



UNIVERSIDAD
**SAN IGNACIO
DE LOYOLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

**ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LAS
ESPECIES PREDOMINANTES DEL HUMEDAL
TRAGADERO-JUNÍN**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

CLAVELI CHANG OCAÑA
(0000-0002-1480-8954)

LIDUVINA MARIA MANDARACHI MISARI
(0000-0002-6412-1448)

Asesor:
Orlando Advíncula Zeballos
(0000-0003-2042-7872)

Lima – Perú
2021

EPÍGRAFE

Investigar es ver lo que todo el mundo ha visto,
y pensar lo que nadie más ha pensado.

(Albert Szent-Gyorgyi)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
AGRADECIMIENTOS.....	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
Identificación del problema	14
Formulación del problema	16
Problema General.....	16
Problemas Específicos.....	16
Justificación de la investigación	17
Teórica.....	17
Práctica.	17
Social.....	17
Objetivos de la investigación.....	18
Objetivo General.	18
Objetivos Específicos.....	18
MARCO TEÓRICO	19
Antecedentes del problema	19
Antecedentes Nacionales.....	19

Antecedentes Internacionales.....	21
Estado del arte.....	24
Bases teóricas.....	26
Calentamiento Global.....	26
Cambio Climático.	29
Efecto Invernadero.	31
El Carbono.....	32
Almacenamiento de carbono.....	36
Humedales.....	39
HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	42
Hipótesis	42
Hipótesis General.	42
Hipótesis Específicas.....	42
Variables	42
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	44
Alcances.....	44
Limitaciones.....	44
MARCO METODOLÓGICO	46
Metodología	46
Paradigma	46
Enfoque	46
Método	47

Población	47
Muestra	47
Materiales.....	48
Procedimiento	49
Determinación del área de estudio	49
Recolección de las muestras.....	51
Análisis químico de las muestras	52
Cálculo del almacenamiento de carbono.....	52
Análisis estadístico.....	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
Resultados	56
Identificación de las especies vegetales predominantes en el humedal Tragadero .	56
Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa vegetal (aérea y radicular)	57
Cuantificación del carbono almacenado en el sustrato suelo del humedal Tragadero	
.....	60
Discusiones	62
Peso Seco por especie en el humedal Tragadero.....	62
Factor de Carbono en la biomasa vegetal (%)......	63
Contenido de Carbono en la biomasa vegetal (tC/h)......	63
Densidad aparente del suelo (g/cm ³)	65
Contenido de Carbono en el Suelo (tC/h)	65
Captura de Dióxido de Carbono (CO ₂)	67

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
Conclusiones	68
Recomendaciones	69
REFERENCIAS	70
ANEXOS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proyecciones del calentamiento global. Recuperado de El calentamiento global y las emisiones de carbono.	27
Figura 2. Variación de la temperatura anual desde 1880	28
Figura 3. Ciclo del Carbono. Recuperado del artículo “Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de Reservorio”	36
Figura 4. Especies predominantes del humedal Tragadero	56
Figura 5. Diferencias de las Reservas de Carbono de las especies en estudio	60
Figura 6. Reservas de Carbono (tC/h) del suelo orgánico de cada Centro Poblado (Tragadero, Muquillanqui, Chocón y Pachascucho), en mayo 2021.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficios de los Servicios Ecosistémicos de los humedales.	41
Tabla 2. Lista de especies de flora en categoría de amenaza.	57
Tabla 3. Reservas de Carbono (tC/h) de la biomasa vegetal de las especies por Centros Poblados del humedal Tragadero, en mayo 2021.....	58
Tabla 4. Análisis de Varianzas de la Captura de Carbono.	59
Tabla 5. Promedio de las Reservas de Carbono (tC/h) de la biomasa vegetal (aérea y radicular) de las especies predominantes del humedal Tragadero, en mayo 2021.....	59
Tabla 6. Reservas de Carbono (tC/h) del suelo orgánico por Centros Poblados del humedal Tragadero, en mayo 2021.	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapas

Anexo 2. Formatos de campo

Anexo 3. Registros de la salida de campo

Anexo 4. Análisis estadístico de los resultados

Anexo 5. Fotografías de las especies vegetales existentes en el humedal

Anexo 6. Registro fotográfico de campo

Anexo 7. Oficios presentados a los Centros Poblados

Anexo 8. Informe de análisis especial en foliar y suelo de las muestras del humedal

Tragadero

DEDICATORIA

A Dios,

Por proveernos la VIDA.

A nuestros padres,

Por el apoyo incondicional que nos brindan para lograr nuestros objetivos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad San Ignacio de Loyola (USIL) por brindarnos las herramientas necesarias para alcanzar nuestras metas, a los docentes de la Facultad de Ingeniería por los conocimientos académicos brindados durante los 5 años de formación.

Al Blgo. Orlando Advíncula Zeballos, por ser nuestro asesor de Tesis, por sus comentarios y sabios consejos para el desarrollo de la presente investigación.

A las juntas directivas de los Centros Poblados (Tragadero, Muquillanqui, Chocón y Pachascucho) por brindarnos las facilidades para realizar los muestreos en campo.

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el propósito de evaluar la capacidad de captura de carbono de las especies predominantes en el humedal Tragadero – Junín en mayo del 2021, para identificar la vegetación en el área se sectorizó con el Software ArcGis, donde se consideró un total de 12 puntos de muestreo aleatoriamente, teniendo en cuenta las bandas de colores del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Para la recolección de las muestras de las especies vegetales y del sustrato suelo se empleó la metodología propuesta por el Centro Mundial Agroforestal – ICRAF. De acuerdo con los resultados obtenidos el trébol, *Trifolium repens*, almacena 36.88 tC/h y la grama, *Cenchrus clandestinus*, 35.68 tC/h; a diferencia de la totora, *Schoenoplectus californicus*, que captura 24.82 tC/h y el Nyush, *Hydrocotyle sp*, solo 16.76 tC/h. Asimismo, en el suelo se almacena de 66.43 tC/h a 292.68 tC/h en los cuatro centros poblados que abarca el humedal. En conclusión, en promedio las especies vegetales almacenan 342.45 tC/h y el sustrato suelo 193.60 tC/h. Por lo tanto, el reservorio de CO₂ en el humedal Tragadero en mayo del 2021 es de 4,095.14 tCO₂/h, la cual está muy influenciada por el sustrato suelo.

PALABRAS CLAVES: Captura de carbono, humedales, especies predominantes, sustrato suelo.

ABSTRACT

The present research was carried out with the purpose of evaluating the carbon capture capacity of the predominant species in the Tragadero – Junín wetland in May 2021, to identify the vegetation in the area, it was sectorized with the ArcGis Software, where a total of 12 random sampling points, taking into account the color bands of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). For the collection of samples of plant species and soil substrate, the methodology proposed by the World Agroforestry Center – ICRAF was used. According to the results obtained, the clover, *Trifolium repens*, stores 36.88 tC/h and the grass, *Cenchrus clandestinus*, 35.68 tC/h; unlike the cattail, *Schoenoplectus californicus*, which captures 24.82 tC/h and the Nyush, *Hydrocotyle sp*, only 16.76 tC/h. Likewise, the soil is stored from 66.43 tC/h to 292.68 tC/h in the four populated centers that the wetland encompasses. In conclusion, on average the plant species store 342.45 tC/h and the soil substrate 193.60 tC/h. Therefore, the CO₂ reservoir in the Tragadero wetland in May 2021 is 4,095.14 tCO₂/h, which is highly influenced by the soil substrate.

Key words: Carbon sequestration, wetlands, predominant species, soil substrate.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Identificación del problema

Según el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) con el transcurso de los años las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial se han ido incrementando, tales como las concentraciones del dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4), debido a las actividades antropogénicas desde 1750, y que son muy superiores a los valores preindustriales.

Asimismo, el aumento de las concentraciones de CO_2 , se debe al uso de combustibles de origen fósil y en menor proporción a los cambios de uso de tierra (IPCC, 2007). Del mismo modo la Food and Agriculture Organization (FAO, 2017), menciona que la pérdida de carbono en el suelo provoca la pérdida de fertilidad y en consecuencia la degradación de los suelos lo que constituye una fuente de emisiones de dióxido de carbono (CO_2).

El cambio climático podría ser aquel factor que contribuya a la pérdida de la gran biodiversidad que albergan bosques, humedales, lagunas, lagos, etc., ya que estos ecosistemas han cambiado debido al calentamiento global (IPCC, 2018), además, se proyecta que el incremento de las temperaturas repercutirá en el funcionamiento de aquellos ecosistemas y los medios de vida que dependen de la biodiversidad (FAO, 2017). Tal es el caso, que con un calentamiento global de $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ se prevé que la pérdida de ecosistemas y biodiversidad será menor que con $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, se conservarán los servicios ecosistémicos (IPCC, 2018).

Por otro lado, el dióxido de carbono (CO_2) es el gas más representativo en lo que concierne al calentamiento global, por tanto, los humedales y lagunas, que son poco investigados podrían ser una solución para mitigar dicho problema, debido a su capacidad

de almacenar y/o retener el carbono en cada una de sus especies de flora que existen en dichos ecosistemas (Medrano et al., 2012).

Los humedales que existen en el territorio peruano brindan diversos servicios ecosistémicos, sin embargo, el crecimiento de la población y sus malas acciones, han incrementado las amenazas para dichos humedales, lo que conllevaría a la desaparición de dichos ecosistemas implicando que sus funciones ecológicas que brindan desaparezcan por completo (Palomino y Cabrera, 2007).

Del humedal Tragadero solo se evidencia dos estudios: la tesis realizada por Segura (2019) “Diversidad e índice de productividad vegetal del humedal Chocón - Jauja”, indica que existe 13 familias, 24 géneros y 27 especies vegetales en el humedal.

Asimismo, el artículo de Suárez et al., (2015) “Evaluación Ecológica Rápida del Humedal de Tragadero (Junín, Perú)” donde se registraron 23 especies de flora vascular, 11 familias con 5 especies asociados al cuerpo de agua y pantano (humedal) y 18 en zonas marginales. Además, los suelos tienen alto contenido de materia orgánica (*mayor a 4%*), carbonato de calcio (*mayor a 5%*), son ligeramente alcalinos y presentan una textura franco arenoso.

Además, según los resultados de la investigación realizada por Suárez et al. (2015), los niveles de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (12.00 mgO₂/l) y Nitrógeno total (18.29 mg/l) se encuentran por encima del estándar lo cual significa que hay algunos indicios de contaminación; también existen altos niveles de fósforo (1.57 mgP/l) que se deberían al uso de fertilizantes en los campos de cultivo que se encuentran cercanos al humedal Tragadero.

Cabe indicar que la población de los centros poblados que son aledaños al área de estudio hacen uso del lago asociado al humedal Tragadero para el lavado de ropa, bebida de animales, riego de sus cultivos, así como la extracción de totora, desconociendo la importancia de su cuidado y conservación.

Finalmente, se eligió el humedal Tragadero porque no existen estudios relacionados al almacenamiento de carbono en la zona, además, la población al desconocer de sus valores y beneficios ecológicos que brinda dicho ecosistema, está alterando la biodiversidad que alberga. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue evaluar la capacidad de captura de carbono de las especies predominantes en el humedal Tragadero-Junín.

Formulación del problema

Problema General.

- ¿Cuál es la capacidad de captura de carbono de las especies predominantes en el humedal Tragadero en los distritos de Acolla y Marco de la región Junín?

Problemas Específicos.

- ¿Cuáles son las especies vegetales que más predominan en el humedal Tragadero-Junín?
- ¿Cuál es la cantidad de carbono que almacena cada una de las especies que predominan en el humedal Tragadero-Junín?
- ¿Cuál es la cantidad de carbono que almacena el sustrato del suelo en el humedal Tragadero -Junín?
- ¿Cuál es la cantidad de reservas totales del dióxido de carbono (CO₂) que se encuentran almacenadas en el humedal Tragadero -Junín?

Justificación de la investigación

Teórica.

La presente investigación resulta importante, debido a la poca información disponible respecto a la cantidad de almacenamiento y/o captura de carbono en humedales altoandinos, específicamente en el humedal Tragadero-Junín, asimismo, esta investigación aportará al campo de la Ingeniería para llenar los vacíos de conocimientos de la comunidad científica y servirá para difundir que el humedal Tragadero, es una fuente importante de sumidero de carbono, que debe ser cuidada y/o protegida tanto por la población como por las autoridades pertinentes.

Práctica.

La presente investigación servirá para conocer la estimación del servicio ambiental de captura de carbono de la flora predominante del humedal para contribuir a la conservación del humedal Tragadero, ya que es una forma de mitigar la concentración de CO₂ en la atmósfera, debido a que dicho ecosistema actúa como sumidero de carbono, por tanto, se podrá plantear algunas alternativas sostenibles respecto al uso de los servicios ambientales del humedal sin generar impactos negativos, como se viene dando en la actualidad. Asimismo, esta investigación será un aporte a la comunidad científica para generar adecuados planes de manejo ambiental por parte de las autoridades.

Social.

El área de interés a nivel nacional es el aportar a la comunidad científica conocimiento sobre la captura y almacenamiento de Carbono de los humedales andinos, a nivel regional, es que se planteen programas para conservar el ecosistema del humedal Tragadero, debido a que es uno de los importantes ecosistemas de la región, y a nivel local es generar

conciencia ambiental de las comunidades aledañas, para la conservación y mantenimiento del humedal Tragadero, debido a que estos traen consigo beneficios a la población.

Objetivos de la investigación

Objetivo General.

- Evaluar la capacidad de captura de carbono de las especies predominantes en el humedal Tragadero-Junín, en mayo 2021.

Objetivos Específicos.

- Identificar las especies vegetales predominantes del humedal Tragadero en los distritos de Acolla y Marco de la región Junín, en mayo 2021.
- Determinar la cantidad de carbono que almacena cada una de las especies vegetales que predominan en el humedal Tragadero-Junín, en mayo 2021.
- Determinar la cantidad de carbono que almacena el sustrato del suelo en el humedal Tragadero-Junín, en mayo 2021.
- Estimar las reservas totales del dióxido de carbono (CO₂) que se encuentran almacenadas en el humedal Tragadero-Junín, en mayo 2021.

MARCO TEÓRICO

Antecedentes del problema

Antecedentes Nacionales.

Alvis (2018), en la tesis “Almacenamiento de Carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma - Arequipa, 2017”, realizó una investigación con el objetivo de estimar el contenido de carbono en dichos humedales; con respecto a su metodología, utilizó una imagen de satélite LandSat 8 para establecer 30 puntos de muestreo de manera aleatoria, a partir de una grilla con cuadrantes de 250 m² generada con el software QGIS. Se extrajeron las muestras de 3 estratos: biomasa aérea (hojas y tallos), biomasa bajo suelo (raíces) y el suelo, posteriormente se envió al laboratorio para la determinación del carbono orgánico por el método Walkey y Black. Como resultados, obtuvieron en la biomasa seca aérea (49.11 % C), en el suelo (43.05 % C) y en la biomasa bajo suelo (42.53 % C), donde las especies dominantes y los factores físicos fueron los principales elementos que influyen en dichos porcentajes. Las reservas de carbono en el suelo (218.28 tC/ha) fueron mayores que la biomasa bajo suelo (19.72 tC/ha) y la biomasa aérea (4.77 tC/ha), ello depende tanto de factores ambientales, la fracción de carbono y de su peso seco. Asimismo, el carbono total almacenado con relación al área total del bofedal de Chalhuanca, la cual equivale a 882.54 h, es aproximadamente 795,415.65 tCO₂.

Palomino (2007), en la tesis “Estimación del servicio ambiental de captura de CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo”, tuvo como objetivo estimar la captura de dióxido de carbono (CO₂) como Servicio Ambiental de las especies de flora predominante y de valor artesanal de los humedales de Puerto Viejo del distrito de San Antonio - Cañete. Utilizó la metodología propuesta por el ICRAF (The World Agroforestry Centre). Como

resultado, de las especies de flora en estudio (grama salada, salicornia, totora y junco), la “tatora” y el “junco” capturan más dióxido de carbono a comparación de las demás especies, teniendo como valores 73.7 tCO₂/h y 40.6 tCO₂/h respectivamente, a comparación de las otras especies que capturaron menor cantidad; debido a que no son especies de valor artesanal, a diferencia de la totora y el junco. Asimismo, la especie “tatora” presenta mayor cantidad de carbono, ya que es cortada cada año por tanto se produce un nuevo almacenamiento del carbono en su estructura.

Mita (2019), en la tesis “Evaluación de la captura de carbono en los bofedales de la laguna de Conococha en base a la especie de flora predominante del área de estudio - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash - 2018”, delimitó dos tipos de bofedales en el área de estudio, donde aplicó la metodología estandarizada por el ICRAF, para ello utilizó el método del cuadrante para el muestreo de biomasa arbustiva y biomasa de raíces; asimismo, realizó el muestreo de suelos. Como resultados, el bofedal N° 1, puede capturar en promedio 394.0101 t/h, siendo aproximadamente un 84% el carbono capturado por el suelo y el 16% por la biomasa arbustiva y radicular y el bofedal N° 2, puede capturar un promedio de 388.4406 t/h, siendo aproximadamente 95% el carbono capturado por el suelo y el 5.3% por la biomasa arbustiva y radicular, lo que significa que existe mayor carbono en el suelo que permanecen durante un buen tiempo inundado y la captura en especies depende del tamaño de estas, debido a que aportan mayor cantidad de materia orgánica.

Barra (2019), en la tesis “Captura de Carbono por la vegetación en el bofedal de la Moya, en el distrito de Melgar Ayaviri, 2019” se definió cinco zonas para investigación de las 54 hectáreas del bofedal de la Moya, donde recogió muestras de flora a inicios de año con el uso del cuadrante de 1 m² y para hallar el porcentaje de carbono utilizó el

método de Walkley - Black modificado. Y respecto a los resultados, de todas las especies estudiadas, se obtuvo que *Trifolium repens*, *Hydrocotyle sp* y *Scirpus sp* son las que aportan más carbono, debido a que posee un tejido y una biomasa compacta; y las que son de manera limitada son *Schoenoplectus sp*, *Sporobulus sp* y *Poa sp*, pero contribuyen a la reducción de CO₂. Asimismo, el bofedal captura 331,620.5 tC en las 54 hectáreas, por ello se concluyó que el bofedal de la Moya purifica el aire y almacena el carbono en las plantas como un servicio ecosistémico.

Velasquez (2019), en la tesis “Captura y Almacenamiento de carbono relacionado con la totora “*Schoenoplectus Californicus*” del Área de Conservación Regional Albúfera de Medio Mundo-Vegueta 2017” definió cuatro puntos en el mapa de cobertura vegetal de la zona, con transectos de 1 m x 1 m siguiendo la metodología del ICRAF; el método de muestreo fue no probabilístico por conveniencia en cada punto de muestreo, asimismo, determinaron el factor de conversión del carbono de la totora en estudio mediante el método de Walkley y Black y determinaron las reservas de carbono de la especie (parte aérea y su raíz). De acuerdo con los resultados, la especie de la totora, la cual tiene un valor artesanal, capta 106.39 tCO₂/h; y en la parte aérea y raíz es de 29.07 tC/h, cabe resaltar que dicha especie de valor artesanal presenta mayor captura de carbono, debido a que anualmente es cortada y se produce un nuevo almacenamiento de C en su estructura.

Antecedentes Internacionales.

Marín (2013), en la tesis “Balance Neto de Carbono en Suelos de Humedales Costeros de Agua Dulce: Implicaciones Ecológicas y Sociales”, tuvo como propósito comparar la densidad de secuestro de Carbono y emisión de GEI (CH₄, N₂O y CO₂) en humedales de agua dulce con diferentes comunidades de planta en la planicie costera del Golfo de México. Se trató de un estudio cualitativo y cuantitativo, donde se comparó las

características geomórficas de los sitios: estuarino, perilacustre y depresional, las emisiones de GEI fueron comparadas con respecto a la temporada climática, con los datos de Carbono secuestrado y liberado en forma de GEI, la concentración de Carbono en el suelo y la densidad aparente fueron medidas cada 2 cm en perfiles de 80 cm de profundidad en cinco humedales herbáceos y arbóreos, además se midió durante un año la tasa de acreción en tres de los cinco humedales y el Carbono secuestrado se calculó para los tres sitios, asimismo, los GEI fueron bimestralmente medidos con el método de la cámara cerrada. Los resultados indicaron que los humedales dulceacuícolas estudiados funcionan como sumideros cuando no se considera el potencial de calentamiento global de los GEI, y si se considera, la emisión de carbono en forma de GEI es hasta siete veces mayor que el carbono secuestrado. Asimismo, se empleó otro modelo dinámico donde se consideró un horizonte de 500 años obteniendo como resultado que los ecosistemas son sumideros de carbono netos, demostrando así que los humedales almacenan carbono y no son fuentes de GEI.

Roa-García y Brown (2016), realizó un estudio de “Caracterización de la Acumulación de Carbono en pequeños Humedales Andinos en la Cuenca Alta del Río Barbas (Quindío, Colombia)”, donde utilizó el método de bolsas de descomposición para estimar las tasas de acumulación de materia orgánica, las muestras fueron recolectadas en el campo y secadas en horno a 40 °C durante 48 horas, se midió la descomposición bajo el suelo en dos condiciones: humedales y pastos. Los resultados indicaron que a pesar de ser pequeños humedales son sumideros de carbono en concentraciones similares a las de otros humedales, ya que la concentración de carbono en los tres humedales muestreados varía entre 91 y los 319 gC/kg, y las reservas de carbono por unidad de área varía entre 80 y 117 kgC/m² y la tasa de acumulación de carbono a largo plazo es de 30 – 50 gC/m²/año, esta tasa es comparable con la encontrada en turberas de páramos andinos.

Suarez et al. (2016), desarrollaron un “Análisis del carbono secuestrado en humedales Altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador”, que tuvo como objetivo analizar el potencial de carbono orgánico que se estaría almacenando en los humedales de altura de la Reserva Ecológica Antisana (REA) y el Parque Nacional Cajas (PNC) del Ecuador. En cada área protegida se escogió tres humedales, se tomaron datos de seis cuadrantes de 0.50 m x 0.50 m y para el laboratorio se muestreo 500 g, se tomaron dos datos para el análisis de suelo, tanto hallar el porcentaje de materia orgánica se muestreo 500 g y para la densidad aparente se tomaron dos submuestras de 100 cm³, utilizando el método del cilindro de volumen conocido, además para determinar las características del suelo se tomaron muestras compuestas de cada humedal. Los resultados indican que el carbono orgánico total de los humedales de la REA tiene una media 683.01 ± 284.64 y la media de la PNC es de 320.06 ± 95.05 (mg en 0.01 km² entre 0.30 y 1.20 m de profundidad). Sin embargo, el carbono almacenado en la vegetación se puede perder debido al pastoreo de ganado en temporadas de lluvia, ya que compacta el suelo y disminuye la porosidad, llegando a perder hasta el 50% de carbono capturado.

Hribljan et al. (2015), realizaron un estudio sobre “Almacenamiento de carbono y tasa de acumulación a largo plazo en bofedales andinas de gran altitud de Bolivia” cerca del pueblo de Manasaya en el Parque Nacional Sajama y en el Parque Nacional Tuni Condoriri. Tomaron muestras de suelo a profundidades de 5 m y de 5.5 m, y obtuvieron como resultados reservas de carbono de 1.040 mg/h y 572 mg/h, tasas de acumulación de carbono de 47 g/m²/año y 37 g/m²/año y edades de 3675 y 2560 para los bofedales de Manasaya y Tuni, respectivamente, la diferencia en las reservas y acumulación de carbono se debe a que la turba de Manasaya es rica en minerales mientras que la turba de Tuni es rica en materia orgánica. Además, la distribución espacial, la morfología de la cuenca y la variabilidad del suelo influyen en la acumulación de carbono.

Marín et al. (2011), realizaron una investigación sobre “Secuestro de Carbono en Suelos de Humedales Costeros de Agua Dulce en Veracruz - México”, el estudio se realizó en dos selvas inundable y dos suelos de humedales (arbóreos y herbáceos) de agua dulce, se tomaron con un nucleador cuatro perfiles de suelo de aproximadamente 90 cm de profundidad en un área de 0.5 m², luego fueron secadas y molidas, para la cuantificación de la materia orgánica las muestras fueron pretratadas con HCl 10 M hasta no observar burbujeo, posterior a ello las muestras fueron analizadas por pérdida a la ignición a 450 °C durante cuatro horas, los análisis estadísticos fueron realizados con el SPSS versión 12, la prueba de t y correlaciones de Pearson, siendo las reservas totales de carbono en humedales herbáceos 24.8 ± 4.0 t/h y en humedales arbóreos 35.04 ± 4.0 t/h. El factor que condiciona a los resultados se relaciona con la productividad, además, puede haber otros factores que interfieren, como la hidrología y geomorfología de los humedales. Asimismo, hay mayor contenido de C en zonas más bajas, debido a que pertenecen a la zona antigua con mayor almacenamiento de C. Los resultados indican que el tipo de humedal no provocó efectos en el almacenamiento de carbono en el suelo de los humedales, siendo estos resultados más altos que otros en regiones subtropicales.

Estado del arte

Sequeiros y Cazorla (2020), en el artículo de “Servicio Ambiental de Captura de Carbono de los Bofedales del Centro Poblado Alto Perú, Tacna” tuvieron como objetivo estimar el carbono capturado como parte del servicio ambiental de regulación en los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, donde descargaron imágenes de satélite Landsat8 para calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), posterior a ello, recolectaron las muestras en campo de la cobertura vegetal, turba y suelo siguiendo la metodología del ICRAF, asimismo, para obtener los resultados del carbono orgánico total calcularon los valores de fracción de carbono orgánico de la cobertura

vegetal, obteniendo como resultado que en zonas secas es 42.04%, en zonas húmedas es 45.61% y un promedio total de 43.83%, además la fracción de carbono orgánico promedio de las muestras de turba en zonas secas es 33.17%, en zonas húmedas es 36.26% y un promedio total de 34.72% y un total de carbono orgánico de 15,718 tC/h, este resultado demuestra que los bofedales tienen un alto potencial para capturar carbono.

Dai et al. (2020), elaboraron un artículo sobre “Vegetation Carbon Sequestration Mapping in Herbaceous Wetlands by Using a MODIS EVI Time-Series Data Set: A Case in Poyang Lake Wetland, China” donde exploraron el potencial para mapear el secuestro de carbono de la vegetación en humedales herbáceos mediante el uso de una combinación de datos de observación de campo y series de tiempo de Índice de Vegetación (VI) de detección remota, utilizaron 23 escenas de imágenes MODIS EVI, donde el secuestro de carbono de la vegetación herbácea estuvo en el rango de 193 – 1221 gC m⁻² con media de 401 gCm⁻² y una desviación estándar de 172 gC m⁻², el método que utilizaron muestra gran potencial de aplicación con mejoras continuas de la frecuencia de las imágenes de satélite VI y su capacidad de recuperar reservas de carbono de la biomasa.

Por otro lado, Medrano et al. (2012), en el artículo de “Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha” tuvieron como objetivo evaluar la cantidad de carbono que almacenan las especies predominantes de flora del lago Chinchaycocha, el estudio se hizo en tres ecosistemas del humedal: bofedal, totoral y pajonal, donde se empleó imágenes satelitales Landsat para la identificación de las áreas, asimismo, tuvieron en cuenta tres especies de flora en el bofedal, una especie en el pajonal y dos especies en el totoral, de donde se extrajo biomasa radicular y aérea, además, extrajeron muestras de suelo a 20 cm de profundidad. Los resultados más representativos indican que la especie del ecosistema totoral, *Schoenoplectus californicus* Var. *Totora*, presenta mayor dispersión y almacenamiento de carbono equivalente a 30.65

tC/h, en el pajonal *Deyeuxia* almacena 7.02 tC/h en su biomasa área 8.41 tC/h y en su biomasa radicular; y en el bofedal, *Plantago tubulosa* almacena 0.81 tC/h en su biomasa área y 1.88 tC/h en su biomasa radicular, además, el almacenamiento de carbono en suelos de pajonales es 774.76 tC/h y en bofedales 684.58 tC/h.

Bases teóricas

Calentamiento Global.

El calentamiento global hace referencia al aumento progresivo de la temperatura global del planeta como consecuencia de la emisión de gases de efecto invernadero – GEI, los cuales impiden que los rayos del sol salgan de la tierra. Asimismo, es el fenómeno que señala un incremento en la temperatura de los océanos y la atmósfera terrestre en los últimos periodos (Benavides y León, 2007).

El aumento de la temperatura global desde la segunda parte del siglo XX se debe al incremento antropogénico de la emisión de gases de efecto invernadero (ver figura 1), además los fenómenos naturales como la variación del ciclo solar y erupciones volcánicas desde los tiempos preindustriales hasta 1950 tuvieron un efecto significativo en el calentamiento global (Power, 2009).

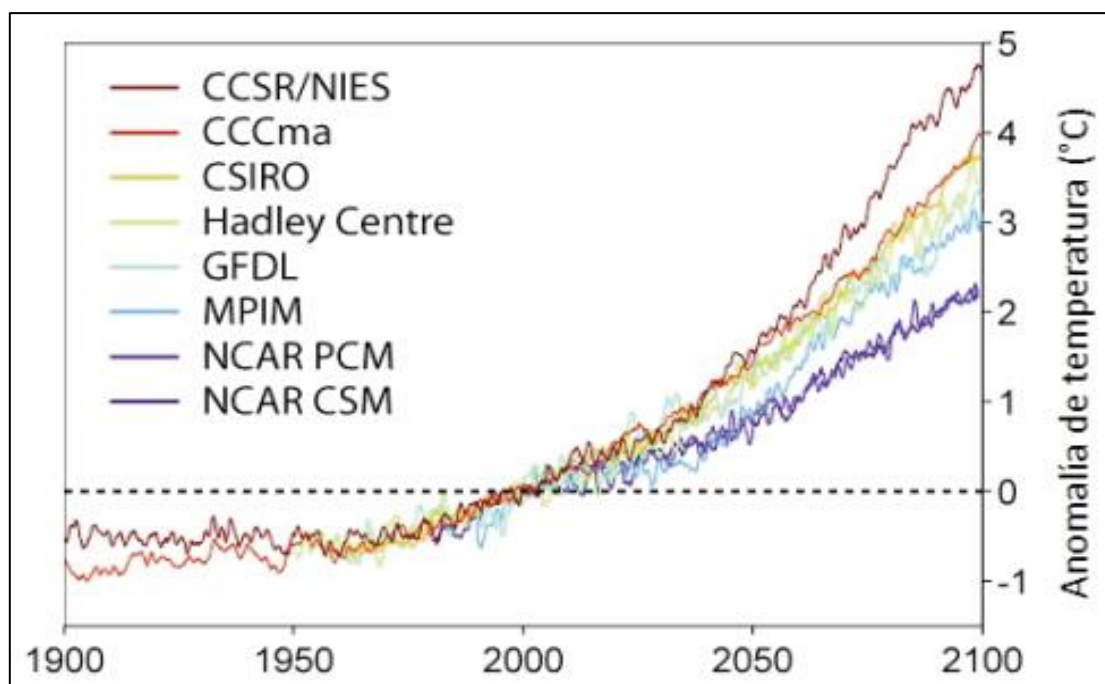


Figura 1. Proyecciones del calentamiento global. Recuperado de El calentamiento global y las emisiones de carbono, por Power, G. 2009.

En la figura 2, se puede evidenciar la variación de la temperatura anual desde el año 1880 hasta el 2020, se observa que la temperatura se ha incrementado con el pasar de los años esto debido a la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. En el Informe especial del IPCC, se menciona que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1.0°C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0.8°C a 1.2°C , además, indica que es probable que el calentamiento global llegue a 1.5°C entre 2030 y 2052. Asimismo, existen resultados que confirman que la temperatura media se ha incrementado en un aproximado de 0.1°C por década (IPCC, 2018),

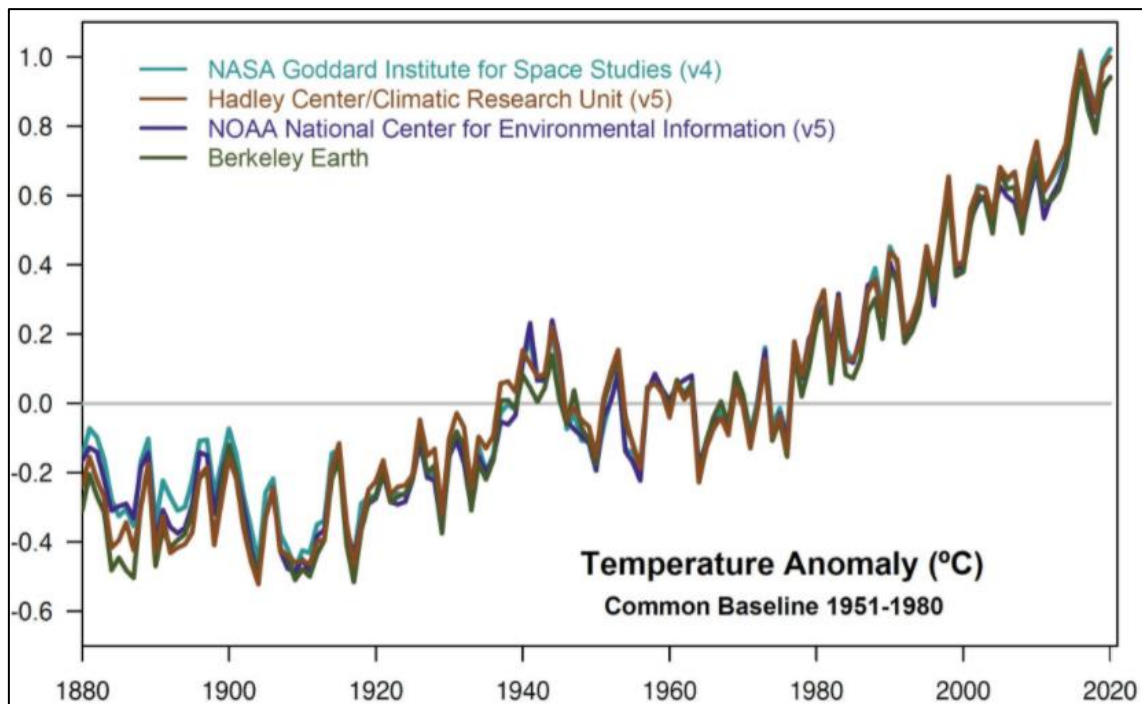


Figura 2. Variación de la temperatura anual desde 1880. Recuperado de la NASA, 2021.

Según Caballero et al. (2007), el calentamiento global tiene una tendencia hacia un aumento de la concentración del dióxido de carbono (CO_2), demostrando que la causa de esta tendencia hacia el calentamiento es una aceleración del efecto invernadero, además, el incremento de CO_2 atmosférico está ligada a procesos naturales y es atribuible a actividades humanas como la quema de combustibles fósiles (carbón y petróleo), tala de árboles, de esta manera acrecentando el efecto invernadero y favoreciendo el calentamiento global.

Los efectos del calentamiento global afectarán los patrones climáticos (Caballero et al., 2007), perturbará los regímenes de precipitación, circulación atmosférica, asimismo, alterará la circulación oceánica a causa del efecto invernadero (Nebel y Wright, 1999).

Barboza (2013), menciona los principales efectos del calentamiento global, que a continuación se detallan:

- Los sistemas de producción sufren una consecuencia de retroalimentación negativa, afectando a las principales actividades primarias de producción mundial tal es la pesquería y la agricultura.
- Los efectos en la biodiversidad se deben a los cambios en las temperaturas globales y a las alteraciones que afectan la abundancia de especies susceptibles que se encuentran en lugares de altas latitudes, además, las especies que tienen hábitos en cuerpos de agua se verán más afectados debido a la sequía.
- Asimismo, los efectos en el recurso hídrico, ártico y glaciares andinos se verán afectados a causa del calentamiento global, ya que, en los ríos y lagos disminuirá las reservas de agua a nivel global y aumentará la evaporación, en los humedales y océanos los impactos serán más severos debido al calentamiento global.
- Por último, hay tres aspectos en el calentamiento global que intervienen en la salud: el incremento de climas severos, extremos y la tendencia al calentamiento desmedido durante la noche. Por lo tanto, responden acelerados a los cambios climáticos las enfermedades donde participan los insectos y plagas como vectores, debido a que la humedad y el calentamiento aumenta la abundancia de insectos.

Cambio Climático.

El cambio climático, está asociado al incremento potencial de la temperatura superficial del planeta, en ese sentido, en la actualidad se usa continuamente dicho término para hacer referencia al acelerado calentamiento que se está produciendo en la superficie del planeta debido al continuo incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Vargas, 2009). Asimismo, para el IPCC (2013), el cambio climático es una variación del clima identificable, ya sea por pruebas estadísticas u otro, en la variabilidad

de sus diversas propiedades o en las variaciones del valor promedio, que persiste durante periodos de tiempo muy largos.

Según la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) en su artículo definen al cambio climático, como un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempos comparables” (1992, p. 4).

Por otro lado, el cambio climático debilitará aquellos esfuerzos que se vienen realizando en el contexto internacional con la finalidad de combatir la pobreza extrema, la salud, educación, etc., ya que, en un futuro, será la humanidad quien deberá enfrentar al calentamiento global, debido a la gran velocidad con que se viene acumulando los gases de efecto invernadero en la atmósfera, la cual cambia el pronóstico climático de las futuras generaciones (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2007).

IPCC (2013), señala que la causa del cambio climático se debe a procesos internos naturales o a factores externos como cambios antropógenos, ciclos solares, erupciones volcánicas, etc. Además, existen otros factores externos que causan el cambio climático son: las emisiones de aerosoles a la atmósfera; la variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero, como el CO₂ y el CH₄; variación de la cubierta terrestre (IPCC, 2007); entre otros factores como el contenido en vapor de agua; cantidad de energía solar; cobertura de nubes y la contaminación del aire (Miller, 2007). Del mismo modo, el cambio climático originaría cambios en las propiedades físicas y biológicas de los humedales, lagunas, lagos y ríos, además, de ser el factor que contribuya a la pérdida de la gran biodiversidad que albergan dichos ecosistemas, y agravaría la disponibilidad de los recursos hídricos (Vargas, 2009).

Efecto Invernadero.

Caballero, Lozano y Ortega mencionan que “El efecto invernadero se refiere a un mecanismo por medio del cual la atmósfera de la Tierra se calienta” (2007, p. 3).

El efecto invernadero ha existido en la Tierra desde la aparición del agua en forma líquida (Raynal-Villaseñor, 2011). Además, es un fenómeno que se basa en comprobados principios científicos. La cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera pueden influenciar las temperaturas mundiales, si los gases aumentan, las temperaturas podrían incrementar, en cambio, si disminuyen las temperaturas reducen (FAO, 1995).

El efecto invernadero se origina porque la energía que llega del sol está formada por ondas de frecuencias altas que traspasan la atmosfera, mientras que la energía remitida hacia el exterior está formada por ondas de frecuencias más bajas, además, este efecto provoca que la energía que llega a la Tierra sea devuelta lentamente y permanezca más tiempo cerca de la superficie incrementando así la temperatura (Espíndola y Valderrama, 2012).

Gases de Efecto Invernadero.

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son aquellos gases presentes en la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero, asimismo, estos son de origen antropogénico y natural, las emisiones continuas de estos GEI causan un mayor calentamiento de la capa terrestre, debido a que absorben mayor radiación de la que emiten a la superficie terrestre (Compañía Española de Petróleos [CEPSA], 2015).

Los gases de efecto invernadero presentes en la atmosfera terrestre son: Ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), los clorofluorocarbonos (CFC), Óxido Nitroso (N_2O), dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), siendo estos tres últimos considerados como

los principales gases de efecto invernadero, debido a que, representan menos del 1% de la atmósfera, sin embargo, este pequeño porcentaje es significativo ya que puede llegar a producir un efecto invernadero natural y mantener el planeta a 30 °C más caliente (Mendoza de Armas y Jiménez, 2017).

El planeta ha venido experimentado un aumento constante en las concentraciones atmosféricas con el transcurso de los años, debido a las actividades humanas, de agricultura y ganadería, del crecimiento poblacional y de la industrialización (FAO, 1995).

Las categorías principales de fuentes de emisión de GEI son: Uso de Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS), Energía y Agricultura, los cuales representan aproximadamente el 92% del total de las emisiones en el Perú (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016).

Las consecuencias de estos gases en el cambio climático están sujetas a tres factores: concentración o cantidad de gases en la atmósfera, el tiempo de permanencia y el nivel de impacto en la temperatura mundial (CEPSA, 2015).

El Carbono.

El carbono es uno de los compuestos orgánicos fundamentales para la vida del planeta y su ciclo es realmente necesario para que todo los organismos se desarrollen (Bolin y Sukumar, 2000), además, se combina con diversos elementos como el nitrógeno, azufre, fósforo, oxígeno e hidrógeno para constituir aquellas moléculas importantes para la vida, sin embargo, su disponibilidad en el planeta no es infinita, por ello circula entre la materia orgánica y el ambiente físico-químico constantemente (Jaramillo, 2004).

El carbono, al unirse con el oxígeno conforman el dióxido de carbono (CO₂), el cual existe en la atmósfera y tiene propiedades como gas de invernadero, siendo así fundamental en la regulación de la temperatura del planeta (Jaramillo, 2004).

Al respecto Gardi sostiene que:

El carbono se renueva en la atmósfera cada 20 años gracias a los mecanismos de respiración de las plantas y a la actividad de los microorganismos del suelo. Gracias a la clorofila contenida en las plantas verdes, estas toman el CO₂ del aire durante la fotosíntesis y posteriormente liberan el oxígeno que lo reemplazaría (2004, p. 136).

Tipos de Carbono.

Los tipos de carbono son:

- *Carbono orgánico.*

El carbono orgánico es de un intercambio rápido y está presente en el suelo y en todos aquellos compuestos orgánicos (Gardi et al., 2004). Asimismo, se acumula en pantanos, humedales, fondos de lagos y turberas, además, en el suelo existe de tres a cinco veces mayor carbono orgánico que se encuentra en la vegetación (Bennington, 2009).

Es necesario indicar que el carbono orgánico del suelo es una parte del ciclo de carbono, lo cual implica un ciclo a través del suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera (FAO, 2017). Actúa básicamente como una fuente energética para aquellos organismos del suelo que no elaboran su propia materia orgánica, es decir, heterótrofos; asimismo, lo encontramos en forma de humus, desechos o residuos orgánicos poco alterados de organismos vivos (Martínez et al., 2008).

- *Carbono inorgánico.*

Según Dodds y Whiles (2017), el carbono inorgánico se encuentra principalmente en la atmósfera en forma de CO₂ a 400 ppm aproximadamente (registrada por primera vez en 2013), posteriormente se fue incrementando continuamente de 2 ppm/año aproximadamente. Asimismo, la concentración se ha ido en aumento desde la revolución industrial, lo cual intensifica el efecto invernadero la misma que influye en los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, el carbono inorgánico se llega a formar cuando los organismos del mar emplean el CO₂ del agua para formar arrecifes o caparazones ricos en carbonato cálcico (CaCO₃), al morir los organismos, dichos residuos se transforman en rocas sedimentarias en el fondo del océano y con ello el carbono por miles de años. Este C regresa al ciclo cuando por movimientos geológicos quedan expuestos (Gardi et al., 2004).

Dióxido de carbono.

Según Raynal-Villaseñor (2011), el dióxido de carbono es el principal contribuyente del efecto invernadero global, asimismo, los niveles de CO₂ se han incrementado desde la revolución industrial a finales de los años cincuenta, además, es uno de los GEI que mayor impacto genera (CEPSA, 2015). Van Lenten (2005), menciona que “Desde la revolución Industrial hasta 1999, la concentración de CO₂ en la atmósfera se ha incrementado en 40%”, además, RSC (2005), indica que las emisiones de CO₂, serán mayores a 63% para el año 2030.

Ciclo del Carbono.

El ciclo de carbono es un ciclo biogeoquímico que sirve para regular el clima del planeta, donde se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida (Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología [DiCYT], 2012).

Asimismo, el ciclo recoge el flujo del carbono y los procesos fisicoquímicos y biológicos que lo controlan entre los diferentes almacenes del sistema tierra, esos almacenes se encuentran en la atmósfera, la hidrósfera, la biósfera, la rizósfera y la litósfera, la capacidad de almacenamiento es muy variable, oscilando hoy entre los $6,250 \times 10^{18}$ moles de carbono en las rocas sedimentarias y los 0.05×10^{18} moles de carbono en la biósfera continental (Chivelet, 2010).

El ciclo del carbono se inicia con la fijación del dióxido de carbono atmosférico a través de la fotosíntesis que realizan las plantas y algunos microorganismos. En la fotosíntesis, el dióxido de carbono y el agua reaccionan para formar carbohidratos y a la vez, liberar oxígeno que va a la atmósfera, por lo tanto, la fotosíntesis es la fuente de casi todo el oxígeno de la atmósfera terrestre (Bennington, 2009). Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta, y el dióxido de carbono, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales, que también liberan dióxido de carbono en sus procesos metabólicos (ver figura 3). Las plantas y los animales son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en dióxido de carbono y regrese a la atmósfera (Orellana et al., 2012).

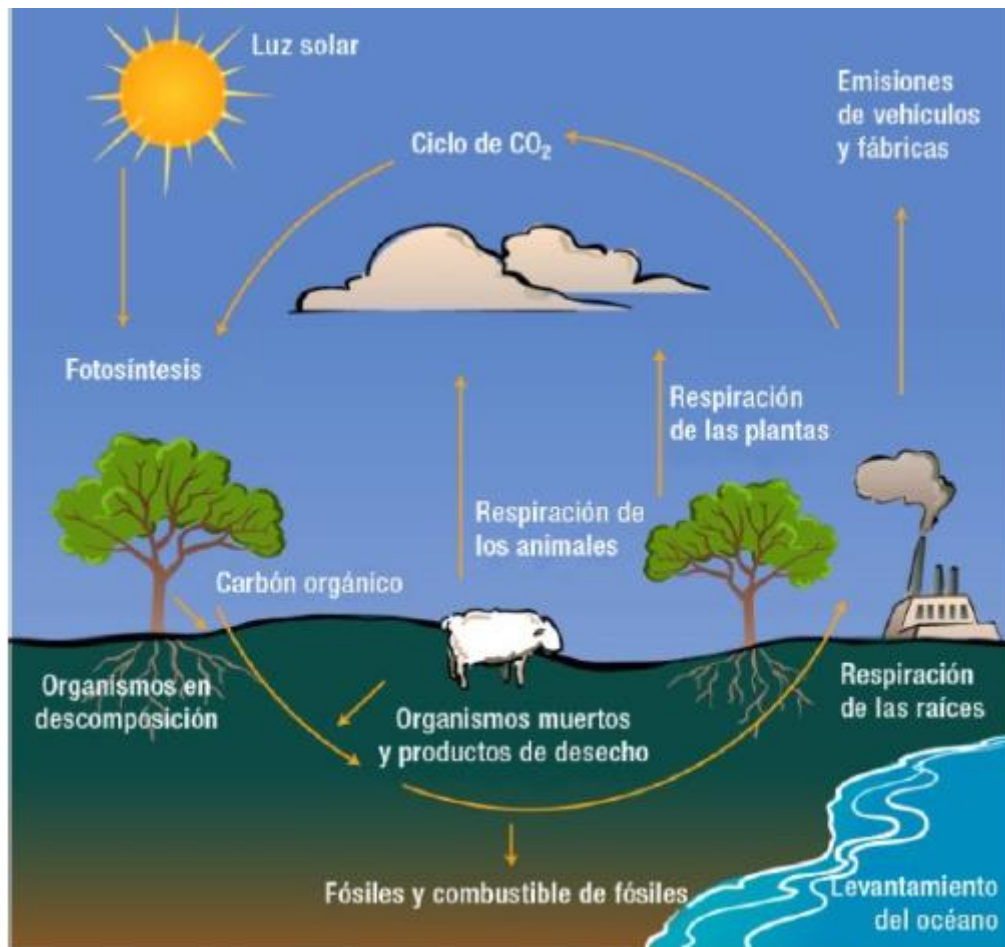


Figura 3. Ciclo del Carbono. Recuperado del artículo “Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de Reservorio”, por Orellana et al. (2012).

Por otro lado, es importante señalar que el ciclo del carbono inorgánico comprende las transferencias y almacenamiento para el carbono en los ecosistemas terrestres que no dependen de la respiración, fotosíntesis y otros procesos químicos, así como no involucran al carbono orgánico (Bennington, 2009).

Almacenamiento de carbono.

Según Were et al. (2019), el secuestro de carbono se refiere a la captura del dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y su almacenamiento en los humedales por un largo tiempo, con mínimas posibilidades de que este sea liberado nuevamente a la atmósfera.

Asimismo, existe la captura de carbono en el suelo, debido a que recibe compuestos orgánicos monoméricos y poliméricos de alto peso molecular, el carbono en el suelo hace referencia al contenido de materia orgánica que es el propio carbono orgánico (Burbano, 2018).

Carbono Orgánico del Suelo (COS).

En el ciclo global del carbono, una pequeña porción el carbono orgánico del suelo (COS) forma parte, relacionándose a través de suelo, el océano, la vegetación y la atmosfera. Asimismo, el COS representa los dos tercios del Carbono fijado en los ecosistemas terrestres con un valor de 1 500 pgC en el primer metro de suelo, en la vegetación terrestre (500PgC) y en la atmosfera (800 PgC), siendo el suelo un gran almacén de carbono en la naturaleza (FAO, 2017).

Según la FAO (2017), el equilibrio entre la cantidad de Carbono que ingresa al suelo y la que sale del mismo como gases de respiración basado en carbono es la cantidad de COS almacenada en el suelo, sin embargo, el carbono también es exportado de los suelos a ríos y océanos como carbono orgánico disuelto (COD).

El almacenamiento de carbono orgánico en el suelo se da desde la fijación de la atmósfera a través de residuos orgánicos o plantas y se almacena en el suelo. Asimismo, la FAO sostiene que:

Cuando interfiere el CO₂, el secuestro de carbono orgánico en el suelo comprende tres etapas: 1) La extracción del CO₂ de la atmosfera a través de la fotosíntesis de las plantas, 2) la transferencia de carbono del CO₂ a la biomasa vegetal y 3) la transferencia de carbono de la biomasa vegetal al

suelo donde se almacena en forma de COS en la reserva más lábil (2007, p.7).

Asimismo, el CO₂ se emite nuevamente a la atmósfera cuándo la materia orgánica es mineralizada o descompuesta por la fauna y microorganismos heterótrofos (Keiluweit et al., 2015), los cuales incorporan al suelo, el material orgánico muerto (residuos vegetales y exudados), lo que conlleva la entrada de carbono al suelo, a través de la transformación de dicho material orgánico (FAO, 2017).

Carbono orgánico total (COT).

“El transporte de carbono orgánico total (COT) a los océanos es un componente integral del presupuesto global de carbono y puede representar un valor importante en la retención del CO₂ de la atmosfera” (Ordoñez et al., 2013, p. 31).

El carbono orgánico total (COT) es una medida de la cantidad total de carbono en compuestos orgánicos en sistemas acuosos y agua pura, además, es una técnica analítica empleada por laboratorios para determinar si es buena la solución para sus procesos, también se utiliza para controlar los niveles generales de compuestos orgánicos presentes (Whitehead, 2021).

Asimismo, el TOC de tamaño grande se clasifica como particulado o no disuelto (NDOC), Alrededor del 50 al 75% del carbón orgánico disuelto (DOC) en aguas naturales se encuentra en forma de ácidos orgánicos poliméricos: ácidos fúlvicos y húmicos (Whitehead, 2021).

La determinación de carbono orgánico total (COT) de sedimentos y suelo se realiza para evaluar los riesgos ecológicos, además, puede usarse cualitativamente para

normalizar datos de química analítica y evaluar la naturaleza del lugar de muestreo (Schumacher, 2002).

Humedales.

En el manual de la Convención RAMSAR (2016), los humedales son ecosistemas donde el recurso hídrico es el principal factor controlador del medio, la flora y la fauna asociada a él. Además, los humedales se encuentran donde la capa freática se halla cerca o en la superficie terrestre. Por otro lado, la Convención de RAMSAR ha estipulado la siguiente definición de humedal, la cual se menciona en el artículo 1.1:

Son las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas 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 (2016, p. 9).

Tipos de humedales.

Según la Secretaría de la Convención RAMSAR (2013), existen cinco tipos de humedales principales:

Marinos: Humedales costeros, lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral.

Estuarios: Deltas, marismas de marea y manglares.

Lacustres: Se refiere a humedales asociados con lagos.

Ribereños: Son humedales adyacentes a ríos o lagos.

Palustres: Se refiere a “Pantanosos” – marismas, pantanos y ciénagas.

Asimismo, están los **humedales artificiales**, el cual incluye estanques de cría de peces y camarones, tranques de granjas y tierras agrícolas de regadío, depresiones inundadas por salinas, embalses, estanques de grava, piletas de aguas residuales y canales.

Por otro lado, la Convención RAMSAR ha adoptado un Sistema RAMSAR de clasificación de tipos de humedales, donde se incluye 42 tipos, que se encuentran agrupados en tres categorías: humedales marinos y costeros, humedales continentales y humedales artificiales (Zamorano et al., 2010).

Características.

Según RAMSAR (2016), los humedales, son una de las fuentes más productivas, debido a que son fuentes de agua, de diversidad biológica, y de productividad de las que innumerables especies de flora y fauna dependen para su subsistencia.

Respecto a sus características de los humedales; primero, el suelo debe albergar hidrófitas al menos periódicamente, segundo, los suelos son hídricos, más no drenados, y por último se encuentra cubierto con agua o saturado de la misma, por el intervalo de un año durante la etapa de crecimiento de la flora (Cowardin, 1979).

Servicios ecosistémicos de los humedales.

Los Servicios Ecosistémicos (SE) se clasifican en cuatro categorías: Regulación, Culturales, Soporte y Aprovisionamiento (ver tabla 1). Asimismo, los SE de Aprovisionamiento de los humedales son importantes debido a que están vinculados con un número significativo de necesidades básicas para la humanidad. A continuación, se muestra una tabla donde se presenta los diversos beneficios de los SE que brindan los humedales.

Tabla 1.*Beneficios de los Servicios Ecosistémicos de los humedales.*

ALIMENTO	Producción de pescado, caza, frutas y granos
Agua Dulce	Almacenamiento y retención de agua para uso doméstico, industrial y agrícola.
Fibra y combustible	Producción de troncos, leña, turba, forraje.
Bioquímicos	Extracción de medicinas y otros materiales desde la biota.
Materiales genéticos	Genes para resistencia y patógenos de plantas, especies ornamentales, etc.
DE REGULACIÓN	
Regulación del clima	Fuente y sumidero de gases de efecto invernadero, influencia sobre temperatura, precipitación y otros procesos.
Regulación de agua	Recarga y descarga de agua subterránea.
Purificación y tratamiento de residuos	Retención, recuperación y eliminación del exceso de nutrientes y otros contaminantes.
Regulación de la erosión	Retención de suelos y sedimentos.
Regulación de desastres naturales	Control de inundaciones, protección contra tormentas.
Polinización	Hábitat de polinización
CULTURALES	
Espirituales	Proyección de valores espirituales vinculados a los ecosistemas de humedales.
Recreativos	Entorno propicio para ocio.
Estéticos	Paisaje atractivo y valores estéticos.
Educacionales	Sensibilización medio ambiental y sociocultural.
DE APOYO	
Formación de suelos	Retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica.
Ciclo de nutrición	Almacenamiento, reciclaje, procesamiento y adquisición de nutrientes.

Nota: Recuperado de Servicios Ecosistémicos en humedales, por Díaz et al. (2018).

HIPÓTESIS Y VARIABLES

Hipótesis

Hipótesis General.

- La capacidad de captura de carbono del humedal Tragadero-Junín, estará determinada por las especies de flora predominantes del área de estudio.

Hipótesis Específicas.

- La especie vegetal que más predomina en el humedal Tragadero-Junín es la totora (*Schoenoplectus californicus*).
- La cantidad de carbono que almacena cada una de las especies predominantes son diferentes en el humedal Tragadero-Junín.
- La cantidad de carbono que almacena el sustrato del suelo es mayor que las especies vegetales predominantes, en el lugar donde se realizó la investigación.
- Las reservas totales del dióxido de carbono (CO₂) están más influenciadas por el sustrato suelo en el humedal Tragadero-Junín.

Variables

Las variables son aquellos factores que actúan como causa o resultado dentro del proceso de la investigación, de tal forma que es parte esencial de la estructura del experimento (Espinoza, 2018). Asimismo, existen dos clases de variables: *Variable independiente*, que es el elemento que condiciona o determina la presencia de otro elemento o situación, además, es la variable que se mide o manipula para determinar su relación con el fenómeno observado. *Variable dependiente*, es el elemento o situación

condicionado por la variable antes descrita, además es el factor que el investigador mide u observa para que determine la causa de la variable independiente (Buendía et al., 2001).

A continuación, se indican las 2 variables en estudio:

Variable independiente: Especies predominantes del humedal Tragadero-Junín.

Variable dependiente: Captura de Carbono.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

La presente investigación busca estimar la captura de Carbono en las especies que más predominan en el humedal Tragadero-Junín. El área de estudio está ubicada en las coordenadas UTM 18 Sur: 440 955.71 este y 8 699 432.43 norte; a una altitud de 3 460 m.s.n.m., en los distritos de Marco y Acolla, provincia de Jauja en el departamento de Junín, asimismo, limita con los centros poblados de Tragadero, Chocón, Pachascucho y Muquillanqui.

En cuanto a las características físicas, el clima es subhúmedo, con una temperatura media de 11.9 °C, una precipitación anual de 704 mm y una humedad media anual 63% (Instituto Geofísico del Perú [IGP], 2005).

El humedal Tragadero presenta un paisaje de planicie y subpaisaje de planicie aluvional, este consta de relieves bajos o de mínima altitud, es la parte orográfica que contiene un cauce y que puede llegar a ser inundada ante una crecida de las aguas. Asimismo, las rocas son de origen sedimentario y presentan un rango de pendiente del 0% - 4% (Comisión Técnica de la ZEE, 2015). Por otro lado, el humedal abarca en época de lluvia 183 h y en época seca 165.2 h (Suárez et al., 2015).

Limitaciones

- En la investigación se realizó el diseño cuantitativo.
- La cantidad de muestras extraídas por cada especie vegetal, dado que fueron realizadas en la zona del totoral y en la zona herbácea del humedal Tragadero.

- La estimación de carbono se realizó solo en las especies predominantes (aérea y radicular) y en el sustrato suelo del humedal Tragadero, dejando de lado el componente acuático asociado al humedal.

MARCO METODOLÓGICO

Metodología

La metodología es **no experimental**, porque el investigador observa los acontecimientos sin intervenir en los mismos (Ñaupas et al., 2014), además es **transversal** porque la investigación analiza la relación de las variables en un momento dado y **comparativo**, porque la presente investigación considera realizar una comparación entre varias muestras especialmente seleccionadas para estimar diferencias y similitudes respecto a las variables, además consiste en la verificación de la hipótesis (Mejía, et al., 2018; Gómez Días de León y León de la Garza, 2014).

Paradigma

La investigación científica se alinea en el paradigma positivista, tiene un alto interés por la verificación del conocimiento a través de predicciones, donde se plantea una serie de hipótesis como predecir que algo va a ocurrir y posterior a ellos verificar y comprobar, este no acepta la pertinencia de otras perspectivas, de otros procedimientos metodológicos y otros tipos de conocimiento de interpretación de la realidad (Ballina, s/f).

Enfoque

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, en el cual se inspira en el positivismo, este enfoque investigativo plantea la unidad de la ciencia, quiere decir, el empleo de una metodología única que es la misma de las ciencias exactas y naturales, tiene como propósito buscar explicación a los fenómenos estableciendo regularidades, por tal motivo, la ciencia debe valerse de la observación directa, de la comprobación y la experiencia (Monje, 2011).

Método

El método es no experimental, ya que no se manipula deliberadamente las variables en estudio y no existe intervención directa de los investigadores, además, no se altera el objeto de investigación, asimismo, se observan los fenómenos o acontecimientos tal y como se dan en su contexto natural para posterior a ello analizar (Hagopian, 2016).

Población

La población es aquel conjunto de elementos, objetos o personas de los que en una investigación se desea conocer, es decir, participan del fenómeno que fue definido y delimitado en la identificación del problema de la investigación (López, 2004).

En la presente investigación, las poblaciones de estudio en el humedal Tragadero en Junín, corresponden a las siguientes especies: *Trifolium repens*, *Cenchrus clandestinus*, *Hydrocotyle sp* y *Schoenoplectus californicus*. Sin embargo, cabe resaltar que existen otras especies en menor cantidad que no fueron parte de la investigación.

Muestra

La muestra, es un subgrupo de la población donde se llevará a cabo la investigación. Además, debe ser representativa para la cual se trabajan con criterios técnicos de muestreo (López, 2004).

Para la presente investigación, la muestra está conformada por 12 cuadrantes; la ubicación de los puntos de muestreo se realizó según el muestreo probabilístico, debido a que es un método de muestreo que analiza grupos pequeños de una población, asimismo, se selecciona de forma aleatoria teniendo toda la población la misma oportunidad de ser

seleccionada (Tamayo, 2015), en ese sentido los cuadrantes de 1 m x 1 m fueron ubicados en sectores del humedal de manera aleatoria.

Materiales

Materiales para la etapa de campo

- Cámara fotográfica
- Marcos de madera (1 m x1 m)
- Balanza (1 unidad de 5 kg)
- GPS
- Wincha de 5 metros
- Pliegos papel Kraft
- Bolsas de plástico
- Lampa
- Pico
- Tablero
- Lapicero
- Cooler

Materiales para gabinete

- Materiales de oficina (lapicero, hojas bond, lápiz)
- Laptops.
- Impresora.
- Programa de SIG (ArcGIS)
- Datos de muestreo realizado.

Servicios

- Servicio para determinar el Peso Seco de las especies vegetales en el laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM.
- Servicio para determinar la densidad aparente del suelo en el laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM.
- Servicio para determinar el Factor de Conversión de Carbono de las especies vegetales en el laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM.
- Servicio para determinar el Factor de Conversión de Carbono del suelo en el laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM.

Formatos de recolección de datos

- a) Formato para la biomasa de la vegetación presente la Zona del Totoral (ver anexo 3.1)
- b) Formato para la biomasa de la vegetación presente la Zona Herbácea (ver anexo 3.2)

Procedimiento

Determinación del área de estudio

En principio, para ingresar a la zona de estudio se realizó un mapa de ubicación del humedal (ver anexo 1.1), que se encuentra en las coordenadas UTM 18 Sur: 440 955.71 este y 8 699 432.43 norte.

En el área de estudio se seleccionaron aquellas especies con mayor porcentaje de abundancia en el humedal Tragadero, de acuerdo a los resultados obtenidos por Segura (2019), en su tesis “Diversidad e índice de productividad vegetal del humedal Chocón - Jauja”, donde realizaron 10 unidades de muestreo en el área, identificándose 13 familias, 24 géneros y 27 especies, asimismo del artículo de Suárez et al. (2015) “Evaluación

Ecológica Rápida del Humedal de Tragadero (Junín, Perú)” que registraron las especies de flora vascular en el humedal y alrededores.

En ese sentido, en la presente investigación se tomó en cuenta la cobertura vegetal que más predominancia tiene en los cuadrantes a muestrear, para ello se identificó de manera visual con ayuda de las fotografías tomadas en la tesis y artículo (ver anexo 6), además con el asesoramiento de un especialista en biología con experiencia en la identificación, evaluación y determinación de flora en zonas altoandinas.

Para la delimitación de las parcelas representativas para el muestreo en el área en estudio, se obtuvo una imagen de satélite, con una nubosidad de 60% y la fecha más reciente (febrero 2021). Asimismo, la descarga se realizó a través de la plataforma de LandViewer con sensores de Sentinel 2 asociado al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que muestra la biomasa relativa y para su cálculo se usa la absorción de clorofila en la banda roja y el alto reflejo relativo de la vegetación en la banda del infrarrojo cercano (Rouse et al., 1974).

La evaluación de la vegetación en el área de estudio se realizó con el Software ArcGis versión 10.6, desarrollando la composición de los mosaicos de la imagen satelital. Posterior a ello, para la generación de los cuadrantes se realizó con referencia a la metodología desarrollada por Alvis (2018), que propone grillas con dimensiones de 50 m x 50 m, las cuales se sectorizaron en formas cuadradas mediante el uso del ArcGis versión 10.6 (ver anexo 1.2).

Por otro lado, para la cantidad de muestras de vegetación se consideró un total de 12 puntos de muestreo, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en referencia al punto céntrico de cada parcela generada en el ArcGis y a las bandas de colores del NDVI ya procesados con anterioridad. Por tanto, se estableció lo siguiente: tres muestras para la

zona del totoral (zona centro) y nueve para la zona herbácea, teniendo en cuenta aquellas especies más predominantes. Además, para la cantidad de muestras de suelo, se consideró cuatro en la zona herbácea (ver anexo 1.3). Cabe indicar, que las ubicaciones de los puntos a muestrear se corrigieron manualmente para ubicar en sectores representativos del humedal (zona herbácea y totoral).

Recolección de las muestras

Para la determinación de las reservas de carbono en las especies vegetales y en el suelo se empleó la metodología propuesta por el Centro Mundial Agroforestal – ICRAF en el Manual de Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la Tierra en Perú (Arévalo et al., 2003).

Para el muestreo de las especies vegetales del humedal desarrolladas en mayo 2021, se colocó cuadrantes de 1 m x 1 m aleatoriamente en las parcelas generadas y analizadas en ArcGis, para extraer la biomasa aérea y radicular. Cabe indicar que el cuadrante no representó el 100% de la cobertura vegetal de una misma especie, asimismo, del 100% de muestra fresca se extrajo una submuestra de 300 gramos la cual se guardó en bolsas de papel debidamente codificadas para ser llevadas al laboratorio, la cantidad de muestra fue solicitada por el laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM.

Para el muestreo del sustrato de suelo en el humedal se extrajo muestras a 30 cm de profundidad en tres horizontes (0-10, 10-20 y 20-30) distribuidas aleatoriamente en cada Centro Poblado, posterior a ello, las muestras fueron homogenizadas para obtener una muestra compuesta de 1 kg la cual fue depositada y codificada en una bolsa ziploc para ser llevada al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Cabe señalar que para realizar la toma de muestras se solicitó un permiso a los cuatro centros poblados aledaños al humedal Tragadero mediante un oficio (ver anexo 7).

Análisis químico de las muestras

Las muestras de las especies vegetales y del sustrato de suelo se envió al laboratorio para que se analice el peso seco de las especies, la densidad aparente del suelo y el factor de conversión de carbono del suelo y de las especies; cabe resaltar que el método que utilizó el laboratorio para obtener el Factor de Carbono es Walkley - Black (1934).

El método de Walkley - Black permite la estimación oxidable de carbono orgánico y es frecuentemente utilizada para determinar el carbono orgánico total, debido a que la materia es oxidada por medio de una mezcla de K_2CrO_7 más H_2SO_4 (Velasquez, 2019). Asimismo, dicho procedimiento es ampliamente usada debido a que es rápido, simple y presenta mínimas necesidades de equipo (Schumacher, 2002).

Cálculo del almacenamiento de carbono

Para determinar el carbono de la biomasa vegetal (aérea y radicular) y del suelo de las especies en estudio se empleó las ecuaciones del Manual de Determinación de las Reservas Totales de Carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú (Arévalo et al., 2003).

Determinación del carbono en biomasa vegetal (aérea y radicular).

a. Carbono.

$$CBV = PSM \times Fc$$

Donde:

$$CBV = \text{Carbono capturado kgC/m}^2$$

PSM = Peso seco de la muestra (obtenido por el laboratorio)

Fc = Factor de conversión (obtenido por el laboratorio)

b. Transformación a t/h.

Los resultados se obtuvieron en kg/m^2 , por lo tanto, se realizó una conversión de unidades para obtener los resultados en t/h.

Determinación del carbono en el suelo.

a. Porcentaje de Materia Orgánica.

$$\% \text{ M.O} = \% \text{ C} / 1.724$$

Donde:

% M.O = Porcentaje de materia orgánica

% C = Porcentaje de Carbono determinado en el laboratorio.

b. Peso del Volumen del suelo.

$$\text{PVs} = \text{Da} \times \text{profundidad} \times 10\,000$$

Donde:

PVs = Peso del Volumen del suelo (g)

Da = Densidad aparente (g/m^3) (Determinado por el laboratorio)

Profundidad= profundidad del horizonte (m)

10 000 = Constante

c. Carbono total.

$$\text{COS} = \text{PVs} \times \% \text{ C}$$

Donde:

COS = Carbono total capturado en el suelo

PVs = Peso del Volumen del suelo (g)

% C = Porcentaje Carbono determinado en el laboratorio.

d. Transformación a t/h.

Los resultados se obtuvieron en g/m^2 , por lo tanto, se realizó una conversión de unidades para obtener los resultados en t/h.

Cálculo del Carbono Total.

El carbono total será la sumatoria del carbono almacenado en la biomasa vegetal y en el suelo.

$$\text{CT(t/h)} = \text{CBV} + \text{COS}$$

Donde:

CT= Carbono Total (t/h)

CBV= Carbono en la biomasa vegetal

COS= Carbono en el suelo

Cálculo de la cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂).

Debido a que se contaba con el dato de contenido de carbono en el suelo y la biomasa vegetal, se calculó su equivalencia representada en dióxido de carbono (CO₂).

$$CO_2 = CT \times Kr$$

Donde:

CO₂= Dióxido de carbono absorbido

CT= Contenido de Carbono total

$$Kr = 44/12$$

Análisis estadístico

Para desarrollar el análisis estadístico, se comparó los resultados de las especies vegetales predominantes y el sustrato de suelo del humedal, se aplicó la prueba paramétrica ANOVA de un solo factor, se verificó la normalidad de los residuales con la prueba de Anderson-Darling ($p > 0.05$), asimismo, la homogeneidad de varianzas con la prueba de Barlett ($p > 0.05$). De no haberse cumplido los supuestos se hubiese aplicado una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, dichos cálculos se realizaron con el Software PAST 2.17, ya que dicho software es accesible para su uso, y el análisis numérico estándar y las operaciones han sido desarrolladas en paleontología cuantitativa (Hammer et al., 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Identificación de las especies vegetales predominantes en el humedal Tragadero

En las zonas con mayor vegetación densa se logró identificar especies vegetales predominantes: tres en la zona herbácea (*Trifolium repens*, *Cenchrus clandestinus* y *Hydrocotyle sp*) y una en la zona de totoral (*Schoenoplectus californicus*) (ver figura 4).

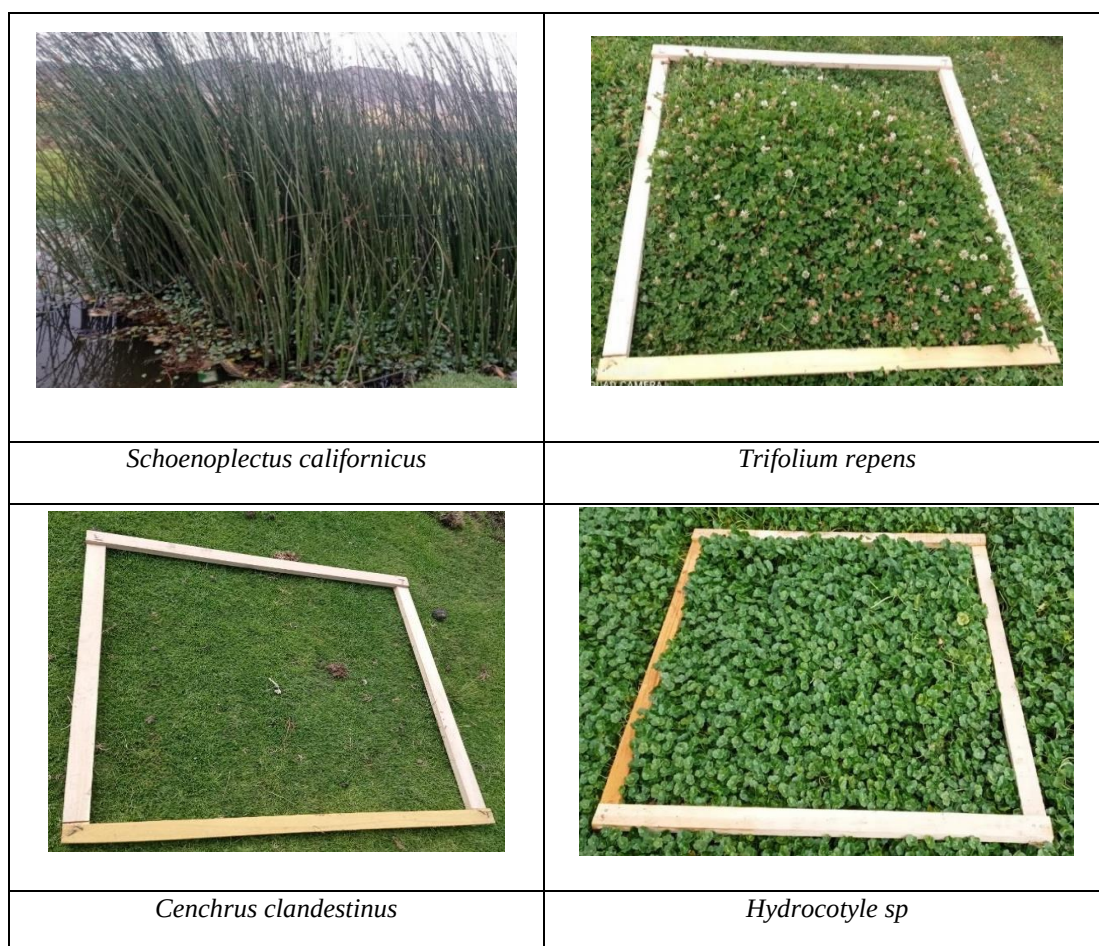


Figura 4. Especies predominantes del humedal Tragadero, en mayo 2021.

De la anterior figura, cabe indicar que dichas especies han sido identificadas en las parcelas delimitadas por una imagen satelital con sensores de Sentinel 2 asociado al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y generadas en el ArcGis. Asimismo,

las especies han sido registradas de las zonas de vegetación densa que se encuentran en el rango (0.7 - 0.9) del NDVI (ver anexo 1.3).

Asimismo, las especies vegetales más importantes, han sido comparadas con la Lista Oficial de Flora Amenazada y en Peligro, contenida en el Decreto Supremo N° 043-2006-AG desarrollado por MINAGRI (2006), que considera a las especies en las siguientes categorías: En Peligro Crítico (CR), en Peligro (EN), Vulnerable (VU) y Casi Amenazado (NT); arrojando cero coincidencias, es decir no se registraron especies en alguna categoría de amenaza. De igual forma no se registraron coincidencias al comparar los registros con la normativa internacional de la CITES (2021) y en cuanto a la lista roja de la UICN (2021), se encontraron dos (02) especies en la categoría Preocupación menor (LC) como se muestra a continuación:

Tabla 2. Lista de especies de flora en categoría de amenaza.

N°	ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	CATEGORÍA DE AMENAZA		
					IUCN 2021	CITES 2021	D.S. N°043-2006-AG
01	Fabales	Fabaceae	<i>Trifolium repens</i>	Trébol	-	-	-
02	Poales	Poaceae	<i>Cenchrus clandestinus</i>	Grama	LC	-	-
03	Apiales	Araliaceae	<i>Hydrocotyle sp</i>	Nyush	LC	-	-
04	Cyperales	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Totora	-	-	-

Nota: LC = Preocupación menor. Elaboración propia.

Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa vegetal (aérea y radicular)

Los datos obtenidos del laboratorio (Peso Seco y Factor de Carbono) permitieron calcular el Carbono en toneladas por hectárea (ver tabla 2), asimismo, los resultados que se muestran a continuación se calcularon por medio de las ecuaciones propuestas en la metodología.

Tabla 3. Reservas de Carbono (tC/h) de la biomasa vegetal de las especies por Centros Poblados del humedal Tragadero, en mayo 2021.

CARBONO DE LA BIOMASA VEGETAL						
Puntos	Nombre Local	Nombre Científico	Peso Seco (g)	Factor de Carbono (%)	Carbono (kgC/m ²)	Carbono (tC/h)
A-1	Totora	<i>Schoenoplectus californicus</i>	55.33	53.81	2.98	29.77
B-1	Trébol	<i>Trifolium repens</i>	68.88	45.79	3.15	31.54
B-2	Grama	<i>Cenchrus clandestinus</i>	72.45	43.56	3.16	31.56
C-1	Nyush	<i>Hydrocotyle sp</i>	33.47	48.78	1.63	16.33
D-1	Totora	<i>Schoenoplectus californicus</i>	40.45	51.31	2.08	20.75
E-1	Nyush	<i>Hydrocotyle sp</i>	35.44	49.08	1.74	17.39
F-1	Totora	<i>Schoenoplectus californicus</i>	46.15	51.90	2.40	23.95
G-1	Trébol	<i>Trifolium repens</i>	89.05	49.83	4.44	44.37
G-2	Grama	<i>Cenchrus clandestinus</i>	86.58	37.44	3.24	32.42
H-1	Nyush	<i>Hydrocotyle sp</i>	36.60	45.24	1.66	16.56
I-1	Trébol	<i>Trifolium repens</i>	83.19	41.76	3.47	34.74
I-2	Grama	<i>Cenchrus clandestinus</i>	101.54	42.41	4.31	43.06
Total						342.45

Nota: Se tomó 12 muestras en los cuatro centros poblados que abarca el humedal Tragadero, donde A-1, B-1 y B-2 son muestras del C.P – Tragadero, C-1 y D-1 son muestras del C.P. – Muquillanqui, E-1, F-1, G-1 y G-2 son muestras del C.P. – Chocón y H-1, I-1 y I-2 pertenecen a Pachascucho. El Peso Seco y Factor de Carbono son resultados obtenidos del laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de La Molina. Elaboración propia.

Cabe resaltar que los puntos de muestreo mostrados en la tabla anterior han sido georreferenciados y se indican en el Anexo 3. Registros de la salida de campo.

La prueba estadística de análisis de varianza de las especies vegetales predominantes (*Cenchrus clandestinus*, *Hydrocotyle sp*, *Schoenoplectus californicus* y *Trifolium repens*) con la prueba Bartlett tuvo como resultado que las varianzas son homogéneas debido a

que $p\text{-value} > 0.05$ (ver anexo 4.1). Asimismo, se cumplió la normalidad de los residuales (Anderson-Darling, $p\text{-value} > 0.05$).

En la tabla 3 se muestra el análisis de varianza de las especies vegetales en estudio, sobre esto, se encontró que al menos una especie difiere a las demás para la variable dependiente – Captura de Carbono ($F=10.22$, $p\text{-value} < 0.05$). Además, se verificó el cumplimiento de supuestos (ver anexo 4.2).

Tabla 4. *Análisis de Varianzas de la Captura de Carbono.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Especie	3	819.5	273,17	10.22	0.004
Error	8	213.8	26,73		
Total	11	1 033.4			

Nota: El estadístico F presenta un valor (10.22) y un nivel crítico (0.004).

En la tabla 4, se presenta las medias del peso seco (g), factor de carbono (%), el Carbono (tC/h) de las especies en estudio. Asimismo, se muestra que el error estándar del carbono total (tC/h) para cada especie es de 2.98 a un índice de 95%. Además, se coloca los resultados de la prueba LSD de Fisher (nivel de significancia del 5%).

Tabla 5. *Promedio de las Reservas de Carbono (tC/h) de la biomasa vegetal (aérea y radicular) de las especies predominantes del humedal Tragadero, en mayo 2021.*

Nombre Local	Nombre Científico	Peso Seco (g)	Factor de Carbono (%)	Carbono (tC/h)	Error Estándar	Prueba LSD de Fisher
Trébol	<i>Trifolium repens</i>	80.37	45.79	36.88	2.98	A
Grama	<i>Cenchrus clandestinus</i>	86.86	41.14	35.68	2.98	A
Totora	<i>Schoenoplectus californicus</i>	47.31	52.34	24.83	2.98	B
Nyush	<i>Hydrocotyle sp</i>	35.17	47.70	16.76	2.98	B

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Elaboración propia

De la tabla anterior se infiere que las medias de las especies del trébol y la grama no son significativamente diferentes, en comparación de las otras dos especies.

En la figura 5 se muestra un gráfico de las Reservas de Carbono (tC/h) por especie en estudio. Dichos valores se encuentran expresados en toneladas por hectárea, donde se evidencia la media $\pm$ el error estándar de las especies. Además, las especies *Cenchrus clandestinus* y *Trifolium repens* presentan mayor cantidad de Carbono (tC/h), a diferencia de las otras dos especies.

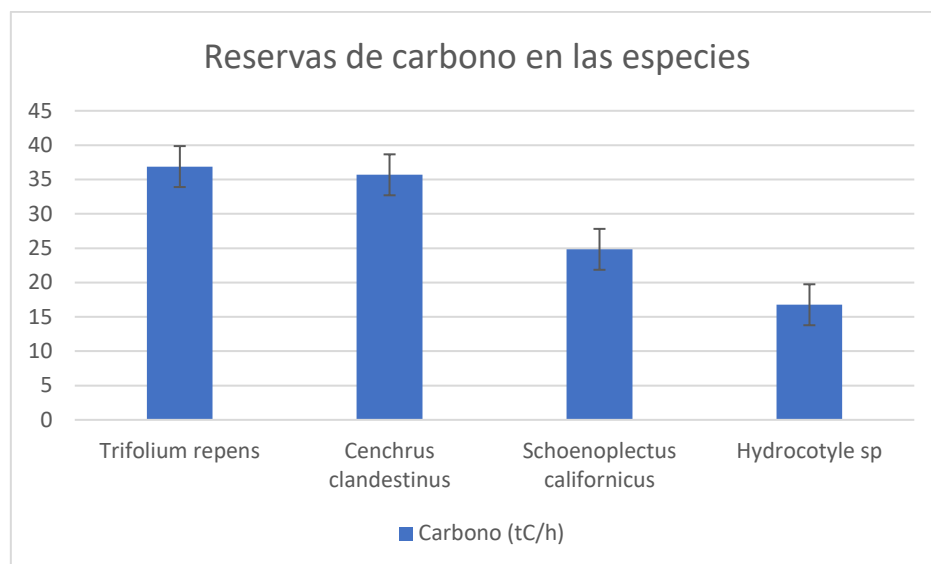


Figura 5. Diferencias de las Reservas de Carbono de las especies en estudio, en mayo 2021.

Cuantificación del carbono almacenado en el sustrato suelo del humedal Tragadero

Los datos obtenidos del laboratorio (densidad aparente y Factor de Carbono) permitieron calcular el Carbono del suelo en toneladas por hectárea (ver tabla 5), asimismo, los resultados que se muestran a continuación se calcularon por medio de las ecuaciones propuestas en la metodología.

Tabla 6. Reservas de Carbono (tC/h) del suelo orgánico por Centros Poblados del humedal Tragadero, en mayo 2021.

CARBONO DE SUELO ORGÁNICO					
Puntos	Centro Poblado	Carbono (%)	d.a. g/cm ³	% M.O	Carbono (tC/h)
1	Tragadero	1.55	1.429	3	66.43
2	Muquillanqui	3.18	1.321	5	126.00
3	Chocón	16	0.610	28	292.68
4	Pachascucho	7.84	1.230	14	289.30
Total					774.41

Nota: d.a. g/cm³ = densidad aparente en g/cm³. % M.O = Porcentaje de Materia Orgánica. Elaboración propia.

De la tabla 5, los centros poblados Tragadero y Muquillanqui, presentan un bajo porcentaje de carbono y de materia orgánica, y su densidad aparente varía entre 1.3 a 1.4 g/cm³, lo que indica que son ambientes pobres para el crecimiento de raíces. A diferencia del suelo de los otros centros poblados.

Cabe indicar que los puntos de muestreo mostrados en la tabla 5 han sido georreferenciados y se indican en el Anexo 3. Registros de la salida de campo.

En la figura 6 se muestra un gráfico de barras para las Reservas de Carbono (tC/h) del sustrato suelo de los cuatro Centros Poblados.

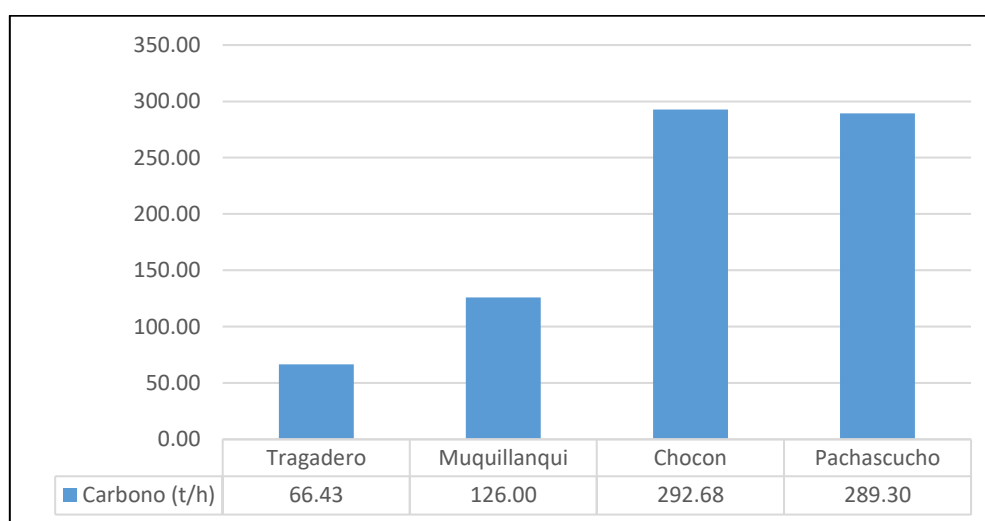


Figura 6. Reservas de Carbono (tC/h) del suelo orgánico de cada Centro Poblado (Tragadero, Muquillanqui, Chocón y Pachascucho), en mayo 2021. Elaboración propia.

Discusiones

Según el manual de la Convención RAMSAR (2016), los humedales son ecosistemas donde el recurso hídrico es el principal factor controlador del medio, la flora y la fauna asociada a él. Por tanto, se determina la importancia de los humedales, debido a sus condiciones húmedas anóxicas, que son ambientes naturales óptimos para almacenar o secuestrar carbono de la atmósfera (Mitsch et al., 2013).

Los humedales altoandinos son ecosistemas que almacenan carbono en la biomasa aérea, radicular y en el suelo, esto se puede contrastar con lo señalado por la Secretaría de la Convención RAMSAR (2013), los humedales almacenan carbono tanto en las especies vegetales como en el suelo, y si estos se aprovechan con responsabilidad son beneficiosos para la sociedad, sin embargo, si los humedales se empiezan a degradar puede llegar a liberar grandes cantidades de dióxido de carbono de esta manera contribuir al calentamiento global debido al incremento de temperatura por la emisión de CO₂.

Por lo tanto, es importante la conservación de las especies vegetales del humedal Tragadero, ya que es un sumidero de carbono que contribuye con la reducción de la emisión de CO₂ a la atmósfera por intermedio de la flora que almacena carbono en sus estructuras mediante la fotosíntesis.

Peso Seco por especie en el humedal Tragadero

Los resultados obtenidos de peso seco del laboratorio para las especies en estudio del humedal Tragadero muestreados en el mes de mayo, indican que, el nyush, *Hydrocotyle* sp, presenta menor cantidad de peso seco 35.17 g esto debido a su textura (tamaño, forma, etc.) tal como indica (Goyzueta et al., 2009). Asimismo, la especie que mayor peso tiene es la grama, *Cenchrus clandestinus*, 86.86 g.

Factor de Carbono en la biomasa vegetal (%)

De acuerdo con los resultados de laboratorio, se puede inferir que, para los cuatro tipos de especies muestreados, la fracción de carbono se encuentra en el rango de 37.44% y 53.81%, siendo la totora, *Schoenoplectus californicus*, la que contiene el mayor porcentaje de carbono almacenado en su biomasa, con un promedio de 52.34% (ver tabla 2). Asimismo, en el artículo de Pérez et al. (2015) realizado en los humedales de Villa María (Áncash – Perú) para la totora la fracción de carbono es 88.82% tanto para la parte aérea y raíz, el resultado del presente estudio es menor, esto se debe a la composición florística, la edad y la densidad poblacional que presenta el humedal (Schulze et al., 2000), sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro del rango (43% a 58% C) establecido por el IPCC para el factor de carbono (IPCC, 2014).

Por otro lado, se puede inferir que las especies *Trifolium repens*, *Cenchrus clandestinus* e *Hydrocotyle sp* presentan poca dispersión, debido a que captan menor cantidad de carbono en su estructura foliar, a diferencia de la especie *Schoenoplectus californicus*, esto debido a su disposición casi vertical de sus hojas (Palomino y Cabrera, 2008).

Contenido de Carbono en la biomasa vegetal (tC/h)

De las especies de flora en estudio del humedal Tragadero en mayo 2021, se indica que la mayor captación de carbono se dio en la especie de trébol, *Trifolium repens*, con 36.88 tC/h seguida por la grama, *Cenchrus clandestinus*, con 35.68 tC/h después la totora, *Schoenoplectus californicus*, con 24.83 tC/h y la menor captación se dio en el Nyush, *Hydrocotyle sp*, con solo 16.76 tC/h (ver tabla 3).

De acuerdo con lo expresado en el párrafo anterior, los resultados del trébol y grama nos indican que presentan una gran cantidad de biomasa aérea, es decir una vegetación densa, lo que incrementa la cantidad de carbono en las estructuras (hojas y raíces) de dichas especies, y que por medio de la fotosíntesis consumen dióxido de carbono (CO_2) y desprende oxígeno (O_2) a la atmósfera (Sofo et al., 2005). Cabe resaltar que dichas especies crecen en una asociación, por ello la cantidad de captación de carbono son similares en ambas especies.

El trébol y la grama son especies que mantienen un equilibrio de almacenamiento de carbono debido a que no son utilizadas como la especie de totora que tiene un valor artesanal (Palomino, 2007). Sin embargo, cada humedal es un ecosistema que presenta una complejidad de comunidades vegetales y una estructura particular, además, las actividades antropogénicas también influyen.

La totora, *Schoenoplectus californicus*, presentó un total de carbono de 24.83 tC/h, este resultado es similar al obtenido por Pérez et al. (2015) en el artículo “Cuantificación de la captura de CO_2 por la flora nativa de totora en un humedal costero de Perú” en donde almacenó un total de 22.92 tC/h, tampoco difiere de los resultados obtenidos por Velasquez (2019) y Palomino y Cabrera (2008) para la parte aérea y raíz de la totora que almacena 29.07 tC/h y 28.9 tC/h, respectivamente, sin embargo, en el estudio realizado en el lago Chinchaycocha obtuvieron como resultado para la parte aérea de la totora 30.65 tC/h, la cantidad de carbono es mayor debido a que las totoras muestreadas tenían una altura de 3 - 4 m lo que aumenta el almacenamiento del carbono, además, las especies del ecosistema totoral presentan mayor dispersión (Medrano et al., 2012).

El *Hydrocotyle sp.*, es una especie acuática de rápido crecimiento, debido a esto presenta poco tiempo para producir fibras (principalmente lignina), y en consecuencia tiene menos %C que las especies de crecimiento lento (Aldave y Aponte, 2019).

Por otro lado, es importante señalar que existen factores que afectan el desarrollo de plantas que son esenciales en procesos de transporte de nutrientes, agua y procesos de absorción; como las estaciones del año, las bajas y altas temperaturas o la disminución de la radiación solar, que alteran el metabolismo y la estructura, lo que afecta a su crecimiento y su papel como secuestradores de CO₂ (Martínez-Ballesta, 2009).

Densidad aparente del suelo (g/cm³)

De acuerdo con los resultados de densidad aparente brindados por el laboratorio, se refleja que la densidad de suelo de los centros poblados Chocón y Pachascucho se encuentran por debajo de 1.3 g/cm³, lo que indica una condición porosa del suelo; sin embargo, los otros puntos son valores que sobrepasan ligeramente a 1.3 g/cm³, lo que indica un ambiente con aireación reducida, pobre para que las raíces crezcan y se reduce la infiltración del agua (FAO, 2009). Por lo tanto, el contenido de materia orgánica y porcentaje de carbono son inversamente proporcionales a dicho parámetro.

Contenido de Carbono en el Suelo (tC/h)

Se observan diferencias principalmente con el punto de muestreo realizado en el centro poblado Tragadero y Muquillanqui, porque tiene mayor impacto por el sobrepastoreo, originado por la ganadería. Asimismo, es importante mencionar la diferencia entre suelos que se encuentran en forma natural y sin intervención humana (Roa-García y Brown, 2016). En los centros poblados que existe mayor concentración de carbono orgánico (Chocón y Pachascucho), se debe a que los puntos de muestreo estuvieron en zonas

cercanas a los totorales por tanto su descomposición de la materia orgánica es más lenta en comparación de los otros suelos (Medrano et al., 2012).

Roa-García y Brown (2016), estimó que la acumulación de carbono en humedales andinos de la microcuenca Bolillos se encuentra entre los valores de 107 y 134 tC/h y de la Microcuenca Barro Blanco es de 135.14 tC/h. Asimismo, Suarez (2016), obtuvo valores que varían entre 42.58 – 70.65 tC/h y 29.54 – 44.21 tC/h para dos humedales altoandinos del Ecuador. Otro estudio realizado por Alvis (2018), en el humedal altoandino Chalhuanca obtuvo 218.28 tC/h. En ese sentido, dichos estudios reflejan que los resultados obtenidos en el presente estudio (66.43 – 292.68 tC/h) son similares y/o se encuentran en el rango de otras investigaciones realizadas en humedales altoandinos.

Además, los niveles de carbono del humedal Tragadero en el sustrato suelo representa un importante sumidero de carbono, debido a que fija 193.60 tC/h en promedio; y al igual que el estudio realizado por Palomino y Cabrera (2007) se demuestra que el carbono orgánico del suelo es mayor que la reserva vegetal. Además, que en el suelo existe de tres a cinco veces mayor carbono orgánico (Bennington, 2009). Por lo tanto, el suelo es un gran almacén de carbono en la naturaleza (Burbano, 2018).

Por otro lado, según el estudio realizado por Cerón (2010), evidenció que existe una influencia estacional sobre el almacenamiento de carbono, así como la influencia de mareas, obteniendo que el almacenaje de carbono orgánico y materia orgánica fue más alto en la época seca, debido a que en dicha época se concentra las sales y el carbono orgánico disuelto. Mientras que, en la época lluviosa, el poro se diluye con las precipitaciones y escorrentías, resultando valores bajos. En ese sentido, la presente investigación que fue realizado en época seca (mayo 2021), se infiere que sería la estación que mayor carbono almacena.

Captura de Dióxido de Carbono (CO₂)

Según Were et al., (2019), el secuestro de carbono se refiere a la captura del dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y su almacenamiento en los humedales por un largo tiempo, en ese sentido para la presente investigación la estimación del servicio ambiental de captura de CO₂ en el humedal de Tragadero, es de 4,095.14 tCO₂/h, sin embargo, de realizarse malas prácticas en el humedal, como el sobrepastoreo, la quema de las especies, se emitirán concentraciones de dióxido de carbono a la atmósfera, lo que incrementaría la temperatura y como consecuencia el calentamiento global.

Por otro lado, es importante indicar que existe otra fuente de almacenamiento de carbono en la zona del humedal diferente a las especies vegetales y el suelo, que no fue parte de los cálculos de la investigación, que es el componente acuático asociado al humedal Tragadero, debido a que la metodología propuesta del Manual de Determinación de las Reservas Totales de Carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú (Arévalo et al., 2003); se basa solo en árboles, cultivos, pastos, etc. así como la hojarasca; no incluyéndose el agua para su evaluación, por tanto no fue parte del alcance de la presente investigación.

Sin embargo, según refiere Novo (2020), dicho componente también almacena carbono en forma de materia orgánica, a partir de la descomposición de la vegetación acuática, la cual está constituida por un 50% de C aproximadamente. Asimismo, su almacenamiento es un sumidero que compensa las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de las actividades antropogénicas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que la capacidad de captura de carbono estuvo determinada por las cuatro especies de flora estudiadas en el humedal Tragadero en mayo 2021, que son las especies: trébol, *Trifolium repens*, grama, *Cenchrus clandestinus*, totora, *Schoenoplectus californicus*, y el Nyush, *Hydrocotyle sp.*

La especie que existe en mayor abundancia en el humedal Tragadero en mayo 2021 es la totora, *Schoenoplectus californicus*, la cual se encuentra en mayor proporción en el centro del humedal que corresponde a espacios húmedos y es el hábitat de diversas especies de fauna.

La cantidad de carbono almacenada en las especies vegetales estudiadas en el humedal Tragadero en mayo 2021, son diferentes entre sí, de las cuales se puede inferir que la mayor captación de Carbono la tuvo el trébol, *Trifolium repens*, con 36.88 tC/h y la de menor el Nyush, *Hydrocotyle sp.*, con solo 16.76 tC/h.

La cantidad de carbono que almacena el sustrato suelo en el humedal Tragadero en mayo 2021, es mayor que lo capturado por las especies vegetales predominantes en la laguna Tragadero, fijando en promedio 193.60 tC/h.

Las reservas de CO₂ en el humedal Tragadero en mayo 2021, es de 4,095.14 tCO₂/h, donde se puede concluir que el resultado está muy influenciado por el sustrato suelo, debido a que es el componente que almacena carbono en mayor porcentaje, desempeñando un rol importante para el almacenamiento del CO₂ dentro del humedal.

Recomendaciones

Los humedales altoandinos, así como los costeros, son potenciales sumideros de carbono, por lo que existe la necesidad de realizar más investigación sobre la emisión de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), entre otros; para hacer un balance de las entradas y salidas de estos GEI y así contribuir en la conservación y la protección de los ecosistemas, además, brindar estrategias para mitigar los efectos del cambio climático.

Realizar monitoreo periódico o en diferentes estaciones climáticas de la captura de carbono en las especies de flora predominantes, para evaluar el incremento de la biomasa en dichas especies.

En futuras investigaciones en el humedal Tragadero, se recomienda realizar una valoración socioeconómica, tomando en cuenta todos los servicios ecosistémicos que proporciona.

Ejecutar capacitaciones, talleres, charlas orientados a los pobladores de los cuatro centros poblados asentados alrededor del humedal para la conservación y manejo sostenible de dicho ecosistema.

REFERENCIAS

- Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología - DiCYT (2012, 18 junio). El Ciclo del Carbono, un actor relevante en el Cambio Climático Global [dicyt.com]. Recuperado de: https://www.dicyt.com/noticias/el-ciclo-del-carbono-un-actor-relevante-en-el-cambio-climatico-global?fbclid=IwAR1drnSYzfZKjILnId35RYU7OjMdjXOdPIV7ccblHhXpRfzSfF3_K2j_Bt8
- Aldave, T. y Aponte, H. (2019). Estudio comparativo del porcentaje de carbono entre especies de flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima – Perú). *Arnaldoa*, 26 (2), 751-760.
- Alvis, T. (2018). Almacenamiento de Carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma - Arequipa, 2017 (Tesis de Bachiller). Recuperada de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8214>
- Arévalo, L., Alegre, J. y Palm, C. (2003). *Manual de Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú*. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA).
- Ballina, F. (s/f). Paradigma y Perspectivas Teórico – Metodológicas en el estudio de la Administración. Recuperado de: <https://www.uv.mx/iiesca/files/2013/01/paradigmas2004-2.pdf>
- Barboza, O. (2013). Calentamiento Global: “La máxima expresión de la Civilización Petrofósil”. *Revista del CELSA*, 16, 35-68.
- Barra, M. (2019). Captura de Carbono por la vegetación en el bofedal de la Moya, en el distrito de Melgar Ayaviri, 2019 (Tesis de grado). Recuperada de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12756>
- Benavides, H. y León, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología.

- Bennington, J. (2009). *The Carbon Cycle and Climate Change*. Hofstra University – USA.
- Bolin, B. y Sukumar R. (2000). *Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Buendía, L., Colás, P. y Hernández, F. (2001). *Métodos de investigación en Psicopedagogía*. Madrid: McGraw-hill.
- Burbano, H. (2018). El carbono organico del suelo y su papel frente al cambio climatico. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 34(1), 82-96. doi:<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>.
- Caballero, M., Lozano, S. y Ortega, B. (2007). Efecto Invernadero, Calentamiento Global y Cambio Climático: Una perspectiva desde las ciencias de la Tierra. *Revista Digital Universitaria*, 8(10), 1-12.
- Chivelet, J. (2010). Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 18(1),33-46.
- Comisión Técnica de la ZEE (2015). Memoria descriptiva del estudio de fisiografía del departamento de Junín a escala 1:100000. Recuperado de http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Junin/Memoria_Descriptiva_Fisiografia.pdf
- Compañía Española de Petróleos – CEPSA (2015). El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepsa.
- Convención Marco sobre el Cambio Climático – CMCC (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Naciones Unidas.
- Convención Relativa a los humedales de Importancia Internacional, especialmente como hábitat de Aves Acuáticas – RAMSAR (2016). Introducción a la Convención sobre humedales (5ta ed.). Suiza: Secretaría de la Convención Ramsar.
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres – CITES (2021). <https://www.cites.org/eng>

- Cowardin, L. (1979). *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States*. EE. UU.: Servicio de Pesca y Vida Silvestre.
- Dai, X., Yang, G., Liu, D. y Wan, R. (2020). Vegetation Carbon Sequestration Mapping in Herbaceous Wetlands by Using a MODIS EVI Time-Series Data Set: A Case in Poyang Lake Wetland, China. *Remote Sensing*, 12(18), 3000.
- Díaz, I., Jesus, E. y Burguillo, M. (2018). *Servicios Ecosistémicos en humedales*. Veracruz: G-M Espejo Imagen S.A. de C.V.
- Dodds, W. y Whiles, M. (2017). *Freshwater ecology: concepts and environmental applications* (3^{era} edición). San Diego: Academic Press.
- Espíndola, C. y Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información Tecnológica*. 23(1), 163-176. DOI: 10.4067/S0718-07642012000100017
- Espinoza, E. (2018). Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. *Revista Conrado*, 14(65), 36 – 46.
- Food and Agriculture Organization - FAO. (1995). *Cambio climático, bosques y ordenación forestal*. Roma: FAO.
- Food and Agriculture Organization - FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos (4^o. Ed.) Roma: FAO.
- Food and Agriculture Organization - FAO. (2017a). La estrategia de la FAO sobre el cambio climático. (Informe N° 1). Roma: FAO.
- Food and Agriculture Organization – FAO. (2017b). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Roma: FAO.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma J., Cruz, C., Encina, A., Jones, A., Krasilnikoy, P., Mendoza, M., Montanarella, L., Muniz, O., Schad, P., Vara, M., y Vargas, R. (2004). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Luxemburgo: Comisión Europea – Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

- Gómez Díaz de León, C., y León de la Garza, E. (2014). *Método comparativo*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Goyzueta, G., Alfaro, R., y Aparicio, M. (2009). *Totorales del lago Titicaca Importancia, conservación y gestión ambiental*. Puno.
- Hagopian, H. (2016). Experimentos en una ciencia no experimental. *Investigación Económica*. LXXV (295), 31-91.
- Hammer, O., Harper, D. y Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontología Electrónica* 4(1),9.
- Hribljan et al. (2015). Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia. *Mires and Peat*, 15(12), 1-14.
<https://www.uv.mx/iiesca/files/2013/01/paradigmas2004-2.pdf>
- Instituto Geofísico del Perú - IGP (2005). Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro bajo la visión del cambio climático. I y II. Recuperado de <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/715>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2013). *Cambio Climático 2013. Bases físicas*. (Informe N° 5) Estados Unidos: Planton, S.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Suecia: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2018). Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C. (Informe N° 1). Suecia.
- Jaramillo V. (2004). El ciclo global del carbono. México: Instituto Nacional de Ecología.

- Keiluweit, M., Bougoure, J., Nico, P., Pett-Ridge, J., Weber, P. & Kleber, M. (2015). Mineral protection of soil carbon counteracted by root exudates. *Nature Climate Change*, (5), 588–595.
- López, P. (2004). Población Muestra y Muestreo. *Punto Cero*, 9(8), 69-74.
- Marín, J. (2013). Balance neto de carbono en suelos de humedales costeros de Agua Dulce: Implicaciones Ecológicas y Sociales. (Tesis doctoral). Recuperado de <https://www.uv.mx/det/files/2012/06/MarinMunizJoseLuis-Septiembre2013.pdf>
- Marín, J., Hernández, M. y Moreno-Casasola, P. (2011). Secuestro de Carbono en Suelos Humedales Costeros de Agua Dulce en Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), 365-372.
- Martínez, E., Fuentes, J. y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68-96. doi:org/10.4067/S0718-27912008000100006
- Medrano, R., Chupan, L., y Vila, M., (2012). Almacenamiento de carbono en especies predominantes de flora en el lago Chinchaycocha. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(2), 110-117.
- Mejía, K., Reyes, C. y Sánchez, H. (2018) *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística* (1era ed.). Lima: Bussiness Support Aneth S.R.L
- Mendoza de Armas, C. y Jiménez, G. (2017). Relación entre el efecto invernadero y el cambio climático desde la perspectiva del sector agrario. *Revista Nacional de Agronomía – Medellín*, 70(2).
- Miller, G. (2007). *Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral*. (8^{va} edición). México: Editores Internacional Thomson.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – MINAGRI (2006). Categorización de especies amenazadas de flora silvestre. Decreto Supremo N°043-2006-AG. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/944738/D.S.-N-043-2006-AG---Aprueban-Categorizacin-de-Especies-Amenazadas-de-Flora-Silvestre20200705-25584-3pd55e.pdf>

- Ministerio del Ambiente – MINAM (2016). El Perú y el Cambio Climático. Tercera Comunicación Nacional del Perú.
- Mita, M. (2019). Evaluación de la captura de carbono en los bofedales de la laguna de Conococha en base a la especie de flora predominante del área de estudio - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash - 2018 (Tesis de grado). Recuperada de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2829>
- Mitsch, W., Bernal, B., Nahlik, A., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. y Brix, H. (2013). Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape Ecology*, 28(4), 583-597.
- Monje, C. (2011). Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa – guía didáctica. Neiva.
- National Aeronautics and Space Administration – NASA (2021). 2020 Tied for Warmest Year on Record, NASA Analysis Shows (giss.nasa.gov). Recuperado de: <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20210114/>
- Nebel, B., y Wright, R. (1999). *Ciencias ambientales, Ecología y desarrollo sostenible* (6ª. Ed). México: Prentice Hall.
- Novo, C. (2020, 03 de Julio). El carbono almacenado en lagos se ha triplicado debido a la alteración de los ciclos de nutrientes. [www.iagua.es]. <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/carbono-almacenado-lagos-se-ha-triplicado-debido-alteracion-ciclos>
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., y Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. (4ª. Ed). Bogotá: Ediciones de la U.
- Ordoñez et al. (2013). Flujo de Carbono Orgánico Total (COT) en una cuenca andina: caso subcuenca Río Las Piedras. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13, (14), 214.

- Orellana, G., Sandoval, M., Linares, G., García, N. y Tamariz, J. (2012). Descripción de la dinámica de Carbono en Suelos Forestales mediante un Modelo de Reservorios. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(1), 123-135.
- Palomino, D. (2007). Estimación del servicio ambiental de captura de CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo (Tesis de maestría). Recuperada de http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo/_data/20170323174828_64.pdf
- Palomino, D., y Cabrera, C., (2007). Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 10(20), 49-59.
- Pérez, H., Luccini, E., Herrera, L., Parodi, M., Matar, M., Barrera, L., Mechni, M., y Masramón, E. (2015). Cuantificación de la captura de CO₂ por la flora nativa de totora en un humedal costero de Perú. *Energeia*, 13(13).
- Power, G. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. *Ingeniería Industrial*, 27, 101-122.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD (2007) Informe sobre Desarrollo Humano 2007 – 2008. Nueva York: Green Ink Inc.
- Raynal-Villaseñor, J. (2011). Cambio climático global: una realidad inequívoca. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. XII (4), 421-427.
- Report of the Steering Committee – RSC (2005). International Symposium on the Stabilisation of Greenhouse Gases. *Exeter*, Inglaterra, 16.
- Roa-García, M. y Brown, S. (2016). Caracterización de la acumulación de Carbono en pequeños Humedales Andinos en la Cuenca Alta del Río Barbas (Quindío, Colombia). *Caldasia*, 38(1), 117-135.
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J. y Deering, D. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Washington: National Aeronautics and Space Administration.

- Schulze, E., Wirth, C., y Heimann, M. (2000). Managing forest after Kyoto. *Science*, 289(5487), 2058-2059.
- Schumacher, B. (2002). Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments.
- Secretaría de la Convención de Ramsar (2013). *Manual de la Convención de Ramsar. Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)* (6°. ed.). Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Segura, F., (2019). Diversidad e índice de productividad vegetal del humedal Chocón - Jauja (Tesis de grado). Recuperada de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5218>
- Sequeiros, D. y Cazorla, J. (2020). Servicio ambiental de captura de carbono de los bofedales del Centro Poblado Alto Perú, Tacna. *Ingeniería Investiga*, 2(2), 357-375.
- Sofo, A., Nuzzo, V., Palese, A., Zukowsky, D. (2005). Almacenamiento Neto de CO₂ en el Mediterráneo oliva y melocotón huertas. *SCI. Hortic.*107, 17-24.
- Suárez, D., Acuario, C., Chimbolema, S. y Aguirre, X. (2016). Análisis del Carbono secuestrado en Humedales Altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2).
- Suárez, E., Orrego, M. y Regal, F. (2015). Evaluación Ecológica Rápida del humedal de Tragadero (Junín, Perú). *ResearchGate*, 12(2), 132-144.
- Tamayo, G. (2015). Diseños muestrales en la investigación. *Universidad de Medellín*, 4, 7.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – UICN (2021). La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. Versión 2021-1. <http://www.iucnredlist.org>
- Van-Lenten, C. (2005). The Slow-Motion Tsunami: How Climate Change Could Change the World, Update. *The New York Academy of Sciences Magazine*, 2-7.

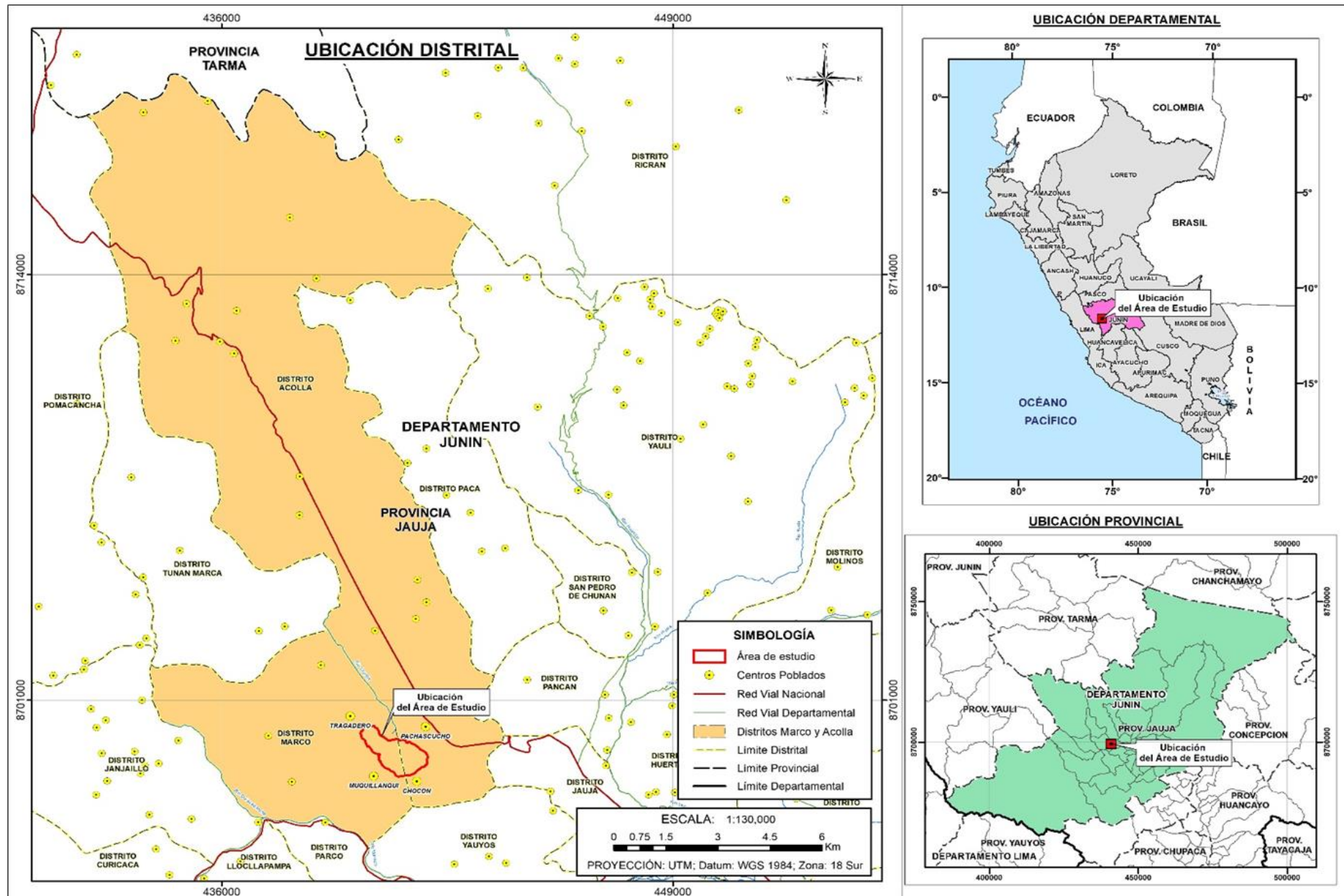
- Vargas, P. (2009). *El cambio climático y sus efectos en el Perú*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.
- Velasquez, J. (2019). Captura y Almacenamiento de carbono relacionado con la totora “*Schoenoplectus Californicus*” del Área de Conservación Regional Albúfera de Medio Mundo-Vegueta 2017 (Tesis de maestría). Recuperada de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3622>
- Walkley, A. y Black I. (1934). An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 34, 29-38.
- Were, D., Kansime, F., Fetahi, T., Cooper, A., y Jjuuko, C. (2019). Carbon sequestration by wetlands: A critical review of enhancement measures for climate change mitigation. *Earth Systems and Environment*, 3(2), 327-340.
- Whitehead, P. (15 de abril, 2021). Total Organic Carbon (TOC) and its Measurement [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://es.elgalabwater.com/node/291>
- Zamorano, C., Cunazza, C., Benoit I., Araya, P., Chong E., y Torres R. (2010). Programa Nacional para la Conservación de Humedales insertos en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado. Convenio de Eficiencia Institucional 2010.

ANEXOS

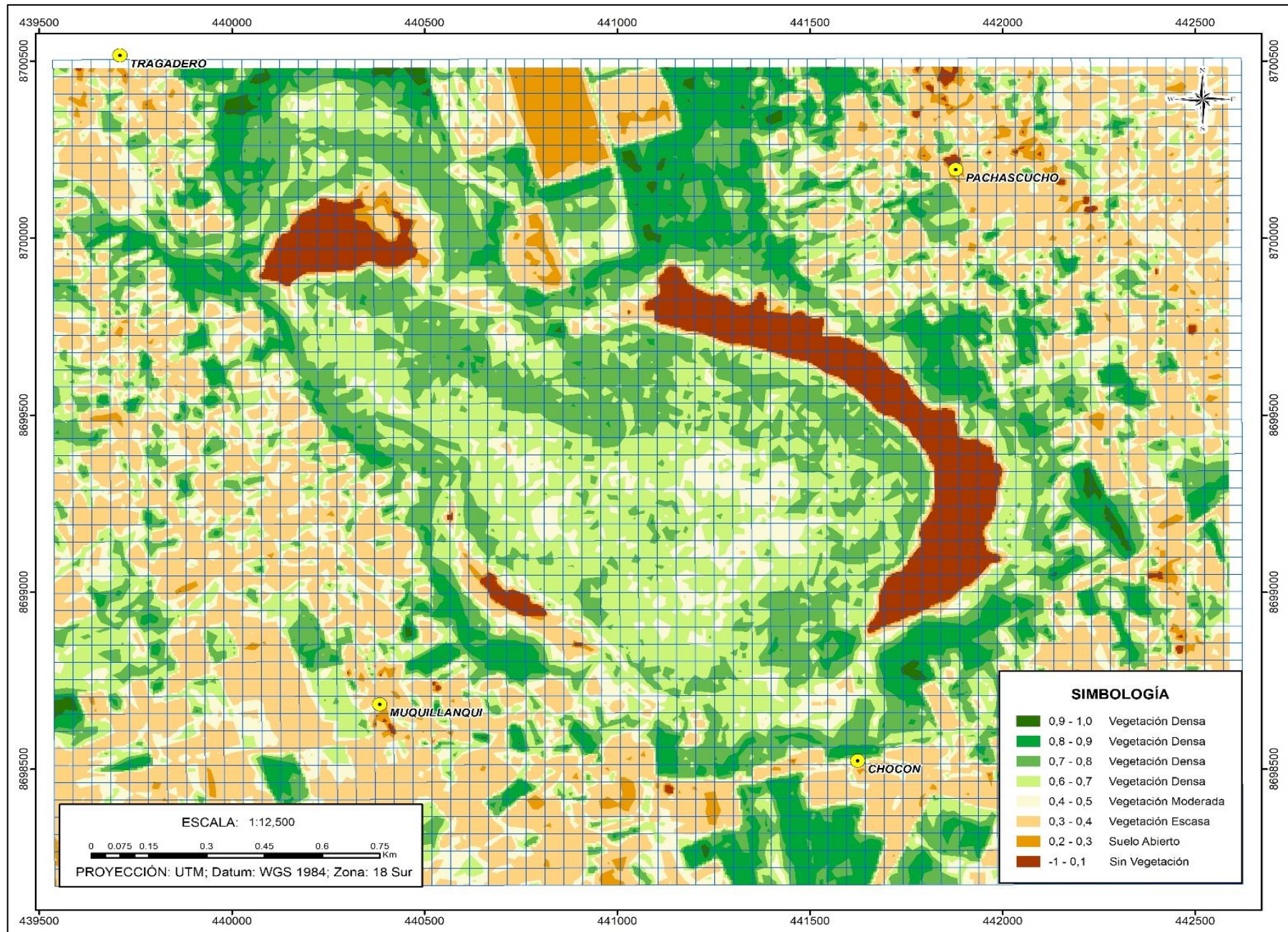
ANEXO 1. MAPAS

Anexo 1.1. Mapa de ubicación

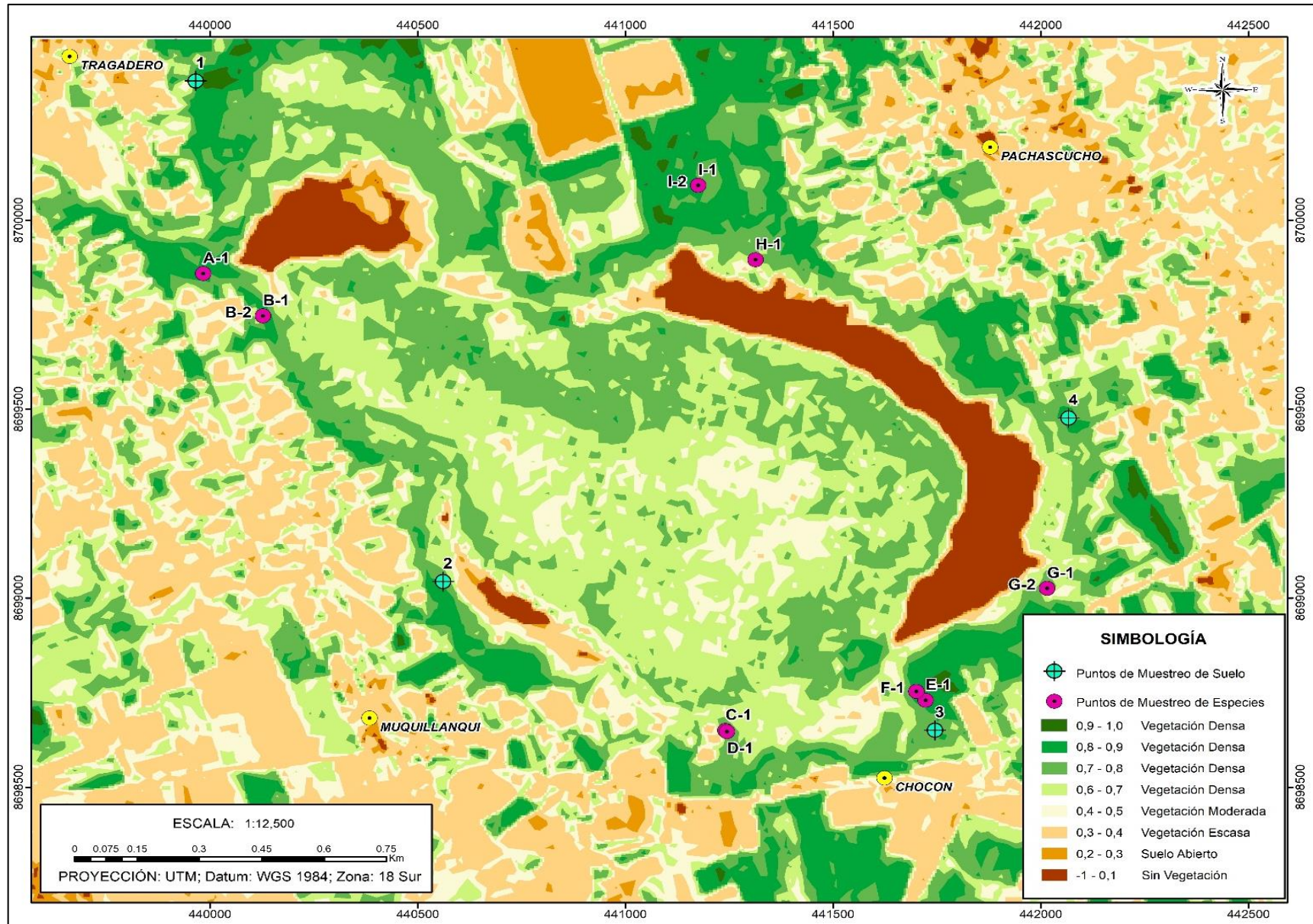
71



Anexo 1.2. Mapa del Índice de Vegetación del humedal de Tragadero (NDVI)



Anexo 1.3. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo



ANEXO 2. FORMATOS DE CAMPO

Anexo 2.1. Formato para la biomasa de la vegetación presente la zona del totoral

N° DE CUADRANTE (SUB MUESTRA)	Biomasa del total peso fresco (g/m ²)	PESO FRESCO SUB MUESTRA (g)	PESO SECO SUB MUESTRA (g)	Biomasa del total peso seco (t/h)
1				
4				
6				
PROMEDIO				

Anexo 2.2. Formato para la biomasa de la vegetación presente la Zona Herbácea

N° DE CUADRANTE (SUB MUESTRA)	Biomasa herbácea peso fresco (g/m ²)	PESO FRESCO SUB MUESTRA (g)	PESO SECO SUB MUESTRA (g)	Biomasa herbácea peso seco (t/h)
PROMEDIO				

ANEXO 3. REGISTROS DE LA SALIDA DE CAMPO

Anexo 3.1. Registro de muestreo en campo de las especies vegetales predominantes

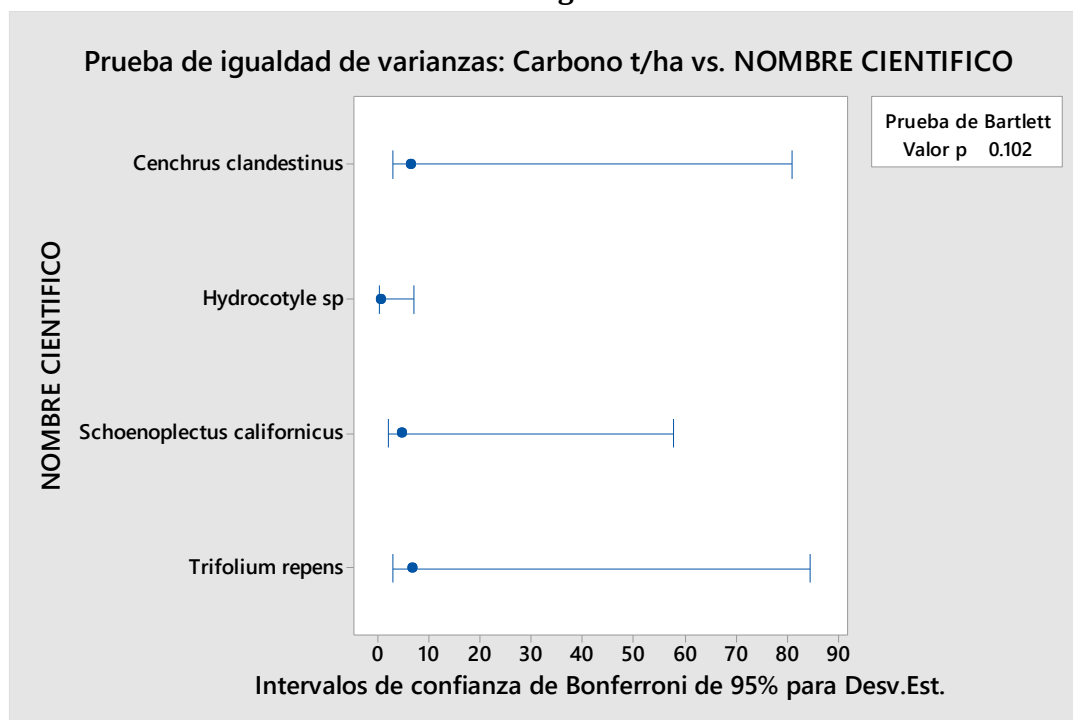
N° CUADRANTE	PUNTOS	CENTRO POBLADO	COORDENADAS UTM WGS 84, 18S		ESPECIES DE FLORA PREDOMINANTE		
			Este	Norte	Nombre local	Nombre Científico	% C en el Cuadrante
A	A-1	Tragadero	439 983.14	8 699 859.39	Totora	<i>Schoenoplectus californicus</i>	100%
B	B-1	Tragadero	440 127.40	8 699 746.88	Trébol	<i>Trifolium repens</i>	60%
	B-2	Tragadero	440 127.40	8 699 746.88	Grama	<i>Cenchrus clandestinus</i>	40%
C	C-1	Muquillanqui	441 240.45	8 698 649.97	Nyush	<i>Hydrocotyle sp</i>	100%
D	D-1	Muquillanqui	441 244.27	8 698 646.99	Totora	<i>Schoenoplectus californicus</i>	100%
E	E-1	Chocón	441 722.53	8 698 729.84	Nyush	<i>Hydrocotyle sp</i>	100%
F	F-1	Chocón	441 700.15	8 698 753.02	Totora	<i>Schoenoplectus californicus</i>	100%
G	G-1	Chocón	442 015.17	8 699 026.09	Trébol	<i>Trifolium repens</i>	50%
	G-2	Chocón	442 015.17	8 699 026.09	Grama	<i>Cenchrus clandestinus</i>	50%
H	H-1	Pachascucho	441 313.05	8 699 895.81	Nyush	<i>Hydrocotyle sp</i>	100%
I	I-1	Pachascucho	441 175.13	8 700 092.51	Trébol	<i>Trifolium repens</i>	40%
	I-2	Pachascucho	441 175.13	8 700 092.51	Grama	<i>Cenchrus clandestinus</i>	60%

Anexo 3.2. Registro de muestreo en campo del sustrato suelo

N°	CENTRO POBLADO	COORDENADAS UTM WGS 84, 18S	
		Este	Norte
1	Tragadero	439 965.36	8 700 368.58
2	Muquillanqui	440 560.90	8 699 044.09
3	Chocón	441 745.46	8 698 650.49
4	Pachascucho	442 066.83	8 699 477.03

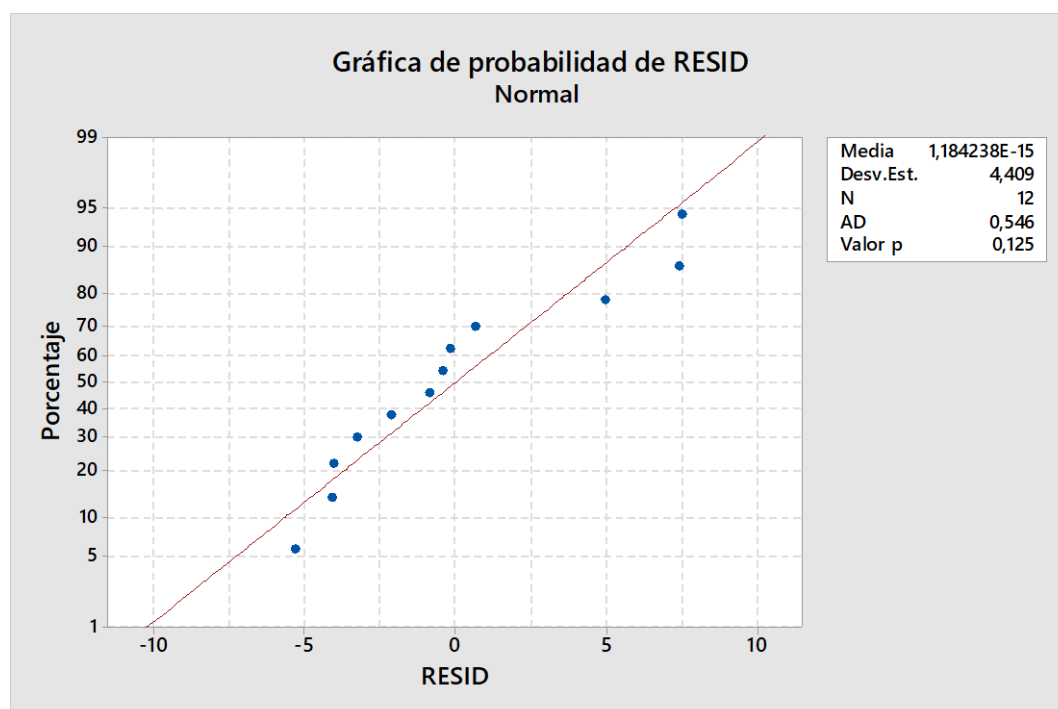
ANEXO 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Anexo 4.1. Prueba de igualdad de varianzas



Nota: Prueba de igualdad de varianzas de las especies vegetales predominantes, donde los valores están expresadas en Intervalos de confianza de Bonferroni de 95%. La prueba de Bartlett indica que las varianzas son homogéneas ($p > 0.05$).

Anexo 4.2. Prueba de normalidad de varianzas



Nota: Prueba de Normalidad de las especies vegetales presentan una distribución normal ($p > 0.05$).

**ANEXO 5. FOTOGRAFÍAS DE LAS ESPECIES VEGETALES EXISTENTES
EN EL HUMEDAL**

<i>Cenchrus clandestinus</i>	<i>Muhlenbergia ligularis</i>	<i>Trifolium repens</i>
		

<i>Medicago lupulina</i>	<i>Gentianella limoselloides</i>	<i>Gentiana sedifolia</i>
		

<i>Cotula mexicana</i>	<i>Castilleja pumila</i>	<i>Fuertesimalva limensis</i>
		

<i>Eleocharis montovidensis</i>	<i>Eleocharis albibracteata</i>	<i>Carex brachycalama</i>
		

<i>Poa annua L.</i>	<i>Lobelia oligophylla</i>	<i>Schoenoplectus californicus</i>
		

ANEXO 6. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE CAMPO

	
Cuadrante de 1m x 1m con muestra de vegetación (Trébol y Grama)	Cuadrante de 1m x 1m con muestra de vegetación (Nyush)
	
Clasificación de las muestras de vegetación	Pesado de 300g de la submuestra de vegetación
	
Extracción de la muestra de suelo	Medición del horizonte a 30 cm del suelo



Medición del horizonte a 20 cm del suelo



Medición del horizonte a 10 cm del suelo



Pesado de 300g de submuestra de suelo



Muestras de suelo codificadas para enviar a laboratorio



Muestras de vegetación (Trébol y Grama) codificados para enviar a laboratorio



Muestras de vegetación (Totora y Nyush) codificados para enviar a laboratorio

ANEXO 7. OFICIOS PRESENTADOS A LOS CENTROS POBLADOS**Anexo 7.1. Oficio presentado a la Comunidad Campesina Anexo de Pachascucho**

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

19 de mayo del 2021

OFICIO N° 01

Señor

LUIS GUTIÉRREZ PALACIO

Presidente de la Directiva de la Comunidad Pachascucho

Comunidad Campesina Anexo de Pachascucho

Asunto: Permiso para realizar muestreo de especies vegetales en el Humedal - Tragadero

De mi especial consideración:

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted, a fin de saludarlo cordialmente y hacer de su conocimiento que, en la fecha de 22, 23 y 24 de mayo del presente año estaremos desarrollando el Proyecto de Tesis "ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LAS ESPECIES PREDOMINANTES DEL HUMEDAL TRAGADERO – JUNÍN", con la finalidad de saber cuánto es la captura de Carbono del Humedal.

En ese sentido, se hace llegar el plan de tesis aprobado por la Universidad San Ignacio de Loyola a los tesisas, Liduvina María Mandarachi Misari y Claveli Chang Ocaña, para su revisión, conforme se detalla:

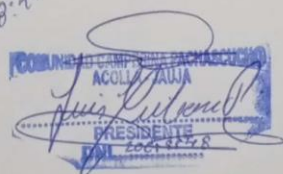
PLAN DE TESIS

Hago propicio la oportunidad para expresarle mis sentimientos de consideración y estimación personal a toda la comunidad de Pachascucho y a su persona por la buena gestión que viene desarrollando en bien de dicha comunidad.

Atentamente,

Liduvina María Mandarachi Misari

Claveli Chang Ocaña



Anexo 7.2. Oficio presentado a la Comunidad Campesina Anexo de Tragadero

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

19 de mayo del 2021

OFICIO N° 01

Señor

SANTIAGO JULIÁN MANDARACHI MISARI

Presidente de la Directiva de la Comunidad Tragadero

Comunidad Campesina Anexo de Tragadero

Asunto: Permiso para realizar muestreo de especies vegetales en el Humedal - Tragadero

De mi especial consideración:

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted, a fin de saludarlo cordialmente y hacer de su conocimiento que, en la fecha de 22, 23 y 24 de mayo del presente año estaremos desarrollando el Proyecto de Tesis "ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LAS ESPECIES PREDOMINANTES DEL HUMEDAL TRAGADERO – JUNÍN", con la finalidad de saber cuánto es la captura de Carbono del Humedal.

En ese sentido, se hace llegar el plan de tesis aprobado por la Universidad San Ignacio de Loyola a los tesisistas, Liduvina María Mandarachi Misari y Claveli Chang Ocaña, para su revisión, conforme se detalla:

PLAN DE TESIS

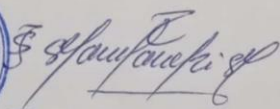
Hago propicio la oportunidad para expresarle mis sentimientos de consideración y estimación personal a toda la comunidad de Tragadero y a su persona por la buena gestión que viene desarrollando en bien de dicha comunidad.

Atentamente,

Liduvina Maria Mandarachi Misari 

Claveli Chang Ocaña 




Presidente
D.N.I 20682221

Recibe conforme
Fecha 19.05.2021
hox: G. 40 am.

Anexo 7.3. Oficio presentado a la Comunidad Campesina Anexo de Muquillanqui

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

19 de mayo del 2021

OFICIO N° 01

Señor

ANGEL MAYTA ESPINOZA

Presidente de la Directiva de la Comunidad Muquillanqui

Comunidad Campesina Anexo de Muquillanqui

Asunto: Permiso para realizar muestreo de especies vegetales en el Humedal - Tragadero

De mi especial consideración:

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted, a fin de saludarlo cordialmente y hacer de su conocimiento que, en la fecha de 22, 23 y 24 de mayo del presente año estaremos desarrollando el Proyecto de Tesis "ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LAS ESPECIES PREDOMINANTES DEL HUMEDAL TRAGADERO – JUNÍN", con la finalidad de saber cuánto es la captura de Carbono del Humedal.

En ese sentido, se hace llegar el plan de tesis aprobado por la Universidad San Ignacio de Loyola a los tesisistas, Liduvina María Mandarachi Misari y Claveli Chang Ocaña, para su revisión, conforme se detalla:

PLAN DE TESIS

Hago propicio la oportunidad para expresarle mis sentimientos de consideración y estimación personal a toda la comunidad de Muquillanqui y a su persona por la buena gestión que viene desarrollando en bien de dicha comunidad.

Atentamente,



Recibi 20-05-21
7.30 A.m.

Liduvina Maria Mandarachi Misari

Claveli Chang Ocaña

Anexo 7.4. Oficio presentado a la Comunidad Campesina Anexo de Chocón

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

19 de mayo del 2021

OFICIO N° 01

Señor

ODAR SANDOVAL

Presidente de la Directiva de la Comunidad Chocón

Comunidad Campesina Anexo de Chocón

Asunto: Permiso para realizar muestreo de especies vegetales en el Humedal - Tragadero

De mi especial consideración:

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted, a fin de saludarlo cordialmente y hacer de su conocimiento que, en la fecha de 22, 23 y 24 de mayo del presente año estaremos desarrollando el Proyecto de Tesis "ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LAS ESPECIES PREDOMINANTES DEL HUMEDAL TRAGADERO - JUNÍN", con la finalidad de saber cuánto es la captura de Carbono del Humedal.

En ese sentido, se hace llegar el plan de tesis aprobado por la Universidad San Ignacio de Loyola a los tesisistas, Liduvina María Mandarachi Misari y Claveli Chang Ocaña, para su revisión, conforme se detalla:

PLAN DE TESIS

Hago propicio la oportunidad para expresarle mis sentimientos de consideración y estimación personal a toda la comunidad de Chocón y a su persona por la buena gestión que viene desarrollando en bien de dicha comunidad.

Atentamente,

Liduvina María Mandarachi Misari

Claveli Chang Ocaña

20.05.2021

Recibido a las 08:20 AM

[Firma]

206521388.

fiscal

ANEXO 8. INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN FOLIAR Y SUELO DE LAS MUESTRAS DEL HUMEDAL TRAGADERO

Anexo 8.1. Resultados del análisis especial en foliar de los tejidos vegetales



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : CLAVELI CHANG OCAÑA
PROCEDENCIA : JUNÍN/ JAUJA/ MARCO
MUESTRA : TEJIDOS VEGETALES
REFERENCIA : H.R. 74336
BOLETA : 4578
FECHA : 16/05/2021

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Peso seco g	C %
1430	1-GRAMA	101.54	42.41
1431	2-GRAMA	72.45	43.56
1432	3-GRAMA	86.58	37.44
1433	1-MILLUS	36.60	45.24
1434	2-MILLUS	33.47	48.78
1435	3-MILLUS	35.44	49.08
1436	1-TOTORA	55.33	53.81
1437	2-TOTORA	40.45	51.31
1438	3-TOTORA	46.15	51.90
1439	1-TREBOL	83.19	41.76
1440	2-TREBOL	68.58	45.79
1441	3-TREBOL	89.05	49.83



Braulio La Torre Martínez
Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Anexo 8.2. Resultados del análisis especial en suelo de los centros poblados



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : CLAVELI CHANG OCAÑA
PROCEDENCIA : JUNÍN/ JAUJA/ MARCO
REFERENCIA : H.R. 74337
BOLETA : 4579
FECHA : 11/06/2021

Lab	Número Muestra	C %	D.A. g/cc
	Claves		
1412	1 Tragadero	1.56	1.43
1413	2 Muquillanqui	3.18	1.32
1414	3 Chocón	16.00	0.81
1415	4 Pachascucho	7.84	1.23



Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio