Cobertura Vegetal del RVSPV en el Anexo 1).

Para la presente investigación, se evaluaron las reservas de carbono almacenado en las comunidades vegetales "totoral", "gramadal" y sus respectivas vegetaciones mixtas. En el caso de los totorales, éstos se encontraron principalmente conformados por *Typha domingensis* y también se encontraron juntocon *Cladium jamaicense*, formando comunidad mixta con *T. domingensis*. A la comunidad comunidad asociada al "corta

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

corta" se le denominó "totoral mixto" (Anexo 3). Por otro lado, en los gramadales, principalmente se encontraron tres especies de gramas: *Paspalum vaginatum, Sporobolus virginicus y Distichlis spicata. Éstas*comunidades vegetales, generalmente se encontraron conformadas por al menos por dos de dichas especies. Se identificaron también gramadales asociados a la especie *Schoenoplectus americanus*; a esta comunidad mixta se le denominó "gramadal mixto" (Anexo 2).

3. Determinación de los sitios de muestreo

Los sitios donde se colocaron las parcelas de muestreo, fueron seleccionados de manera estratificado-aleatoria (considerando las recomendaciones de Howard et al., 2014), teniendo como referencia, las áreas estimadas para las comunidades vegetales totoral, gramadal y sus vegetaciones mixtas. Las comunidades de totorales y gramadales, mixtas (totoral mixto y gramadal mixto) o puras (ver la Figura *5*), conformaron los estratos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 5: Ubicación de los transectos donde se colocaron las parcelas de muestreo.

En cada estrato se colocaron transectos de 10 metros, en donde se ubicó aleatoriamente parcelas de 0.5m x 0.5m. El número de transectos estuvo determinado por la evaluación de la suficiencia del muestreo; para ello se elaboraron curvas de performance para las comunidades vegetales en estudio (Elzinga et al., 2015), utilizando los pesos frescos registrados en cada parcela (ver las curvas de performance en el Anexo 4).

En cada uno de estos transectos, se evaluaron 4 parcelas, las cuales fueron distribuidas de manera aleatoria, haciendo un total de: 12 para gramadal, 12 para totoral y 8 parcelas para el gramadal mixto.

Solo para el caso del totoral mixto, se establecieron adicionalmente 3 transectos para *Cladium jamaicense* "corta-corta", que se encuentra asociado al totoral, y en cada uno

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

de estos transectos se evaluaron 4 parcelas distribuidas de manera aleatoria (12 parcelas en total), con el fin de poder estimar el aporte de captura de carbono del "corta-corta" en la comunidad de totoral mixto, esto debido a que, por el tamaño de los parches que formaban las especies, no fue posible obtener *T. domingensis y Cladium jamaicense* dentro de una misma parcela. Por el contrario, en el caso del gramadal mixto, dentro de las parcelas evaluadas se encontró tanto "junco", como gramas asociados, motivo por el cual no fue necesario evaluarlos por separado.

Según lo descrito y considerando las curvas de performance, se realizaron 44 parcelas en total distribuidas de la siguiente manera:

- 3 transectos para el gramadal, con 12 parcelas en total
- 2 transectos para el gramadal mixto, con 8 parcelas en total
- 3 transectos para el totoral, con 12 parcelas en total
- 3 transectos para la zona con corta-corta, con 12 parcelas en total; estos datos fueron utilizados para componer el totoral mixto.

4. Muestreo

En cada una de las parcelas, se colocó un cuadrante de 50 cm x 50 cm, cuyo tamaño fue propuesto tomando en cuenta las dimensiones recomendadas para humedales (Howard et al., 2014); se cortó la vegetación al ras del nivel del suelo, y se fue recolectando toda la muestra fresca de biomasa aérea (BA) dentro de la parcela. Esta biomasa se pesó in situ y se registró su peso fresco (PFx), dato que se empleó luego, como se describe en el ítem 7 de la presente metodología. Cabe mencionar que en el caso del corta-corta, totoral y junco (del gramadal mixto), tanto la biomasa aérea viva,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

como la biomasa aérea muerta (seca), fueron pesadas por separado; en el caso de las gramas, no fue posible discriminar ambos tipos de biomasa, motivo por el cual se registró el peso fresco (PFx) de la biomasa aérea total.

Posterior al retiro de toda la biomasa aérea (BA) de la parcela, se tomaron 02 (dos) muestras del suelo, utilizando un barreno: una de las muestras fue extraída de los primeros 10 cm (0 a 10 cm de profundidad), y la otra, de los siguientes 10 cm (de 10 a 20 cm de profundidad). Cuando no fue posible extraer muestras del suelo utilizando el barreno, como sucedió en algunas parcelas de totora y de corta-corta, se procedió de la siguiente manera: se extrajo un bloque de 20 cm x 20 cm x 20 cm del suelo, y de dicho bloque, se obtuvieron 02 (dos) muestras: 01 (una) de 0 a 10 cm y 01 (una) de 10 a 20 cm de profundidad, utilizando un cilindro para muestreo de suelos. Las muestras extraídas fueron colocadas en bolsas plásticas (las cuales fueron rotuladas), para luego emplearlas en los respectivos análisis de laboratorio, para determinar el peso seco (PSx) y densidad aparente de las capas de suelo evaluadas (ver los ítems 6 y 7 de la metodología, más adelante).

Adicional a las muestras mencionadas en el párrafo precedente, se extrajo 01 (una) muestra de biomasa aérea, correspondiente a cada comunidad vegetal evaluada (cada una de aproximadamente 100 gr) y de igual manera, fueron colocadas en bolsas plásticas, respectivamente rotuladas. Estas muestras fueron utilizadas para determinar el peso seco (PSx) de cada especie (totora, grama, junco y corta-corta) en el laboratorio, como se describe posteriormente en el ítem 6 de la metodología.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

5. Determinación del porcentaje de carbono de las muestras

Para determinar el porcentaje de carbono en el suelo, se recolectaron dos muestras de cada parcela, cada una de aproximadamente 250 gr: 01 (una) de 0 a 10 cm y 01 (una) de 10 a 20 cm.

Los porcentajes de carbono en biomasa vegetal de las especies en estudio, fueron tomados de Vargas (2018); los cuales corresponden a muestras recolectadas en el RVSPV y evaluadas bajo la técnica empleada por Walkley & Black; esta técnica principalmente consiste en oxidar la materia orgánica de las muestras, mediante el uso de $K_2Cr_2O_7$ (oxidante), en exceso, y H_2SO_4. Luego, esta solución es titulada con FeSO4, lo cual permite estimar el exceso del $K_2Cr_2O_7$, y en base a ello, el contenido de carbono se calcula con la diferencia de la cantidad de $FeSO_4$ utilizado en un banco, y el utilizado en la solución con las muestras (Tsao, 2017; Maquera, 2017); dicho procedimiento ha sido anteriormente utilizado para conocer el porcentaje de carbono en humedales de la costa de Lima (Pérez et. al, 2015; Cieza, 2014; Palomino y Cabrera, 2008).

6. Estimación del Peso Seco

El peso seco (PSx) correspondiente a cada compartimiento evaluado, se determinó en el laboratorio de Investigación de Biología Marina, de la Universidad Científica del Sur. Las muestras de biomasa vegetal y de suelo, fueron colocadas en bolsas de papel (muestras de biomasa vegetal) y placas Petri (muestras de suelo), y fueron llevadas a la estufa, empleando temperaturas entre 60 ºC y 70 ºC, en intervalos entre 24 y 72 horas (hasta que se obtuvieran pesos constantes).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

El peso que se registró para cada uno de los compartimientos luego de haber secado en la estufa fue denominado peso seco (PSx), el cual se empleó como se describe a continuación.

7. Determinación de las reservas de carbono en cada uno de los compartimientos

7.1. Carbono en la biomasa aérea

Para calcular el carbono en este estrato se necesitaron realizar varios cálculos previos. Primero, el porcentaje de humedad de la BA de cada especie (%H), se obtuvo mediante el siguiente cálculo:

$$\%H = (PF_x - PS_x)/PF_x \times 100$$

Donde:

- PF_x es el peso fresco de cada especie, registrado durante la etapa descrita en el numeral 4 de la metodología.
- PS_x es el peso seco de cada especie, determinado durante la etapa descrita en el numeral 6 de la metodología.

Luego, para estimar el porcentaje del peso seco de la biomasa aérea de cada especie (%PSx) se empleó en la siguiente relación:

$$\%PS_x = 100 - \%H$$

Donde:

- %H es el porcentaje de humedad de la biomasa aérea (BA) de cada especie.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En seguida, para estimar el Peso seco de cada especie por parcela (PS_x) se multiplicó el $\%PS_x$ por el PF_x.

Finalmente, la estimación de carbono contenido en la biomasa aérea de cada parcela (C_x), se determinó como se muestra a continuación:

$$\mathbf{C_x = PS_x \times \%C_x}$$

Donde:

- PS_x es el peso seco la biomasa aérea de cada una de las parcelas, expresado en gramos.
- $\%C_x$ es el contenido de carbono de cada especie (tomado de Vargas, 2018).

El contenido de carbono en la biomasa aérea (BA) fue convertido a toneladas de carbono por hectárea (tC/ha).

7.2. Carbono en el suelo

El carbono contenido en el suelo se determinó utilizando la densidad aparente y profundidad de las muestras, como muestra a continuación:

$$\mathbf{D1\ (g/cm^3) = PSSU\ (g) / VM\ (cm^3)}$$

$$\mathbf{D2\ (g/cm^3) = D1\ (g/cm^3) \times \%C}$$

$$\mathbf{CSU\ (gC/cm^2) = D2\ (gC/cm^3) \times h\ (cm)}$$

Donde:

- D1 es la densidad aparente de la muestra seca del suelo, expresada en gramos por centímetros cúbicos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- PSSU es el peso seco del suelo determinado durante la etapa descrita en el numeral 6, expresado en gramos.
- VM es el volumen original de la muestra, en centímetros cúbicos.
- D2 es la densidad del carbono del suelo, expresada en gramos por centímetros cúbicos.
- % C es el contenido de carbono de la muestra (obtenido del resultado reportado por el laboratorio de la UNALM).
- CSU es el contenido total del carbono almacenado en el suelo, en gramos por centímetro cuadrado.
- h es la profundidad de la muestra, en centímetros.

Este proceso se realizó para calcular el carbono almacenado de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Los resultados correspondientes al contenido de carbono en el suelo, se elevaron a toneladas de carbono por hectárea (tC/ha).

8. Estimación de las reservas de carbono por compartimiento, de cada comunidad

Luego de haber obtenido la cantidad de carbono (tC/ha) de cada compartimiento (biomasa aérea, y suelo de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de profundidad), este se multiplicó por el área que ocupa la comunidad vegetal a la que corresponde (ha), dando como resultado, las reservas de carbono por compartimiento de cada comunidad (tC).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

9. Estimación del stock de CO_2 en los gramadales y totorales del RVSPV

El stock de CO_2 de los gramadales y totorales del RVSPV se estimó multiplicando las reservas de carbono de estas comunidades (expresadas en tC/ha), por 3.67 (valor que corresponde al cociente de los pesos moleculares del CO_2 y del carbono, es decir 44/12).

10. Análisis estadísticos

Se ejecutaron análisis estadísticos de tipo descriptivos (coeficientes de variación y promedios) para todos los datos, por compartimiento y por comunidad vegetal, utilizando el software estadístico PAST 3.21 (Hammer et al. 2001). Posteriormente, se verificó la normalidad de los datos, al comparar las reservas de carbono por compartimiento, de cada comunidad, con la prueba de Shapiro-Wilk; en vista de que al menos una de las comunidades mostró no tener distribución normal para los compartimentos comparados ($p<0.05$), se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, y cada vez que ésta mostró diferencias, se efectuó la prueba a posteriori de Mann Whitney.

VII. RESULTADOS

1. Áreas de los totorales y gramadales

En la siguiente tabla se presenta las áreas correspondientes a las comunidades vegetales estudiadas. Asimismo, estas áreas se muestran de manera gráfica en el Mapa de Cobertura Vegetal del RVSPV (Anexo 1).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 2: Áreas de los Gramadales y Totorales en el RVSPV

Comunidad Vegetal	Área (en hectáreas)	Porcentaje de superficie que ocupan en el RVSPV (%)
Totoral	44.74	25.11
Totoral Mixto (*T. domingensis y Cladium jamaicense)*	21.38	
Gramadal	73.40	31.32
Gramadal Mixto (Gramas y *Schoenoplectus americanus*)	9.07	

Fuente: Mapa de Cobertura Vegetal del RVSPV. Elaborado por: Héctor Aponte, Dámaso W. Ramírez, Gustavo Lértora, Fernando Gil Villacres (2018).

2. Reservas de Carbono en los Totorales y Gramadales del RVSPV

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos para: pesos frescos y secos promedio, densidad aparente promedio del suelo y porcentajes de carbono, así como las reservas de carbono promedio obtenidas en los compartimientos biomasa aérea (BA), suelos de 0 a 10 cm y suelos de 10 a 20 cm de profundidad, respectivamente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 3: Pesos frescos y secos promedio, densidad aparente promedio del suelo y porcentajes de carbono obtenidos en los compartimientos biomasa aérea (BA), suelos de 0-10 cm y suelos de 10-20 cm de profundidad, respectivamente.

Comunidad Vegetal	Reservorio de carbono (compartimento)	Peso Fresco promedio (gr/m²)	Peso Seco promedio (gr/m²)	Densidad aparente promedio (gr/cm³)	% Carbono
Gramadal	Biomasa aérea (BA)	16 410.00	9 880.75 (≈60.2%)	--	48.65
	Suelo 0-10 cm	--	--	0.719	7.32
	Suelo 10-20 cm	--	--	0.862	5.69
Gramadal Mixto	Biomasa viva (BV)	11 775.00	3 407.66 (≈28.9%)	--	(a)
	Biomasa seca (BM)	10 075.00	6 264.64 (≈62.2%)	--	
	Suelo 0-10 cm	--	--	0.536	7.01
	Suelo 10-20 cm	--	--	0.709	5.01
Totoral	Biomasa viva (BV)	5 183.33	1 000.00 (≈19.2%)	--	48.98
	Biomasa seca (BM)	18 366.67	11 877.72 (≈64.7%)	--	
	Suelo 0-10 cm	--	--	0.111	27.50
	Suelo 10-20 cm	--	--	0.121	29.28
Totoral Mixto	Total de compartimientos evaluados (50% de totoral y 50% de corta-corta)	(a)	(a)	(a)	(a)
Corta-Corta	Biomasa viva (BV)	8 200.00	3 173.30 (≈38.7%)	--	46.33
	Biomasa seca (BM)	23 816.67	18 100.67 (≈76.0%)	--	
	Suelo 0-10 cm	--	--	0.135	24.95
	Suelo 10-20 cm	--	--	0.127	24.15

(a) Se emplearon los datos correspondientes a las comunidades que lo conforman.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 4: Reservas promedio de carbono obtenidas en los compartimientos: biomasa aérea (BA), suelos de 0-10 cm, suelos de 10-20 cm de profundidad y por comunidad vegetal evaluada. Para el carbono por compartimiento, por hectárea, se presenta los promedios, coeficientes de variación (±) y valores mínimos y máximos (mínimo-máximo).

Comunidad Vegetal	Reservorio de carbono (compartimiento)	Carbono por compartimiento, por hectárea (tC/Ha)	Reserva de carbono, por hectárea (tC/ha)	Área de la comunidad vegetal (ha)	Reserva de carbono por compartimiento, por comunidad (tC)	Reserva de carbono por comunidad (suma de compartimentos; tC)	Stock Total de CO_2 por comunidad vegetal (tCO_2)	CO_2 almacenado por comunidad, por hectárea (tCO_2 /ha)
Gramadal	Biomasa aérea (BA)	48.07 ± 88.22 (0.76-114.25)	85.47	73.40	3 528.49	6 273.29	23 022.98	313.66
	Suelo 0-10 cm	20.44 ± 127.66 (2.58-71.96)			1 500.38			
	Suelo 10-20 cm	16.95 ± 142.03 (1.15-80.85)			1 244.42			
Gramadal Mixto	Biomasa aérea (BA)	49.12 ± 63.76 (17.34-121.03)	108.03	9.07	445.48	979.87	3 596.14	396.49
	Suelo 0-10 cm	27.06 ± 42.38 (14.12-48.50)			245.48			
	Suelo 10-20 cm	31.85 ± 46.92 (12.25-51.84)			288.92			
Totoral	Biomasa aérea (BA)	63.05 ± 37.52 (30.01-96.93)	124.70	44.74	2 820.90	5 579.29	20 476.00	457.67
	Suelo 0-10 cm	29.42 ± 30.55 (12.37-41.66)			1 316.18			
	Suelo 10-20 cm	32.24 ± 31.59 (16.09-45.74)			1 442.21			
Totoral Mixto	Total de compartimientos evaluados (50% de totoral y 50% de corta-corta)	(a)	(a)	21.38	(a)	3 057.44	11 220.80	524.83
Corta-Corta	Biomasa aérea (BA)	98.57 ± 52.28 (25.31-208.97)	161.30	(b)	1 053.69	(b)	(b)	(b)
	Suelo 0-10 cm	32.89 ± 42.17 (4.17-49.71)			351.56			
	Suelo 10-20 cm	29.85 ± 81.24 (6.48-86.42)			319.10			

(a) Se emplearon los datos correspondientes a las comunidades que lo conforman.
(b) El resultado ya está considerado en el totoral mixto.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

2.1. Reservas de carbono en los totorales

Los promedios de carbono obtenidos por compartimiento del totoral, de mayor a menor, fueron los siguientes: 63.05 tC/ha en la biomasa aérea, 32.24 tC/ha en suelo de 10 a 20 cm y 29.42 tC/ha en suelo de 0 a 10 cm, como se muestra de manera gráfica en la Figura 6. La reserva de carbono almacenado por hectárea en esta comunidad vegetal, es 124.70 tC/ha y la reserva total de esta comunidad, 5 579.29 tC.

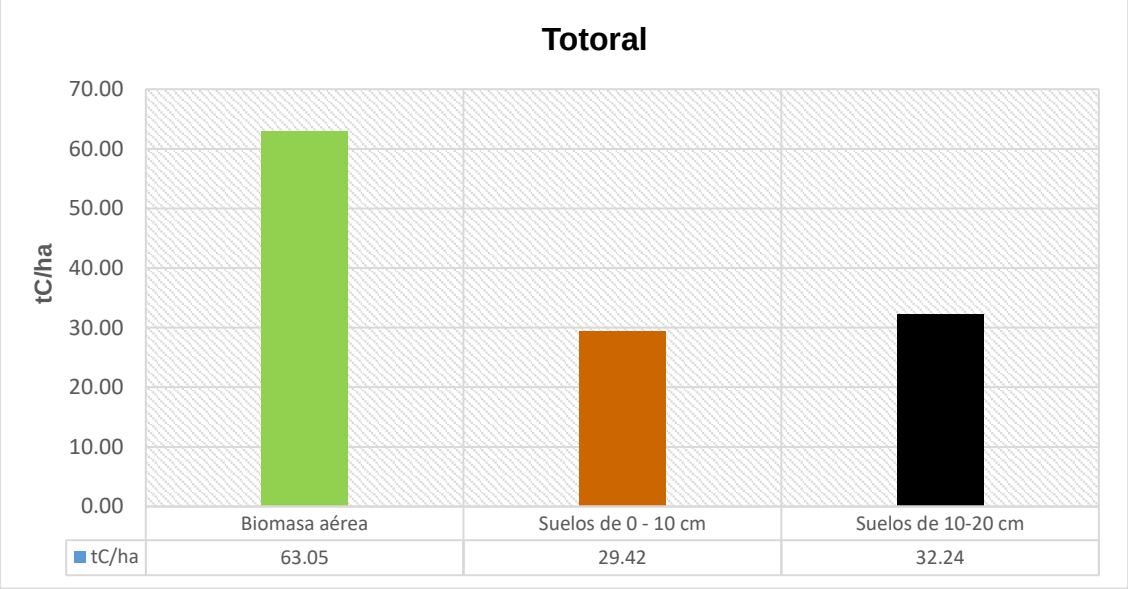


Figura 6: Promedios de carbono por compartimiento evaluado del totoral.

Por otro lado, la reserva total de carbono almacenado en el totoral mixto es de 3 057.44 tC. En este sentido, la reserva total de carbono en los totorales del RVSPV (totoral + totoral mixto), es 8 636.73 tC.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

2.2. Reservas de carbono en los gramadales

Los promedios de carbono obtenidos por compartimiento del gramadal, de mayor a menor, fueron los siguientes: 48.07 tC/ha en la biomasa aérea, 20.44 tC/ha en suelo de 0 a 10 cm y 16.95 tC/ha en suelo de 10 a 20 cm, como se muestra de manera gráfica en la Figura 7. La reserva de carbono almacenado por hectárea en esta comunidad vegetal, es 85.47 tC/ha y la reserva total de esta comunidad, 6 273.29 tC.

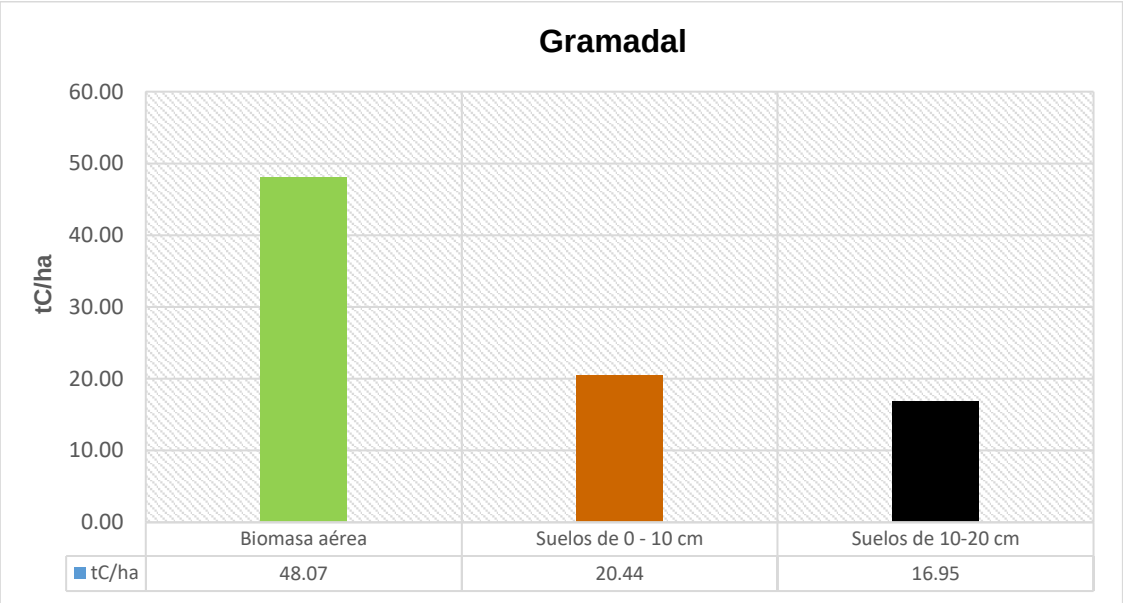


Figura 7: Promedios de carbono por compartimiento evaluado del gramadal.

Los promedios de carbono obtenidos por compartimiento del gramadal mixto, de mayor a menor, fueron los siguientes: 49.12 tC/ha en la biomasa aérea, 31.85 tC/ha en suelo de 10 a 20 cm y 27.06 tC/ha en suelo de 0 a 10 cm, como se muestra de manera gráfica en la Figura 8. La reserva promedio de carbono almacenado por hectárea en esta comunidad vegetal, es 108.03 tC/ha y la reserva total de esta comunidad, 979.87 tC.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

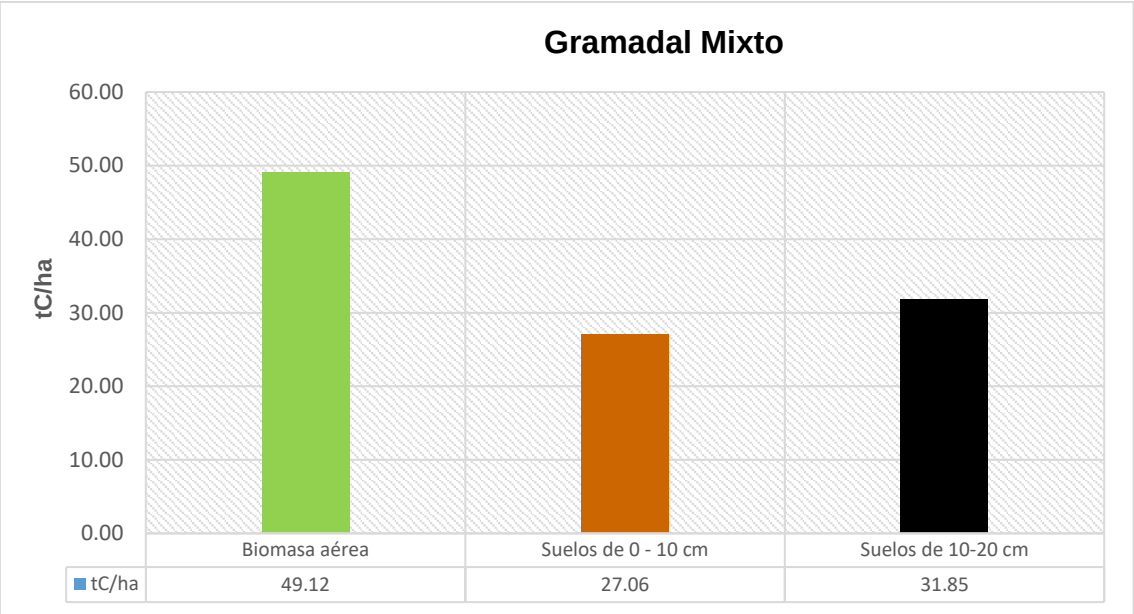


Figura 8: Promedios de carbono por compartimiento evaluado del gramadal mixto.

En este sentido, la reserva total de carbono en los gramadales del RVSPV (gramadal + gramadal mixto), es 7 253.16 tC.

3. Análisis Estadísticos

En el Anexo 5 se presenta los resultados obtenidos en los análisis estadísticos, los cuales muestran que solo hubo diferencias ($p<0.05$) entre el contenido de carbono en el suelo de 10 a 20 cm de profundidad entre las comunidades de gramadal y totoral, y gramadal y gramadal mixto (obteniéndose valores más bajos en el gramadal para ambos casos; Tabla 4). No se encontraron diferencias entre los otros compartimentos ($p>0.05$).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

4. CO_2 secuestrado en los gramadales y totorales del RVSPV

En la Tabla 4 se muestra los valores promedio de CO_2 secuestrado por hectárea en los gramadales y totorales del RVSPV, así como el total de CO_2 secuestrado en ambas comunidades.

Los promedios de CO_2 por hectárea para el gramadal y gramadal mixto son 313.66 y 396.49 tCO_2/ha, respectivamente. Asimismo, el total de CO_2 secuestrado en la comunidad de gramadal es 23 022.98 tCO_2, y en el gramadal mixto, 3 596.14 tCO_2; por lo tanto, el total de CO_2 secuestrado en los gramadales (gramadal + gramadal mixto) del RVSPV, equivale a 26 619.12 tCO_2.

Por otro lado, los promedios de CO_2 por hectárea en el totoral y totoral mixto son 457.67 y 524.83 tCO_2/ha, respectivamente. Asimismo, el total de CO_2 secuestrado en la comunidad de totoral es 20 476 tCO_2y en totoral mixto 11 220.80 tCO_2; por lo tanto, el total de CO_2 secuestrado en los totorales (totoral + totoral mixto) del RVSPV, equivale a 31 696.80 tCO_2.

VIII. DISCUSIÓN

1. Análisis de la hipótesis

La hipótesis propuesta en el presente trabajo se rechaza, debido a que no se encontró diferencias estadísticas entre las reservas globales de carbono por hectárea (suma del carbono en BA+ suelo de 0 a 10cm + suelo de 10 a 20cm, en tC/ha), de los totorales y de los gramadales del RVSPV, lo cual fue comprobado por medio de la prueba de Kruskal-Wallis (ver el Anexo 5).

Esto probablemente es debido a que la hipótesis propuesta, se basó en el aspecto fisionómico de las especies que conforman las comunidades de totoral y gramadal, así

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

como antecedentes de resultados obtenidos en estas comunidades, en otros humedales costeros de Lima; sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio, nos muestran que esto no sucede necesariamente siempre.

Por otro lado, cuando se evalúa cada compartimento por separado, sí es posible encontrar diferencias (contenido de carbono en el suelo, de 10 a 20 cm de profundidad entre el gramadal y totoral, y gramadal y gramadal mixto).

La posible explicación de los resultados obtenidos en el presente estudio, se detalla a continuación.

2. Reservas de carbono en los compartimentos evaluados

Generalmente, la mayor cantidad de carbono en los humedales, se encuentra almacenada en el suelo; esto sucede, por ejemplo, en comunidades de bofedales (Alvis, 2018), en juncales (Ampuero, 2018; Gutiérrez, 2017), salicorniales (Palomino y Cabrera, 2008) y manglares (Alongi et al., 2015). Esta característica se comparte con el gramadal mixto del RVSPV, mas no con los totorales y gramadales, ya que, en estos la mayor cantidad de carbono se encuentra almacenado en la biomasa aérea (lo cual también concuerda con otros estudios de cuantificación de carbono realizados en totorales; por ejemplo, en Cuellar y Salazar, 2016; y Palomino y Cabrera, 2008).

Los resultados obtenidos en el presente estudio, nos muestran que la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de los totorales (63.05 tC/ha), gramadales (48.07 tC/ha) y gramadales mixtos (49.12 tC/ha) del RVSPV, es mayor que la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea en otras comunidades o sistemas de usos de la tierra, como algunos totorales altoandinos (5.72 tC/ha; Pelinco, 2018), algunos bofedales (4.77 tC/ha; Alvis, 2018; y 0.81, 0.22 tC/ha; Medrano et al., 2012), cultivos de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

arroz (1.7 tC/ha), de maíz (4.4 tC/ha), pastos (2.3 tC/ha) sistemas agroforestales de café y cacao (19.3 y 47.2 tC/ha, respectivamente; Laperyre et al., 2004), comunidad de salicornias (3.3 tC/ha; Palomino y Cabrera, 2008; y 13.49 tC/ha; Cieza, 2014) y tillandsiales (0.59 tC/ha; Arévalo, 2018) (Tabla 5). Por el contario, éste es menor en comparación con las reservas que se encuentran en la biomasa aérea de algunos bosques secundarios (Laperyre et al., 2004).

Respecto a las reservas de carbono en el suelo, encontramos una diferencia en el patrón de su distribución según la profundidad, ya que, en los gramadales, éste es mayor de 0-10 cm, similar a la distribución encontrada en los juncales del RVSPV (Ampuero, 2018), mientras que en los totorales y el gramadal mixto, el carbono es mayor de 10-20 cm.

El almacenamiento del carbono en el suelo se encuentra influenciado por diversos factores, por ejemplo, hidrodinámica, la composición y densidad de especies vegetales, parámetros físico-químicos, tasas de descomposición (Hayes et al., 2017), condiciones climáticas (Bernal & Mitch, 2008) y textura (Watson e Hinojosa, 2017; Li et al., 2010). En relación con lo mencionado, en el párrafo precedente, los gramadales del RVSPV se encuentran principalmente en suelos arenosos (y posiblemente franco-arenosos; Vargas, 2018; INRENA, 1998), mientras que los totorales y gramadales mixtos de este pantano se encuentran en suelos variados y saturados con agua (posiblemente franco-arenosos y de arcillosos a francos; Vargas, 2018; Guillén, 2002), con gran cantidad de materia en descomposición; en este sentido, la diferencia en las texturas del suelo, podría explicar las diferencias encontradas en la distribución del carbono. En los suelos inundados se dan condiciones anaerobias, lo que permite que la descomposición de materia orgánica sea más lenta (Alvis, 2018; Medrano et al., 2012), y por lo tanto, se

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

mantenga almacenada mayor cantidad de carbono (Adams, 2015; Bernal y Mitsch, 2008); por el contrario, en los suelos de los gramadales (arenosos y con poca retención de agua), probablemente la descomposición de materia orgánica se da de manera más rápida en la superficie (al no encontrarse en medio saturado) (Kimble et al., 1995), lo que podría haber generado que la mayor cantidad de carbono se encuentre almacenado en la capa superficial.

El presente estudio permitió evaluar la distribución del carbono en estas primeras capas del suelo de las dos comunidades evaluadas del RVSPV. Posteriores estudios deben de ser realizados para comprender aún más esta distribución (por ejemplo, en capas más profundas y en otros humedales) pudiendo así lograr tener un mayor entendimiento de la dinámica del carbono en los diferentes compartimentos de los humedales costeros.

3. Comparación con otros humedales

Los gramadales y totorales son comunidades vegetales que se suelen encontrar en los humedales de la costa peruana (Aponte y Cano, 2013; Palomino y Cabrera, 2008), y los totorales incluso, en humedales altoandinos (aunque con otras especies; Pelinco, 2018; Medrano, 2012).

La Tabla 5 muestra una comparación de los resultados obtenidos en este estudio, con los obtenidos en otros humedales. Los datos que se tienen para los humedales costeros de Lima muestran valores menores a los obtenidos en el presente estudio. Es importante mencionar que solamente los trabajos de Palomino y Cabrera (2008) y Cuellar y Salazar (2016) consideraron evaluar el suelo hasta 20 cm de profundidad; razón que explicaría parte de las diferencias encontradas con los otros estudios en mención.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Los humedales comparados corresponden en muchos casos a ecosistemas afectados por diversas actividades antrópicas (por ejemplo, contaminación, disminución de las áreas ocupadas por las comunidades vegetales del humedal, extracción desmedida de las especies de interés artesanal) pudiendo ser éstos, factores que podrían haber limitado el desarrollo de las especies presentes en las comunidades vegetales, y por lo tanto, su capacidad de almacenamiento de carbono en la biomasa (Li et al., 2018; Pendleton, et al., 2012). Lo contrario sucede con el RVSPV, el cual se encuentra protegido, y si bien aún se encuentra afectado por presión antrópica (sobre todo en sus alrededores), cuenta con zonas de crecimiento natural de totorales y gramadales, en las cuales posiblemente se genera mayor cantidad de biomasa aérea y por lo tanto, mayor cantidad de carbono en este compartimiento (como sucede también en los juncales; Ampuero, 2018).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 5: Comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio y en otros humedales

Autor del Estudio	Lugar de estudio	Comunidad Vegetal / Sistema de uso de la tierra	Reservorio	tC/ha	tCO_2/ha
Comunidades de totoral y gramadal en costa					
Presente estudio (Corvacho, 2019)	Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV), Lima, Perú	Totoral	Parte aérea	63.05	457.67
			Suelo 0-10 cm	29.42	
			Suelo 0-20 cm	32.24	
			Total	124.7	
		Gramadal	Parte aérea	48.07	313.66
			Suelo 0-10 cm	20.44	
			Suelo 0-20 cm	16.95	
			Total	85.47	
		Gramadal mixto	Parte aérea	49.12	396.49
			Suelo 0-10 cm	27.06	
			Suelo 0-20 cm	31.85	
			Total	108.03	
		Totoral mixto	-	-	524.83
Pérez et al. (2015)	Humedales de Villa María, Ancash, Perú	Totoral	Parte aérea	16.83	84.05
			Raíz	6.09	
			Total	22.92	
Cieza (2014)	Área de Conservación Regional (ACR) Humedales de Ventanilla, Callao, Perú	Totoral	Parte aérea	18.53	115.61
			Raíz	13	
			Total	31.53	
		Gramadal	Parte aérea	14.89	83.53
			Raíz	7.89	
			Total	22.78	

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 5: Comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio y en otros humedales (continuación)

Autor del Estudio	Lugar de estudio	Comunidad Vegetal / Sistema de uso de la tierra	Reservorio	tC/ha	tCO_2/ha
Cuellar y Salazar (2016)	Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV), Lima, Perú	Totoral	Parte aérea	15.2	133.47
			Raíz	4.8	
			Hojarasca	4.4	
			Suelo 0-30cm	12	
			Total	36.4	
Palomino y Cabrera (2008)	Humedales de Puerto Viejo, Lima, Perú	Totoral	Parte aérea	20.1	141.18
			Raíz	8.8	
			Suelo 0-20cm	9.57	
			Total	38.47	
		Gramadal	Parte aérea	11	104.61
			Raíz	6	
			Suelo 0-20cm	11.5	
			Total	28.5	

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 5: Comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio y en otros humedales (continuación)

Autor del Estudio	Lugar de estudio	Comunidad Vegetal / Sistema de uso de la tierra	Reservorio	tC/ha	tCO_2/ha
Otras comunidades/especies evaluados para captura de carbono					
Pelinco (2018)	Reserva Nacional del Titicaca, Sector Puno, Puno, Perú	Totoral	Parte aérea	5.72	48.12
			Raíz	7.41	
			Total	13.13	
Ampuero (2018)	Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV), Lima, Perú	Juncal (zona de crecimiento natural)	Parte aérea	53.23	1120.7
			Raíz	68.46	
			Suelo 0-10 cm	74.18	
			Suelo 10-20 cm	72.86	
			Suelo 20-30 cm	36.64	
			Total	305.37	
Alvis (2018)	Bofedales del Centro Poblado Calhuanca, Arequipa, Perú	Bofedales	Parte aérea	4.77	901.28
			Raíz	19.72	
			Suelo 0-30 cm	218.28	
			Total	242.77	
Arévalo (2018)	Tillandsial Piedra Campana, Lima, Perú	Tillandsial	Parte aérea	0.59	-
			Suelo 0-10 cm	3.05	
			Total	3.64	

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 5: Comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio y en otros humedales (continuación)

Autor del Estudio	Lugar de estudio	Comunidad Vegetal / Sistema de uso de la tierra	Reservorio	tC/ha	tCO_2/ha
Gutiérrez (2017)	Área de Conservación Regional La Albúfera de Medio Mundo (ACRAMM), Lima, Perú	Juncal	Parte aérea	11.5	224.09
			Raíz	3.4	
			Suelo 0-30 cm	46.16	
			Total	61.06	
Cieza (2014)	Área de Conservación Regional (ACR) Humedales de Ventanilla, Callao, Perú	Salicornia	Parte aérea	13.49	86.5
			Raíz	10.1	
			Total	23.59	
		Junco	Parte aérea	13.77	84.99
			Raíz	9.41	
			Total	23.18	
Medrano et al. (2012)	Lago Chinchaycocha, Junín, Perú	Totoral	Total	30.65	-
		Pajonal	Parte aérea	7.02	-
			Raíz	8.41	-
		Bofedal (*Plantago tubulosa*)	Parte aérea	0.81	-
			Raíz	1.88	-
		Bofedal (*Eleocharis albibracteata*)	Parte aérea	0.22	-
			Raíz	2.95	-
		Bofedal (*Limosella australis*)	Parte aérea	0.22	-
			Raíz	0.38	-

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 5: Comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio y en otros humedales (continuación)

Autor del Estudio	Lugar de estudio	Comunidad Vegetal / Sistema de uso de la tierra	Reservorio	tC/ha	tCO_2/ha
Cuellar y Salazar (2016)	Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV), Lima, Perú	Juncal	Parte aérea	13.3	117.33
			Raíz	1	
			Suelo 0-30cm	17.7	
			Total	32	
Lapeyre et al.(2004)	Diferentes Sistemas de Uso de Tierra en San Martín, Perú	Bosque Primario	Parte aérea	485.3	-
		Bosque Secundario (50 años)	Parte aérea	234.3	-
		Bosque Secundario (20 años)	Parte aérea	62.1	-
		Arroz	Parte aérea	1.7	-
		Maiz	Parte aérea	4.4	-
		Pastos	Parte aérea	2.3	-
		Sistema Agroforestal de Café-guaba	Parte aérea	19.3	-
		Sistema Agroforestal de Cacao	Parte aérea	47.2	-
Palomino y Cabrera (2008)	Humedales de Puerto Viejo, Lima, Perú	Salicornia	Parte aérea	3.3	12.1
			Raíz	2.8	
			Suelo 0-20cm	5.61	
			Total	11.71	
		Juncal	Parte aérea	11.1	40.6
			Raíz	7.5	
			Suelo 0-20cm	99	
			Total	117.6	

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

A pesar de que Cuellar y Salazar (2016) realizaron estudios en los totorales del RVSPV, es importante mencionar, que su estudio difiere metodológicamente de manera considerable (por ejemplo, no se muestrearon zonas con biomasa seca, no indica cuantas parcelas fueron evaluadas por comunidad y no se verificó si el muestreo fue suficiente) lo que explica también las diferencias entre los resultados encontrados.

En el presente estudio se muestra que, en los totorales, gran parte de la biomasa se encuentra como biomasa seca (cerca del 72% de la biomasa total del totoral) por lo que es un compartimento muy importante a evaluar. Esto coincide con otras evaluaciones donde se ha encontrado que la mayor parte de la biomasa se encuentra como biomasa seca (como se menciona, por ejemplo, en Adams, 2015).

Finalmente, se puede considerar que los gramadales y totorales del RVSPV representan importantes reservas de carbono. Esto se evidencia cuando contrastamos los valores obtenidos en el presente estudio, con los resultados obtenidos para otras comunidades y/o especies evaluadas, como por ejemplo, en algunos totorales andinos (Pelinco, 2018; Medrano, 2012), tillandsiales (Arévalo, 2018), juncales (Gutiérrez, 2018), bofedales, pajonales (Medrano et al., 2012), y algunos cultivos y sistemas agroforestales (Lapeyre et al. 2004) (Tabla 5). Asimismo, sólo se encontró diferencias estadísticas entre el contenido de carbono en el suelo de 10 a 20 cm de profundidad, entre las comunidades de gramadal y totoral, y gramadal y gramadal mixto (Tabla 4), siendo el gramadal, la comunidad que presentó menor cantidad de carbono en ambos casos, para este compartimiento.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en el presente estudio, corresponden a las reservas de carbono estimadas en un determinado momento, sin

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

considerar otros aspectos del ciclo de carbono para lo cual ameritaría realizar estudios complementarios. Por ejemplo, es importante evaluar las emisiones de metano, cambios en los flujos de agua, el secuestro de carbono por unidad de tiempo (tasa de secuestro), tasas de productividad y descomposición de biomasa, y su relación con factores ambientales (Mcleod, et al. 2011).

Finalmente, los resultados obtenidos en el presente estudio, nos muestran que estas comunidades, al igual que otras, como los juncales, cuentan son una gran reserva de carbono en humedales costeros. Este tipo de estudios permiten entender la importancia de conservar estos ecosistemas y contribuir en la toma de decisiones de los gestores de territorio.

4. Secuestro de CO_2 en los totorales y gramadales del RVSPV

Los resultados obtenidos son un indicador de la importancia de estas comunidades vegetales en los humedales costeros, como sumideros de CO_2, así como el posible riesgo que representarían de convertirse en una importante fuente de emisión del mismo gas, en caso sea degradado (tal como ocurre durante los incendios; Vargas 2018).

Para tener una idea de la importancia de estos ecosistemas, consideremos que la ciudad de Lima emite alrededor de 15 millones de toneladas de $CO_{2\,eq}$/año, principalmente por las actividades de transporte y por los sectores industrial, residencial y de residuos sólidos (WWF Perú y Periferia, 2019; CAF, 2016). Las 58 315.92 tCO_2 almacenadas en los gramadales y totorales del RVSPV, representarían el almacenamiento del 0.39% de la huella de carbono de Lima.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

5. Potencial del RVSPV para su aplicación en mecanismos económicos

La investigación acerca de los servicios que proporcionan los humedales y otros ecosistemas, son de suma importancia, con el fin de contribuir en la mitigación y adaptación frente al cambio climático. Una de las estrategias para la conservación de estos ecosistemas, así como la preservación del CO_2 almacenado en los mismos, es su incorporación en los mercados de carbono, proyectos de reducción de emisiones de GEI (similares a REDD+, empleados para bosques), mecanismos de desarrollo limpio o para la compensación de servicios ecosistémicos.

Existe precedente de la incorporación de los manglares en mecanismos REDD+ y el interés de algunas para incorporar los ecosistemas que almacenan carbono azul (ecosistemas marino-costeros) (Murray et al., 2011) en mercados de carbono (NOAA, 2019; IUCN, 2017).

Asimismo, a nivel nacional, en Perú será esencial contar con información de los servicios proporcionados por los ecosistemas costeros, con énfasis en los sitios RAMSAR como es el caso del RVSPV, para el desarrollo de futuras Estrategias de Economía Azul (McKinley et al., 2018). En ese sentido, conocer el valor económico del servicio ecosistémico de captura de carbono que proporciona el RVSPV, será necesario para su posible ingreso a alguno de los mecanismos económicos antes mencionados.

De acuerdo a lo mencionado, el servicio ecosistémico de captura de carbono correspondiente a los gramadales y totorales del RVSPV, con una reserva total de 15 889.89 tC almacenadas), estaría valorizado entre 158 mil y más de 2 millones de USD (dólares americanos). Cabe mencionar que es una estimación basada en: a) los montos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

citados en Mogas Amorós & Riera Mical (2005), quienes señalan que, a nivel mundial, este servicio ecosistémico está valorado entre 10 y 188$/T/año, basados en los precios de mercado para captura de carbono, y b) las reservas totales obtenidas en el presente estudio para los gramadales (7 253.17 tC) y totorales (8 636.73 tC), que se muestran en la Tabla 4.

Con ello se demuestra el potencial de este humedal para su inclusión en mecanismos económicos relacionados a reducción de GEI y conservación de ecosistemas.

En este sentido, se muestra que conservar comunidades vegetales como los gramadales y totorales en humedales costeros, representan valores económicos altos que tienen potencial para ser incluidos en futuros mecanismos económicos, en los cuales se contemple el carbono azul.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

IX. CONCLUSIONES

- Los totorales ocupan un área total de 66.12 ha en el RVSPV (44.74 ha corresponden a los totorales de *T. domingensis* y 21.38 ha al totoral mixto conformado por la asociación de *T. domingensis y Cladium jamaicense*). Esta área corresponde a cerca del 25% de la superficie del RVSPV. Los gramadales ocupan un área total del 82.47 ha en el RVSPV (73.40 ha corresponden al gramadal conformado sólo por especies de grama, y 9.07 ha, al gramadal mixto conformado por la asociación de gramas y *Schoenoplectus americanus*). Esta área corresponde a cerca del 31% de la superficie del RVSPV.

- Considerando el área total que ocupan en el RVSPV, el CO_2 almacenado en los gramadales y gramadales mixtos, es de 23 022.98 tCO_2 y 3 596.14 tCO_2 respectivamente. Para los totorales y totorales mixtos evaluados, el CO_2 almacenado equivale a 20 476 tCO_2 y 11 220.80 tCO_2 respectivamente.

- Se rechaza la hipótesis propuesta, debido a que no se encontró diferencia estadística entre las reservas de carbono obtenidas por hectárea, por comunidad (tC/ha), empleando la prueba estadística de Kruskal-Wallis.
- La única diferencia estadísticamente soportada, se encuentra en el compartimento de 10 a 20 cm de profundidad del suelo, entre el gramadal y totoral (siendo el totoral el que tiene mayor cantidad de carbono) y entre el gramadal y gramadal mixto (siendo el gramadal mixto, el que tiene mayor cantidad de carbono). Entre los otros compartimentos no se encontraron diferencias estadísticamente soportadas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Los gramadales y totorales del RVSPV, con una reserva total de 15 889.89 tC almacenadas, estaría valorizado entre 158 mil y más de 2 millones de USD (dólares americanos). Con ello se demuestra el potencial de este humedal para su inclusión en mecanismos económicos relacionados a reducción de GEI y conservación de ecosistemas.

X. RECOMENDACIONES

- Es necesario complementar este tipo de estudios con la investigación sobre otros aspectos relacionados al ciclo de carbono, como las tasas de secuestro de carbono, factores que influyen en dicho ciclo, comparación del secuestro versus la emisión de otros GEI en estos ecosistemas (por ejemplo, el metano), entre otros.

- Es importante que se estandarice un método para la estimación adecuada y más confiable de reservas de carbono y stocks de CO2 de manera que se pueda generar data base para una mejor toma de decisiones de los gestores de humedales costeros, así como para la ejecución de proyectos de conservación o rehabilitación de estos importantes sumideros de carbono, con el fin de que cumplan este servicio ecosistémico, así como otros que proveen, de manera más óptima para su empleo en la mitigación y adaptación frente al cambio climático. Propongo que el método utilizado en el presente estudio sea considerado.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Se recomienda fomentar la investigación de los humedales costeros, a fin de generar más información sobre los stocks de carbono. Estos ecosistemas cuentan con gran potencial para ser incluidos en mecanismos económicos relacionados a la captura y almacenamiento de carbono, actualmente existen entidades que se encuentran evaluando su inclusión en dichos mecanismos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A'an, J. W., Prayudha, B., Dharmawan, I. W. E., Irawan, A., Abimanyu, H., Meirinawati, H., ... & Yuniati, P. I. (2018). Carbon sequestration index as a determinant for climate change mitigation: Case study of Bintan Island. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 118(1), p. 012050). IOP Publishing. Recuperado de: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/118/1/012050

Adams, E. C. (2015). Blue carbon in freshwater / brackish marshes on the barrierislands of Virgina: Aboveground net primary productivity and carbon pools (Tesis de Maestría, Old Dominion University). Recuperado de http://www.vcrlter.virginia.edu/thesis/AdamsThesis2015.pdf

Alongi, D. M., Murdiyarso, D., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Hutahaean, A., Crooks, S., ... & Pidgeon, E. (2016). Indonesia's blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. Wetlands Ecology and Management, 24(1), 3-13. DOI: 10.1007/s11273-015-9446-y

Alvis, T. (2018). Almacenamiento de Carbono en los Humedales Altoandinos del Centro Poblado Chalhuanca, Caylloma – Arequipa, 2017 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

Ampuero, W. (2018). Estimación del carbono almacenado en la comunidad del Junco (Schoenoplectus americanus) bajo dos escenarios de crecimiento en el humedal costero Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa (Lima – Perú) (Tesis de pregrado). Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

Aponte, H., Ramírez, D. y Lértora, G. (2018). Los Pantanos de Villa: Un Oasis de Vida en Lima Metropolitana. Lima: Fondo Editorial de la Universidad Científica del Sur.

Aponte, H., Ramírez, D., Lértora, G., Vargas, R., Gil, F, Carazas, N., Liviac, R. (2015). Incendios en los Humedales de la Costa Central del Perú: Una amenaza frecuente. Científica. 12(1). 70-81 pp. Recuperado de: http://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/cientifica/article/view/166

Aponte, H., y Cano, A. (2013). Estudio Florístico Comparativo de Seis Humedales de la Costa de Lima (Perú): Actualización y Nuevos Retos para su Conservación. Revista Latinoamericana de Conservación, 3(2), 15-27 pp. Recuperado de: http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo/_data/5.pdf

Aponte, H. y Ramirez, D. 2011. Humedales de la Costa Central del Perú: Estructura y Amenazas de sus Comunidades Vegetales. Ecología Aplicada, 10(1-2), 31-39. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v10n1/a04v10n1

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Arévalo, J. (2018). Estimación de Carbono almacenado por Tillandsia latifolia en el Tillandsial Piedra Campana (Tesis de pregrado). Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

Barbier, E. (2013). Valuing ecosystem services for coastal wetland protection and restoration: Progress and challenges. Resources, 2(3), 213-230. doi:10.3390/resources2030213.

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., y Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. Ecological monographs, 81(2), 169-193. Recuperado de: https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1890/10-1510.1

Bernal, B. & Mitsch, W. (2008). A comparison of soil carbon pools and profiles in wetlands in Costa Rica and Ohio. Ecological Engineering, 34.4 (2008), pp. 311-323. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857408001997

Berruezo, J. A. y Jiménez, J. D. (2017). Situación del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Resumen de las Cumbres de París, COP21 y de Marrakech, COP22. Revista de Salud Ambiental, 17(1), 34-39 pp. Recuperado de: http://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/839

CAF. (2016). Proyecto Huella de Ciudades: resultados estratégicos y guía metodológica. La Paz: Verónica Flores. Recuperado de: http://scioteca.caf.com/handle/123456789/841

Callo-Concha, D., Krishnamurthy, L., y Alegre, J. (2001). Cuantificación del carbono secuestrado por algunos SAFs y testigos, en tres pisos ecológicos de la amazonia del Perú. In Simposio Nacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Recuperado de: https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/53_Callo_Concha.PDF

Chmura, G. L., Anisfeld, S. C., Cahoon, D. R., & Lynch, J. C. (2003). Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. Global biogeochemical cycles, 17(4). https://doi.org/10.1029/2002GB001917

Cieza Calderon, M. E. (2014). Estimación de la captura de dióxido de carbono por la flora del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla (Tesis para optar el título de Licenciado en Biología, Universidad Nacional Federico Villarreal). Lima: UNFV, 123pp.

Cohen-Shacham E, Walters G, Janzen C, y Maginnis S. (Eds.) (2016). Nature-based solutions to address societal challenges. IUCCN. xiii + 97 pp. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático – CMNUCC. (2015). Conferencia de las Partes 21er período de sesiones. Aprobación del Acuerdo de París. Recuperado de: https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf.

Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2018). Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas. Gland (Suiza). Secretaría de la Convención de Ramsar. Recuperado de: https://static1.squarespace.com/static/5b256c78e17ba335ea89fe1f/t/5b9ffde60e2e7277f629f8df/1537211926308/Ramsar+GWO_SPANISH_WEB.pdf

Cuellar, J., y Salazar, E. (2016). Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraría – INIA, Lima, Perú. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/314984067_Dinamica_del_Carbono_almacenado_en_los_diferentes_sistemas_de_uso_de_la_tierra_en_el_Peru

Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM. Reglamento de la Ley Marco sobre el Cambio Climático. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 31 de diciembre del 2019.

Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM. Aprueban la Estrategia Nacional de Humedales. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 24 de enero del 2015.

Decreto Supremo Nº 10-2015-MINAM. Promueve el desarrollo de investigaciones al interior de las áreas naturales protegidas. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de setiembre del 2015.

Decreto Supremo Nº 016-2009-MINAM. Aprueba el Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas (Estrategia Nacional). Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 02 de setiembre del 2009.

Elzinga, C., Salzer, D. & Willoughby, J. (2015). Measuring and Monitoring Plant Populations Bureau of Land Management National Business Center, Colorado, Estados Unidos. Recuperado de: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/490a.pdf

European Commission (2016). Policy topics: nature-based solutions. Recuperado de: https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs.

European Commission (s.f.). Climate change: Glossary of common terms and acronyms. Recuperado de: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Global-warming_potential_(GWP)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figueroa, J. D., Fout, T., Plasynski, S., McIlvried, H., & Srivastava, R. D. (2007). Advances in CO2 capture technology—the US Department of Energy's Carbon Sequestration Program. International journal of greenhouse gas control. 2(1), 9-20. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1750583607000941

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). Migration, Agriculture and Climate Change. Reducing vulnerabilities and enhancing resilience. 20 pp. Recuperado de: http://www.fao.org/documents/card/en/c/I8297EN/

Guillén Aguirre, G. K. (2002). Diversidad protozoológica de los Pantanos de Villa, Chorrillos-Lima-Perú (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Grant, G. (Ed). (2016). Climate Change and Water. In The Water Sensitive City. doi: 10.1002/9781118897652.ch5.

Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las NDC (2018). Informe Final. Recuperado de: http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/ndc/

Gutiérrez, C. (2017). Estimación de la captura de CO2 en el juncal del área de conservación regional La Albufera de Medio Mundo (ACRAMM)-Huaura, Lima-Perú (Tesis de pregrado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Lima, Perú.

Hairiah, K., Dewi, S., Agus, F., Velarde, S., Ekadinata, A., Rahayu, S., y Van Noordwijk, M. (2011). Measuring carbon stocks across land use systems: A manual. World Agroforestry Centre–ICRAF, South East Asia Regional Office, Bogor, Indonesia. Recuperado de: http://www.asb.cgiar.org/PDFwebdocs/Measuring%20Carbon%20stocks%20across%20land%20use%20systems.pdf

Hammer, Ø., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia electronica, 4(1), 9. Recuperado de: https://paleo.carleton.ca/2001_1/past/past.pdf

Harrison, A. (2003). “The Carbon Cycle”. Visionlearning Vol. EAS-2 (3). Recuperado de: https://www.visionlearning.com/en/library/Earth-Science/6/The-Carbon-Cycle/95

Hayes, M. A., Jesse, A., Hawke, B., Baldock, J., Tabet, B., Lockington, D., & Lovelock, C. E. (2017). Dynamics of sediment carbon stocks across intertidal wetland habitats of Moreton Bay, Australia. Global change biology, 23(10), 4222-4234. DOI: 10.1111/gcb.13722

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Hernández, M. E. (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. Terra Latinoamericana, 28(2), 139-147. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000200005&lng=es&tlng=es.

Howard, J., Sutton-Grier, A., Herr, D., Kleypas, J., Landis, E., Mcleod, E., ... & Simpson, S. (2017a). Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. Frontiers in Ecology and the Environment. 15(1), 42-50. Recuperado de: https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/fee.1451

Howard, J., McLeod, E., Thomas, S., Eastwood, E., Fox, M., Wenzel, L., y Pidgeon, E. (2017b). The potential to integrate blue carbon into MPA design and management. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 27(1), 100-115. https://doi.org/10.1002/aqc.2809

Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., y Telszewski, M. (Eds.) (2014). Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Recuperado de: http://thebluecarboninitiative.org/new-manual-for-measuring-assessing-and-analyzing-coastal-blue-carbon/

Hribar, D., St. Laurent, K., Sutton-Grier, A. (2017). Assessing Blue Carbon Stock in Delaware's Tidal Marshes. Recuperado de: https://kb.osu.edu/handle/1811/81148

Ibrahim, M. H., El-Naas, M. H., Benamor, A., Al-Sobhi, S. S., & Zhang, Z. (2019). Carbon Mineralization by Reaction with Steel-Making Waste: A Review. Processes. 7(2), 115. doi: https://doi.org/10.3390/pr7020115

Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA. (1998). Plan Maestro 1998 – 2003. Pantanos de Villa: Refugio de Vida Silvestre. Recuperado de: https://www.oceandocs.org/handle/1834/8241

INRENA, 1996. Ficha Técnica Zona Reservada Los Pantanos de Villa. Propuesta para su designación como Sitio Ramsar.

Intergovernmental Panel on Climate ChangeI (IPCC). (2018). Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado de: http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado de: http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

International Union for Conservation of Nature-IUCN (2017). Issues Brief. Recuperado de: https://www.iucn.org/sites/dev/files/blue_carbon_issues_brief.pdf

Invemar, Carbono y Bosques y CVS. 2015. Guía Metodológica para el desarrollo de proyectos tipo REDD+ en ecosistemas de manglar: Elaborada con base en la experiencia del proyecto piloto tipo REDD+ del DMI Cispata, La Balsa, Tinajones y sectores aledaños del Delta Estuarino río Sinú. Eds: Rojas, M., Zamora-Bornachera, A.P. y Sierra-Correa, P.C. Serie de publicaciones Generales del Invemar # 85, Santa Marta. 40 p. Recuperado de: http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/d986c7e7-10bc-4c99-8f83-38aaa39e79eb/0085-%20GuiaMetodologicaparaelDesarrollodeProyectosTipoREDDmasenEcosistemadeManglar.pdf?ticket=TICKET_215dc1531a10a39f8baed032ae5e8569cf06128a

Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI). (2012). Ministerio del Ambiente. Recuperado de: http://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/2012.pdf

Kabishch, N., Korn, H., Stadler, J., y Bonn, A., (Eds.). (2017). Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. Linkages between Science, Policy and Practice. doi: 10.1007/978-3-319-56091-5.

Kimble, J. M., Levine, E. R., & Stewart, B. A. (1995). Carbon Storage un Tidal Marsh Soils. Soils and global change (Vol. 5). CRC Press. pp 93-104. Recuperado de: https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=cQxGGN3vBCAC&oi=fnd&pg=PA93&dq=carbon+sequestration+salt+marsh+soils&ots=i_v6hGrvdY&sig=973NptQLxYQ-FuxND3xx4Uwikm0&redir_esc=y

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Kumar, R., Tol, S., McInnes, R. J., Everard, M., y Kulindwa, A. A. (2017). Humedales para la reducción del riesgo de desastres: Opciones eficaces para comunidades resilientes. Nota sobre políticas Nº 1. Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar. Recuperado de: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/rpb_wetlands_and_drr_s.pdf

La Chira Martínez, R. R. (2016). Valoración económica y ambiental mediante el Método de los Precios Hedónicos. El caso del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo (ACRAMM), Lima, Perú (Tesis de maestría). Universitat Politécnica de Catalunya, España.

Lapeyre, T., Alegre, J., y Arévalo, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. Ecología aplicada, 3(1-2), 35-44. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162004000100006&script=sci_arttext&tlng=en

Ley N° 30754. Ley Marco sobre Cambio Climático. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 17 de abril de 2018.

Li, X., Bellerby, R., Craft, C., & Widney, S. E. (2018). Coastal wetland loss, consequences, and challenges for restoration. Anthropocene Coasts, 1(1), 1-15. DOI: dx.doi.org/10.1139/anc-2017-0001

Li, Y. L., Wang, L., Zhang, W. Q., Zhang, S. P., Wang, H. L., Fu, X. H., & Le, Y. Q. (2010). Variability of soil carbon sequestration capability and microbial activity of different types of salt marsh soils at Chongming Dongtan. Ecological Engineering, 36(12), 1754-1760. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.07.029

Lovelock, C. E., & McAllister, R. R. (2013). Blue carbon projects for the collective good. Carbon Management, 4(5), pp. 477-479. https://doi.org/10.4155/cmt.13.50

Maquera, D. (2017). Determinación del contenido de carbono por especie forestal en el bosque del CIP Camacani-UNA-Puno por titulación (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Medrano, Y., Chupán, M. y Vila, M. (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. Apuntes de Ciencia & Sociedad, 2(2). http://dx.doi.org/10.18259/acs.2012013

Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., y Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO2. Frontiers in Ecology and the Environment, 9(10), 552-560. https://doi.org/10.1890/110004

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

McKinley, E., Aller-Rojas, O., Hattam, C., Germond-Duret, C., San Martín, I. V., Hopkins, C. R., ... Potts, T. (2018). Charting the course for a blue economy in Peru: a research agenda. Environment, Development and Sustainability, 1-23 pp. https://doi.org/10.1007/s10668-018-0133-z

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2018). Mapa Nacional de Ecosistemas. Recuperado de: http://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/conservacion-de-ecosistemas/

MINAM. (2015). Estrategia Nacional ante el Cambio Climático. Recuperado de: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/09/ENCC-FINAL-250915-web.pdf.

Mitra, A. y Sufia, Z. (2014). Carbon sequestration by coastal floral community: A ground zero observation on blue carbon. The Energy and Resources Institute (TERI). Recuperado de: https://books.google.com.pe/books?id=vYSzBAAAQBAJ&pg=PA162&lpg=PA162&dq=Carbon+sequestration+by+coastal+floral+community:+A+ground+zero+observation+on+blue+carbon.+T&source=bl&ots=S4acdhNRii&sig=-6et7_x6LHugxPxfmFE39UPO6Ng&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwidkab3kdDcAhWMz1MKHVQJAT8Q6AEwAnoECAgQAQ#v=onepage&q=Carbon%20sequestration%20by%20coastal%20floral%20community%3A%20A%20ground%20zero%20observation%20on%20blue%20carbon.%20T&f=false

Mogas Amorós, J. & P. Riera Mical. 2005. El valor de la fijación de carbono en los programas de forestación. Bol. Económico ICE Inf. Comer. Esp. 13–28.

Murray, B. C., Pendleton, L., Jenkins, W. A., y Sifleet, S. (2011). Green payments for blue carbon: economic incentives for protecting threatened coastal habitats. Green payments for blue carbon: economic incentives for protecting threatened coastal habitats. Recuperado de: https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113354202

Myhre G., Shindell D., Bréon F., Collins W., Fuglestvedt J., Huang J, …& Zhang, H. 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Nair P.K.R., Mohan Kumar B., Naresh Kumar S. (2018) Climate Change, Carbon Sequestration, and Coconut-Based Ecosystems. In: Nampoothiri K., Krishnakumar V., Thampan P., Nair M. (eds) The Coconut Palm (Cocos nucifera L.) - Research and Development Perspectives. Springer, Singapore. Recuperado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-2754-4_16#citeas

Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C., Valdés, L., De Young, C., Fonseca, L., y Grimsditch, G. (2009). Blue carbon. A Rapid Response Assessment. Recuperado de: http://www.grida.no/files/publications/bluecarbon/BlueCarbon_screen.pdf

National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA. (2019). Carbon dioxide levels in atmosphere hit record high in May: Monthly average surpassed 414 ppm at NOAA's Mauna Loa Observatory in Hawaii. Science Daily. Recuperado de: www.sciencedaily.com/releases/2019/06/190604140109.htm

NOAA (2019). What is Blue Carbon? National Ocean Service website. Recuperado de: https://oceanservice.noaa.gov/facts/bluecarbon.html

NOAA (s.f). Reserves Advance "Blue Carbon" Approach to Conserving Wetlands. National Ocean Service website. Recuperado de: https://coast.noaa.gov/states/stories/first-carbon-market-guidance-for-wetlands.html

Palomino, C. D., y Cabrera, C. C. (2008). Estimación del Servicio Ambiental de Captura del CO2 en la Flora de los humedales de Puerto Viejo. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, 10(20), 49-59. Recuperado de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol10_n20/a07.pdf

Pelinco, E. (2018). Estimación de Captura de Dióxido de Carbono en Totorales de la Reserva Nacional del Titicaca Sector Puno. Revista Científica Investigación Andina, 18(1).

Pendleton L, Donato D. C., Murray B. C., Crooks S., Jenkins W. A., Sifleet S., ...& Baldera A. (2012). Estimating Global ''Blue Carbon'' Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. PLoS ONE 7(9): e43542. DOI: 10.1371/journal.pone.0043542

Pérez P. H., Luccini E., Herrera L., Parodi M., Matar M., Barrea L., Masramón E. (2015). Cuantificación de la captura de CO2 por la flora nativa de totora en un humedal costero en Perú. Energeia, 13(13). Recuperado de: http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/greenstone/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=Revistas&d=cuantificacion-captura-co2-flora-nativa

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Pulido Capurro, V. M. y Bermúdez Díaz, L. (2018). Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos de Villa, Lima, Perú. Arnaldoa, 25(2), 679-702. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992018000200019&script=sci_arttext

Ramírez, D., y Cano A. (2010). Estado de la diversidad de la flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima - Perú). Revista Peruana de Biología, 17(1), 111-114. Recuperado de: http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/58

Resolución Presidencial N° 169-2016-SERNANP. Plan Maestro del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa para el periodo 2016-2020. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 05 de julio del 2016.

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2016). Introducción a la Convención sobre los Humedales. Recuperado de: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoconvention_s_final.pdf

Sifleet, S., Pendleton, L., & Murray, B. C. (2011). State of the science on coastal blue carbon: a summary for policy makers. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Report NI, 11, 06. Recuperado de: https://nicholasinstitute.duke.edu/ocean/publications/naturalresources/state-of-science-coastal-blue-carbon

Solaun, K., Larrea, I., Genovés, A., y Muñoz, J. (2013). Blue Carbon: Propuestas para preservar el carbono azul. FactorCO2 ideas. Recuperado de: http://uicnmed.org/bibliotecavirtualposidonia/?p=837

Stillman, J. H. (2019). Heat waves, the new normal: summertime temperature extremes will impact animals, ecosystems, and human communities. Physiology, 34(2), 86-100. doi:10.1152/physiol.00040.2018

Sutton-Grier, A. y Howard, J. (2018). Coastal wetlands are the best marine carbon sink for climate mitigation. Frontiers in Ecology and the Environment. 16(2), 73-74. Recuperado de: https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fee.1766

Tang, J., Ye, S., Chen, X., Yang, H., Sun, X., Wang, F., ... & Chen, S. (2018). Coastal blue carbon: Concept, study method, and the application to ecological restoration. Science China Earth Sciences. 61(6), 637–646. https://doi.org/10.1007/s11430-017-9181-x

Tsao, C. H. (2017). Carbon Sequestration under different land uses and soils in the State of Quintana Roo, Mexico (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. San Luis de Potosí, México.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

United Nations Environment Programme (UNEP). 2018. The Emissions Gap Report 2018. United Nations Environment Programme, Nairobi. Recuperado de: https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/un-environment-releases-2018-annual-report

UNEP. (2016). The Emissions Gap Report 2016. Recuperado de: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/10016/emission_gap_report_2016.pdf

Vanderklift, M. A., Marcos-Martinez, R., Butler, J. R., Coleman, M., Lawrence, A., Prislan, H., ... & Thomas, S. (2019). Constraints and opportunities for market-based finance for the restoration and protection of blue carbon ecosystems. Marine Policy. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X18304846

Vargas, R. (2018). Emisión de CO2 e Impacto en el Suelo por un Incendio en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (Tesis de pregrado). Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

Vieira, M. T., Vieira, A. V., & García, C. M. V. (2019). Vulnerability Index Elaboration for Climate Change Adaptation in Peru. European Journal of Sustainable Development, 8(5), 102. https://doi.org/10.14207/ejsd.2019.v8n5p102

Watson, E. B., e Hinojosa C., A. (2017). Assessment of Blue Carbon Storage by Baja California (Mexico) Tidal Wetlands and Evidence for Wetland Stability in the Face of Anthropogenic and Climatic Impacts. Sensors, 18(1), 32 pp. doi: 10.3390/s18010032

World Wildlife Fund (WWF) Perú y Periferia (2019). Ciudades del Perú. Primer Reporte Nacional de Indicadores Urbanos 2018. Con un enfoque de sostenibilidad y resiliencia. Recuperado de: http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/ciudades_sostenibles_1.pdf

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

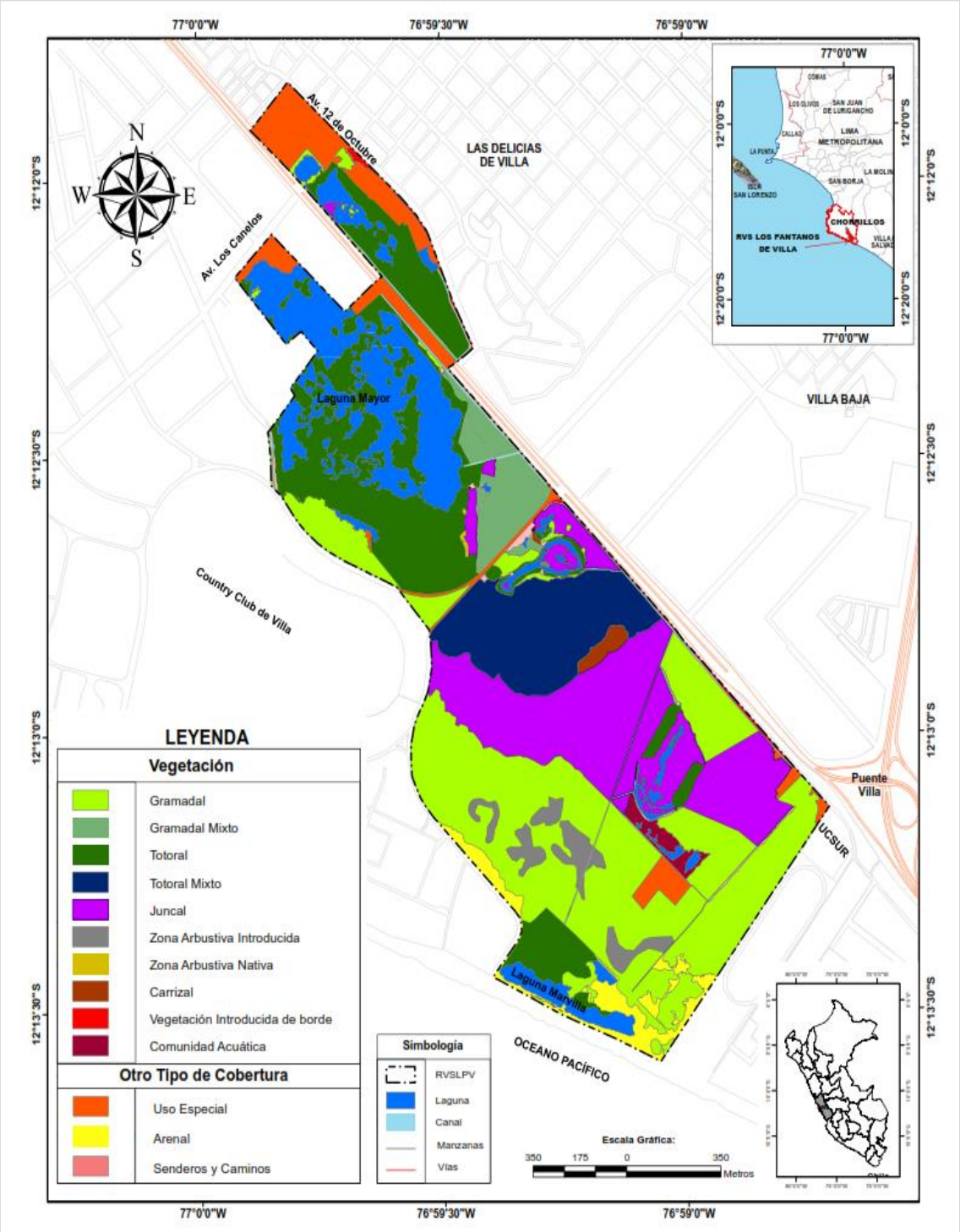
XII. ABREVIATURAS

- BA: Biomasa Aérea
- C: Carbono
- CO_2: Dióxido de Carbono
- CO_{2eq}: Carbono equivalente
- D.S.: Decreto Supremo
- ha: Hectáreas
- Mg: Megagradmos
- MINAM: Ministerio del Ambiente
- RVSPV: Refugio de Vida Silvestre "Los Pantanos de Villa"
- R. P.: Resolución Presidencial
- SERNANP: Servicio Nacional de Áreas Protegidas por el Estado
- SU: Suelo
- t: Toneladas
- tC: Toneladas de Carbono
- tCO_2: Toneladas de CO_2

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

XIII. ANEXOS

Anexo 1: Mapa de Cobertura Vegetal del RVSPV



Elaborado por: Héctor Aponte, Dámaso W. Ramírez, Gustavo Lértora, Fernando Gil Villacres (2018).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 2: Permiso de Colecta emitido por SERNANP

REPUBLICA DEL PERU

RESOLUCION JEFATURAL DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE LOS PANTANOS DE VILLA N° 001-2018-SERNANP-JEF

Chorrillos, 23 de abril del 2018

VISTO:

El Informe N° 008-2018-SERNANP-RVSLPV/CCA de fecha 20 de abril del 2018, que evalúa la solicitud presentada por el señor Alonso Aponte Ubillús para realizar la investigación científica que incluye el ingreso a ámbitos de acceso restringido, la colecta o extracción de muestras biológicas e investigación en predios privados en el marco del proyecto denominado: "Estimación y Valoración del stock de carbono del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (Lima-Perú)", en el ámbito del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, por el periodo de 02 años.

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 29º 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 Nº 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 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 ámbitos de acceso restringido, b) la colecta o extracción de muestras

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

biológicas, c) se prevea la alteración del entorno o instalación de infraestructura en el caso de áreas naturales protegidas de administración nacional, d) el uso de equipo o infraestructura perteneciente a las ANP de administración nacional, e) investigación en predios privados;

Que, mediante Resolución Presidencial Nº 287-2015-SERNANP, publicada el 20 de enero de 2016, se aprueban las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, las mismas que establecen las normas y lineamientos que regulan las investigaciones realizadas al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional;

Que, en el artículo 23° de las precitadas Disposiciones Complementarias se establecen los criterios de evaluación del Plan de Investigación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 35-2017-MINAM del 03 de febrero del 2017, modifica, entre otros, el Procedimiento N° 4 del Texto Único de Procedimientos Administrativos – TUPA del SERNANP, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2012-MINAM y modificado por Resolución Ministerial N° 152-2016-MINAM y Resolución Ministerial N° 315-2016-MINAM;

Que, mediante la Resolución Presidencial N° 099-2017-SERNANP, publicado el 18 de abril de 2017, se modifica el proceso GAN-01-10-Otorgamiento de Certificado de Procedencia, asimismo deja sin efecto la Resolución Presidencial N° 250-2013-SERNANP que 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, a través del documento del visto, el señor Héctor Alonso Aponte Ubillús solicita autorización para realizar investigación científica que incluye el ingreso a ámbitos de acceso restringido, la colecta o extracción de muestras biológicas e investigación en predios privados en el marco del proyecto denominado: "Estimación y Valoración del stock de carbono del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (Lima-Perú)", por el periodo de 02 años;

Que, mediante Informe N° 008-2018-SERNANP-RVSLPV/CCA de fecha 20 de marzo del 2018, se evalúa la solicitud presentada, concluyendo que el expediente cumple con los requisitos establecidos en el artículo 18° de las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, y que el Plan de Investigación se encuentra conforme a los criterios establecidos en el artículo 23° de las Disposiciones Complementarias en mención;

En uso de las atribuciones conferidas por el numeral 2.1 del artículo 2° del Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, el artículo 14° de las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, aprobadas por Resolución Presidencial Nº 287-2015-SERNANP, y el artículo 27° del Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP, aprobado mediante Decreto Supremo Nº 006-2008-MINAM.

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Autorizar el desarrollo de la investigación científica denominada "Estimación y Valoración del stock de carbono del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (Lima-Perú)" a favor de Héctor Alonso Aponte Ubillus, a ser realizada en el ámbito

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa por el periodo de 02 años, contado a partir de la fecha de emisión de la presente Resolución.

Artículo 2º.- Autorizar el ingreso al Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa a las siguientes personas, integrantes del equipo de investigación:

Apellidos y Nombres	Documento de identidad	País de Procedencia	Cargo	Institución
Aponte Ubillús, Héctor Alonso	42815994	Perú	Investigador Principal	Universidad Científica del Sur
Ramírez Huaroto, Dámaso Wilfredo	41807437	Perú	Co - Investigador	Universidad Científica del Sur
Lértora Padilla, Gustavo Adolfo	42161009	Perú	Co - Investigador	Universidad Científica del Sur
Burga Domínguez, Cristina Patricia	45554567	Perú	Estudiante de apoyo	Universidad Científica del Sur
Uceda Vega, Piero Vicenzo	70667699	Perú	Estudiante de apoyo	Universidad Científica del Sur

Artículo 3°.- Autorizar la colecta de individuos de flora para evaluación de biomasa, de acuerdo a lo indicado en el Cuadro N° 1, que no incluye la colecta de ninguna otra especie de flora o fauna que habite en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa.

Cuadro N° 1

Orden	Especie (Taxón)	Cantidad máxima a ser colectada (en letras y números)
Poales	*Schoenoplectus americanus*	Una planta (01)
Poales	*Typha dominguensis*	Una planta (01)
Poales	*Cladium jamaicense*	Una planta (01)
Poales	*Distichlis spicata*	Una planta (01)
Poales	*Paspalum vaginatum*	Una planta (01)
Poales	*Sporobolus virginicus*	Una planta (01)
Caryophyllales	*Salicornia fruticosa*	Una planta (01)

Precisar que la presente autorización no otorga derechos sobre los recursos genéticos o productos derivados de las muestras colectadas.

Artículo 4º.- Los integrantes del equipo de investigación son responsables de conocer y cumplir las disposiciones contenidas en la Ley Nº 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas, y su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo Nº 038-2001-AG, modificado por Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, así como en la Resolución Presidencial N° 287-2015-SERNANP. Asimismo, los investigadores deberán cumplir con las normas que la Jefatura y su personal dispongan durante el desarrollo de la investigación.

Artículo 5°.- El señor Héctor Alonso Aponte Ubillus, autorizado en el artículo 1° de la presente Resolución, en su calidad de investigador principal asume las siguientes obligaciones y compromisos:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

a. Presentar copia de la presente autorización al personal del ANP que lo solicite.
b. No extraer muestras biológicas distintas a las autorizadas.
c. Tramitar el certificado de procedencia, cuando se requiera trasladar las muestras de material biológico colectado fuera del ámbito del ANP.
d. Comunicar al SERNANP cualquier nuevo registro para la ciencia, debiendo entregar una copia del depósito del holotipo del nuevo taxa en una institución científica nacional autorizada. La extracción de dichos ejemplares incluyendo los nuevos registros para el ANP deberán ser reportados a la Jefatura de ANP (en el Puesto de Control o sede administrativa más cercana) para su respectiva consignación en el certificado de procedencia.
e. Gestionar los permisos de exportación ante la autoridad competente, cuando se requiera enviar al extranjero parte del material biológico colectado.
f. Entregar una vez publicado los resultados de la investigación, una copia digital del informe o la publicación al SERNANP y autorizar su registro en la biblioteca digital del SERNANP.
g. Entregar a la jefatura del ANP un informe final de la investigación.
h. No utilizar las muestras biológicas con fines de acceso a recursos genéticos o sus productos derivados; así como, no utilizar los conocimientos colectivos vinculados a los recursos biológicos de pueblos indígenas; sin contar con el contrato de acceso correspondiente.

El incumplimiento injustificado de estas obligaciones y compromisos producirá el ingreso del investigador en la lista de investigadores inhabilitados para próximas autorizaciones emitidas por el SERNANP.

Artículo 7º.- La autorización a la que se refiere el Artículo 1° caducará automáticamente al vencer el plazo concedido, por el incumplimiento injustificado de los compromisos adquiridos o por cualquier daño al patrimonio natural, sin perjuicio de las responsabilidades administrativas, civiles o penales que pudieran originarse.

Artículo 8º.- El SERNANP se abstiene de toda responsabilidad por los accidentes o daños que puedan sufrir los integrantes del equipo de investigación durante el desarrollo del proyecto de investigación científica.

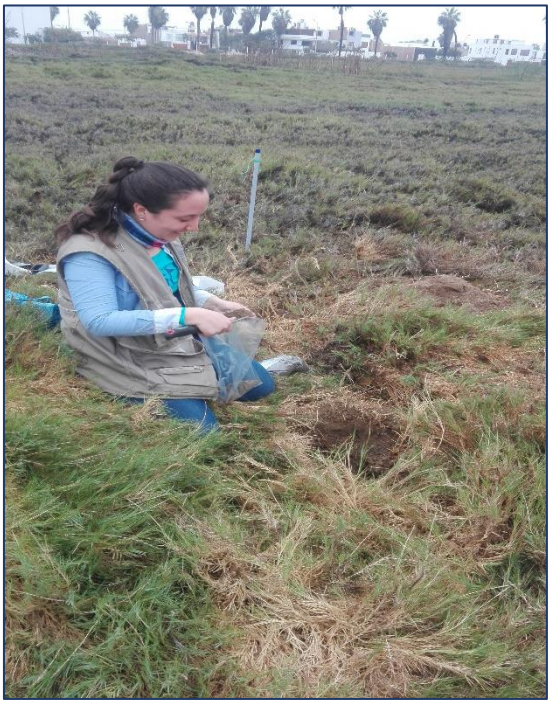
Artículo 9º.- Regístrese la presente Resolución en el Módulo de Seguimiento a las autorizaciones de investigación del SERNANP, en el archivo de autorizaciones del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa y publíquese en la página web del SERNANP (www.sernanp.gob.pe).

Regístrese y comuníquese.

Ing. Omar Antonio Ubillus Tolentino
Jefe del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa
Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
SERNANP

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 3: Panel Fotográfico

Vista del Gramadal	Vista del Gramadal Mixto
	

Parcela de 0.5 x 0.5m colocada en Gramadal

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Toma de muestra de suelo en Gramadal, empleando barreno	Toma de muestra de suelo en Gramadal Mixto, empleando barreno

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Vista de Totoral Mixto
(en el lado izquierdo se aprecia la comunidad de Typha domingensis y en el lado derecho, la comunidad de Cladium jamaicense)

Vista del Totoral (comunidad de *Typha domingensis*)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Parcela de 0.5 x 0.5m colocada en Totoral	Bloque de suelo de totoral extraído para toma de muestra de suelo

Extracción de muestra de suelo de totoral con cilindro de muestreo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Acondicionamiento de muestras de suelo de Totoral y de la comunidad de Cladium jamaicense para análisis de densidad

Acondicionamiento de muestras de suelo de los gramadales para análisis de densidad

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

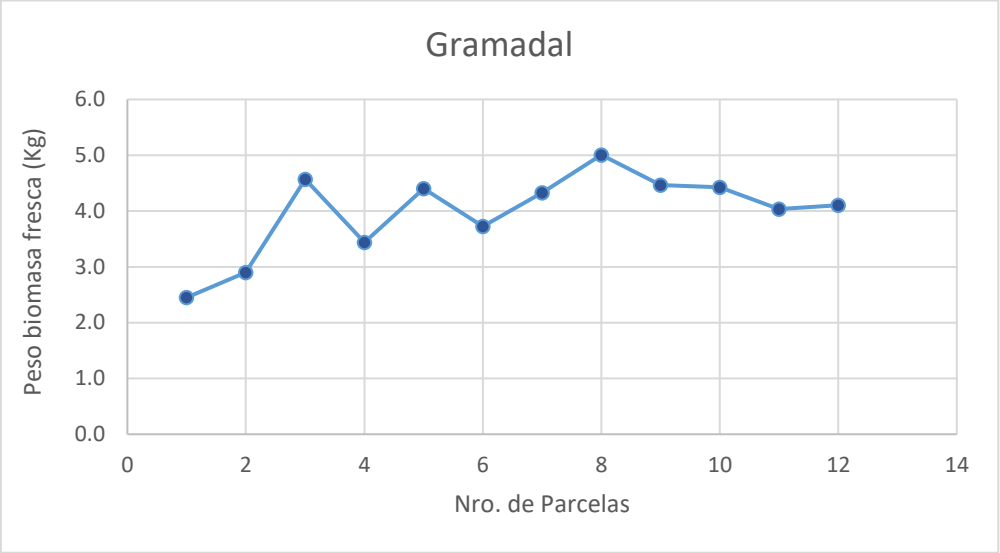
Muestras de biomasa de totora para análisis de peso seco	Muestras de biomasa de grama para análisis de peso seco
Muestras de biomasa de Schoenoplectus americanus (junco) para análisis de peso seco	**Muestras de biomasa de Cladium (corta-corta) para análisis de peso seco**

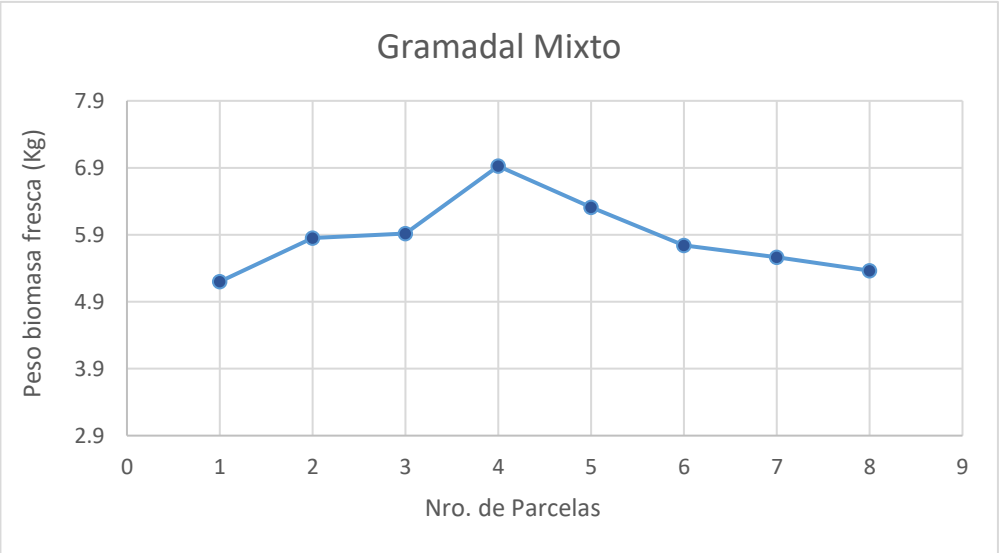
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Balanza analítica empleada para el pesaje de las muestras	Estufa empleada para los análisis de densidad aparente del suelo y peso seco de biomasa

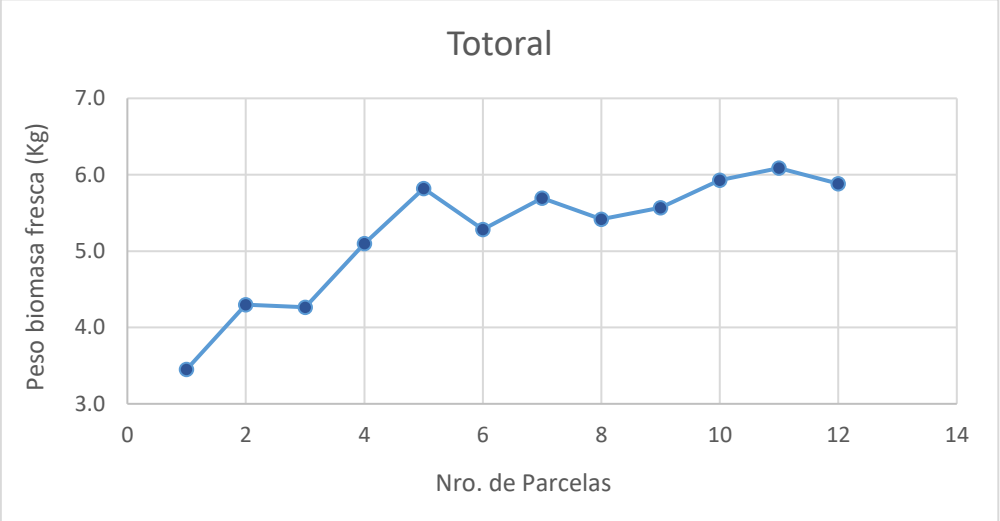
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

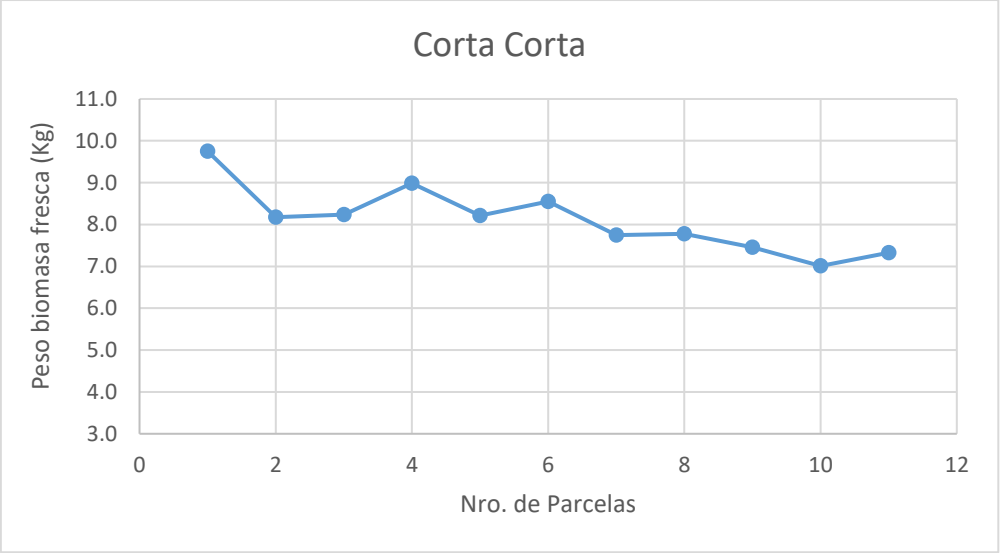
Anexo 4: Curvas de Performance





Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis





Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 5: Pruebas Estadísticas

5.1. Pruebas de Normalidad - Shapiro-Wilk

	Carbono en Biomasa Aérea - Gramadal (TnC/Ha)	Carbono en Biomasa Aérea - Totoral (TnC/Ha)	Carbono en Biomasa Aérea - Gramadal Mixto (TnC/Ha)
N	12	12	8
Shapiro-Wilk W	0.8827	0.9052	0.755
p(normal)	0.09478	0.1853	0.009278
Anderson-Darling A	0.5388	0.5024	0.9287
p(normal)	0.1309	0.1645	0.009359
p(Monte Carlo)	0.1383	0.169	0.0074
Jarque-Bera JB	1.134	1.244	4.538
p(normal)	0.5671	0.5368	0.1034
p(Monte Carlo)	0.2443	0.198	0.0095

	Carbono en Suelo de 0 a 10 cm - Gramadal (TnC/Ha)	Carbono en Suelo de 0 a 10 cm - Totoral (TnC/Ha)	Carbono en Suelo de 0 a 10 cm - Gramadal Mixto (TnC/Ha)
N	12	12	8
Shapiro-Wilk W	0.7103	0.9174	0.9052
p(normal)	0.001061	0.2651	0.3213
Anderson-Darling A	1.671	0.4905	0.3776
p(normal)	0.0001324	0.1771	0.3144
p(Monte Carlo)	0.0002	0.1803	0.3413
Jarque-Bera JB	2.106	1.106	0.4408
p(normal)	0.3489	0.5753	0.8022
p(Monte Carlo)	0.0836	0.25	0.7288

	Carbono en Suelo de 10 a 20 cm - Gramadal (TnC/Ha)	Carbono en Suelo de 10 a 20 cm - Totoral (TnC/Ha)	Carbono en Suelo de 10 a 20 cm - Gramadal Mixto (TnC/Ha)
N	12	12	8
Shapiro-Wilk W	0.6904	0.9265	0.9317
p(normal)	0.0006827	0.3447	0.5316
Anderson-Darling A	1.569	0.3444	0.2657
p(normal)	0.0002459	0.4227	0.5827
p(Monte Carlo)	0.0005	0.4345	0.6497
Jarque-Bera JB	8.219	0.9787	0.7487
p(normal)	0.01642	0.613	0.6877
p(Monte Carlo)	0.0073	0.3305	0.3779

	Reserva de Carbono - Gramadal (Biomasa aérea + Suelos 0-10cm + Suelos 10-20cm) (TnC/Ha)	Reserva de Carbono - Tototal (Biomasa aérea + Suelos 0-10cm + Suelos 10-20cm) (TnC/Ha)	Reserva de Carbono - Gramadal Mixto (Biomasa aérea + Suelos 0-10cm + Suelos 10-20cm) (TnC/Ha)
N	12	12	8
Shapiro-Wilk W	0.8175	0.9406	0.843
p(normal)	0.01494	0.5057	0.0808
Anderson-Darling A	0.9649	0.2762	0.548
p(normal)	0.009805	0.589	0.1075
p(Monte Carlo)	0.0106	0.624	0.1091
Jarque-Bera JB	1.649	0.7814	2.617
p(normal)	0.4385	0.6766	0.2703
p(Monte Carlo)	0.1163	0.4712	0.0331

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

5.2. Pruebas Estadísticas: Kruskal-Wallis y Mann-Whitney

1) BIOMASA AÉREA

Kruskal-Wallis test for equal medians

H (chi^2):	1.457
H_c (tie corrected):	1.457
p (same):	0.4827

There is no significant difference between sample medians

Resultados obtenidos con Mann-Whitney	Carbono en Biomasa Aérea (tC/ha) - Gramadal	Carbono en Biomasa Aérea (tC/ha) - Totoral	Carbono en Biomasa Aérea (tC/ha) - Gramadal Mixto
Carbono en Biomasa Aérea (tC/ha) - Gramadal	-	0.4357	0.7871
Carbono en Biomasa Aérea (tC/ha) - Totoral	0.4357	-	0.203
Carbono en Biomasa Aérea (tC/ha) - Gramadal Mixto	0.7871	0.203	-

2) SUELO DE 0 A 10 cm

Kruskal-Wallis test for equal medians

H (chi^2):	3.061
H_c (tie corrected):	3.061
p (same):	0.2165

There is no significant difference between sample medians

Resultados obtenidos con Mann-Whitney	Carbono en Suelo de 0 a 10 cm (tC/ha) - Gramadal	Carbono en Suelo de 0 a 10 cm (tC/ha) - Totoral	Carbono en Suelo de 0 a 10 cm (tC/ha) - Gramadal Mixto
Carbono en Suelo de 0 a 10 cm (tC/ha) - Gramadal	-	0.1572	0.203
Carbono en Suelo de 0 a 10 cm (tC/ha) - Totoral	0.1572	-	0.3348
Carbono en Suelo de 0 a 10 cm (tC/ha) - Gramadal Mixto	0.203	0.3348	-

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

3) SUELO DE 10 A 20 cm

Kruskal-Wallis test for equal medians

H (chi^2):	7.638
H_c (tie corrected):	7.638
p (same):	0.02195

There is a significant difference between sample medians

Resultados obtenidos con Mann-Whitney	Carbono en Suelo de 10 a 20 cm (tC/ha) - Gramadal	Carbono en Suelo de 10 a 20 cm (tC/ha) - Totoral	Carbono en Suelo de 10 a 20 cm (tC/ha) - Gramadal Mixto
Carbono en Suelo de 10 a 20 cm (tC/ha) - Gramadal	-	0.01414	0.03387
Carbono en Suelo de 10 a 20 cm (tC/ha) - Totoral	0.01414	-	0.9692
Carbono en Suelo de 10 a 20 cm (tC/ha) - Gramadal Mixto	0.03387	0.9692	-

4) RESERVAS DE CARBONO POR COMUNIDAD, POR HECTÁREA (BA + Suelo 0-10cm + suelo 10-20cm)

Kruskal-Wallis test for equal medians

H (chi^2):	4.014
H_c (tie corrected):	4.014
p (same):	0.1344

There is no significant difference between sample medians

Resultados obtenidos con Mann-Whitney	Reserva Total de Carbono (BA + Suelo 0-10cm + suelo 10-20cm) (tC/ha) - Gramadal	Reserva Total de Carbono (BA + Suelo 0-10cm + suelo 10-20cm) (tC/ha) - Totoral	Reserva Total de Carbono (BA + Suelo 0-10cm + suelo 10-20cm) (tC/ha) - Gramadal Mixto
Reserva Total de Carbono (BA + Suelo 0-10cm + suelo 10-20cm) (tC/ha) - Gramadal	(Ctrl) -	0.1749	0.177
Reserva Total de Carbono (BA + Suelo 0-10cm + suelo 10-20cm) (tC/ha) - Totoral	0.1749	-	0.05873
Reserva Total de Carbono (BA + Suelo 0-10cm + suelo 10-20cm) (tC/ha) - Gramadal Mixto	0.177	0.05873	-

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

5.3. Resumen estadístico

	Carbono en Biomasa Aérea (BA) - Gramadal (TnC/Ha)	Carbono en Biomasa Aérea (BA) - Totoral (TnC/Ha)	Carbono en Biomasa Aérea (BA) - Gramadal Mixto (TnC/Ha)	Carbono en Biomasa Aérea (BA) - Corta Corta (TnC/Ha)
N	12	12	8	12
Min	0.76	30.01	17.34	25.31
Max	114.25	96.93	121.03	208.97
Sum	576.86	756.62	392.91	1182.82
Mean	48.07	63.05	49.11	98.57
Std. error	12.24252	6.830004	11.07084	14.8771
Variance	1798.551	559.7874	980.5085	2655.937
Stand. dev	42.40933	23.65983	31.31307	51.53578
Median	43.355	59.13	44.245	98.845
25 prcntil	2.27	40.2675	29.2525	61.0225
75 prcntil	93.0125	86.2975	49.795	135.3525
Skewness	0.2644468	0.08101211	2.017639	0.6732354
Kurtosis	-1.545332	-1.762963	5.124988	0.4485704
Geom. mean	19.03	58.77633	42.46491	85.49793
Coeff. var	88.22	37.52	63.76	52.28

	Carbono en el Suelo de 0-10 cm - Gramadal (TnC/Ha)	Carbono en el Suelo de 0-10 cm - Totoral (TnC/Ha)	Carbono en el Suelo de 0-10 cm - Gramadal Mixto (TnC/Ha)	Carbono en el Suelo de 0-10 cm - Corta Corta (TnC/Ha)
N	12.00	12.00	8.00	12.00
Min	2.58	12.37	14.12	4.17
Max	71.96	41.66	48.50	49.71
Sum	245.29	353.03	216.50	394.65
Mean	20.44	29.42	27.06	32.89
Std. error	7.53	2.59	4.06	4.00
Variance	680.93	80.78	131.56	192.36
Stand. dev	26.09	8.99	11.47	13.87
Median	4.28	31.85	28.78	35.06
25 prcntil	2.91	20.33	15.47	26.23
75 prcntil	46.61	35.37	32.09	43.09
Skewness	1.09	-0.75	0.66	-0.85
Kurtosis	-0.51	-0.41	0.47	0.18
Geom. mean	8.45	27.85	24.97	28.19
Coeff. var	127.66	30.55	42.38	42.17

	Carbono en el Suelo de 10-20 cm - Gramadal (TnC/Ha)	Carbono en el Suelo de 10-20 cm - Totoral (TnC/Ha)	Carbono en el Suelo de 10-20 cm - Gramadal Mixto (TnC/Ha)	Carbono en el Suelo de 10-20 cm - Corta Corta (TnC/Ha)
N	12.00	12.00	8.00	12.00
Min	1.15	16.09	12.25	6.48
Max	80.85	45.74	51.84	86.42
Sum	203.43	386.83	254.84	358.20
Mean	16.95	32.24	31.86	29.85
Std. error	6.95	2.94	5.28	7.00
Variance	579.71	103.71	223.37	588.06
Stand. dev	24.08	10.18	14.95	24.25
Median	4.13	35.39	33.60	17.85
25 prcntil	2.96	22.97	16.81	14.21
75 prcntil	30.76	41.49	45.65	44.96
Skewness	1.99	-0.44	-0.05	1.48
Kurtosis	4.06	-1.12	-1.74	1.51
Geom. mean	7.18	30.52	28.37	22.88
Coeff. var	142.03	31.59	46.92	81.24

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis