

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**



**CARBONO Y DIÓXIDO DE CARBONO ALMACENADO EN LA LAGUNA DE LOS
MILAGROS, DISTRITO DE PUEBLO NUEVO-TINGO MARÍA, PERÚ**

Tesis

Tesis para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Presentado por:

YORDAN EUDOMILIO ALVINO ROSAS

Tingo María-Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 001-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 03 de diciembre de 2025, a horas 05:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para calificar la tesis titulada:

“CARBON Y DIÓXIDO DE CARBONO ALMACENADO EN LA LAGUNA DE LOS MILAGROS, DISTRITO DE PUEBLO NUEVO-TINGO MARÍA, PERÚ”

Presentado por el Bachiller: **ALVINO ROSAS YORDAN EUDOMILIO** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 12 de diciembre de 2025


Ph. D. LUIS A. VALDIVIA ESPINOZA
PRESIDENTE


Ph. D. VICENTE S. PO COMUCHA POMA
MIEMBRO


Ing. MSc. WARREN RIOS GARCIA
MIEMBRO




Ing. MSc. JENRI RUIZ GONZALES
ASESOR

Dr. YTAVCLERH VARGAS CLEMENTE
ASESOR
(AUSENTE POR AÑO SABATICO)



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 040 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

| | | | |
|-------|---|------------------------------------|--|
| Tesis | X | Trabajo de Suficiencia Profesional | |
|-------|---|------------------------------------|--|

| TÍTULO | AUTOR | PORCENTAJE | |
|--|-------------------------------|--------------|--|
| | | SIMILITUD | CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL |
| CARBONO Y DIÓXIDO DE CARBONO ALMACENADO EN LA LAGUNA DE LOS MILAGROS, DISTRITO DE PUEBLO NUEVO-TINGO MARÍA, PERÚ | YORDAN EUDOMILIO ALVINO ROSAS | 10 % Diez | Menor a 20 % |

Tingo María, 11 de febrero de 2026.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



CARBONO Y DIÓXIDO DE CARBONO ALMACENADO EN LA LAGUNA DE LOS MILAGROS, DISTRITO DE PUEBLO NUEVO-TINGO MARÍA, PERÚ

- Autor** : Bach. Alvino Rosas Yordan E.
- Asesor(es)** : Mg. Ruiz Gonzales, Jenri
Dr. Vargas Clemente, Ytavclerh.
- Programa de investigación** : Valorización de la biodiversidad, recursos naturales y biotecnología.
- Línea de investigación** : Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y recursos naturales.
- Eje temático** : Bienes y servicios ecosistémicos.
- Lugar de ejecución** : Caserío Los Milagros, Pueblo Nuevo.
- Duración del trabajo** : 10 meses
- Financiamiento** : S/ 8 758,80
- FEDU** : No
- Propio** : SÍ
- Otros** : No

Tingo María – Perú

2025

DEDICATORIA

A Dios, divino creador que me guardo y me dota de capacidad e inteligencia para cumplir mis metas.

A mi esposa, que con su carisma y amor incondicional contribuyó a que esta meta se haga realidad.

A mis Padres queridos Elizabeth y Eudumilio, por brindarme su apoyo, confianza y motivarme a cumplir mis metas.

A mis hermanos, Richard, Kelita, Abed, Breiner y Axel por su apoyo moral e incondicional durante mi etapa universitaria.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, y en particular al cuerpo docente de mi estimada Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, cuyo conocimiento y experiencia fueron fundamentales para enriquecer mi formación y contribuir a mi desarrollo como profesional.
- Al Dr. Ytavclerh, Vargas Clemente, quien actuó como mi asesor y cuyos valiosos aportes científicos y asesoramientos fueron esenciales para la culminación de investigación.
- A mi familia por su amor incondicional, su bondad y su apoyo constante en cada etapa de mi vida. En especial, a mis padres, quienes siempre me brindaron aliento en los momentos más desafiantes, inspirándome a enfrentar y superar las adversidades con perseverancia y fortaleza.
- A los miembros del jurado de tesis: al Ph. D. Luis Alberto Valdivia Espinoza, Ph. D. Vicente Serapio Pocomucha Poma y al Ingeniero Magíster Warren Ríos García, por sus valiosas contribuciones en la revisión, mejora y culminación del estudio.
- A mis colegas de estudios, Gerson Duran Tolentino y Roberto Carlos Malpartida Ramon, por su amistad y apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo, contribuyendo de manera significativa a su realización.
- Al Dr. Edilberto Chuquilín Bustamante, por su valiosa orientación y los conocimientos brindados a lo largo del proceso de investigación, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y éxito de este trabajo.
- A mi esposa, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante, que han sido pilares fundamentales en mi vida y en la culminación de este proyecto.
- Finalmente, expreso mi sincero agradecimiento a todos mis amigos y compañeros de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su apoyo constante, ánimo y compañía en los momentos de alegría y dificultad, haciendo de esta etapa una experiencia enriquecedora e inolvidable.

ÍNDICE

| | Página |
|---|--------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivo general..... | 2 |
| 1.2. Objetivo específico | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. Marco teórico..... | 3 |
| 2.1.1. Calentamiento global..... | 3 |
| 2.1.2. Cambio climático..... | 3 |
| 2.1.3. Efecto invernadero..... | 4 |
| 2.1.4. El carbono..... | 4 |
| 2.1.5. Ciclo global del carbono..... | 5 |
| 2.1.6. Fijación y almacenamiento de carbono | 6 |
| 2.1.7. Biomasa | 6 |
| 2.1.8. Humedales | 7 |
| 2.1.9. Almacenamiento de carbono | 13 |
| 2.1.10. Almacenamiento de CO ₂ | 13 |
| 2.2. Estado del arte..... | 13 |
| 2.2.1. Internacional | 13 |
| 2.2.2. Nacional..... | 16 |
| 2.2.3. Local | 18 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 19 |
| 3.1. Lugar de ejecución..... | 19 |
| 3.1.1. Ubicación geográfica..... | 19 |
| 3.1.2. Ubicación política..... | 19 |
| 3.1.3. Condiciones climáticas..... | 19 |
| 3.1.4. Zona de vida | 20 |
| 3.1.5. Características de la Laguna de los Milagros | 20 |
| 3.2. Material y métodos | 21 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.2.1. | Materiales y equipos..... | 21 |
| 3.2.2. | Metodología..... | 22 |
| 3.2.3. | Aspectos metodológicos..... | 26 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 29 |
| 4.1. | Especies vegetales presentes en la Laguna de los Milagros | 29 |
| 4.2. | Carbono y CO ₂ almacenado sobre y bajo del suelo de la zona del litoral de la Laguna de los Milagros | 35 |
| 4.3. | Carbono y CO ₂ almacenado debajo del cuerpo de agua de la Laguna de los Milagros..... | 41 |
| 4.4. | Estimación del carbono y dióxido de carbono almacenado en la Laguna de los Milagros, distrito de Pueblo Nuevo-Tingo María, Perú | 43 |
| V. | CONCLUSIONES | 46 |
| VI. | PROPUESTAS A FUTURO | 47 |
| VII. | REFERENCIAS..... | 48 |
| | ANEXOS..... | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Página |
|--|--------|
| 1. Especies vegetales presentes dentro de la zona litoral del humedal Laguna de los Milagros. | 29 |
| 2. Descripción de las especies vegetales presentes dentro de la zona litoral del humedal Laguna de los Milagros | 30 |
| 3. Carbono y CO ₂ almacenado en los componentes de la zona litoral de la Laguna de los Milagros. | 37 |
| 4. Carbono y CO ₂ almacenado debajo del cuerpo de agua de la Laguna de los Milagros..... | 42 |
| 5. Carbono y CO ₂ almacenado en la Laguna de los Milagros..... | 44 |
| 6. Número de Familias de las especies vegetales identificadas en la zona litoral del humedal. | 59 |
| 7. Carbono y CO ₂ estimado por hectárea. | 59 |
| 8. Carbono y CO ₂ estimado para toda la Laguna de los Milagros. | 60 |
| 9. Distribución por profundidad del carbono y CO ₂ estimado de la raíz y el COS en el litoral de la Laguna de los Milagros. | 61 |
| 10. Distribución por profundidad del carbono y CO ₂ estimado del COS debajo del cuerpo de agua en la Laguna de los Milagros. | 62 |
| 11. Carbono y CO ₂ almacenado sobre y bajo del suelo de la zona litoral de la Laguna de los Milagros | 623 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---|--------|
| 1. Mapa de ubicación del humedal lacustre Laguna de los Milagros..... | 19 |
| 2. Área del cuerpo de agua y la zona de litoral en época de estiaje del humedal lacustre Laguna de los Milagros..... | 20 |
| 3. Área del cuerpo de agua y la zona de litoral en época de lluvia del humedal lacustre Laguna de los Milagros..... | 21 |
| 4. Puntos de muestreo en la zona litoral y cuerpo de agua en el humedal Laguna de los Milagros. | 22 |
| 5. Procedimiento para la toma de muestras de herbáceas y arbustos. | 23 |
| 6. Procedimiento para la toma de muestras de residuos de hojas, tallos, etc. | 24 |
| 7. Tubo nucleador para la toma de submuestras para la determinación de la biomasa de raíces..... | 24 |
| 8. Esquema de la forma como se extrajo las submuestras de suelo. | 25 |
| 9. Forma de extraer las submuestras de suelo debajo del cuerpo de agua..... | 26 |
| 10. Especies vegetales <i>S. microcarpa</i> (a), <i>E. interstincta</i> (b), <i>I. aquatica</i> (c) y <i>P. fluviatilis</i> (d) presentes en la Laguna de los Milagros..... | 31 |
| 11. Especies vegetales <i>N. phaseoloides</i> (a), <i>C. mucunoides</i> (b), <i>A. acuminifolia</i> (c) y <i>M. dependens</i> (d) presentes en la Laguna de los Milagros. | 32 |
| 12. Especies vegetales <i>Sida cordifolia</i> (a) y <i>Ludwigia peruviana</i> (b), presentes dentro de las especies vegetativa..... | 33 |
| 13. Especies vegetales <i>I. polygonoides</i> (a), <i>H. aturensis</i> (b), <i>P. conjugatum</i> (c), <i>H. amplexicaulis</i> (d) y <i>P. repens</i> (e) presentes en la Laguna de los Milagros. | 34 |
| 14. Contenido de carbono y CO ₂ almacenado en distintos componentes de la zona litoral de la Laguna de los Milagros. | 37 |
| 15. Distribución del contenido de carbono en las raíces de la zona litoral de la Laguna de los Milagros. | 38 |
| 16. Distribución vertical del contenido de carbono orgánico del suelo en la zona litoral de la Laguna de los Milagros..... | 39 |
| 17. Contenido de carbono y CO ₂ almacenado en la zona litoral de la Laguna de los Milagros..... | 40 |

| | | |
|-----|---|----|
| 18. | Distribución del carbono almacenado debajo del cuerpo de agua de la Laguna de los Milagros. | 43 |
| 19. | Distribución del carbono almacenado en la Laguna de los Milagros..... | 45 |
| 20. | Certificado de las especies vegetativas identificadas en el humedal..... | 64 |
| 21. | Resultado del análisis de MO y DAP de la zona litoral en los tres niveles de profundidad evaluados en el humedal Laguna de los Milagros. | 65 |
| 22. | Resultado del análisis de MO y DAP de la zona cuerpo de agua en los tres niveles de profundidad evaluados en el humedal Laguna de los Milagros. | 66 |
| 23. | Delimitación y recolección de la biomasa herbácea en la unidad muestral D en la zona litoral. | 67 |
| 24. | Delimitación y recolección de la biomasa herbácea en la unidad muestral A en la zona litoral. | 67 |
| 25. | Delimitación y recolección de la biomasa hojarasca en la unidad muestral D en la zona litoral. | 68 |
| 26. | Pesaje de la biomasa hojarasca de la unidad muestral C de la zona litoral. | 68 |
| 27. | Recolección de la hojarasca para su pesaje en balanza de la unidad muestral C. | 69 |
| 28. | Pesaje de la biomasa herbácea de la unidad muestral D de la zona litoral..... | 69 |
| 29. | Recolección de muestras de suelos en los tres niveles de profundidad de la unidad muestral B de la zona litoral. | 70 |
| 30. | Etiquetado de las muestras de suelo de los tres niveles de profundidad de la zona litoral para su correcto uso y análisis en laboratorio. | 70 |
| 31. | Recolección de muestras de suelos en los tres niveles de profundidad en la zona cuerpo de agua de humedal Laguna de los Milagros..... | 71 |
| 32. | Equipo de investigación liderado por el Dr. Vagas Clemente Ytavclerh en la recolección de muestras de suelo de la zona cuerpo de agua..... | 71 |
| 33. | Pesaje de la submuestra para la estimación de la biomasa herbácea en la zona litoral..... | 72 |
| 34. | Pre secado de las raíces de cada unidad muestral en las diferentes profundidades de la zona litoral para la determinación de la biomasa herbácea..... | 72 |
| 35. | Preparamiento y codificación de las raíces para el secado en la estufa en el laboratorio de certificación de semillas..... | 73 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 36. | Preparación y codificación de la biomasa herbácea para el secado en la estufa en el laboratorio de certificación de semillas..... | 73 |
| 37. | Recolección con el muestreador en las unidades muestrales debajo del cuerpo de agua en las diferentes profundidades del humedal. | 74 |
| 38. | Codificación de las especies vegetativas encontradas en las unidades muestrales en el humedal Laguna de los Milagros..... | 74 |
| 39. | Identificación de las especies vegetativas en las unidades muestrales en el humedal Laguna de los Milagros. | 75 |
| 40. | Identificación de las especies vegetativas en la unidad muestral E en el humedal Laguna de los Milagros. | 755 |
| 41. | Constancia de corrección ortográfica de la tesis por la Dr. Luzbel Aida Córdova Marínez..... | 756 |

RESUMEN

El estudio propuso como objetivo estimar el carbono y dióxido de carbono almacenado en la Laguna de los Milagros, ubicada en el distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, Perú. Para ello, se realizó la identificación florística en campo y se estimó la biomasa en los diferentes componentes (aérea viva, muerta, subterránea viva y materia orgánica). Previo a ello se categorizaron en dos zonas dicho humedal, en la zona litoral, se establecieron cinco unidades muestrales de forma aleatoria para cuantificar la biomasa herbácea, hojarasca, raíces y materia orgánica del suelo. Adicionalmente, se seleccionaron cinco unidades muestrales bajo el cuerpo de agua, donde se recolectaron sedimentos a profundidades de 0 a 60 cm mediante el uso de un tubo nucleador. Como resultado se obtuvo que la determinación botánica registró 15 especies distribuidas en 8 familias botánicas, con predominancia de Poaceae (5 especies), lo que refleja una diversidad moderada, típica de ambientes lacustres. En cuanto a la cuantificación de carbono, en la zona litoral con una extensión de 4,50 ha, se estimaron 535,51 toneladas de carbono, de las cuales 482,45 t C corresponden bajo el suelo y 53,06 t C sobre el suelo, equivalente a 1 963,56 t CO₂. Por su parte, bajo el cuerpo de agua con una extensión de 5,66 hectáreas almacenó un total de 375,62 t C, equivalentes a 1 377,27 t CO₂.

Palabras clave: carbono, biomasa, dióxido de carbono, identificación botánica.

ABSTRACT

The study proposed to estimate the carbon and carbon dioxide stored in the laguna de Los Milagros, located in the district of Pueblo Nuevo, province of Leoncio Prado, Huánuco region, Peru. To achieve this, a floristic identification was conducted in the field, and biomass was estimated for different components (living aboveground, dead, living belowground, and organic matter). Prior to this, the wetland was categorized into two zones. In the littoral zone, five randomly distributed sampling units were established to quantify herbaceous biomass, litter, roots, and soil organic matter. Additionally, five sampling units were selected underwater, where sediments were collected at depths of 0 to 60 cm using a core tube. The botanical determination recorded 15 species distributed among 8 botanical families, with a predominance of *Poaceae* (5 species), reflecting moderate diversity typical of lacustrine environments. Regarding carbon quantification, in the littoral zone, covering an area of 4.50 ha, a total of 535.51 tons of carbon were estimated, of which 482.45 t C corresponded to belowground biomass and 53.06 t C to aboveground biomass, equivalent to 1,963.56 t CO₂. Meanwhile, under the body of water with an extension of 5.66 hectares, a total of 375.62 t C was stored, equivalent to 1 377.27 t CO₂.

Keywords: Carbon, biomass, carbon dioxide, botanical identification.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas a nivel mundial, el incremento de dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera, generado por actividades humanas y naturales como la quema de combustibles fósiles, incendios forestales, cambios de uso de tierra, etc., viene produciendo el aumento de la temperatura atmosférica de aproximadamente 0,9 °C respecto a los niveles preindustriales, conllevando a graves consecuencias como: mayor cantidad de precipitaciones, veranos con temperaturas altas, inviernos más crudos, disminución de las capas de hielo en los polos y glaciares, incremento del nivel del mar e inundaciones de zonas bajas, aumento de la desertificación, desaparición de flora y fauna en ecosistemas, escasez de agua e inestabilidades atmosféricas (huracanes, incendios, etc.) y efectos secundarios de catástrofes humanas (hambrunas y enfermedades, etc.) siendo un problema ambiental que enfrenta el mundo (Ruiz, 2019).

A nivel del Perú, el aumento de las concentraciones de CO₂, se debe al uso de combustibles fósiles, la práctica de la agricultura convencional, la deforestación de bosques y la ganadería. Frente a este cambio climático global, el Perú es considerado como el tercer país más vulnerable, para ello se han planteado medidas de mitigación y adaptación a este proceso (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015). A esta contribución de emisiones de CO₂ no está ajena la región de Huánuco, debido al constante crecimiento de su población e impulsado por diversos factores, como el uso de los combustibles fósiles, la expansión de la frontera agrícola que genera la deforestación de áreas para establecer nuevas parcelas de cultivo, así como el desarrollo de la ganadería, entre otros. Estas prácticas están desencadenando en la liberación de volúmenes significativos de CO₂ hacia la atmósfera (Estrada, 2023).

Frente a la problemática antes descrita, una de las principales estrategias para la mitigación de los impactos del cambio climático es la conservación adecuada de los ecosistemas que funcionan como almacenes de carbono (Haoyang, 2018). En este contexto, los humedales representan una alternativa por su capacidad de captura y almacenamiento del CO₂ atmosférico por unidad de área. En este entorno se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué cantidad de carbono y dióxido de carbono se encuentra almacenado en la Laguna de los Milagros, distrito de Pueblo Nuevo-Tingo María, Perú?

Tomando en consideración el problema de investigación que se plantea para el presente estudio, uno de los sitios poco estudiado es la Laguna de los Milagros, sin contar aún con una estimación de la cantidad de carbono y CO₂ almacenado en el área total, por ello se justifica en razón que permitirá comprender plenamente su capacidad única para capturar y retener CO₂ de

la atmósfera, lo cual emerge como un servicio ambiental esencial y altamente beneficioso en la lucha contra el cambio climático a nivel global. Por ende, la evaluación de esta capacidad de captura y almacenamiento de carbono en la Laguna de los Milagros resulta crucial para fomentar una gestión efectiva, la planificación de políticas y estrategias de conservación; así como para la identificación de áreas prioritarias para la protección, restauración y con un enfoque de preservación en este servicio ecosistémico vital.

Además, los resultados de la cuantificación del almacenamiento de carbono y CO₂ brindarán información científica y técnica sobre la cantidad de carbono almacenado en el humedal. Esto contribuye a la comunidad científica sobre los humedales, brindando datos concretos y confiables para futuros estudios e investigaciones. Así mismo, la investigación tiene como propósito establecer un importante precedente investigativo en la región, ya que no se han realizado investigaciones similares, brindar iniciativas al respecto para otras investigaciones y mejorar el nivel de cultura y educación ambiental.

Por ello, en el contexto de la presente investigación se formula la siguiente hipótesis, La cantidad de carbono y CO₂ que se encuentra almacenado sobre el suelo, bajo el suelo y debajo del cuerpo de agua varia en la Laguna de los Milagros, distrito de Pueblo Nuevo-Tingo María, Perú.

1.1. Objetivo general

Estimar el carbono y dióxido de carbono almacenado en la Laguna de los Milagros, distrito de Pueblo Nuevo-Tingo María, Perú.

1.2. Objetivo específico

- Determinar las especies vegetales presente en la Laguna de los Milagros, distrito de Pueblo Nuevo-Tingo María, Perú
- Cuantificar el carbono y CO₂ almacenado sobre y bajo del suelo de la zona del litoral de la Laguna de los Milagros, distrito de Pueblo Nuevo-Tingo María, Perú.
- Estimar el carbono y CO₂ almacenado debajo del cuerpo de agua de la Laguna de los Milagros, distrito de Pueblo Nuevo-Tingo María, Perú.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Calentamiento global

El calentamiento global se refiere al crecimiento gradual de la temperatura del planeta debido a la liberación de gases de efecto invernadero, que obstaculizan la salida de los rayos solares desde la Tierra. Este proceso también indica un aumento en las temperaturas de los océanos y la atmósfera terrestre en períodos recientes, generando preocupaciones significativas sobre los cambios medioambientales y climáticos a nivel mundial (Cavieres et al., 2021).

2.1.2. Cambio climático

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) menciona que el cambio climático actual, caracterizado por un incremento en la temperatura global, es atribuido tanto directa como indirectamente a las acciones humanas que perturban la composición atmosférica a nivel global. Este cambio se entrelaza con la variabilidad climática natural que ha sido observada en periodos de tiempo comparables. Sin embargo, Dávila (2022) argumenta que el cambio climático global engloba las alteraciones en una amplia gama de fenómenos climáticos en la Tierra, que incluyen cambios en la temperatura, variaciones en la cantidad y la intensidad de las precipitaciones, así como modificaciones en las trayectorias de las tormentas. El cambio climático emerge como uno de los desafíos más acuciantes de nuestra época; ya que pone en riesgo los recursos compartidos del planeta como la atmósfera, los océanos, las zonas polares y la diversidad biológica.

2.1.2.1. Origen del cambio climático

A lo largo de su historia, el planeta ha experimentado una continua transformación. Este fenómeno es evidente en las eras geológicas que marcan las diversas fases de su formación, así como en la evolución constante de las especies desde el surgimiento de la vida. Sin embargo, el acelerado proceso de cambio climático que observamos en la actualidad carece de una causa natural, ya que está directamente vinculado a actividades humanas que han alterado el equilibrio ambiental de manera significativa (Soto y Welsh, 2022).

La fuente primaria del calentamiento global es inequívocamente atribuida a la actividad humana, respaldada por un nivel de certidumbre científica que supera el 90%. Específicamente, la quema de combustibles fósiles, en especial carbón y petróleo, se erige como el factor preponderante en este fenómeno; cuyos efectos continuarán agravándose a lo largo del presente siglo, dado su papel en la generación de CO₂. Así, se emplea el término efecto invernadero para describir la acción del CO₂ y otros gases en la génesis del calentamiento global (Segama, 2020).

2.1.3. Efecto invernadero

El efecto invernadero se origina por la interacción de determinados gases presentes en la atmósfera, los cuales actúan de tal manera que permiten que la mayor parte de la radiación solar logre penetrar hasta llegar a la superficie del planeta. Simultáneamente, estos gases tienen la capacidad de absorber y luego volver a emitir parte de la radiación infrarroja que es irradiada por el planeta hacia el espacio exterior (Ruiz, 2019).

A medida que la concentración de gases de efecto invernadero aumenta, se produce una reducción en la cantidad de radiación infrarroja que la Tierra emite directamente hacia el espacio exterior. Este fenómeno provoca que, con el aumento de los gases de efecto invernadero; la retención de calor en la atmósfera se intensifique, dando como resultado un aumento en la temperatura en la superficie del planeta (Ordoñez et al., 2023).

2.1.4. El carbono

El carbono como elemento químico fundamental en los compuestos orgánicos se distribuye ampliamente en diversos entornos como en los océanos, la atmósfera, el suelo y las profundidades terrestres donde existe como depósitos o reservorios de carbono. Este elemento experimenta transferencias entre estos reservorios mediante procesos químicos, físicos, biológicos que permiten su movimiento y recirculación en el sistema natural (He et al., 2022).

Dentro del ciclo del carbono, la atmósfera se caracteriza por su alta movilidad y constituye el reservorio más reducido. No obstante, cualquier alteración en esta reserva guarda una estrecha relación con las modificaciones en el ciclo global del carbono y como consecuencia en el clima. Predominantemente, el carbono atmosférico se encuentra mayoritariamente en forma de CO₂ (Bossio et al., 2020).

2.1.4.1. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un gas sin color, olor y no inflamable que se halla en proporciones bajas en el aire que respiramos (aproximadamente un 0,03% en volumen). Se produce como resultado de la combustión de cualquier materia que contiene carbono. Además, es un subproducto de la respiración y el proceso de fermentación. Las plantas desempeñan un papel importante al absorber dióxido de carbono durante la fotosíntesis (Palomino, 2007).

2.1.4.2. Carbono orgánico

El carbono orgánico muestra un intercambio rápido, se encuentra presente en el suelo y así como en una variedad de compuestos orgánicos. Además, se acumula en ecosistemas como pantanos, humedales, lechos de lagos y turberas. Cabe destacar que el

suelo alberga de tres a cinco veces más carbono orgánico que el contenido en la vegetación. Es importante señalar que el carbono orgánico del suelo desempeña un papel esencial en el ciclo global del carbono, implicando un ciclo dinámico que involucra la interacción entre el suelo, la vegetación, los océanos y la atmósfera (FAO, 2017).

2.1.4.3. Carbono inorgánico

Según Zamora et al. (2019) el carbono inorgánico tiene su principal presencia en la atmósfera, manifestándose en forma de CO₂ a una concentración aproximada de 400 partes por millón (ppm). Con el tiempo, esta concentración ha experimentado un aumento constante de alrededor de 2 ppm por año. Cabe destacar que este incremento se ha producido de manera continua desde la revolución industrial, lo cual ha intensificado el efecto invernadero ejerciendo un impacto significativo en los ecosistemas acuáticos y sus dinámicas.

2.1.4.4. Carbono azul

El carbono esencial en los ciclos ecológicos presenta dos facetas distintivas en su almacenamiento como el carbono verde que se aloja en ecosistemas terrestres; dentro de ello se encuentran los bosques exuberantes, extensas praderas y productivas tierras agrícolas. El carbono azul está en ecosistemas marinos costeros, en el vasto océano, los ricos pastos marinos, los valiosos manglares y los vitales humedales costeros (Corvacho, 2020).

2.1.5. Ciclo global del carbono

Tarrillo (2020) menciona que el ciclo del carbono se inicia con la captura del dióxido de carbono atmosférico, gracias a los procesos fotosintéticos llevados a cabo por las plantas y ciertos microorganismos. En esta dinámica, el CO₂ y el agua interactúan para producir carbohidratos; integrándose así en la biomasa de las plantas, como sus tallos, hojas y frutos. De manera conjunta, este proceso libera oxígeno al entorno atmosférico. A medida que las plantas y los animales llegan al final de su ciclo de vida; son finalmente descompuestos por microorganismos en el suelo, resultando en una oxidación del carbono contenido en sus tejidos, lo que a su vez se traduce en la emisión de CO₂ de nuevo a la atmósfera (Tabares et al., 2017).

2.1.5.1. Ciclo del carbón en los humedales

Según Figueroa (2022) menciona que un rol de gran relevancia atribuido a los humedales reside en su capacidad para regular el ciclo del carbono. A pesar de ocupar solamente un 3% del área terrestre; estos ecosistemas albergan un impresionante 40% del carbono total generado en el planeta, ejerciendo así una valiosa función al evitar la liberación de millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera. Sorprendentemente, los humedales logran capturar 12 veces más dióxido de carbono que las densas selvas. En estos entornos, las

plantas, a través del proceso de fotosíntesis, extraen carbono directamente de la atmósfera, transformándolo en biomasa activa. Con el tiempo, esta biomasa al descomponerse se integra en el suelo o se convierte en dióxido de carbono a través de la respiración de los microorganismos encargados de procesarla.

2.1.6. Fijación y almacenamiento de carbono

2.1.6.1. Carbono sobre el suelo aéreo

La existencia y depósito de compuestos de carbono orgánico en la capa superficial del suelo, directamente en contacto con la atmósfera se conoce como carbono del suelo superficial. Este carbono deriva principalmente de la acumulación de materia orgánica de origen vegetal, como hojas, ramas y residuos de plantas, los cuales se descomponen y se incorporan al suelo. El carbono presente en la porción aérea del suelo desempeña un rol crucial en los ciclos biogeoquímicos y en la regulación del cambio climático; ya que tiene la capacidad de actuar como un sumidero de carbono, contribuyendo a la reducción de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera (Clemente, 2022).

2.1.6.2. Carbono bajo el suelo edáfico

Según Pinzón (2022) la acumulación de compuestos de carbono orgánico por debajo de la capa superficial del suelo se define como carbono subsuelo. Esta reserva de carbono subterráneo desempeña un rol crucial en la fertilidad del suelo, al servir como un almacén de nutrientes, al mejorar la estructura y retención de agua en el suelo. Además de su importancia en la salud del suelo, el carbono subsuelo también desempeña una función destacada en la regulación del cambio climático.

La temperatura del suelo y el pH explican en aproximadamente el 36,7 % de las variaciones en el flujo de CO₂, destacando la influencia de estos factores en la dinámica de emisión de CO₂ (Becerra, 2021). El carbono almacenado puede liberarse a la atmósfera debido a la disminución de la humedad de la turba y acelerar los procesos de calentamiento global (Harenda et al., 2018). Es importante mantener la humedad del suelo para evitar alteraciones en el flujo de CO₂, con la consiguiente disminución del carbono en el suelo y un aumento del CO₂ atmosférico (Flores-Aroni et al., 2025).

2.1.7. Biomasa

Hace referencia a la materia orgánica derivada de la biología, abarcando plantas, árboles, cultivos agrícolas, restos forestales, estiércol animal y otros elementos similares. Esta fuente energética renovable se emplea con eficacia en la producción de calor, generación eléctrica y desarrollo de biocombustibles; evidenciando su versatilidad y su contribución sostenible en una variedad de aplicaciones energéticas (Hinojosa y Choque, 2017).

2.1.7.1. Biomasa aérea

La biomasa vegetal se compone de arbustos, árboles con sus componentes como ramas, troncos y follaje, así como hierbas. La configuración de estos elementos varía según el tipo de sistema, cultivo o ecosistema en cuestión. Destacando entre ellos, la composición forestal compuesta por árboles, donde se acumula una significativa cantidad de materia orgánica. Le siguen en importancia los arbustos y hierbas, aunque estas últimas muestran una menor capacidad de absorción de carbono, lo que se traduce en una fijación relativamente baja (Garrido, 2016).

2.1.7.2. Biomasa subterránea

La biomasa subterránea que abarca las raíces tanto gruesas como finas de un ecosistema, cultivo o comunidad en estudio; es un componente esencial. Un enfoque sencillo para cuantificarla radica en utilizar antecedentes disponibles o estimarla a partir de los datos de biomasa en la superficie del suelo. Sin embargo, se presentan circunstancias diversas que permiten su determinación, lo que resulta particularmente intrigante y valioso para la investigación. (Galicia et al., 2015).

2.1.8. Humedales

Arellano et al. (2013) resalta que los humedales desempeñan una función destacada al proveer una variedad de servicios ecosistémicos. En el contexto global, estos ecosistemas revisten un carácter crucial en las dinámicas del ciclo del carbono. Su relevancia radica en su capacidad para actuar como significativos sumideros de carbono. Además, los humedales exhiben tasas elevadas de emisión de CH₄ y un potencial considerable en la captura de CO₂ a través de procesos como la formación de turberas, la sedimentación y la producción de biomasa vegetal.

2.1.8.1. Tipos de humedales

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

Marinos. Los humedales marinos engloban áreas costeras y oceánicas con influencia directa del mar, como humedales costeros, lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral. Estos hábitats vitales albergan una diversidad única de vida acuática y terrestre; contribuyen a la protección costera y sirven como viveros para diversas especies marinas. Los humedales marinos también desempeñan un papel crucial en la regulación de la calidad del agua y actúan como sumideros de carbono, siendo fundamentales para la salud de los ecosistemas costeros y la resiliencia ante el cambio climático.

Estuarios. Los estuarios son ecosistemas costeros únicos que se forman en la desembocadura de ríos, donde el agua dulce se mezcla con el agua salina del mar. Estas áreas de transición albergan una variada vida marina y avifauna; proporcionando hábitats esenciales para la cría y alimentación de numerosas especies. Los estuarios desempeñan un rol vital en la filtración de nutrientes y sedimentos; mejorando la calidad del agua y protegiendo las costas de la erosión. Además, actúan como sumideros de carbono, son vitales para la salud de los ecosistemas costeros y la sustentabilidad de las comunidades humanas que dependen de ellos.

Lacustres. Los humedales lacustres abarcan cuerpos de agua dulce, como lagos y lagunas que se encuentran rodeados por tierra. Estos ecosistemas acuáticos son vitales para la biodiversidad; albergando una variedad de plantas, animales y microorganismos acuáticos. Los humedales lacustres cumplen funciones esenciales en la regulación del ciclo del agua; al proporcionar hábitats de reproducción, alimentación y contribuyen a la calidad del agua al filtrar contaminantes. Además, actúan como reservorios de carbono, la recarga de acuíferos y el bienestar de las comunidades locales.

Ribereños. Los humedales ribereños se localizan en las zonas adyacentes a ríos y corrientes de agua, ejerciendo una función crucial en la salud y estabilidad de estos ecosistemas acuáticos. Además, albergan una diversidad de especies de plantas y animales; contribuyendo al ciclo del carbono, brindando refugio, alimento a la fauna acuática y terrestre. Los humedales ribereños también influyen en la calidad del agua al filtrar contaminantes, proveen valiosos recursos para las comunidades locales y la recreación.

Palustres. También conocidos como pantanos, son ecosistemas caracterizados por su terreno saturado de agua durante gran parte del tiempo. Estos hábitats acuáticos albergan una rica biodiversidad de plantas, aves y vida acuática. Los humedales palustres desempeñan un papel vital en la retención y purificación del agua, filtrando contaminantes y mejorando la calidad del agua. Además, actúan como sumideros de carbono al almacenar grandes cantidades de materia orgánica en su suelo.

2.1.8.2. Servicios ecosistémicos en humedales

Los servicios ecosistémicos proporcionados por los humedales desempeñan un papel de gran relevancia, a menudo superando a otros ecosistemas en términos de impacto. Estos humedales tienen un papel crucial al proporcionar recursos alimentarios y al actuar como reguladores climáticos, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad, bienestar de las comunidades locales y a la estabilidad del entorno global (Gardner y Davidson, 2011).

Los humedales se presentan como una valiosa infraestructura natural, desempeñando un papel crucial en la mitigación y adaptación al cambio climático. Además, contribuyen de manera significativa a la mejora de la salud, el desarrollo sostenible y la lucha contra la pobreza (Ramsar, 2018). Estos ecosistemas son esenciales para mantener la integridad de los ciclos biogeoquímicos, cuya alteración tendría efectos mayormente adversos (Zamora, 2019).

2.1.8.3. Algunas especies presentes en el humedal Laguna de los Milagros

Aciotis acuminifolia. Es una especie herbácea terrestre perteneciente a la familia Melastomataceae, ampliamente distribuida en regiones tropicales y subtropicales de Sudamérica, desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 1900 m s. n. m. (Tropicos.org, Missouri Botanical Garden, 2020). Se desarrolla en ambientes húmedos, tanto en bosques pluviales como en zonas alteradas, incluyendo áreas mineras en recuperación de entre seis y quince años de abandono en Colombia (Valois, 2016). También se ha registrado en ecosistemas acuáticos lóticos y lénticos, así como en plantaciones de *Elaeis guineensis* bajo condiciones de alta precipitación y temperatura media de 27 °C (Andrés y Almanza-Merchán, 2012; Atuesta-Ibargüen, 2019). En Perú, se presenta como subarbusto de aproximadamente 50 cm de altura, con registros hasta los 1500 m s. n. m. en Junín (Pocomucha, 2023).

Calopogonium mucunoides. Es una leguminosa forrajera tropical originaria de América tropical y del oeste de las Indias Occidentales, ampliamente utilizada por su capacidad de adaptación a diversas condiciones edafoclimáticas (Carballo et al., 2005). Prefiere suelos arcillosos con pH entre 4,5 y 5,0, tolera el encharcamiento y la sombra moderada, aunque no la salinidad (Peters et al., 2011). Presenta alta cobertura del suelo, alcanzando el 100% a los 120 días de establecimiento, con una producción de biomasa aérea de 5,93 t/ha y radicular de 2,14 t/ha, cuyas raíces pueden profundizar hasta 13,72 cm (Puertas, 2008). Su resistencia a la defoliación y al estrés hídrico se asocia con mecanismos fisiológicos de escape, acumulación de solutos y regulación antioxidante, características comunes en leguminosas adaptadas a ambientes secos (Siddique et al., 1993; Nadeem et al., 2019; Ruiz et al., 2021).

Eleocharis interstincta es una especie helófito perenne, ampliamente distribuida en cuerpos de agua tropicales donde forma comunidades monoespecíficas que se perpetúan por aquenios y rizomas, destacando por su notable adaptabilidad a condiciones de inundación y sequía (Gordon y Velásquez, 1989). Su estructura vegetativa, compuesta por tallos o culmos que realizan la fotosíntesis, desempeña un papel clave en el sostenimiento ecológico de los humedales al proveer sustrato y refugio a organismos colonizadores y perifíticos, además de contribuir al reciclaje de energía y nutrientes en la red

trófica. Se caracteriza por sus vástagos robustos que consolidan los bordes de lagunas y embalses, favoreciendo la formación de turba (Zavaro et al., 1995). Presenta altos valores de biomasa aérea es 149,82 kg/ha, proteína bruta con 9,61% y cenizas en 15,16% (Rueda, 2008). La producción de biomasa total varía estacionalmente entre 381 y 1207 g/m², alcanzando los máximos porcentajes durante la estación seca, lo que refleja su capacidad de ajuste frente a las fluctuaciones hidrológicas (Gordon y Velásquez, 1989).

Homolepis aturensis es una gramínea estolonífera de tallos erectos a ascendentes que alcanza entre 20 y 45 cm de altura, con distribución que abarca desde el sur de México hasta Bolivia y Brasil, incluyendo Venezuela, Trinidad y Guyana (Tropicos.org, 2019). Se desarrolla en una amplia gama de hábitats húmedos y perturbados, tales como bosques muy húmedos y pluviales, áreas alteradas, pastizales, sabanas, dunas costeras y orillas de ríos, ocupando elevaciones desde aproximadamente 9 hasta más de 1 350 m en ambas vertientes (Tropicos.org, 2019). En Perú se registra principalmente en la cuenca amazónica por debajo de los 500 m de altitud (Tovar-Serpa, 2009). Su inclusión entre las especies identificadas en inventarios de biomasa arbórea de pastizales de Ucayali sugiere capacidad de persistencia en sistemas ganaderos y paisajes transformados (Cuellar et al., 2015). Estas características ecológicas y morfológicas indican una notable plasticidad ecológica y potencial relevancia en procesos de colonización y recuperación vegetal. Asimismo, resulta pertinente evaluar su papel en programas de restauración locales.

Hymenachne amplexicaulis es una gramínea perenne y estolonífera de metabolismo fotosintético C₃, capaz de desarrollarse en ambientes permanentemente o estacionalmente inundados, donde forma densas colonias a lo largo de los bancos de ríos y humedales tropicales y subtropicales (Medina y Motta, 1990; Csurhes et al., 1999). Su capacidad de propagación vegetativa le permite extenderse rápidamente sobre suelos húmedos o flotando sobre el agua, favoreciendo su dispersión en ecosistemas acuáticos. Aunque la propagación nativa de América ha sido introducida como pasto forrajero de alta calidad y palatabilidad en regiones tropicales de Australia y Florida, donde actualmente es considerada una especie invasora (Hill, 1996; Langeland y Craddock, 2005). Posee gran valor forrajero para especies silvestres y domésticas, siendo parte fundamental de la dieta de chigüires, caballos y bovinos en sabanas inundables de Venezuela, Colombia y Brasil (Bulla et al., 1990; Silva y Mauro, 2002; Forero-Montaña et al., 2003). En humedales del estado Miranda, Venezuela, su biomasa total varió entre 310 y 1465 g/m², con producción anual de 822 g/m²/año, mostrando su mayor crecimiento en períodos de lluvias y reducción bajo mayores profundidades de

inundación, lo que evidencia limitaciones en el intercambio gaseoso y la absorción de nutrientes (Gordon y Feo, 2007).

Ipomoea aquatica es una herbácea acuática perenne, aunque puede comportarse como anual en ambientes desfavorables. Presenta tallos huecos y rastreros que crecen horizontalmente sobre la superficie del agua o suelos húmedos, emitiendo ramificaciones verticales floríferas y raíces adventicias en los nudos, lo que le permite formar extensas colonias vegetativas. Sus hojas, de forma sagitada o cordada, alcanzan entre 5 y 15 cm de largo, mientras que las flores, blancas con centro morado o rosadas, se desarrollan solitarias o en grupos de hasta seis en las axilas foliares (PIER, 2013). Esta especie se distribuye ampliamente en regiones tropicales y subtropicales, encontrándose en humedales del Centro de Veracruz (Peralta-Peláez y Moreno-Casasola, 2009). Su alta capacidad de crecimiento y reproducción la convierte en una planta con gran plasticidad ecológica, capaz de colonizar rápidamente ambientes acuáticos naturales y artificiales. No obstante, esta misma característica ha favorecido su comportamiento invasor en países como Benín, Estados Unidos y Cuba (CABI, 2016). En estos lugares, *I. aquatica* forma densas redes vegetales que obstruyen el flujo de agua, alteran la oxigenación del medio y desplazan a la vegetación nativa, reduciendo la biodiversidad local (Lehtonen, 1993). Si bien puede desempeñar funciones ecológicas relevantes en ecosistemas húmedos, su proliferación descontrolada representa una amenaza para la estabilidad ecológica de los cuerpos de agua, especialmente en zonas donde ha sido introducida fuera de su rango natural de distribución.

Isachne polygonoides es una gramínea de hábito postrado o erecto, que raramente supera los 30 cm de altura. Presenta tallos y hojas pubescentes, estas últimas de forma lanceolada, y desarrolla inflorescencias en panículas características de su género (Kahn et al., 1993). Su morfología le permite adaptarse a ambientes húmedos y anegados, donde suele crecer en los bordes de charcas, acequias y lagunas someras. Esta especie se encuentra ampliamente distribuida en la región tropical de América, desde Centroamérica hasta Brasil, incluyendo las Antillas y diversos sectores de Sudamérica (Tovar-Serpa, 2009; Herrera y Peterson, 2020). En el Perú, su presencia se registra principalmente en la cuenca amazónica por debajo de los 1000 m de altitud, donde coloniza zonas de ciénegas y márgenes de ríos con alta humedad edáfica (Tovar-Serpa, 2009). Su afinidad por hábitats temporal o permanentemente inundados sugiere una notable capacidad de tolerancia a condiciones de saturación hídrica, lo que la convierte en una especie indicadora de ecosistemas palustres y riparios. Asimismo, su presencia en estos ambientes contribuye a la estabilización de los suelos y a la retención de materia orgánica en los bordes acuáticos. Por su distribución geográfica amplia y su adaptación a ambientes tropicales húmedos, *I. polygonoides* representa una especie

de interés ecológico dentro de los humedales neotropicales, desempeñando un papel relevante en la estructura de la vegetación herbácea y en la dinámica hidrológica de los ecosistemas que habita (Kahn et al., 1993; Herrera y Peterson, 2020).

Ludwigia peruviana es una especie herbácea perteneciente al género *Ludwigia*, el cual comprende aproximadamente 82 especies distribuidas globalmente en regiones tropicales y subtropicales. Este género, único de la subfamilia Ludwigioideae, agrupa plantas acuáticas o helófitas, que pueden ser erectas, postradas o incluso flotantes, enraizadas en los nudos, y que desarrollan neumatóforos esponjosos y blancos para facilitar el intercambio gaseoso en ambientes saturados de agua (Cumana, 2010). *L. peruviana*, comúnmente denominada “sauce prímula peruano”, se caracteriza por su hábito vigoroso y su capacidad de colonizar márgenes de cuerpos de agua, pantanos y zonas con suelos constantemente húmedos. Su distribución natural abarca desde el sur de México y las Antillas hasta el norte de Argentina, reflejando una notable adaptabilidad a condiciones tropicales y subtropicales (Weakley, 2024). Sin embargo, fuera de su rango nativo, ha mostrado un comportamiento invasor significativo. En el sureste de Estados Unidos, se encuentra establecida en Alabama, Florida, Georgia, Mississippi, Carolina del Norte y Texas (USDA, NRCS, 2024). En Florida, su expansión ha sido particularmente agresiva, donde ha sido catalogada como especie exótica invasora de Categoría I por la Florida Exotic Pest Plant Council, debido a su capacidad para desplazar la vegetación nativa y alterar la estructura de los ecosistemas húmedos (FLEPPC, 2019; Weakley, 2024).

Paspalum conjugatum es una especie herbácea perenne de hábito rastrero, comúnmente reconocida por su carácter ruderal y arvense, con alta capacidad de adaptación a ambientes perturbados y húmedos. Se desarrolla tanto en áreas abiertas como sombreadas, prosperando en bordes de caminos, pastizales y claros de bosques, donde forma densas coberturas vegetales que contribuyen a la estabilización del suelo (Vibrans, 2010). Presenta una amplia distribución geográfica en regiones tropicales y subtropicales de ambos hemisferios, desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 1800 m de altitud, evidenciando una notable tolerancia ecológica. Su crecimiento ocurre en diversos tipos de suelos, aunque muestra preferencia por aquellos de textura pesada y con alta humedad, e incluso soporta condiciones de acidez moderada. Fisiológicamente, su desarrollo estructural está influenciado por la disponibilidad hídrica: la longitud de los estolones, el área foliar y el número de mechones muestran una relación directa con la evapotranspiración, mientras que el estrés hídrico reduce significativamente estos parámetros. Los ejemplares sometidos a agotamientos moderados de

la humedad del suelo (30–50%) mantienen un crecimiento más vigoroso en comparación con aquellos expuestos a condiciones extremas de sequía o falta de riego (Yanos, 2022).

2.1.9. Almacenamiento de carbono

El almacenamiento de carbono en humedales es crucial para contrarrestar el cambio climático, ya que estos ecosistemas funcionan como depósitos de carbono al capturar y mantener cantidades significativas de carbono orgánico en su suelo y vegetación (Dávila, 2022). Este proceso disminuye la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera, desempeñando un papel fundamental en la estabilización del clima global y en la protección de la biodiversidad (Díaz, 2022).

2.1.10. Almacenamiento de CO₂

La captación de carbono se define como el procedimiento mediante el cual, el CO₂ es extraído de la atmósfera y posteriormente almacenado en diversos depósitos tales como los océanos, los bosques y los suelos (Velásquez, 2022). Este proceso representa una etapa esencial en el ciclo del carbono en la cual se lleva a cabo mediante una variedad de mecanismos naturales y acciones humanas (Manzo, 2022).

2.2. Estado del arte

2.2.1. Internacional

Coral (2021) llevó a cabo un estudio en la Laguna de la Cocha, en el corredor Andino Amazónico Norte de Colombia, con el objetivo de evaluar el almacenamiento de carbono orgánico del suelo en ese entorno. El enfoque se basó en un diseño de muestreo aleatorio completo, donde se caracterizaron tres perfiles de cada tipo de uso de suelo hasta una profundidad de un metro. Las muestras se tomaron en intervalos de 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm y 70-100 cm. En total, se recolectaron 18 muestras disturbadas por cada uso del terreno para analizar la concentración de carbono, y 36 muestras no disturbadas en cilindros de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura para evaluar la densidad aparente del suelo. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis descriptivo. Los resultados indicaron variaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo como páramo (508,2 tC/ha), pasto kikuyo (308,1 tC/ha) y cultivo de papa (213,9 tC/ha). Para los tres tipos de uso del terreno analizados, la mayor concentración de carbono estaba presente en los primeros 30 cm de profundidad en el suelo. Estos resultados confirman la tendencia de que el carbono orgánico del suelo tiende a acumularse en las capas superficiales debido a la acumulación de materiales orgánicos y la actividad de microorganismos. El estudio concluyó destacando la influencia de la actividad

humana y la elección de uso del terreno en la dinámica del carbono orgánico del suelo, lo cual a su vez afecta la salud y calidad del entorno.

Hurtado et al. (2023) realizaron un estudio con el objetivo de determinar la cantidad de carbono presente en tres zonas con distintos niveles de intervención antrópica, así como identificar los factores responsables de las diferencias encontradas. Para ello, se recolectaron un total de 45 muestras de suelo, distribuidas equitativamente entre las tres zonas de estudio, con el fin de realizar análisis fisicoquímicos del porcentaje de materia orgánica y del contenido de carbono orgánico. Los resultados mostraron que la zona sin intervención, caracterizada por la presencia de páramos jóvenes, presentó el mayor valor promedio de carbono orgánico con 44,06 tC/ha. En la zona con mediana intervención, influenciada por la presencia de ceniza volcánica, se registró un valor de 28,05 tC/ha, mientras que, en la zona con alta intervención, con mayor cobertura vegetal y presencia de organismos como lombrices, se estimó un valor de 35,67 tC/ha. Estos hallazgos evidencian cómo factores como el tipo de cobertura, la actividad biológica del suelo y las condiciones edáficas influyen significativamente en la capacidad de almacenamiento de carbono.

Muñiz et al. (2011) llevaron a cabo un estudio en dos selvas inundables, específicamente en Laguna Chica, y en dos humedales herbáceos de agua dulce, conocidos como Estero Dulce y Tecolutla con el objetivo de evaluar el almacenamiento de carbono en humedales herbáceos y arbóreos de agua dulce. Para la recopilación de datos, se tomaron cuatro perfiles de suelo de alrededor de 90 cm de profundidad, en áreas cercanas a 0,5 m², utilizando un nucleador. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SPSS y se llevaron a cabo correlaciones de Pearson para examinar la relación entre el contenido de carbono orgánico y la densidad aparente del suelo. Como resultado determinaron que el contenido promedio de carbono orgánico de la Laguna Chica fue más alto en el humedal arbóreo, con un valor del 13,30 % en comparación con el contenido orgánico del humedal herbáceo, que fue de 4,52 %. En ambos tipos de humedales, notaron una mayor concentración de carbono orgánico en los primeros 40 cm de profundidad. El almacenamiento de carbono en el humedal arbóreo de Laguna Chica fue de 39,04 kg C/m² o 3,90 tC/ha, mientras que en el humedal herbáceo fue de 20,79 kg C/m² o 2,08 tC/ha. En cuanto a la relación entre la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico se identificó que a medida que aumenta el valor numérico de la densidad aparente, disminuye el contenido de carbono orgánico en el suelo.

Hernández y Moreno (2018) llevaron a cabo una investigación orientada a determinar los almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce. Los resultados mostraron que el mayor almacenamiento de carbono se encuentra en el suelo de las selvas

inundables, con valores que oscilan entre 150 y 650 tC/ha. En cuanto a la biomasa aérea, los almacenes de carbono registrados en estos ecosistemas fueron de 10 a 162 tC/ha, representando también los valores más elevados en comparación con otros tipos de humedales. En relación con los flujos de carbono, medidos a través de la caída de hojarasca, se reportaron datos únicamente para el estado de Veracruz, con un rango de 6 a 9 tC/ha/año. Por otra parte, los flujos gaseosos de carbono, específicamente metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), presentaron variaciones de 0,01 a 1 244 mg C/m²/día y de 0,009 a 11,00 g C/m²/día, respectivamente, en humedales ubicados en Veracruz y Tabasco.

Morales et al. (2021) realizaron un estudio con el objetivo de evaluar los almacenes de carbono aéreo y subterráneo en ocho humedales. El almacén total de carbono estimado para todo el corredor de humedales analizado fue de 3 837,160 tC/ha. Entre los sitios evaluados, el humedal de manglar Chaparro presentó el mayor almacenamiento de carbono total por unidad de área, con un valor de 371 tC/ha, además de ser el ecosistema con mayor extensión dentro del área de estudio. Se identificó que el gradiente de carbono aéreo entre humedales está influenciado por factores como los patrones de inundación, la elevación topográfica, la salinidad del agua intersticial y la tolerancia específica de las especies vegetales presentes. Asimismo, los manglares mostraron una mayor capacidad de almacenamiento de carbono por hectárea en comparación con los humedales dominados por herbáceas emergentes o vegetación sumergida. Esto se debe a que en los manglares predominan los procesos de producción y acumulación de carbono, mientras que, en los humedales herbáceos, los procesos de producción y reciclaje son más dinámicos, lo que conlleva una menor acumulación neta de carbono.

Suárez (2016) desarrolló una investigación con el objetivo de analizar el potencial de almacenamiento de carbono orgánico en los humedales de altura ubicados en la Reserva Ecológica Antisana (REA) y el Parque Nacional Cajas (PNC), Ecuador. La evaluación se llevó a cabo mediante un muestreo sistemático que incluyó trabajo de campo y análisis de laboratorio, abarcando tres humedales en distinto estado de conservación dentro de cada área protegida. Los resultados indicaron que, tanto en la REA como en el PNC, los humedales clasificados como "conservados" presentaron los mayores contenidos de carbono orgánico. El estudio concluye que los humedales altoandinos poseen un alto potencial como sumideros de carbono; sin embargo, prácticas como el drenaje, las quemas y el pastoreo contribuyen significativamente a la liberación de CO₂, comprometiendo su función reguladora en el ciclo global del carbono. Por tanto, la conservación de estos ecosistemas se vuelve fundamental para la mitigación del cambio climático y la estabilidad de los servicios ecosistémicos.

2.2.2. Nacional

Figuerola (2022) desarrolló un estudio con el objetivo de estimar el valor económico de las reservas de carbono en el humedal Pampa Shonquil. Como parte de la metodología, se evaluó la diversidad florística utilizando los índices de Shannon y riqueza específica, los cuales fueron correlacionados con el contenido total de carbono. Se establecieron cinco parcelas de 4 m × 25 m, y en sus esquinas se ubicaron cuadrantes de 1 m² para la recolección de biomasa herbácea, así como subcuadrantes de 0,5 m × 0,5 m para la colecta de hojarasca y raíces. El estudio registró una composición florística de 20 especies vegetales distribuidas en 9 familias y 17 géneros, siendo las especies dominantes *Juncus ebracteatus*, *Plantago tubulosa* y *Lachemilla orbiculata*. En cuanto a la reserva de carbono, se estimó un total de 363,618 tC/ha, de los cuales 11,562 tC/ha corresponden a la biomasa vegetal y 352,056 tC/ha al carbono almacenado en el suelo. Estos resultados destacan la importancia del sustrato edáfico como el principal reservorio de carbono en el humedal.

Alvis - Ccoropuna et al. (2021) en su investigación tuvieron como objetivo estimar la cantidad de carbono almacenado en el humedal altoandino de Chalhuanca y evaluar su valor económico como un servicio ecosistémico. Se seleccionaron 30 muestras al azar, dividiéndolas en tres categorías de almacenamiento de carbono que son biomasa aérea (hojas y tallos), biomasa bajo el suelo (raíces) y suelo orgánico. Las muestras se obtuvieron mediante un dispositivo de tipo barreno, y se determinó el contenido de carbono utilizando el método Walkey y Black. Se llevaron a cabo análisis estadísticos que incluyeron promedios, desviaciones estándar, análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Levene. Los resultados revelaron que la cantidad total de carbono almacenado con relación al área del bofedal es aproximadamente 795 415,65 tCO₂. El reservorio de suelo orgánico mostró el mayor porcentaje, superando el 70 %, seguido por la biomasa bajo el suelo y la biomasa aérea. Además, se halló una diferencia significativa en la cantidad de carbono almacenado entre los reservorios. El suelo orgánico albergó la mayor cantidad, con 218,3 tC/ha (90 %), seguido de la biomasa bajo el suelo (19,7 tC/ha o 8 %) y la biomasa aérea (4,8 tC/ha o 2 %).

Flores-Aroni et al. (2025) evaluaron los flujos de dióxido de carbono del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno. Se seleccionaron tres zonas de muestreo: S₁ (frente a Salcedo), S₂ (cercañas de la Isla Espinar) y S₃ (frente a la UNA-Puno). El monitoreo de flujo de CO₂ se realizó durante las épocas seca (octubre 2022) y lluviosa (enero 2023), empleando un analizador portátil de CO₂ medido por infrarrojos (EGM-4-PP Systems), conectado a una cámara de respiración (SRC-1-PP Systems), el diseño experimental aplicado fue completamente aleatorizado con análisis factorial. Los resultados indicaron que la emisión

de CO₂ del suelo varió significativamente entre épocas ($p < 0,05$) y entre zonas de muestreo. El flujo más alto se registró en S3 durante la época lluviosa, con un valor de $0,99 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, mientras que el más bajo se observó en la misma zona durante la época seca, con $0,67 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Asimismo, se determinó que la emisión de CO₂ del suelo está influenciada por factores ambientales que varían con la estación del año. Se identificaron correlaciones positivas y estadísticamente significativas con la temperatura del aire ($r = 0,51$), temperatura del suelo ($r = 0,49$), humedad del suelo ($r = 0,39$), conductividad eléctrica ($r = 0,54$) y pH del suelo ($r = 0,36$). Estos hallazgos evidencian la importancia de los humedales altoandinos en las emisiones de CO₂ del suelo, debiendo ser considerados en las estimaciones del balance global de carbono.

Chang y Mandarachi (2021) evaluaron la capacidad de captura de carbono de las especies vegetales predominantes en el humedal Tragadero, ubicado en la región Junín. La recolección de muestras tanto de biomasa vegetal como del sustrato del suelo se llevó a cabo utilizando la metodología propuesta por el Centro Mundial Agroforestal (ICRAF). Los resultados evidenciaron que el suelo presenta una capacidad de almacenamiento de carbono que oscila entre $66,43 \text{ tC/ha}$ y $292,68 \text{ tC/ha}$, en función de las características particulares de los cuatro centros poblados que conforman el humedal. En término de dióxido de carbono, se estimó que el humedal almacenaba, en mayo de 2021, un total de $4\,095,14 \text{ tCO}_2/\text{ha}$, siendo el sustrato del suelo el principal factor que contribuye a este potencial de almacenamiento.

Ramos (2021) desarrolló un estudio con el objetivo de valorar el servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono del monte ribereño del Santuario Nacional Lagunas de Mejía. Para ello, se cuantificó el contenido de carbono orgánico y el dióxido de carbono almacenado en la especie *Tessaria integrifolia* (conocida como Pájaro bobo), en las unidades herbáceas y en el suelo, empleando la metodología estandarizada del Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF). Los resultados obtenidos indicaron que el suelo representa el mayor reservorio de carbono con $417,43 \text{ tC/ha}$, seguido por la especie *Tessaria integrifolia* con $15,13 \text{ tC/ha}$ y las unidades herbáceas con $8,63 \text{ tC/ha}$. En cuanto a la captura de dióxido de carbono, estos valores equivalen a $1\,530,58 \text{ tCO}_2/\text{ha}$ para el suelo, $55,48 \text{ tCO}_2/\text{ha}$ para *Tessaria integrifolia* y $31,65 \text{ tCO}_2/\text{ha}$ para las herbáceas. En total, se estimó un almacenamiento de $26\,568,40 \text{ tC}$ en toda el área del monte ribereño evaluado.

Ore (2020) realizó un estudio con el objetivo de estimar la captura de dióxido de carbono (CO₂) en el humedal Caucato, ubicado en el Área de Conservación Regional de Ica. Los resultados evidenciaron que el almacenamiento de carbono en la biomasa herbácea es variable y depende de la densidad de la vegetación presente. Asimismo, se encontró que la captación de carbono en las raíces de las distintas especies, hasta una profundidad de 20 cm ,

también presenta diferencias significativas, siendo mayor en aquellas con raíces más desarrolladas. Finalmente, el estudio determinó que el carbono total almacenado en la flora, considerando tanto la parte aérea como el sistema radicular, representa un valor acumulativo cuya magnitud varía según la composición y estructura de la vegetación.

2.2.3. Local

Gamarra et al. (2013) llevaron a cabo un estudio cuyo objetivo fue determinar la composición florística, la descripción fisonómico-estructural y la distribución geográfica de las macrófitas presentes en el humedal Laguna de los Milagros. Para ello, entre febrero y julio de 2009, realizaron salidas de campo utilizando como unidad muestral un rectángulo de 8 m². Como resultado, identificaron que la Laguna de los Milagros alberga 39 especies de plantas vasculares, distribuidas en 39 géneros y 22 familias, siendo las bioformas predominantes los terófitos y los hidrófitos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación geográfica

La investigación ha tenido como escenario la Laguna de los Milagros, reconocida como un humedal de tipo lacustre según Ñique et al. (2009), se encuentra ubicada a una distancia aproximada de 22 km entre el tramo Tingo María-Aucayacu, cuyo cuerpo de agua se encuentra a la margen derecha de la carretera Fernando Belaunde Terry. Se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM, Este: 390 645, Norte: 8 989 011 y a una altitud de 690 m s. n. m.

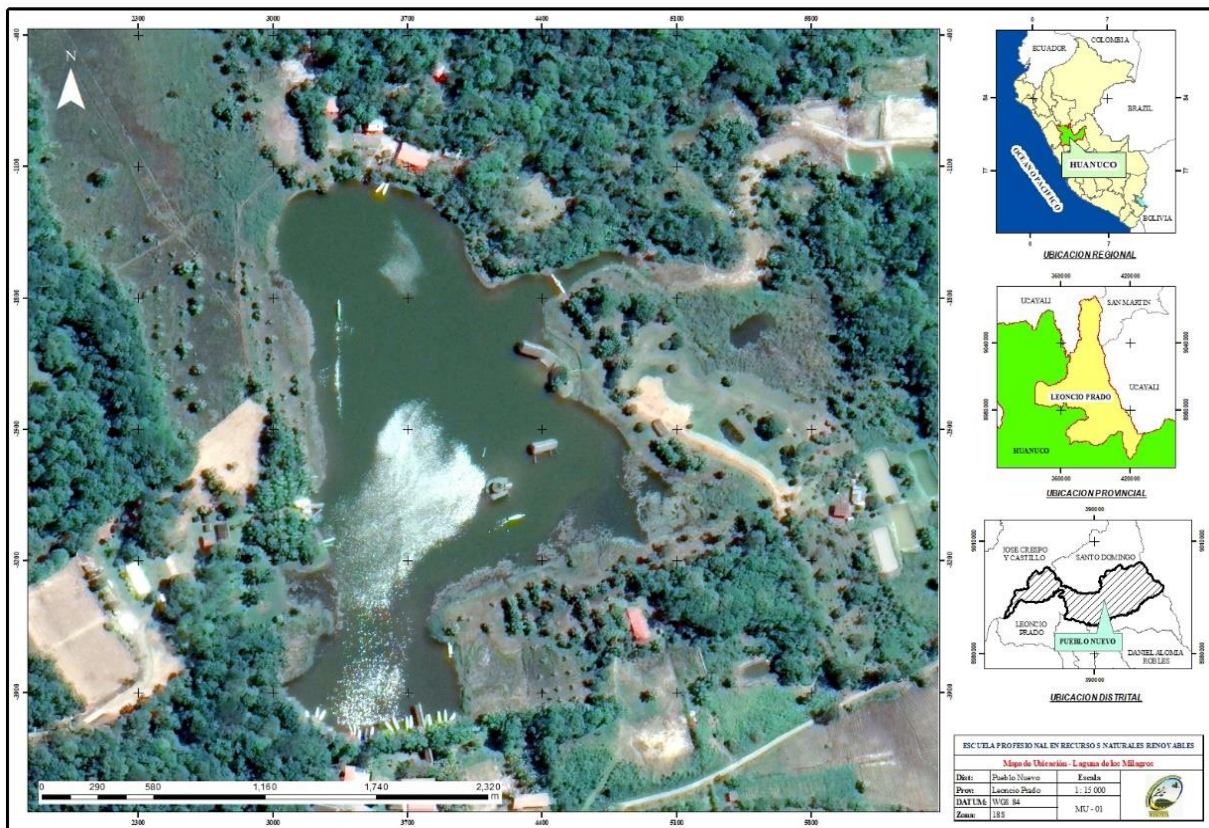


Figura 1. Mapa de ubicación del humedal lacustre Laguna de los Milagros.

3.1.2. Ubicación política

Políticamente la Laguna de los Milagros en donde fue ejecutado el estudio, se ubica en la localidad de Los Milagros del distrito Pueblo Nuevo en la provincia de Leoncio Prado de la región Huánuco.

3.1.3. Condiciones climáticas

En base a los registros meteorológicos por parte del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología en la estación convencional Tulumayo, ubicada a 612 m s. n. m.

muestran que durante el año 2024 el clima de la zona se representó por temperaturas elevadas y una marcada estacionalidad en las precipitaciones. La temperatura máxima mensual osciló entre 30,38 °C para noviembre y 33,64 °C en octubre, mientras que la mínima fluctuó entre 18,97 °C (setiembre) y 22,21 °C en el mes de abril. La humedad relativa fue alta durante todo el año, con variaciones del 81,85 % para octubre y 87,61 % en noviembre, lo que evidencia un clima húmedo. Respecto a la precipitación anual, se acumuló un total de 2 495,9 mm, con el máximo en enero (419,0 mm) y mínimo en setiembre con 24,5 mm (SENAMHI, 2025).

3.1.4. Zona de vida

Tomando en consideración la clasificación de las diversas zonas de vida y el análisis de los diagramas bioclimáticos; el medio para efectos del presente estudio corresponde a bosque húmedo - Premontano Tropical (bh - PT) (Holdridge, 2000).

3.1.5. Características de la Laguna de los Milagros

Basado a la resolución directoral N° 334-2018 de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en la delimitación de la faja marginal de la Laguna Los Milagros e imágenes satelitales recientes, se determinó para la zona litoral una extensión de 4,5 ha y para la zona del cuerpo de agua una extensión de 5,66 ha, representando un total de 10,16 ha.

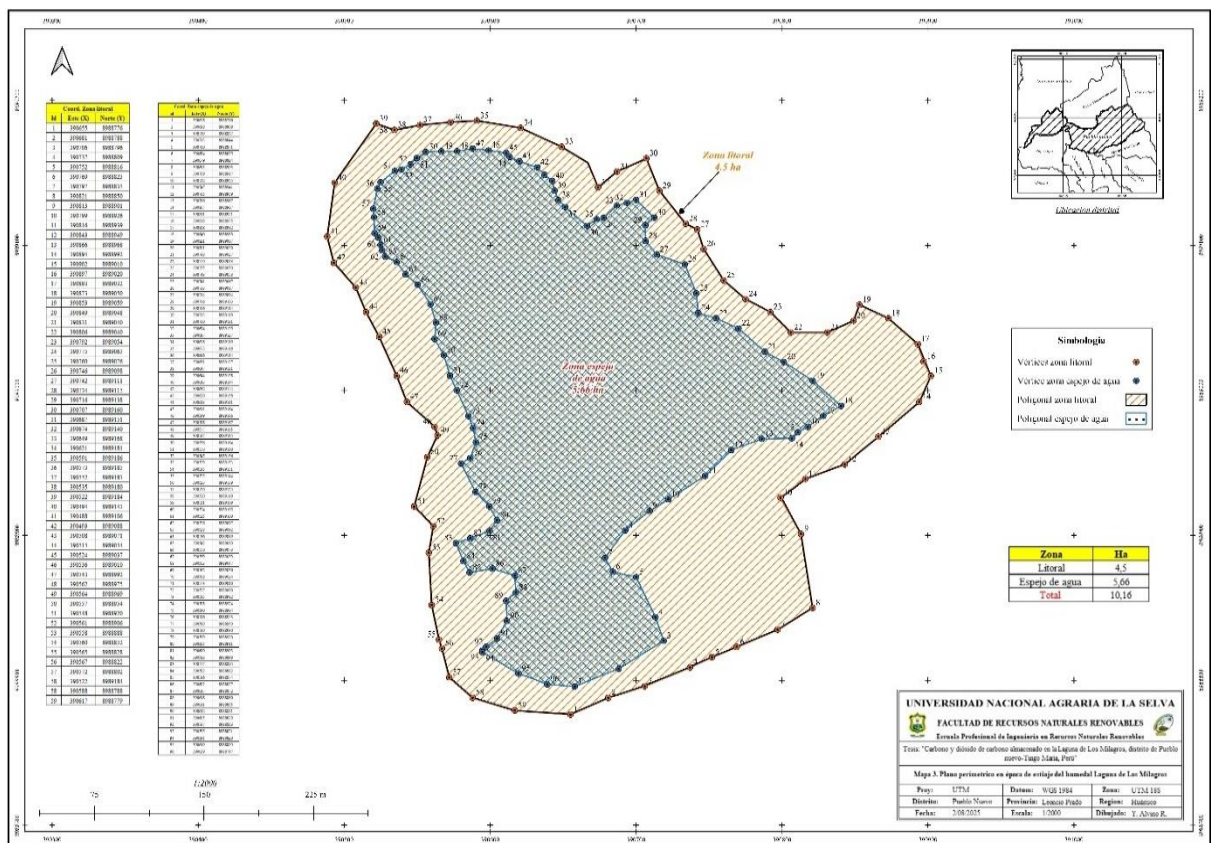


Figura 2. Área del cuerpo de agua y la zona de litoral en época de estiaje del humedal lacustre Laguna de los Milagros.

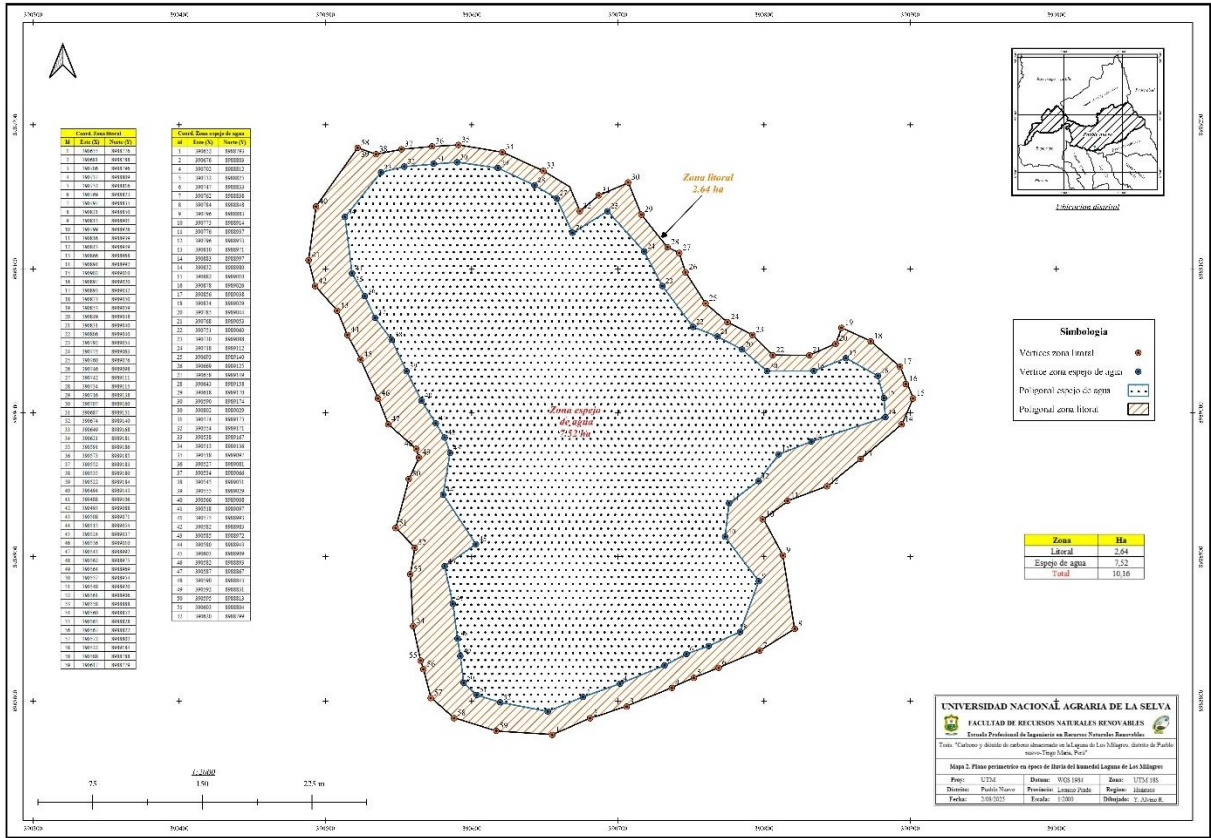


Figura 3. Área del cuerpo de agua y la zona de litoral en época de lluvia del humedal lacustre Laguna de los Milagros.

La Laguna de los Milagros presenta un área variable, siendo para el año 2024 el cuerpo de agua solamente abarcó 5,66 ha en época de estiaje (Figura 2) y de acuerdo con la resolución direccional N° 334-2018 del ANA se incrementa hasta los 7,52 ha de los 10,16 ha en la época lluviosa (Figura 3). Entre los acontecimientos sobre el cambio drástico del área del cuerpo de agua en la Laguna de los Milagros, Ingaruca (2024) reportó la pérdida del área del cuerpo de agua en la Laguna de los Milagros, en donde recoge información del personal que trabaja en el área de comunicaciones de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) Tingo María destaca que en base al reporte que se tiene por parte de la ANA, en el año 1980 este humedal tenía una profundidad entre los 29 a 30 m para la zona del canal, luego en el año 2014 se realizó la medición y solamente se reportó entre 12 a 13 m.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Se utilizó bastidores de madera, tamices con aberturas diametrales de 2 mm, muestreador de suelos, bolsas plásticas, costales y cinta masking; como herramientas, machete, pala recta y tijeras de mano y en equipos, una laptop, un dispositivo GPS de la marca Garmin, una cámara fotográfica digital, una balanza digital, balanza analítica y una estufa.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Determinación de las especies vegetales presente en la Laguna de los Milagros

Se realizó la determinación en gabinete de los puntos de muestreo, una vez obtenido el mapa (**Figura 4**), se realizó la salida para ubicar y georreferenciarlos, luego se realizó la coordinación con el biólogo Edilberto Chuquilín Bustamante para que se pueda determinar los nombre científicos de la vegetación que se encontraba alrededor del punto de muestreo a través de recorridos solo en la zona litoral de la Laguna de los Milagros, también se contó con el apoyo de los moradores, personas que prestan servicios turísticos en el área de estudio.

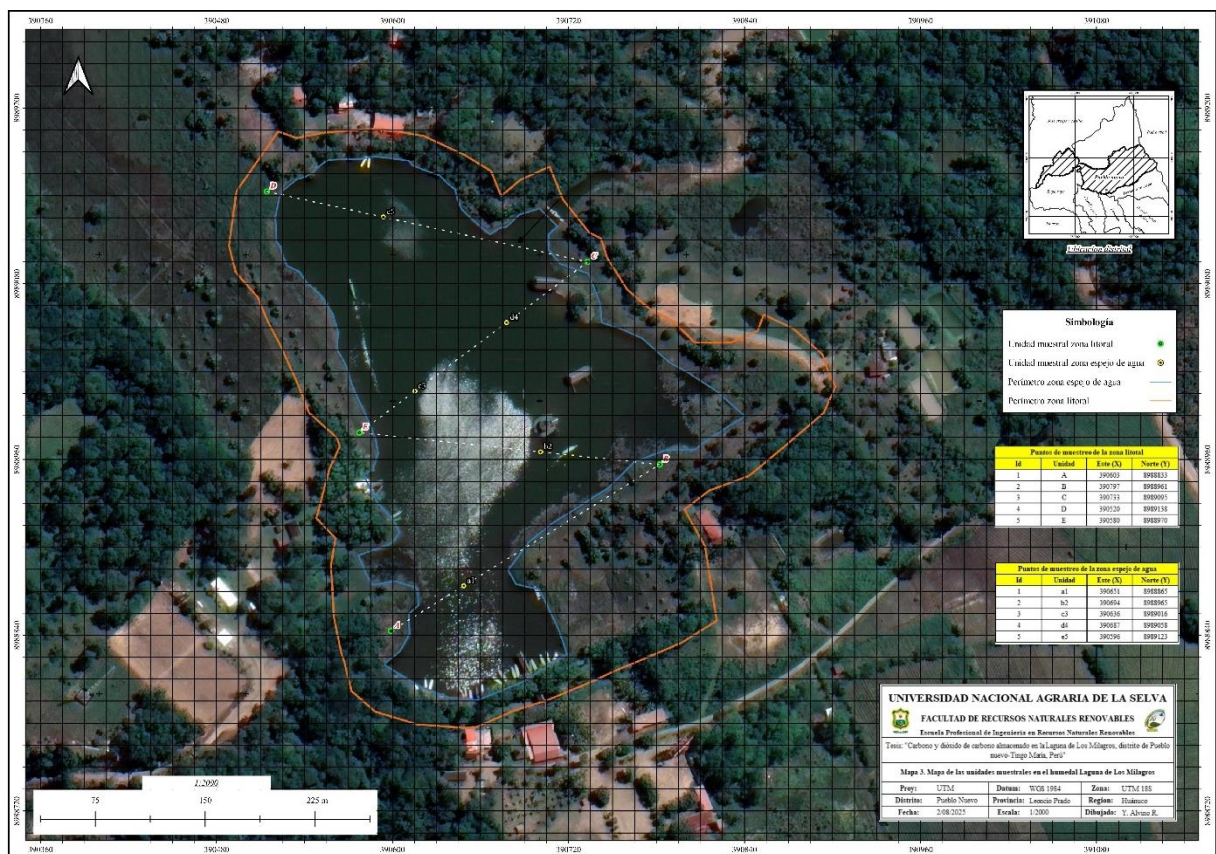


Figura 4. Puntos de muestreo en la zona litoral y cuerpo de agua en el humedal Laguna de los Milagros.

3.2.2.2. Cuantificación de carbono y CO₂ almacenado sobre y bajo el suelo de la zona litoral de la Laguna de los Milagros

Luego, del reconocimiento del área en estudio con el propósito de tener una idea de la configuración de la superficie del terreno, dentro de las 4,5 ha

determinadas para la zona litoral; se procedió a ubicar los puntos para la toma de las muestras mediante el muestreo en zig-zag tratando de que sean equidistantes como se muestra en la **Figura 4**. Luego siguiendo el mapa de muestreo previamente diseñado se ubicaron los puntos específicos y con el apoyo de una GPS se registraron las coordenadas de los puntos donde se tomaron las muestras respectivas.

Carbono sobre el suelo:

Biomasa aérea viva (herbáceas y arbustos)

Primeramente, se estimó la biomasa húmeda para ello se procedió con la ayuda de un bastidor de madera de 1,0 x 1,0 m a recolectar todo el material vegetativo que se encontró delimitado en los cuadrantes de 1 m² de los cinco puntos a muestrear en la zona del litoral como se muestra en la **Figura 5**, luego fueron pesadas en una balanza digital portátil. Seguidamente se tomaron submuestras de 200 g las mismas que fueron puesta en bolsas previamente codificadas. Inmediatamente las submuestras fueron trasladadas al Laboratorio de Semillas de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para determinar su peso seco, para ello se puso en una estufa de 70 a 75°C de temperatura hasta alcanzar peso constante. Finalmente se calculó la biomasa seca de la submuestra y se extrapoló a t ha⁻¹ y se multiplicó por la fracción de carbono (0,5) con la cual se estimó el carbono contenido en las herbáceas y arbustos.



Figura 5. Procedimiento para la toma de muestras de herbáceas y arbustos.

Biomasa aérea muerta (residuos de hojas, tallos, etc.)

Se procedió a determinar la biomasa muerta en 0,25 m² dentro del metro cuadrado que se empleó para determinar biomasa aérea viva (herbáceas y arbustos) como se muestra en la **Figura 6**. Luego se recolectó en una bolsa previamente codificada todo

el material muerto (hojas, palitos, etc.) y seguidamente ser pesadas (peso fresco). Las cinco subparcelas fueron de 0,5 x 0,5 m con un área total de 0,25 m². Como siguiente paso se tomaron submuestras de 200 g y se pusieron en una estufa de 70 a 75°C de temperatura hasta obtener peso constante (manteniendo la codificación correspondiente de acuerdo con el punto o parcela de muestreo). Luego se retiró de la estufa las submuestras y se hizo enfriar al aire libre, seguidamente se pesó (peso seco) y se extrapoló a t/ha y se multiplicó por la fracción de carbono (0,5) con la cual se estimó el carbono contenido en la biomasa aérea muerta.



Figura 6. Procedimiento para la toma de muestras de residuos de hojas, tallos, etc.

Carbono bajo el suelo:

Biomasa subterránea viva (raíces y rizomas)

Para la toma de las submuestras se recolectó insertando un tubo nucleador de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura como se muestra en la **Figura 7** a profundidades de 0 a 20 cm, de 20 a 40 cm y de 40 a 60 cm. Luego se extrajo del tubo las submuestras y fueron colocadas en tamices y se procedió a su lavado para extraer los sedimentos y se separaron las raíces y rizomas de ser el caso, en seguida se hizo orear (secar) bajo sombra y luego se procedió a pesar (peso fresco). Inmediatamente se sometió a la estufa a 70 a 75 °C de temperatura hasta que se obtuvo peso constante (aproximadamente 72 horas). Una vez alcanzado el peso constante se procedió a pesar para conocer el peso seco y extrapoló a t/ha y finalmente se multiplicó por la fracción de carbono (0,5) siendo de esa manera estimado el carbono contenido en la biomasa de las raíces y rizomas.



Figura 7. Tubo nucleador para la toma de submuestras para la determinación de la biomasa de raíces.

Carbono orgánico del suelo

Se estimó por el método del cilindro, para tal fin se determinó la densidad aparente, para ello se tomó las submuestras con el cilindro en las mismas calicatas que se realizó con el tubo nucleador para la toma de las submuestras con la cual se determinó la biomasa de las raíces en intervalos de 0 a 20, de 20 a 40 y de 40 a 60 cm de profundidad respectivamente. Las submuestras fueron extraídas en el punto medio de cada intervalo o rango de profundidad previsto para el presente estudio. Por ejemplo, si se extrajo la muestra en el intervalo de profundidad de 0 a 20 cm, la muestra fue tomada a 10 cm de profundidad como se muestra en la **Figura 8**, para ello, se utilizó una regla o una wincha de 3 metros con fines de definir cada profundidad exacta donde se hizo la toma de las submuestras.

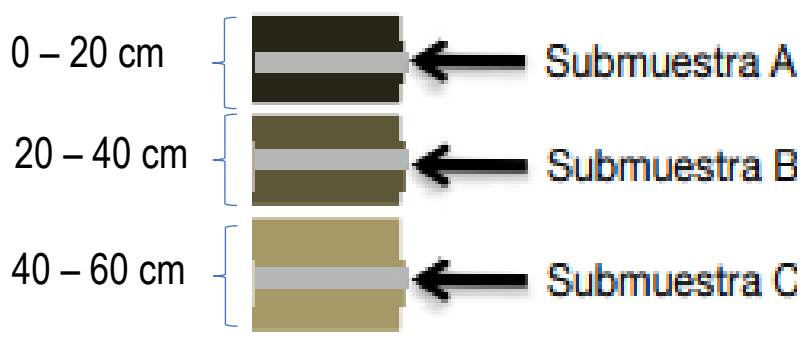


Figura 8. Esquema de la forma como se extrajo las submuestras de suelo.

Posteriormente se determinó el porcentaje de carbono orgánico del suelo para ello se realizó el muestro en cada profundidad y se llevó las submuestras al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNAS para obtener el contenido de materia orgánica expresada en porcentaje y la densidad aparente, con las cuales se estimaron el carbono orgánico del suelo a través de la ecuación siguiente:

$$\text{COS} = \% \text{CO} \times \text{Dap} \times \text{Ps} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuac. (1)}$$

Donde:

COS = Carbono orgánico de los suelos (t ha^{-1})

$\% \text{CO} = 0,58 \times \% \text{MO}$ (según Walkley y Black, 1938)

Dap = Densidad aparente (g cm^{-3})

Ps = Profundidad del suelo (cm)

Para la cuantificación del CO_2 se procedió con los resultados del almacenamiento de carbono sobre y bajo el suelo, mediante la siguiente formula:

$$\text{CO}_2 = \text{Contenido de carbono orgánico total} \times 3,6667 \quad \dots\dots \text{Ecuac. (2)}$$

La constante del CO_2 se obtuvo de la masa molar del carbono que es 12 g/mol y la masa molar del dióxido de carbono que es 44 g/mol, lo cual al calcular $\text{COS} \times (44/12)$ resulta la expresión $\text{COS} \times 3,6667$

3.2.2.3. Estimación del carbono y CO_2 almacenado debajo del cuerpo de agua de la Laguna de los Milagros

Para la toma de las submuestras de suelo debajo del cuerpo de agua se insertó un tubo nucleador de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura como se muestra en la **Figura 9**, a profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm y de 40 a 60 cm. Luego se determinó la densidad aparente y la MO en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la UNAS para finalmente estimar el carbono y CO_2 almacenado.

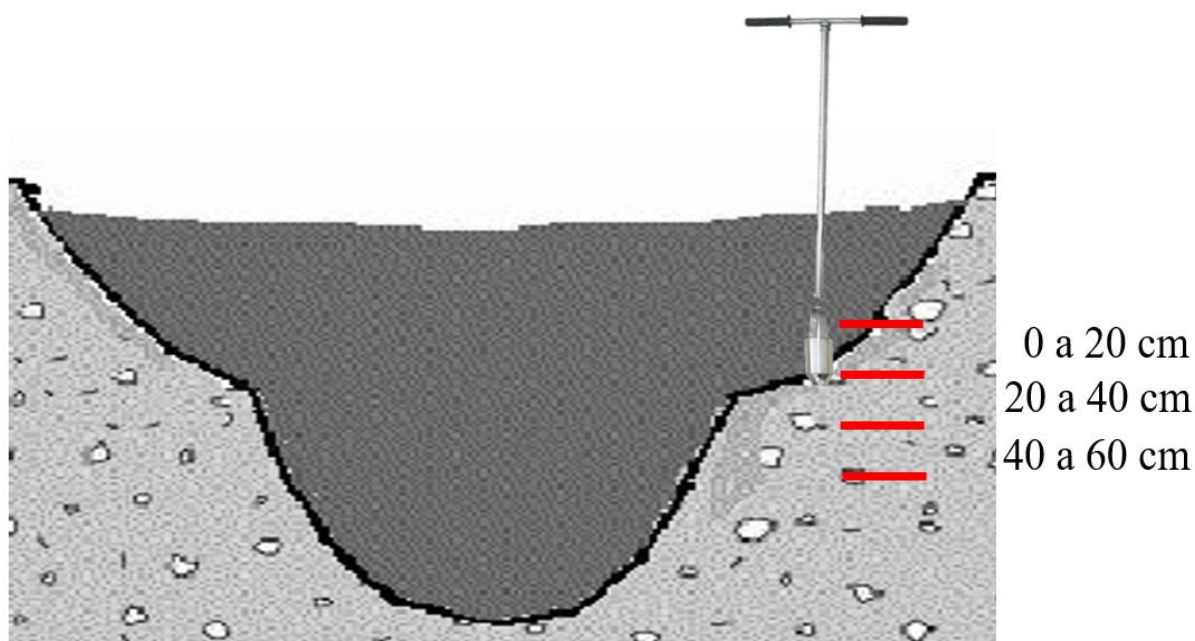


Figura 9. Forma de extraer las submuestras de suelo debajo del cuerpo de agua.

3.2.3. Aspectos metodológicos

3.2.3.1. Enfoque de la investigación

La investigación fue de enfoque cuantitativo, porque la recolección de datos según las variables en estudio fue con base en la medición numérica (Hernández et al., 2014).

3.2.3.2. Tipo de investigación

Según el número de ocasiones en que se realizó la medición de las variables del presente estudio fue una investigación básica - aplicada porque se realizó la toma de los datos en la época de menor precipitación es decir en un solo momento (Supo, 2014).

3.2.3.3. Nivel de investigación

La investigación adoptó el nivel descriptivo porque el propósito fue estimar el carbono y CO₂ almacenado sobre el suelo, bajo el suelo y debajo del cuerpo de agua en la Laguna de los Milagros (Hernández et al., 2014).

3.2.3.4. Diseño de la investigación

El diseño de este estudio se ajustó a un diseño no experimental, donde se observó el fenómeno sin manipular las variables, en razón que la recolección de datos reflejó el estado natural del fenómeno para su análisis (Álvarez, 2020).

3.2.3.5. Variables de estudio

- Almacenamiento de carbono
- Almacenamiento de CO₂

3.2.3.6. Población y puntos de muestreo

Población

El objeto de estudio se concentra en la totalidad del terreno que comprende la Laguna de los Milagros. En términos de extensión, esta vasta superficie se halló mediante la delimitación en gabinete en hectáreas, tanto para zona litoral que fue 4,50 ha y para el cuerpo de agua donde el valor fue 5,66 ha, haciendo un total de 10,16 ha.

Puntos de muestreo

Para definir las unidades de muestreo dentro del área de estudio, se realizó mediante el programa Qgis Desktop 3.24.1, para ello se seleccionó una imagen satelital más reciente, donde se procedió con la generación de cuadrantes según la metodología propuesta por Alvis (2018). Estos cuadrantes fueron configurados con dimensiones de 15 x 15 m donde se seleccionaron los puntos de muestro dentro de los cuadrantes como se aprecia en la **Figura 4**. En consecuencia, para la zona del litoral se definieron 5 puntos de muestreo y 5 puntos para la zona del cuerpo de agua como se observa en el mapa. También se tomó para cada punto de muestreo sus coordenadas correspondientes.

3.2.3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica fue la observación participante en razón que el tesista tomó las medidas como parte de la recolección de datos para tal fin utilizó instrumentos mecánicos de medición principalmente la balanza digital.

3.2.3.8. Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis descriptivo utilizando los datos recolectados tanto en el campo como en el laboratorio. Estos datos fueron procesados utilizando Microsoft Excel y SPSS haciendo uso de sus herramientas de análisis de datos estadísticos

básicos, así como la creación de figuras de barras. De esta manera, se calcularon diversas métricas como el promedio, la mediana, los valores mínimos y máximos, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Especies vegetales presentes en la Laguna de los Milagros

En la Laguna de los Milagros se identificó a 15 especies vegetales, las mismas que se distribuyeron en ocho familias botánicas, existiendo en la familia Poaceae a las especies como *H. aturensis*, *H. amplexicaulis*, *P. conjugatum*, *P. repens* e *I. polygonoides* (**Tabla 1**), todas adaptadas a zonas inundables y que forman parte de la comunidad vegetal registradas por Gamarra et al. (2013). Dicho autor determinó un total de 39 especies, comprendidas a 39 géneros y pertenecientes a 22 familias, donde las clasificó a las especies como terófitos y hidrófitos en la zona de estudio.

Tabla 1. Especies vegetales presentes dentro de la zona litoral del humedal Laguna de los Milagros.

| Nº | Nombre científico | Familia | Nombre común |
|----|---|-----------------|-------------------|
| 1 | <i>Aciotis acuminifolia</i> (Mart. ex DC.) Triana | Melastomataceae | Chapara sachá |
| 2 | <i>Calopogonium mucunoides</i> Desv. | Fabaceae | Kudzu |
| 3 | <i>Eleocharis interstincta</i> (Vahl) Roem. & Schult. | Cyperaceae | Piri piri |
| 4 | <i>Homolepis aturensis</i> (Kunth) Chase | Poaceae | Paja comino |
| 5 | <i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Nees | Poaceae | Camalote |
| 6 | <i>Ipomoea aquatica</i> Forssk. | Convolvulaceae | Espinaca acuática |
| 7 | <i>Isachne polygonoides</i> (Lam.) Döll | Poaceae | - |
| 8 | <i>Ludwigia peruviana</i> (L.) H. Hara | Onagraceae | Clavellina |
| 9 | <i>Miconia dependens</i> (Pav. ex D. Don) Judd & Majure | Melastomataceae | - |
| 10 | <i>Neustanthus phaseoloides</i> (Roxb.) Benth. | Fabaceae | Kudzu tropical |
| 11 | <i>Paepalanthus fluviatilis</i> (Aubl.) Christenh. & Byng | Eriocaulaceae | Colchón de niño |
| 12 | <i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius | Poaceae | Cambute |
| 13 | <i>Paspalum repens</i> P.J. Bergius | Poaceae | Gramalote |
| 14 | <i>Scleria microcarpa</i> Nees ex Kunth | Cyperaceae | Cortadera |
| 15 | <i>Sida cordifolia</i> L. | Malvaceae | Bala |

En la familia Cyperaceae se registró dos especies (**Figura 10**), de los cuales Gamarra et al. (2013) reportaron a *S. microcarpa* o cortadera, una ciperácea perenne típica de zonas húmedas, márgenes de bosques, riberas y áreas pantanosas; presenta tallos delgados y erectos, hojas lineares y ásperas al tacto, características de su género, su forma de vida es enraizado-emergente con una distribución geográfica neotropical en el mismo humedal durante el periodo lluvioso y seco del año.

Tabla 2. Descripción de las especies vegetales presentes dentro de la zona litoral del humedal Laguna de los Milagros.

| N° | Nombre científico | Características |
|----|-------------------------|--|
| 1 | <i>A. acuminifolia</i> | Hierba o subarbusto de la familia Melastomataceae, común en zonas húmedas, con hojas opuestas y flores pequeñas rosadas o violáceas. |
| 2 | <i>C. mucunoides</i> | Leguminosa rastrera y trepadora, de rápido crecimiento, usada como cobertura del suelo y fijadora de nitrógeno. |
| 3 | <i>E. interstincta</i> | Planta herbácea acuática emergente, de tallos cilíndricos y huecos, común en humedales y orillas de cuerpos de agua. |
| 4 | <i>H. aturensis</i> | Gramínea perenne de porte bajo, frecuente en zonas húmedas y abiertas, con tallos delgados y hojas estrechas. |
| 5 | <i>H. amplexicaulis</i> | Gramínea semiacuática invasora, de tallos robustos y hojas abrazadoras, común en humedales y áreas inundables. |
| 6 | <i>I. aquatica</i> | Planta herbácea acuática, rastrera, con tallos huecos, usada como hortaliza y común en cuerpos de agua dulce. |
| 7 | <i>I. polygonoides</i> | Gramínea perenne de ambientes húmedos, con tallos delgados y hojas pequeñas, frecuente en orillas y zonas encharcadas. |
| 8 | <i>L. peruviana</i> | Arbusto o hierba semiacuática de humedales, con tallos erectos y flores amarillas vistosas. |
| 9 | <i>M. dependens</i> | Arbusto de la familia Melastomataceae, propio de bosques húmedos, con hojas opuestas y nervaduras marcadas. |
| 10 | <i>N. phaseoloides</i> | Leguminosa rastrera y trepadora, usada como cobertura vegetal, resistente y fijadora de nitrógeno en suelos tropicales. |
| 11 | <i>P. fluviatilis</i> | Hierba acuática de la familia Eriocaulaceae, propia de ríos y zonas inundables, con inflorescencias globosas. |
| 12 | <i>P. conjugatum</i> | Gramínea perenne rastrera, común en áreas húmedas y disturbadas, tolerante al pisoteo y usada como cobertura del suelo. |
| 13 | <i>P. repens</i> | Gramínea acuática flotante o emergente, frecuente en ríos y lagunas, con tallos largos y hojas flexibles. |
| 14 | <i>S. microcarpa</i> | Cyperaceae perenne de ambientes húmedos, con tallos trígono y pequeños frutos duros, común en áreas inundables. |
| 15 | <i>S. cordifolia</i> | Hierba perenne de la familia Malvaceae, con hojas cordadas y flores amarillas, común en zonas abiertas y disturbadas. |

Fuente: Weakley (2024).



Figura 10. Especies vegetales *S. microcarpa* (a), *E. interstincta* (b), *I. aquatica* (c) y *P. fluviatilis* (d) presentes en la Laguna de los Milagros.

En el caso de la familia Convolvulaceae (**Figura 10** y **Tabla 2**) se registró una sola especie de los cuales los autores mencionados previamente también encontraron a una especie del mismo género como es el caso de *Ipomoea nil* o campanita cuya forma de vida es Hemicriptófitos con una distribución geográfica pantropical, la *I. aquatica* registrada en el humedal se caracteriza por su distribución que es ampliamente en las regiones tropicales y subtropicales, ratificando su presencia en humedales del Centro de Veracruz (Peralta-Peláez y Moreno-Casasola, 2009) y en algunos lugares se le cataloga como invasor en países como Benín, Estados Unidos y Cuba (CABI, 2016) ya que llegan a formar densas redes vegetales que obstruyen el flujo de agua, alteran la oxigenación del medio y desplazan a la vegetación nativa, reduciendo la biodiversidad local (Lehtonen, 1993).

En el caso de la familia Fabaceae fue determinado dos especies, dentro de los cuales *C. mucunoides* (**Figura 11** y **Tabla 2**) cuya forma de vida es Terófitos con una distribución geográfica pantropical fue ratificado en el reporte de Gamarra et al. (2013), que a pesar de ser una leguminosa forrajera tropical originaria de América tropical y del oeste de las Indias Occidentales, ampliamente es utilizada por su capacidad de adaptación a diversas condiciones edafoclimáticas (Carballo et al., 2005), tolera el encharcamiento y la sombra moderada, aunque no la salinidad (Peters et al., 2011), además posee resistencia a la defoliación y al estrés hídrico que se asocia con mecanismos fisiológicos de escape, acumulación de solutos

y regulación antioxidante, características comunes en leguminosas adaptadas a ambientes secos (Siddique et al., 1993; Nadeem et al., 2019; Ruiz et al., 2021), razón por la cual se observó en la temporada seca del humedal en estudio.

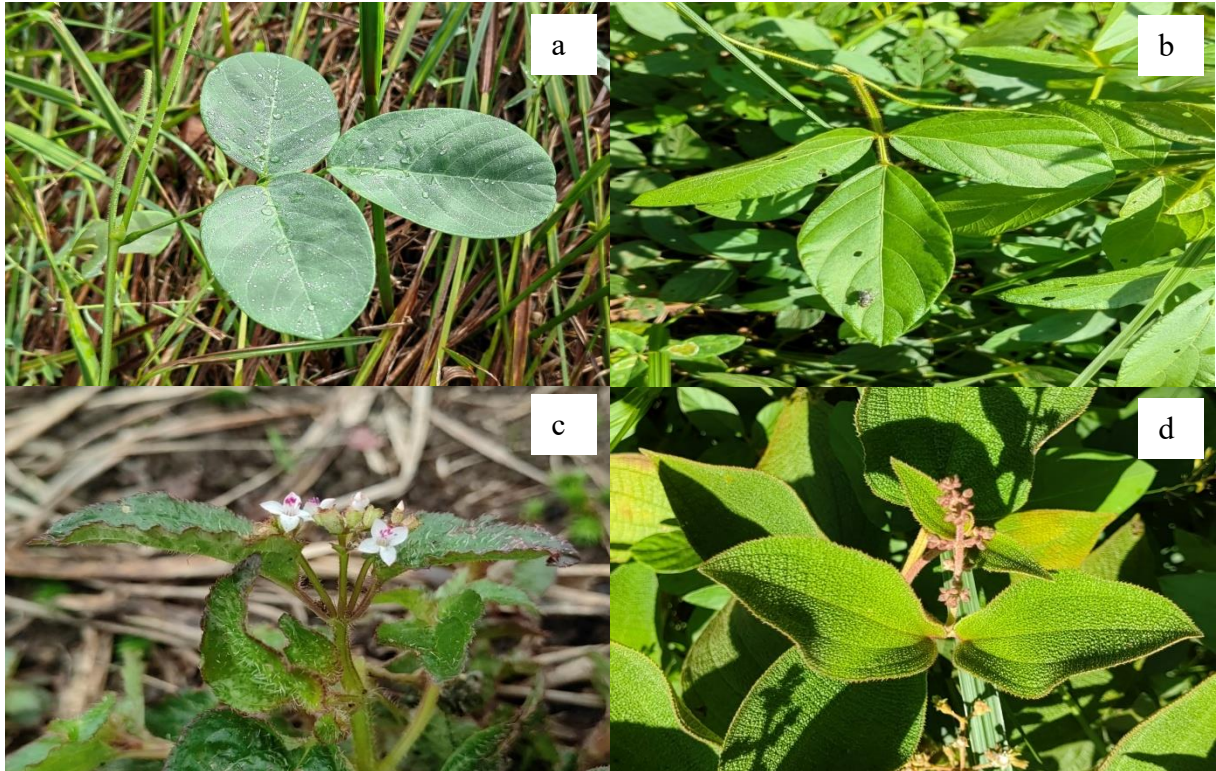


Figura 11. Especies vegetales *N. phaseoloides* (a), *C. mucunoides* (b), *A. acuminifolia* (c) y *M. dependens* (d) presentes en la Laguna de los Milagros.

La familia Melastomataceae con dos especies (**Figura 11** y **Tabla 2**), de los cuales también Gamarra et al. (2013) encontraron a *M. dependens* para el mismo humedal en estudio y lo clasificó como neotropical su distribución geográfica en donde su forma de vida es nanofanerófitos.

En la familia Onagraceae fue determinado una especie L. peruviana (Figura 12) que es una herbácea que desarrollan neumatóforos esponjosos y blancos para facilitar el intercambio gaseoso en ambientes saturados de agua (Cumana, 2010), se le denomina sauce prímula peruano, se caracteriza por su hábito vigoroso y su capacidad de colonizar márgenes de cuerpos de agua, pantanos y zonas con suelos constantemente húmedos, siendo distribuido desde el sur de México y las Antillas hasta el norte de Argentina, reflejando una notable adaptabilidad a condiciones tropicales y subtropicales (Weakley, 2024). Sin embargo, fuera de su rango nativo, ha mostrado un comportamiento invasor significativo (USDA, NRCS, 2024), pero en el mismo humedal Gamarra et al. (2013) determinaron su nombre científico del mismo

género como es *Ludwigia affinis* o campanita cuya forma de vida es nanofanerófitos con una distribución geográfica neotropical.



Figura 12. Especies vegetales *Sida cordifolia* (a) y *Ludwigia peruviana* (b), presentes dentro de las especies vegetativa.

Dentro de la familia Poaceae se determinó a cinco especies (**Figura 13** y **Tabla 2**), siendo ratificado por Gamarra et al. (2013) en el mismo humedal a *H. aturensis* o torurco cuya forma de vida es terófitos con una distribución geográfica neotropical que abarca desde el sur de México hasta Bolivia y Brasil, incluyendo Venezuela, Trinidad y Guyana (Tropicos.org, 2019), esta especie se caracteriza por su plasticidad ecológica ya que Cuellar et al. (2015) los encontraron en sistemas ganaderos y Tovar-Serpa (2009) los registró principalmente en la cuenca amazónica por debajo de los 500 m de altitud; otra de las especies encontradas fue *H. amplexicaulis* o gramalote negro cuya forma de vida es enraizado-emergente con una distribución geográfica pantropical (Gamarra et al., 2013), concordante con Medina y Motta (1990) y Csurhes et al. (1999) quienes indican que esta especie suele formar densas colonias a lo largo de los bancos de ríos y humedales tropicales y subtropicales.

Además se encontró a *I. polygonoides* (**Figura 13**) cuya forma de vida es enraizado-emergente con una distribución geográfica neotropical (Gamarra et al., 2013) y que en base a su morfología le permite adaptarse a ambientes húmedos y anegados como el humedal en estudio, donde suele crecer en los bordes de charcas, acequias y lagunas someras, razón por la cual, esta especie se encuentra ampliamente distribuida en la región tropical de América, desde Centroamérica hasta Brasil, incluyendo las Antillas y diversos sectores de Sudamérica

(Tovar-Serpa, 2009; Herrera y Peterson, 2020); en el Perú, su presencia se registra principalmente en la cuenca amazónica por debajo de los 1000 m de altitud, donde coloniza zonas de ciénegas y márgenes de ríos con alta humedad edáfica (Tovar-Serpa, 2009), su afinidad por hábitats temporal o permanentemente inundados sugiere una notable capacidad de tolerancia a condiciones de saturación hídrica, lo que la convierte en una especie indicadora de ecosistemas palustres y riparios. Asimismo, su presencia en estos ambientes contribuye a la estabilización de los suelos y a la retención de materia orgánica en los bordes acuáticos. Por su distribución geográfica amplia y su adaptación a ambientes tropicales húmedos, *I. polygonoides* representa una especie de interés ecológico dentro de los humedales neotropicales, desempeñando un papel relevante en la estructura de la vegetación herbácea y en la dinámica hidrológica de los ecosistemas que habita (Kahn et al., 1993; Herrera y Peterson, 2020).

Otra, especie fue *P. conjugatum* (**Figura 13**), reconocida por su carácter ruderal y arvense, con alta capacidad de adaptación a ambientes perturbados y húmedos; se desarrolla en áreas abiertas como sombreadas, prosperando en bordes de caminos, pastizales y claros de bosques, donde forma densas coberturas vegetales que contribuyen a la estabilización del suelo (Vibrans, 2010), posee amplia distribución geográfica en regiones tropicales y subtropicales de ambos hemisferios, entre 0 a 1800 m s.n.m., debido a su tolerancia ecológica (Yanos, 2022), mientras que en el mismo humedal (Gamarra et al., 2013) determinaron a *Paspalum virgatum* cuya forma de vida es terófitos con una distribución geográfica neotropical.

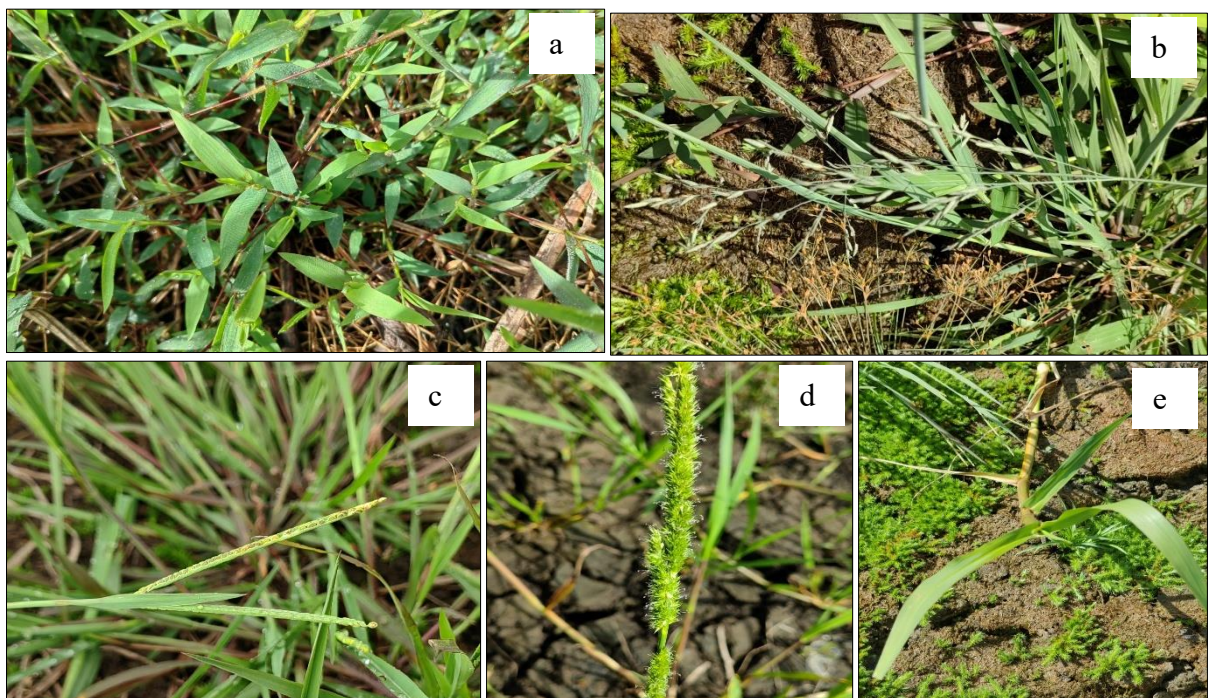


Figura 13. Especies vegetales *I. polygonoides* (a), *H. aturensis* (b), *P. conjugatum* (c), *H. amplexicaulis* (d) y *P. repens* (e) presentes en la Laguna de los Milagros.

4.2. Carbono y CO₂ almacenado sobre y bajo del suelo de la zona del litoral de la Laguna de los Milagros

En el componente herbáceo, el contenido medio de carbono fue de 3,06 tC/ha (Tabla 3 y Figura 14), con valores que oscilaron entre 0,99 y 5,94 tC/ha. El error estándar de 1,12 tC/ha y la desviación estándar de 2,51 tC/ha reflejan una marcada dispersión, con un coeficiente de variación elevado (82,080%). El intervalo estimado del carbono almacenado en este componente, calculado como media \pm EE, fue de [1,94 – 4,18] tC/ha, los resultados fueron inferiores a lo encontrado por Ramos (2021), donde el componente herbáceo presentó 8,63 tC/ha y Alvis - Ccoropuna et al. (2021), en bofedales en donde el componente aéreo presentó 4,77 tC/ha, debido posiblemente a la elevada densidad de vegetación conformada por *Distichia muscoides*, mientras que en el humedal estudiado se presenció en algunos puntos de muestreo poca vegetación, que se reflejó en la heterogeneidad de los datos. En términos de CO₂, el valor medio fue de 11,23 tCO₂/ha, con un rango de 3,63 a 21,78 tCO₂/ha, y un intervalo estimado de [7,11 – 15,35] tCO₂/ha. La variabilidad fue igualmente alta, manteniendo un CV de 82,080% (Tabla 3 y Figura 14).

Para la hojarasca, los valores de carbono se encontraron entre 3,76 y 17,85 tC/ha, con una media de 8,73 t/ha, el error estándar de la media fue 2,87 tC/ha y la desviación estándar de 6,43 tC/ha, lo que indica una alta dispersión debido a que el coeficiente de variación fue 73,654% (Tabla 3 y Figura 14), reportes sobre el mayor aporte del carbono lo detectaron Hernández y Moreno (2018) en humedales de agua dulce, solamente al determinar que por año se aporta entre 6,0 a 9,0 tC/ha/año, atribuido a la caída de las hojarasca a consecuencia de las plantas de mayor tamaño respecto al humedal Laguna de los Milagros. El intervalo estimado fue de [5,86 – 11,60] tC/ha. El CO₂ correspondiente mostró una media de 32,00 tCO₂/ha, con un intervalo de [21,46 – 42,54] tCO₂/ha (Tabla 3 y Figura 14). Estos resultados sugieren que la hojarasca representa un componente importante en el almacenamiento de carbono superficial, aunque con variabilidad significativa entre estos sitios.

El componente de las raíces presentó una media de 4,80 tC/ha de carbono, dentro de un rango que va de 1,21 a 9,80 tC/ha. El intervalo estimado de almacenamiento de carbono en raíces fue de [3,06 – 6,54] tC/ha (Tabla 3 y Figura 14), reportes inferiores a lo encontrado por Alvis - Ccoropuna et al. (2021) en bofedales donde reportó 19,72 tC/ha que equivale a 72,37 tCO₂/ha, mientras que para el CO₂ para el presente estudio registró una media de 17,62 tCO₂/ha, el intervalo fue de [11,22 – 24,02] tCO₂/ha (Tabla 3 y Figura 14), para Ore (2020) estas diferencias radica por el tipo de medio ya que la vegetación en dichos medios presentó pequeño

porte pero abundante sistema de raíces, propios de los lugares que se encuentran a mayor altitud sobre el nivel del mar que superó los 4 000 m.

El sistema de raíces registraron un error estándar de la media igual a 1,74 tC/ha y un desviación estándar igual a 3,90 t/Cha, el coeficiente de variación fue de 81,167%, lo que también indica alta heterogeneidad (**Tabla 3 y Figura 14**), este comportamiento posiblemente sea debido a la heterogeneidad de especies vegetales o también a la ubicación de los puntos de muestreo, debido a que en el caso de encontrarse más cercano al cuerpo de agua la humedad del suelo es más elevado respecto a los puntos ligeramente más alejados del cuerpo de agua donde la humedad se reducía debido a época del año, esta variación lo reportaron Flores-Aroni et al. (2025) en donde la biomasa radicular mostró una marcada variación estacional, siendo en la época seca, el contenido promedio de materia seca radicular fue de $43,96 \pm 3,99\%$ (IC95%: 36,14–51,78%), mientras que en la época lluviosa fue significativamente menor ($16.56 \pm 2.11\%$, IC95%: 12.43–20.69%), en donde la ausencia de superposición entre los intervalos de confianza confirma una diferencia estadísticamente significativa entre estaciones. Durante la época seca cuando la humedad del suelo es inferior, la mayor proporción de materia seca puede atribuirse a la pérdida de agua en los tejidos radiculares y al aumento de la densidad de raíces finas, las cuales contribuyen al anclaje y absorción en condiciones de menor saturación hídrica, mientras que, durante la época lluviosa, la anoxia del suelo y la saturación prolongada reducen la densidad y el contenido de materia seca de las raíces activas, además de favorecer la acumulación de raíces en descomposición, que aportan carbono orgánico al suelo. Estos resultados evidencian la dinámica funcional del sistema radicular como componente clave en la captura y almacenamiento de carbono en los humedales.

El carbono orgánico del suelo (COS) mostró los valores más elevados y, en contraste con los anteriores, una menor variabilidad relativa. La media fue de 102,41 tC/ha, con valores mínimos y máximos de 85,81 y 154,69 tC/ha, respectivamente. El error estándar fue de 13,15 tC/ha, la desviación estándar de 29,40 tC/ha, y el coeficiente de variación fue el más bajo de todos los componentes con 28,712% (**Tabla 3 y Figura 14**), esta variabilidad pudo estar atribuido a que en el caso de algunos puntos de muestreo se observó mayor presencia de actividad humana debido al uso que le vienen atribuyendo como es el turismo, ya que para Hurtado et al. (2023) hay evidencias estadísticas de que el carbono almacenado están influenciados por factores como el tipo de cobertura, la actividad biológica y las condiciones del suelo. El intervalo estimado del COS fue de [89,26 – 115,56] tC/ha, y en términos de CO₂, la media fue de 375,50 tCO₂/ha, con un intervalo estimado de [327,28 – 423,72] tCO₂/ha (**Tabla 3 y Figura 14**), los resultados son inferiores a lo determinado por Alvis - Ccoropuna et al.

(2021) donde encontró 801,09 tCO₂/ha ya que dicho medio presentó abundante materia orgánica en descomposición o turba, además la variabilidad del presente estudio fue poco elevada por la diferenciada distribución de la vegetación entre puntos de muestreo en especies y cantidad de individuos, esto se refleja en el estudio de Muñiz et al. (2011), donde para un humedal con mayor componente herbáceo el CO₂ fue 7,63 t/ha.

Tabla 3. Carbono y CO₂ almacenado en los componentes de la zona litoral de la Laguna de los Milagros.

| Componente | Media (tC/ha) | | Media (tC) | | CV (%) |
|----------------|---------------|-----------------|------------|-----------------|--------|
| | Carbono | CO ₂ | Carbono | CO ₂ | |
| Herbáceo | 3,06 | 11,23 | 13,78 | 50,54 | 82,080 |
| Hojarasca | 8,73 | 32,00 | 39,28 | 144,01 | 73,654 |
| Raíz | 4,80 | 17,62 | 21,62 | 79,28 | 81,167 |
| COS | 102,41 | 375,50 | 460,83 | 1689,73 | 28,712 |
| Sobre el suelo | 11,79 | 43,23 | 53,06 | 194,55 | 75,029 |
| Bajo el suelo | 107,21 | 393,11 | 482,45 | 1769,01 | 26,037 |

CO₂: dióxido de carbono; CV: Coeficiente de variación.

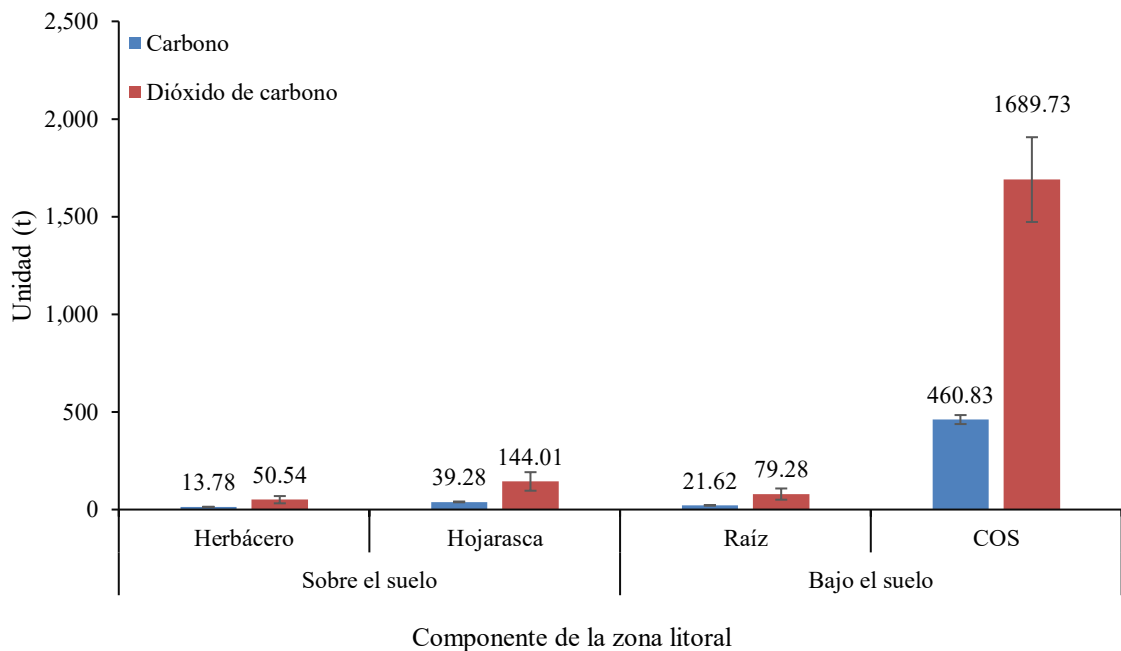


Figura 14. Contenido de carbono y CO₂ almacenado en distintos componentes de la zona litoral de la laguna de Los Milagros.

Los resultados revelan una clara disminución del contenido de carbono en raíces con el aumento de la profundidad, siendo la mayor concentración registrada en los primeros 20 cm del suelo, lo que concuerda con el comportamiento típico de sistemas vegetales herbáceos y arbustivos presentes en zonas húmedas, ya que para Muñoz et al. (2011) y Ore (2020) la mayor cantidad de carbono en los suelos se encuentran entre los 0 a 40 cm del suelo en donde hay mayor presencia de las raíces de las plantas como lo observado en un medio de selvas inundables. Sin embargo, los altos coeficientes de variación en todos los estratos, especialmente en la capa más profunda, reflejan una alta heterogeneidad espacial en la distribución de las raíces en el perfil del suelo (**Figura 15**). Esta variabilidad pudiera estar influida por factores edáficos, hidrológicos o antrópicos, como el tipo de vegetación litoral, el grado de intervención humana o las condiciones de inundación estacional de la laguna. Este comportamiento de la variabilidad de los datos lo reportan Flores-Aroni et al. (2025), al reportar correlaciones estadísticamente significativas respecto al valor de la temperatura del aire ($r = 0,51$) por efecto del cambio climático, temperatura del suelo ($r = 0,49$) a consecuencia de la pérdida de la capa protectora o vegetación, humedad del suelo ($r = 0,39$) a efectos de que los rayos del sol llegan de manera directa a la superficie del suelo, conductividad eléctrica ($r = 0,54$) por la acumulación de sales de distintas actividades sobre el humedal o de los alrededores y también el nivel del pH que presenta el suelo ($r = 0,36$).

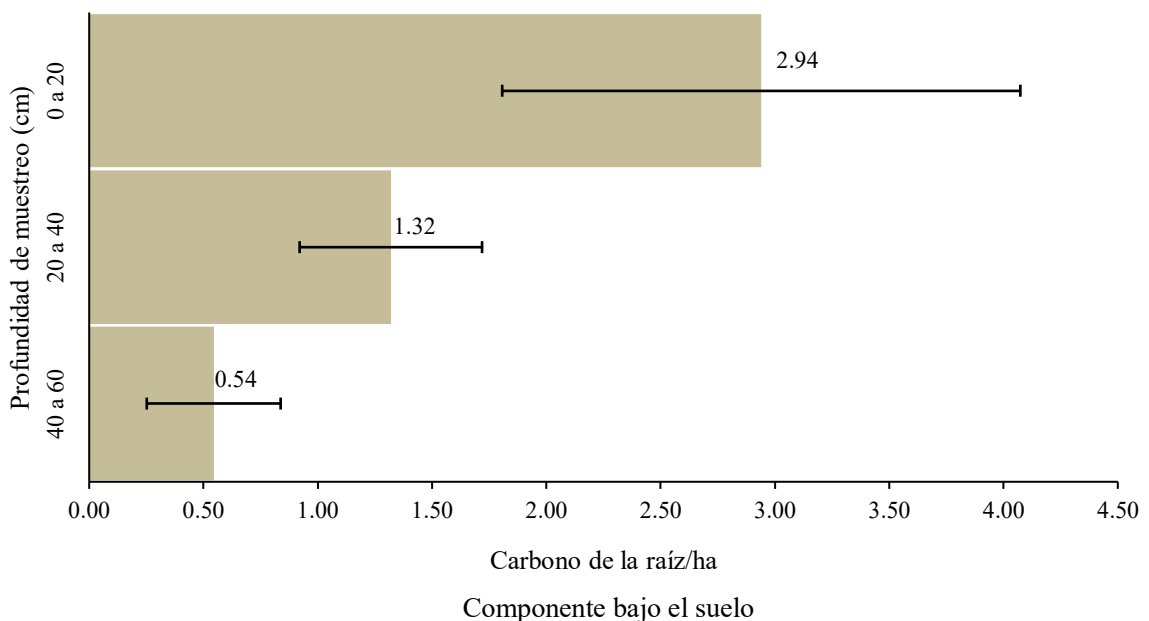


Figura 15. Distribución del contenido de carbono en las raíces de la zona litoral de la Laguna de los Milagros.

Respecto al carbono orgánico del suelo, reflejan una tendencia decreciente en el contenido de carbono con la profundidad del suelo, siendo la capa superficial (0–20 cm) la que almacena la mayor cantidad de carbono orgánico, seguida por la capa intermedia (20–40 cm) y finalmente la capa profunda desde 40 a 60 cm (**Figura 16**). Esta distribución es coherente con la acumulación de materia orgánica en los primeros horizontes edáficos debido al mayor aporte de residuos vegetales y a la actividad microbiana (Muñiz et al. 2011), pero al encontrarse actividad humana permanente en la Laguna de los Milagros se ve menor carbono almacenado respecto a ecosistemas como los conformados por *S. californicus* que aparte de aportar material para construcción de las personas suele almacenar carbono, aunque también hay indicios de que un aprovechamiento excesivo perjudica este servicio ambiental.

Asimismo, se observa que la variabilidad en la distribución del carbono aumenta con la profundidad, como lo indican los valores crecientes del coeficiente de variación en los estratos sucesivos (**Figura 16**). Estos resultados son relevantes para entender el papel del suelo litoral en la dinámica del carbono en ecosistemas lacustres tropicales, y resaltan la importancia de conservar estos ambientes por su función como reservorios significativos de carbono, ya que según Coral (2021), la tendencia de que el carbono orgánico del suelo tiende a acumularse en las capas superficiales es debido a la acumulación de materiales orgánicos y la actividad de microorganismos.

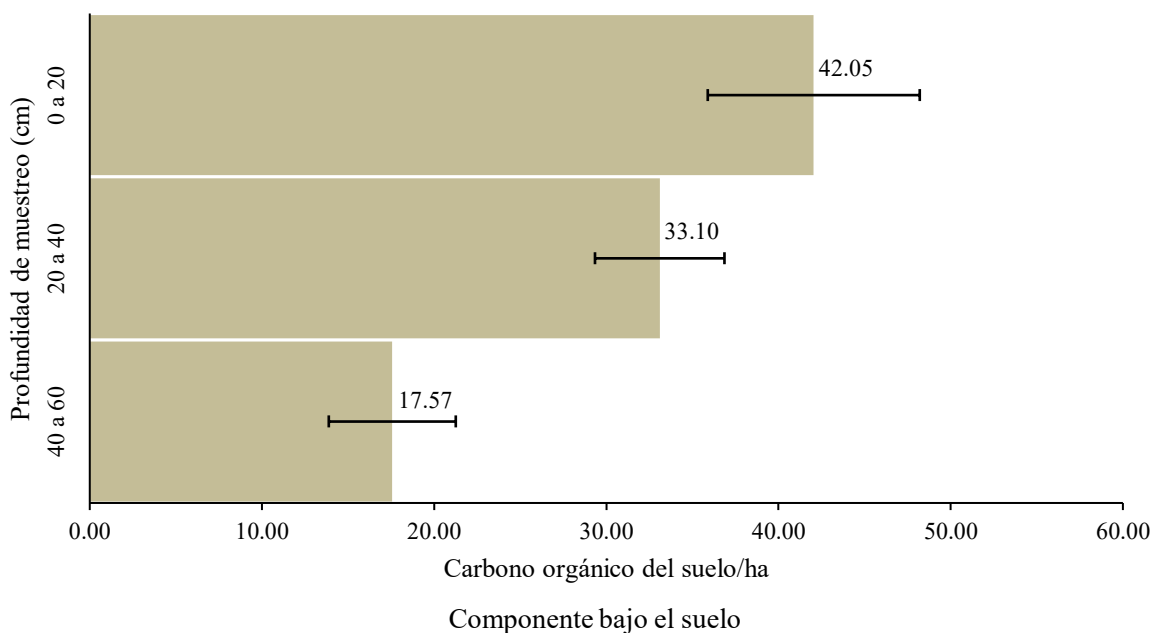


Figura 16. Distribución vertical del contenido de carbono orgánico del suelo en la zona litoral de la Laguna de los Milagros.

Se observa que el carbono bajo el suelo representa la mayor reserva de carbono en la zona litoral (**Figura 17**), superando por amplio margen al carbono sobre el suelo. De hecho, la cantidad promedio de carbono subterráneo fue aproximadamente nueve veces mayor que la del carbono aéreo, lo que evidencia el papel crítico del suelo como sumidero de carbono. Figueroa (2022) destaca la importancia del sustrato edáfico como el principal reservorio del carbono y similar lo reportaron Hernández y Moreno (2018) al estudiar humedales de agua dulce en donde hubo mayor carbono y CO₂ bajo el suelo en comparación al componente aéreo, pero dicha proporción fue superior a 15 veces, con valores entre 10 a 162 tC/ha en la parte aérea y 150 a 650 tC/ha bajo del suelo. Otro de los aspectos que se debe tener en consideración es la vegetación que crecen en los humedales, ya que en el caso de que se tengan especies arbóreas adaptadas en estos humedales habrá mayor carbono almacenado, pero en el caso de tener plantas de menor porte como la Laguna de los Milagros, se tendrá menor carbono almacenado ya que según Morales et al. (2021) en estos medios los procesos de producción y reciclaje de carbono son más dinámicos.

Asimismo, la amplitud de los intervalos de confianza, particularmente para el carbono aéreo, resalta la necesidad de realizar un mayor número de muestreos para reducir la incertidumbre asociada a las estimaciones, especialmente en zonas con vegetación variable, muy similar al reporte de Hernández y Moreno (2018) donde el rango de carbono aéreo fue entre 10 a 162 tC/ha, siendo característica propia de cada humedal existente.

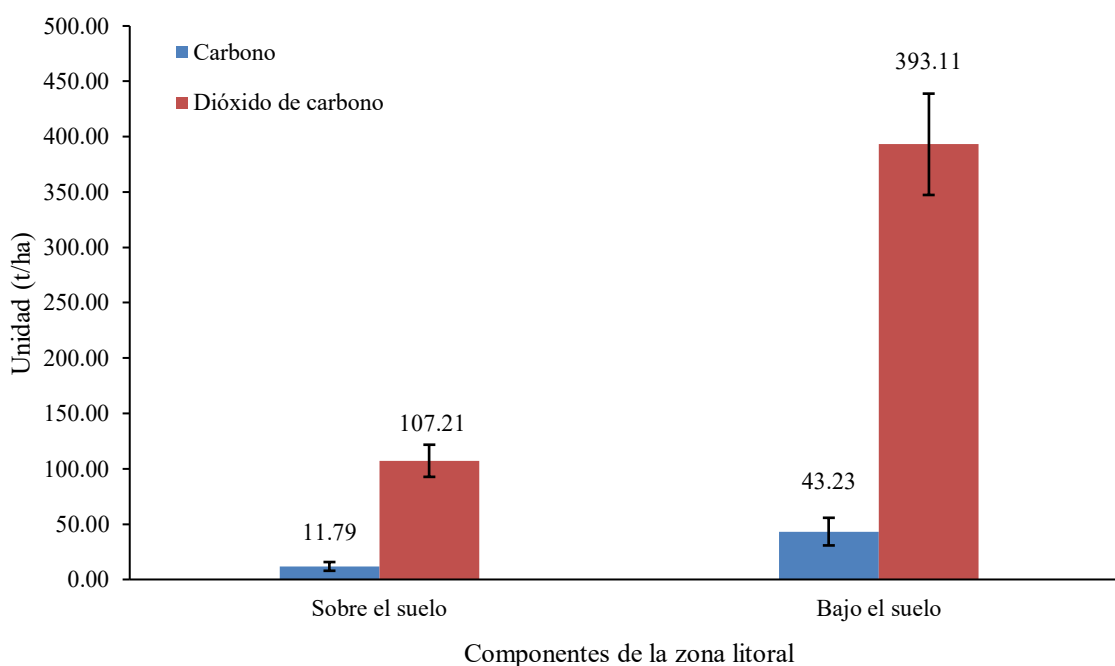


Figura 17. Contenido de carbono y CO₂ almacenado en la zona litoral de la Laguna de los Milagros.

4.3. Carbono y CO₂ almacenado debajo del cuerpo de agua de la Laguna de los Milagros

Al analizar las muestras obtenidas debajo del cuerpo de agua de la Laguna de los Milagros, en el estrato **0 a 20 cm**, el contenido de carbono mostró un valor medio de 25,56 tC/ha, con un rango que varió desde 8,58 hasta 44,03 tC/ha. El error estándar fue de 6,74 tC/ha, mientras que la desviación estándar alcanzó 15,06 tC/ha, lo que resultó en un coeficiente de variación de 58,94%, indicando una variabilidad moderadamente alta entre las unidades muestreadas. El intervalo estimado utilizando la media \pm EE fue de [18,82 – 32,30] tC/ha. En cuanto al CO₂, el valor medio fue de 93,71 tCO₂/ha, con un mínimo de 31,47 tCO₂/ha y un máximo de 161,46 tCO₂/ha. El error estándar fue de 24,70 tCO₂/ha, con una desviación estándar de 55,23 tCO₂/ha, repitiendo el mismo CV de 58,94%, y un intervalo estimado de [69,01 – 118,41] tCO₂/ha (**Tabla 4**), este carbono almacenado se encuentra comprometido en perderse ya sea, a consecuencia del cambio climático que hace disminuir el área del cuerpo de agua en el humedal o por la intervención humana debido a la actividad turística que se viene realizando, ya que para Hernández y Moreno (2018) en humedales de agua dulce el flujo de CO₂ suele ser entre 0,009 a 11,00 g C/m²/día.

En la capa **20 a 40 cm**, el carbono presentó una media de 19,12 tC/ha, dentro de un rango de 3,31 a 38,31 tC/ha. Se observó un error estándar de 6,51 tC/ha y una desviación estándar de 14,56 tC/ha, con un coeficiente de variación más elevado que el estrato superior (76,11%), evidenciando una mayor dispersión de los valores en este horizonte. El intervalo estimado fue de [12,61 – 25,63] tC/ha. El CO₂, derivado de esta fracción de carbono, presentó una media de 70,12 tCO₂/ha, con valores entre 12,15 y 140,46 tCO₂/ha, un error estándar de 23,87 tCO₂/ha y una desviación estándar de 53,37 t/ha, con el mismo CV (76,11%). El intervalo estimado fue de [46,25 – 93,99] tCO₂/ha (**Tabla 4**).

En el estrato más profundo, **40 a 60 cm**, se registró una media de 13,83 tC/ha de carbono, con valores mínimos y máximos de 2,75 y 28,28 tC/ha, respectivamente. El error estándar fue de 4,39 tC/ha, la desviación estándar de 9,82 tC/ha, y el coeficiente de variación alcanzó 71,01%, lo que refleja una alta heterogeneidad en la distribución del carbono en esta capa. El intervalo estimado fue de [9,44 – 18,22] tC/ha. En cuanto al CO₂, la media fue de 50,72 tCO₂/ha, con un mínimo de 10,07 tCO₂/ha y un máximo de 103,71 tCO₂/ha. El EE fue de 16,11 tCO₂/ha, la DE de 36,02 tCO₂/ha, y el CV también fue de 71,01%, con un intervalo estimado de [34,61 – 66,83] tCO₂/ha (**Tabla 4**).

Tabla 4. Carbono y CO₂ almacenado debajo del cuerpo de agua de la Laguna de Los Milagros.

| Componente | Variable | N | Mínimo | Máximo | Media | EE | DE | CV (%) |
|-------------|---------------------------|---|--------|---------|----------|--------|--------|--------|
| COS 0 a 20 | Carbono (t/ha) | 5 | 8,58 | 44,03 | 25,56 | 6,74 | 15,06 | 58,94 |
| | CO ₂ (t/ha) | 5 | 31,47 | 161,46 | 93,71 | 24,70 | 55,23 | 58,94 |
| | Total (tC) | 5 | 48,59 | 249,23 | 144,65 | 38,13 | 85,26 | 58,94 |
| | Total (tCO ₂) | 5 | 178,15 | 913,85 | 530,40 | 139,80 | 312,61 | 58,94 |
| COS 20 a 40 | Carbono (t/ha) | 5 | 3,31 | 38,31 | 19,12 | 6,51 | 14,56 | 76,11 |
| | CO ₂ (t/ha) | 5 | 12,15 | 140,46 | 70,12 | 23,87 | 53,37 | 76,11 |
| | Total (tC) | 5 | 18,75 | 216,82 | 108,24 | 36,84 | 82,39 | 76,11 |
| | Total (tCO ₂) | 5 | 68,76 | 795,02 | 396,89 | 135,10 | 302,09 | 76,11 |
| COS 40 a 60 | Carbono (t/ha) | 5 | 2,75 | 28,28 | 13,83 | 4,39 | 9,82 | 71,01 |
| | CO ₂ (t/ha) | 5 | 10,07 | 103,71 | 50,72 | 16,11 | 36,02 | 71,01 |
| | Total (tC) | 5 | 15,55 | 160,08 | 78,30 | 24,86 | 55,60 | 71,01 |
| | Total (tCO ₂) | 5 | 57,01 | 586,97 | 287,09 | 91,17 | 203,86 | 71,01 |
| COS | Carbono (t/ha) | 5 | 20,27 | 122,62 | 66,36 | 17,85 | 39,92 | 60,16 |
| | CO ₂ (t/ha) | 5 | 74,33 | 449,62 | 243,33 | 65,47 | 146,39 | 60,16 |
| | Total (tC) | 5 | 114,74 | 694,05 | 375,62 | 101,06 | 225,97 | 60,16 |
| | Total (tCO ₂) | 5 | 420,73 | 2544,86 | 1 377,27 | 370,55 | 828,58 | 60,16 |

N: número de repeticiones; EE: Error estándar de la media; DE: desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

Al analizar los datos, se obtiene una disminución progresiva del contenido de carbono con la profundidad, siendo más elevado en los primeros 20 cm del perfil y descendiendo progresivamente hacia los 60 cm (**Figura 16**), lo cual es consistente con la acumulación de materia orgánica reciente en las capas superficiales del fondo lacustre. No obstante, los altos valores de coeficiente de variación ($CV > 58\%$ en todos los estratos) indican una marcada heterogeneidad espacial, lo que sugiere que el carbono orgánico en el fondo de la laguna no se distribuye de manera uniforme, probablemente debido a factores como la pendiente del fondo, los aportes alóctonos (originado en otro lugar) de materia orgánica, la dinámica hídrica, las condiciones anóxicas (no hay oxígeno disuelto disponible) y el grado de intervención antrópica ya que Suárez (2016) encontró mayor contenido de carbono en humedales a los que clasificó como los conservados respecto a los intervenidos, ya que las prácticas que ejercen las personas llegan a contribuir en que se libere de manera significativa el CO₂ de estos medios sensibles.

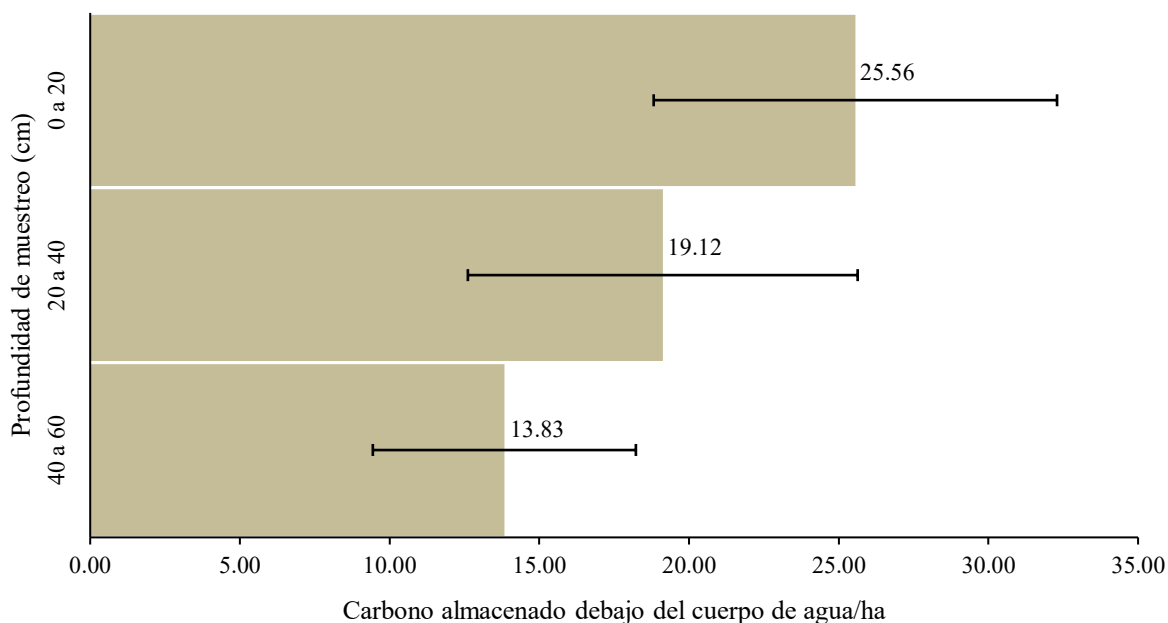


Figura 18. Distribución del carbono almacenado debajo del cuerpo de agua de la Laguna de los Milagros.

4.4. Estimación del carbono y dióxido de carbono almacenado en la Laguna de los Milagros, distrito de Pueblo Nuevo-Tingo María, Perú

La estimación del carbono y dióxido de carbono (CO_2) almacenado en la Laguna de los Milagros (considerando tanto la zona litoral como el cuerpo de agua, con un área total de 10,16 ha) revela una importante capacidad de almacenamiento de estos compuestos en el ecosistema acuático. A partir de cinco repeticiones, se observó que la cantidad de carbono almacenado por hectárea presentó valores que oscilaron entre 136,05 tC/ha y 222,23 tC/ha, con una media de 185,37 tC/ha, un error estándar de 15,19 y una desviación estándar de 33,97. El coeficiente de variación fue de 18,32 %, lo que indica una variabilidad moderada entre las unidades muestreadas (**Tabla 5**), resultado que son similares a lo que reportó Chan y Mandarachi (2021) e inferior a lo encontrado por Morales et al. (2021) donde el mayor promedio fue 371 tC/ha, pudiendo atribuirse a las características propias del humedal Los Milagros, ya que el autor en mención también encontró diferencias en el carbono almacenado entre los ocho humedales evaluados y atribuyó las diferencias al área que abarcaba y al componente aéreo que crecía en dichos medios, siendo mayor cuando hay abundante árboles y menos en humedales con predominancia de las herbáceas, a esto se le sumaría la estación de evaluación que se realizó el presente estudio que fue la época seca donde el cuerpo de agua fue menor y muchas plantas herbáceas emergentes o vegetación sumergida dependientes de

abundante humedad perecieron debido a la escasez de agua que fue muy notorio en estos últimos años (Ingaruca, 2024).

En cuanto al dióxido de carbono, se registraron valores mínimos y máximos de 498,84 tCO₂/ha y 814,84 tCO₂/ha, respectivamente, con una media de 679,68 tCO₂/ha. El error estándar fue de 55,70, mientras que la desviación estándar alcanzó los 124,55, resultando en un CV de 18,33 %, similar al del carbono, lo cual sugiere una dispersión controlada en los datos (**Tabla 5**), comportamiento de la variabilidad atribuida al medio donde se viene desarrollando el turismo y en cierta medida limita el almacenamiento de carbono ya que la población se encuentra muy cercana de los bordes del humedal y en otros puntos de muestreo no se registró mucha alteración, esto fue también corroborado por Suárez (2016), al aclarar que los humedales al que clasificó como conservados llegaron a contener mayor contenido de CO₂ almacenado en el país ecuatoriano.

Al considerar el total del área de la laguna, la media de carbono almacenado fue de 911,13 toneladas (tC), con un mínimo de 656,97 tC y un máximo de 1142,26 tC, mientras que el dióxido de carbono total ascendió en promedio a 3340,84 toneladas (tCO₂), con valores extremos entre 2408,93 tCO₂ y 4188,32 tCO₂. Los errores estándar fueron 85,14 para el carbono y 312,16 para el CO₂, y las desviaciones estándar correspondientes fueron 190,37 y 698,01, respectivamente. En ambos casos, el CV fue de 20,89 %, lo cual también refleja una variabilidad aceptable en el conjunto de datos (**Tabla 5**). Este valor es relativo ya que hay un comportamiento directo con las épocas de muestreo la cual es muy marcada en la zona en estudio, reporte ya determinado por Flores-Aroni et al. (2025), encontrando variaciones significativas entre el carbono y el CO₂ determinadas para las raíces de las plantas en el humedal de la Bahía Interior de Puno, en el caso de los demás componentes no se registró diferencias significativas debido a la elevada variabilidad de los datos.

Tabla 5. Carbono y CO₂ almacenado en la Laguna de los Milagros.

| Componente | Variable | N | Mínimo | Máximo | Media | EE | DE | CV (%) |
|--------------|--------------------------------|---|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| | Carbono (t/ha) | 5 | 136,05 | 222,23 | 185,37 | 15,19 | 33,97 | 18,32 |
| Laguna de | CO ₂ (t/ha) | 5 | 498,84 | 814,84 | 679,68 | 55,70 | 124,55 | 18,33 |
| los Milagros | Área total (tC) | 5 | 656,97 | 1142,26 | 911,13 | 85,14 | 190,37 | 20,89 |
| | Área total (tCO ₂) | 5 | 2408,93 | 4188,32 | 3340,84 | 312,16 | 698,01 | 20,89 |

N: número de repeticiones; EE: Error estándar de la media; DE: desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

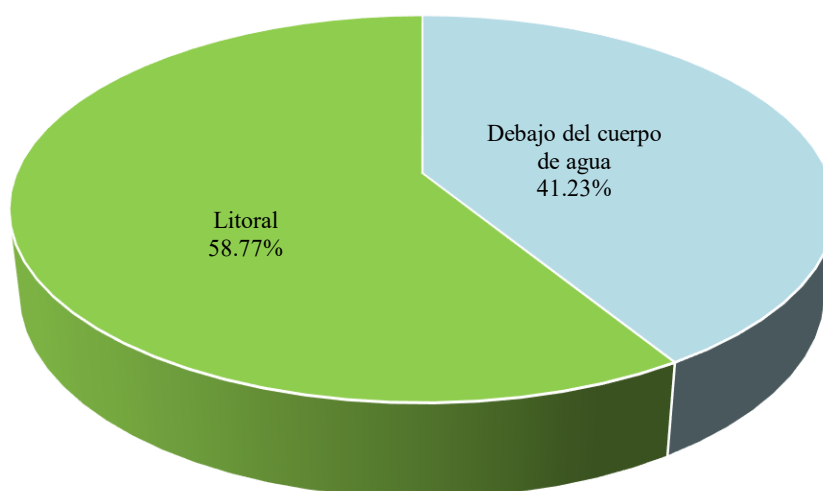


Figura 19. Distribución del carbono almacenado en la Laguna de los Milagros.

Los resultados del estudio indican que la laguna de Los Milagros almacena cantidades significativas de carbono y dióxido de carbono, tanto en su zona litoral como bajo el cuerpo de agua. En caso de una **sequía**, la disminución del área del cuerpo de agua expondría sedimentos actualmente sumergidos, facilitando su oxidación y liberación de carbono en forma de CO₂, lo que reduciría la capacidad de almacenamiento y podría transformar a la laguna de sumidero en fuente de carbono. Por el contrario, **si ocurren lluvias** intensas que incrementen el volumen y extensión del cuerpo de agua, puede favorecer la acumulación de materia orgánica por arrastre desde zonas adyacentes y, eventualmente, aumentar el almacenamiento de carbono en los sedimentos, especialmente si se generan condiciones anóxicas. Así, el balance de carbono en la laguna está estrechamente ligado a las fluctuaciones hidrológicas, ya que para Ñique et al. (2009), este tipo de ecosistemas presentan mucha fragilidad que se asocian a causas naturales como la cantidad de lluvias, así como el cambio de clima y otro aspecto muy importante que es las actividades de las personas aledañas al humedal o sobre el humedal, ocasionando la pérdida de manera acelerada las áreas que abarcan el humedal como lo ocurrido el año 2024 (Ingaruca, 2024).

V. CONCLUSIONES

1. La determinación florística permitió registrar un total de 15 especies vegetales distribuidas en 8 familias botánicas, destacando la familia Poaceae con la mayor representatividad (5 especies), seguida por Cyperaceae, Fabaceae y Melastomataceae con 2 especies cada una, y Convolvulaceae, Eriocaulaceae, Malvaceae y Onagraceae con una especie respectivamente. Esta composición refleja una diversidad moderada con predominancia de especies adaptadas a zonas inundables, propias de ecosistemas lacustres.
2. La estimación total de C almacenado en la zona litoral alcanzó las 535,51 t C, lo que se evidencia una alta capacidad de retención en este ecosistema. De este total, 482,45 t C se encuentran bajo el suelo, mientras que 53,06 t C corresponden a componentes sobre el suelo como la biomasa aérea viva y muerta. En términos de dióxido de carbono, se estimó una captura total de 1 963,56 t CO₂, destacando el importante papel del humedal como sumidero natural de gases de efecto invernadero.
3. La cantidad del carbono y dióxido de carbono almacenado debajo del cuerpo de agua reveló un total de 375,62 t C, equivalentes a 1 377,27 toneladas de t CO₂ en un área de 5,66 ha. Esto realza la capacidad del humedal en captura de CO₂ y almacenamiento de C, considerándose como una parte del humedal clave en la mitigación del cambio climático.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Centrarse en el monitoreo temporal del almacenamiento de carbono y dióxido de carbono en la Laguna de los Milagros, mediante evaluaciones estacionales o anuales. Esto permitiría analizar las variaciones del secuestro de carbono a lo largo del tiempo y cómo influyen factores climáticos, hidrológicos o de intervención humana en su dinámica ecológica.
2. Explorar la relación entre la biodiversidad vegetal y la eficiencia del almacenamiento de carbono. Determinar cómo influye la presencia de ciertas especies, especialmente nativas o endémicas, ayudaría a identificar componentes claves del ecosistema que aportan de forma significativa al secuestro de carbono y a la resiliencia ecológica.
3. Realizar estudios comparativos con otros humedales tropicales de la región amazónica o de la selva alta peruana. Esta comparación permite contextualizar los resultados obtenidos en la Laguna de los Milagros, identificar patrones comunes, diferencias funcionales y establecer indicadores regionales de salud ecológica y potencial de almacenamiento de carbono.

VII. REFERENCIAS

- Álvarez, A. (2020). *Clasificación de las investigaciones*. Universidad de Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/10818>.
- Alvis - Ccoropuna, T., Villasante - Benavides, J., Pauca - Tanco, G., Quispe - Turpo, J., y Luque - Fernández, C. (2021). Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(3), 139-148. DOI:<https://doi.org/10.18271/ria.2021.314>
- Alvis, T. (2018). *Almacenamiento de carbono en los humedales altoandinos del centro poblado Chalhuanca, Caylloma–Arequipa, 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa] Repositorio institucional CONCYTEC. <http://hdl.handle.net/20.500.12390/1682>.
- Andrés, C., y Almanza-Merchán, P. (2012). Identificación y clasificación en biotipos de malezas asociadas con el cultivo de la palma de aceite. *Ciencia y Agricultura*, 9(2), 87-96.
- Arellano, E., Meza, F., Miranda, M., y Camaño, A. (2013). El cuidado de los humedales y su rol en el secuestro de carbono. *Agronomía y Forestal*, 47, 22-27. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/f271eabb-9a9f-45f5-b97c-ec85c2ccb1f7/content>
- Atuesta-Ibargüen, D. J. (2019). Composición florística y formas de vida de las macrófitas acuáticas de la serranía de La Lindosa (Guaviare), Guayana colombiana. *Caldasia*, 41(2), 301–312. Doi: <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v41n2.71615>.
- Becerra, A. F. (2021). *Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) suelo-atmósfera en tres coberturas de un paisaje de turberas de la Amazonía Nororiental Colombiana* [Tesis pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional JAVERIANA. <https://apidspace.javeriana.edu.co/server/api/core/bitstreams/aa6c65ed-c427-4907-a34c-b724e623515d/content>
- Bossio, D., Cook, C., Ellis, P., Fargione, J., Sanderman, J., Smith, P., y Griscom, B. (2020). El papel del carbono del suelo en las soluciones climáticas naturales. *Sostenibilidad de la Naturaleza*, 3(5), 391-398. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>
- Bulla, L., Pacheco, J., & Morales, L. G. (1990). Seasonally flooded Neotropical savanna closed by dikes. In: *Managed grasslands: Regional studies* (Brey Meyer, A., ed.), pp. 177-211. Elsevier, Amsterdam.

- CABI. (2016). *Ipomoea aquatica*. In: *Invasive species compendium*. Wallingford, UK: CAB International. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.28781>
- Carballo, D., Matus, M., Betancourt, M., y Ruiz, C. (2005). *Manejo de pasto I*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/2425/7/Manejo%20de%20pasto%20I.pdf>
- Cavieres, L., Valencia, G., y Hernández, C. (2021). Calentamiento global y sus efectos en plantas de alta-montaña en Chile central: una revisión. *Ecosistemas*, 30(1), 2179-2179. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2179>
- Centro Mundial Agroforestal [ICRAF]. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Ministerio de Agricultura.
- Chang, C., y Mandarachi, M. (2021). *Estimación de la captura de Carbono en las especies predominantes del humedal Tragadero-Junín* [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola] Repositorio institucional USIL. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/12056>
- Clemente, E. (2022). Carbono almacenado en la biomasa aérea y su valoración económica en los sistemas agroforestales de la EEA San Bernardo, Madre de Dios-Perú. *Revista Forestal del Perú*, 37(1), 54-68. <https://doi.org/10.21704/rfp.v37i1.1593>
- Coral, E. (2021). *Almacenamiento de carbono orgánico en suelos del humedal Ramsar Laguna de la Cocha* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81882>.
- Corvacho, M. (2020). *Estimación del carbono almacenado en los totorales y gramadales del Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa, Lima, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur] Repositorio institucional Científica. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1203>.
- Csurhes, S., Mackey, A. P., & Fitzsimmons, L. (1999). *Hymenachne (Hymenachne amplexicaulis) in Queensland, Pest status review series*, Land Protection Department of Natural Resources, Brisbane.
- Cuellar J., Salazar E., y Dietz J. (2015). Patrón de cambios del carbono almacenado en el ecosistema debido al cambio de uso del bosque tropical en la Cuenca de Aguaytía, Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA. <https://keneamazon.net/Documents/Taller/5/CARBONO-ALMACENADO-PERU.pdf>
- Cumana, L. (2010). Clave para especies de Ludwigia L. (Onagraceae) de la región Nor-oriental e insular de Venezuela depositadas en el Herbario IRBR. *Acta Bot. Venez.*, 33(2), 299-327. <https://www.redalyc.org/pdf/862/86219465008.pdf>

- Dávila, V. (2022). *Almacenamiento de carbono en el suelo de las unidades fisiográficas del fundo CIPTALD–Tulumayo, Tingo María-Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2339>.
- Díaz, G. (2022). *Estudio comparativo de almacenamiento de carbono en dos sistemas agroforestales de Coffea arabica L., distrito de Yorongos* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Samentiae]. Repositorio institucional UCSS. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/1609>.
- Estrada, Y. (2023). *Carbono orgánico del suelo en cinco sistemas de uso en el centro de investigación y producción tulumayo anexo la Divisoria (CIPTALD), Pueblo Nuevo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2411>.
- Figuroa, A. (2022). *Valoración económica de las reservas de carbono del humedal pampa shonquil, distrito y provincia de Carhuaz-Áncash, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio institucional UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5316>.
- FLEPPC. (2019). List of invasive plant species. Florida Exotic Pest Plant Council.
- Flores-Aroni, M., Ccama Ramos, C., y Henrique Cattanio, J. (2025). Dinámica del flujo de dióxido de carbono del suelo en el humedal de la Bahía Interior de Puno. *Revista De Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 27, e27679. <https://doi.org/10.18271/ria.2025.679>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2017). *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto*. FAO.
- Forero-Montaña, J., Betancur, J., & Cavelier, J. (2003). Dieta del capibara *Hydrochaeris hydrochaeris* (Rodentia: Hydrochaeridae) en Caño Limón, Arauca, Colombia. *Revista Biol. Trop.*, 51, 571-578.
- Freitas, L., Otárola, E., Del Castillo Torres, D., Linares, C., Martínez, P., y Malca, A. (2006). *Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto-Perú*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. <https://repositorio.iiap.gob.pe/items/d5199a38-87ca-419e-a3d2-7d812ba243bc>
- Galicia, L., Saynes, V., y Campo, J. (2015). Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences*, 93(3), 473-484. <https://doi.org/10.17129/botsci.66>

- Gamarra, O., Montoya, H., Ñique, M., Eneque, A., y Chuquilín, E. (2012). Composición florística, descripción fisonómico–estructural y distribución geográfica de macrofitas del humedal laguna Los Milagros, Huánuco–Perú. *RevIA*, 2(1-2), 12-19. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/92>
- Gardner, C., y Davidson, N. (2011). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. La convención Ramsar.
- Garrido, A. (2016). *Carbono almacenado de acuerdo con el tipo de cobertura y la gradiente altitudinal en la provincia de Leoncio Prado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1712>.
- Gordon, E., y Feo, Y. (2007). Dinámica de crecimiento de *Hymenachne amplexicaulis* en un humedal herbáceo en el Estado Miranda (Venezuela). *Acta Botánica Venezuelica*, 30(1), 1-18. <https://www.redalyc.org/pdf/862/86230101.pdf>
- Gordon, E., y Velasquez, J. (1989). Variaciones estacionales de la biomasa de *Eleocharis interstincta* (Valh) R & S. Cyperaceae en la laguna el Burro (Guarico, Venezuela). *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 22(3), 201-212. https://www.researchgate.net/publication/32981771_Variaciones_estacionales_de_la_biomasa_de_Eleocharis_interstincta_Valh_R_S_Cyperaceae_en_la_laguna_el_Burro_Guarico_Venezuela
- Haoyang, C. (2018). Algae-Based Carbon Sequestration. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 120(1), 012011. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>
- Harenda, K. M., Lamentowicz, M., Samson, M., & Chojnicki, B. H. (2018). The role of peatlands and their carbon storage function in the context of climate change. En T. Zielinski, I. Sagan, & W. Surosz (Eds.), *Interdisciplinary approaches for sustainable development goals* (pp. 169-187). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71788-3_12
- He, M., Sun, Y., y Han, B. (2022). Ciencia del carbono verde: procesamiento, utilización y reciclaje eficientes de los recursos de carbono hacia la neutralidad del carbono. *Angewandte Chemie*, 134 (15). <https://doi.org/10.1002/anie.202112835>
- Hernández, E., y Moreno, P. (2018). Almacenes y flujos de carbono en humedales de agua dulce en México. *Madera y Bosques*, 24(SPE). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401881>
- Herrera, Y., y Peterson, P. (2020). *Poaceae*. Smithsonian Institution. <https://repository.si.edu/server/api/core/bitstreams/9f4bf9a6-549f-4f26-b231-168ec15a70e7/content>

- Hill, K. (1996). *Hymenachne amplexicaulis: A review of the literature and summary of work in Florida*. <http://naples.net/~kuh/hymen.htm>
- Hinojosa, F., y Choque, D. (2017). Estimación de biomasa subterránea y carbono en los sistemas de producción; orgánica y monocultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la zona de Alto Beni, Bolivia: Fanny Eulalia Suño Hinojosa, David Cruz Choque. *Apthapi*, 3(3), 718-732. <https://doi.org/10.53287/mjgd7464px14c>
- Holdridge, R. L. (2000). *Ecología basada en zonas de vida*. Quinta reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>.
- Hurtado, A., Alulema Del Salto, A., y Palacios Cabrera, A. (2023). Captura de carbono orgánico en zonas con distinto nivel de intervención en páramos de Sayaro. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 16(2), 79-92. <https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4323>
- Ingaruca, E. (2024). *Cambio climático y deforestación afectan a laguna Los Milagros*. Inforegión. <https://inforegion.pe/cambio-climatico-y-deforestacion-afectan-a-laguna-los-milagros/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Kahn, F., León, B., y Young, K. (1993). *Las plantas vasculares en las aguas continentales del Perú*. Instituto Francés de Estudios Andinos (IFEA). https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-06/39107.pdf
- Langeland, K.A., & Craddock, K. (eds.). (2005). *Identification and biology of non native plants in Florida's natural areas*. Florida exotic pest plant council. http://www.fleppc.org/id_book/Hymenachne
- Lehtonen, P. (1993). *Pest Risk Assessment on Chinese water spinach*. USDA APHIS. https://www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/weeds/downloads/wra/Ipomoea_aquatica.pdf
- Manzo, B. (2022). *Captación del dióxido de carbono en la palma aceitera (*Elaeis guineensis Jacq*) y su incidencia al medio ambiente [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]* Repositorio institucional UTB. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13097>.
- Medina, E., & Motta, N. (1990). Metabolism and distribution of grasses in tropical flooded savannas in Venezuela. *J. Trop. Ecol.*, 6, 77-89.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). *Cuantificación y análisis de la deforestación en la Amazonia Peruana en el periodo 2010-2014*. MINAM.

- Morales, M., Herrera, A., y Orellana, R. (2021). Almacenes de carbono en un paisaje de humedal cárstico a lo largo de un corredor transversal costero de la Península de Yucatán. *Madera y Bosques*, 27(4, e2742425), 1-18. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2742425>
- Muñiz, M., Alarcón, M., y Barceló, P. (2011). Secuestro de carbono en suelos húmedales costeros de agua dulce en Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), 365-372. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93920942013.pdf>
- Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X., y Qiu, L. (2019). Research Progress and Perspective on Drought Stress in Legumes: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(10). <https://doi.org/10.3390/ijms20102541>
- Ñique, M., Vivar, L., y Chiquilín, E. (2009). Humedales de la yunga amazónica en los departamentos Huánuco y San Martín, Perú. *Encuentro Científico Internacional*, 6(1), 48-53. <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2009.0010/>
- Ordoñez, W., Posada, S., y Rosero, R. (2023). Emisiones de gases de efecto invernadero por aplicación de excrementos bovinos al suelo. *Información Tecnológica*, 34(1), 101-116. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642023000100101>
- Ore, G. (2020). *Estimación de la captura de CO₂ en el humedal Caucato del área de conservación regional Ica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga] Repositorio institucional: <https://hdl.handle.net/20.500.13028/3216>.
- Pacific Island Ecosystems at Risk [PIER]. (2013). *Ipomoea aquatica*. http://www.hear.org/pier/species/ipomoea_aquatica.htm
- Palomino, D. (2007). *Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos] Repositorio institucional CONCYTEC. <http://hdl.handle.net/20.500.12390/2146>.
- Palomino, D., y Cabrera, C. (2008). Estimación del servicio ambiental de captura del CO₂ en la flora de los humedales de Puerto Viejo. *Investigaciones FIGMMG*, 10(20), 49-59. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v10i20.494>
- Peralta-Peláez, L. A., y Moreno-Casasola, P. (2009). Composición florística y diversidad de la vegetación de humedales en los lagos interdunarios de Veracruz. *Bol. Soc. Bot. Méx.*, 85, 89-101.
- Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A., y Hincapié, B. (2011). Especies forrajeras Multipropósito: Opciones para productores del trópico Americano. Centro Internacional

- de Agricultura Tropical (CIAT). http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Forrajes_Tropicales/pdf/Books/EspeciesForrajeras MultipropositoTropico Americano.pdf
- Pinzón, A. (2022). *Cuantificación del contenido de carbono orgánico edáfico en ecosistemas nativos e intervenidos, en la parroquia Quimiag, cantón Riobamba provincia de Chimborazo* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional ESPC. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16126>.
- Pocomucha, J. (2023). *Caracterización dendrológica de las Melastomataceae, tramo quebrada Pamay – Yungor Playa, concesión para la conservación Inchatoshi Kametsha, UNCP, Satipo, Junín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b0f8509d-4b2b-4113-a41a-48d3a6fadd60/content>
- Puertas, F., Arévalo, E., Zúñiga, L., Alegre, J., Loli, O., Soplin, H., y Baligar, V. (2008). Establecimiento de cultivos de cobertura y extracción total de nutrientes en un suelo de trópico húmedo en la amazonía peruana. *Ecología Aplicada*, 7(1,2), 23-28. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162008000100004&lng=es&tlng=es.
- Rueda, M. (2008). Caracterización de cinco especies hidrófitas enraizadas emergentes, del humedal de Tisma, Masaya 2004. Bio-Nica. <http://www.bio-nica.info/Biblioteca/Rueda2008FloraAcuaticaTisma.pdf>
- Ruiz, A. (2019). *Cuantificación del servicio ambiental de almacenamiento de CO₂ en biomasa aérea de las especies de flora en la Zona de Conservación y Recuperación de Ecosistemas (ZoCRE), Humedal del Alto Mayo, sector Santa Elena-Rioja 2018* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional UNSM. <http://hdl.handle.net/11458/3457>.
- Ramos, A. (2021). *Valoración económica del servicio de secuestro y almacenamiento de carbono del monte ribereño del Santuario Nacional Lagunas de Mejía Arequipa 2019* [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María] Repositorio institucional UCSM.
- Ruiz, V., Rocha, L., y Savé, R. (2021). Respuesta al estrés hídrico y a la defoliación de la leguminosa forrajera *Calopogonium mucunoides* Desv según zona de procedencia. *Revista Científica*, 21(37), 92-99. <https://doi.org/10.5377/calera.v21i37.12754>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar. Guía a la Convención sobre los Humedales* (6°. ed.). Secretaría de la Convención de Ramsar.

- Segama, A. (2020). *Estimación de la captura de carbono del Schoenoplectus californicus (carmeyi) sojak bajo dos niveles en su estructura vegetal en el humedal Pucush Uclo. Chupaca–Junín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6858>.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (2022). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional. Estación Tulumayo*. SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Siddique, K. H. M., Walton, G. H., y Seymour, M. (1993). A Comparison of Seed Yields of Winter Grain Legumes in Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 33(7). <https://doi.org/10.1071/EA9930915>
- Silva, M. P., & Mauro, R. (2002). Utilización de pasturas nativas por mamíferos herbívoros en el pantanal. *Arch. Zootec.*, 51, 161-173.
- Soto, V., y Welsh, M. (2022). El Neolítico, inicio del calentamiento global de nuestros días. *Investigaciones Geográficas*, 109(e60671), 1-5. <https://doi.org/10.14350/ig.60671>
- Suárez, D., Acurio, C., Chimbolema, S., y Aguirre, X. (2016). Análisis del carbono secuestrado en humedales Altoandinos de dos áreas protegidas del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2), 171-177. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.756>
- Supo, F. (2014). *Fundamentos teóricos y procedimentales de la investigación científica en ciencias sociales*.
- Tabares, E., Stefanoni, G., y Martínez, M. (2017). *Estimación y valoración económica del carbono almacenado en la biomasa aérea del Corredor Biológico de la selva El Ocote–Cañón del Sumidero*. Repositorio institucional CentroGEO. <http://centrogeo.repositorio.institucional.mx/jspui/handle/1012/317>.
- Tarrillo, L. (2020). *Evaluación de la cantidad de carbono capturado por el aguajal (Mauritia flexuosa L.) en el sector de Tangumi, Calzada-Moyobamba-San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sede Sapientiae] Repositorio institucional UCSS. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/824>.
- Tovar-Serpa, O. (2009). Notas sobre las especies de los pastizales entre Iquitos y Nauta, Loreto, Perú. *Rev. Peru. Biol.*, 16(1), 131-140. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v16n1/a20v16n1.pdf>
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden (2020). Trópicos. <http://www.tropicos.org/Name/12802524?tab=specimens>

- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. (2019). *Manual de plantas de Costa Rica*. Tropicos.org. <http://www.tropicos.org/Name/25513198?projectid=66>
- University of Florida. (2007). *Hymenachne amplexicaulis, an invasive semi-aquatic grass from South America*. <http://kgioeli.ifas.ufl.edu/hymenachne.pdf>
- USDA, NRCS. (2024). *The PLANTS Database*. National Plant Data Team, Greensboro, North Carolina. <http://plants.usda.gov>.
- Valois, H. (2016). *Sucesión primaria y ecología de la revegetación de selvas degradadas por minería en el Chocó, Colombia: bases para su restauración ecológica* [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid]. Repositorio institucional UVA. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/19089/Tesis1124-160921.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Velásquez, V. (2022). *Valoración de servicios ecosistémicos de la captación de carbono orgánico y capacidad de retención de agua del suelo, en zonas intervenidas y no intervenidas del páramo de Pesillo en el cantón Cayambe* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23452>.
- Vibrans, H. (2010). *Malezas de México. Paspalum conjugatum P.J. Bergius*. Conabio. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/paspalum-conjugatum/fichas/ficha.htm>
- Weakley, A.S. & Southeastern Flora Team. (2024). *Flora of the Southeastern United States*. Univ. of North Carolina Herbarium, North Carolina Botanical Garden, Chapel Hill.
- Yanos, M. (2022). Hierba Carabao (*Paspalum conjugatum*) rendimiento de crecimiento bajo varios regímenes de humedad del suelo. *Revista de Naturaleza e Investigación Aplicada*, 2(1), 1-7. https://www.researchgate.net/publication/360588987_Carabao_grass_Paspalum_conjugatum_growth_performance_under_various_soil_moisture_regimes
- Zamora, A. (2019). *Servicios ecosistémicos en los humedales costeros del Perú* [Trabajo de investigación, Universidad Científica del Sur]. Repositorio institucional CIENTÍFICA. <https://doi.org/10.21142/tb.2020.1374>.
- Zamora, B., Mendoza, M., Sangerman, D., Quevedo, A., y Navarro, A. (2019). La investigación científica en México: secuestro de carbono orgánico en suelos agrícolas y de agostadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 155-164. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1733>

Zavaro, C., G. Pabón, G., y Pérez, J. (1995). Morfología y ecología de algunas *Eleocharis* R. Brown (Cyperaceae) cubanas. *Fontqueria*, 42, 273-278. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/111155/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo A. Base de datos

Tabla 6. Número de Familias de las especies vegetales identificadas en la zona litoral del humedal.

| Nº | Familia | Individuos |
|--------------|-----------------|------------|
| 1 | Convolvulaceae | 1 |
| 2 | Cyperaceae | 2 |
| 3 | Eriocaulaceae | 1 |
| 4 | Fabaceae | 2 |
| 5 | Malvaceae | 1 |
| 6 | Melastomataceae | 2 |
| 7 | Onagraceae | 1 |
| 8 | Poaceae | 5 |
| Total | 8 | 15 |

Tabla 7. Carbono y CO₂ estimado por hectárea.

| Componente | Parte | UE | Carbono (t/ha) | CO ₂ (t/ha) |
|------------|---------|----|----------------|------------------------|
| Herbáceo | Litoral | A | 5,66 | 20,74 |
| Herbáceo | Litoral | B | 1,71 | 6,26 |
| Herbáceo | Litoral | C | 1,02 | 3,75 |
| Herbáceo | Litoral | D | 5,94 | 21,78 |
| Herbáceo | Litoral | E | 0,99 | 3,63 |
| Hojarasca | Litoral | A | 17,85 | 65,45 |
| Hojarasca | Litoral | B | 4,10 | 15,03 |
| Hojarasca | Litoral | C | 4,73 | 17,33 |
| Hojarasca | Litoral | D | 13,20 | 48,40 |
| Hojarasca | Litoral | E | 3,76 | 13,79 |
| Raíz | Litoral | A | 9,80 | 35,95 |
| Raíz | Litoral | b | 7,99 | 29,30 |
| Raíz | Litoral | C | 3,57 | 13,09 |
| Raíz | Litoral | D | 1,21 | 4,43 |
| Raíz | Litoral | E | 1,45 | 5,32 |
| COS | Litoral | A | 94,55 | 346,68 |

| Componente | Parte | UE | Carbono (t/ha) | CO₂ (t/ha) |
|-------------------|----------------|-----------|-----------------------|------------------------------|
| COS | Litoral | B | 85,81 | 314,63 |
| COS | Litoral | C | 88,14 | 323,17 |
| COS | Litoral | D | 88,85 | 325,80 |
| COS | Litoral | E | 154,69 | 567,20 |
| COSCA | Cuerpo de agua | A1 | 84,11 | 308,42 |
| COSCA | Cuerpo de agua | B2 | 122,62 | 449,62 |
| COSCA | Cuerpo de agua | C3 | 38,59 | 141,50 |
| COSCA | Cuerpo de agua | D4 | 66,22 | 242,80 |
| COSCA | Cuerpo de agua | E5 | 20,27 | 74,33 |

Tabla 8. Carbono y CO₂ estimado para toda la Laguna de los Milagros.

| Componente | Zona | UE | Total (tC) | Total (tCO₂) |
|-------------------|-------------|-----------|-------------------|--------------------------------|
| Herbáceo | Litoral | A | 25,45 | 93,31 |
| Herbáceo | Litoral | B | 7,68 | 28,15 |
| Herbáceo | Litoral | C | 4,61 | 16,89 |
| Herbáceo | Litoral | D | 26,73 | 98,01 |
| Herbáceo | Litoral | E | 4,46 | 16,36 |
| Hojarasca | Litoral | A | 80,33 | 294,53 |
| Hojarasca | Litoral | B | 18,45 | 67,65 |
| Hojarasca | Litoral | C | 21,27 | 78,00 |
| Hojarasca | Litoral | D | 59,40 | 217,80 |
| Hojarasca | Litoral | E | 16,93 | 62,07 |
| Raíz | Litoral | A | 44,12 | 161,76 |
| Raíz | Litoral | b | 35,96 | 131,84 |
| Raíz | Litoral | C | 16,07 | 58,91 |
| Raíz | Litoral | D | 5,44 | 19,94 |
| Raíz | Litoral | E | 6,53 | 23,95 |
| COS | Litoral | A | 425,47 | 1560,06 |
| COS | Litoral | B | 386,13 | 1415,82 |
| COS | Litoral | C | 396,61 | 1454,24 |
| COS | Litoral | D | 399,85 | 1466,11 |
| COS | Litoral | E | 696,11 | 2552,42 |

| Componente | Zona | UE | Total (tC) | Total (tCO ₂) |
|------------|----------------|----|------------|---------------------------|
| COSCA | Cuerpo de agua | A1 | 476,08 | 1745,65 |
| COSCA | Cuerpo de agua | B2 | 694,05 | 2544,86 |
| COSCA | Cuerpo de agua | C3 | 218,42 | 800,88 |
| COSCA | Cuerpo de agua | D4 | 374,79 | 1374,23 |
| COSCA | Cuerpo de agua | E5 | 114,74 | 420,73 |

COSCA: Carbono orgánico debajo del cuerpo de agua

Tabla 9. Distribución por profundidad del carbono y CO₂ estimado de la raíz y el COS en el litoral de la Laguna de los Milagros.

| Componente | UE | Profundidad | Carbono (t/ha) | CO ₂ (t/ha) | Total (tC) | Total (tCO ₂) |
|------------|----|-------------|----------------|------------------------|------------|---------------------------|
| Raíz | A | 0 a 20 | 5,70 | 20,91 | 25,66 | 94,10 |
| Raíz | A | 20 a 40 | 2,43 | 8,92 | 10,95 | 40,16 |
| Raíz | A | 40 a 60 | 1,67 | 6,11 | 7,50 | 27,50 |
| Raíz | B | 0 a 20 | 5,66 | 20,76 | 25,47 | 93,40 |
| Raíz | B | 20 a 40 | 1,75 | 6,42 | 7,88 | 28,88 |
| Raíz | B | 40 a 60 | 0,58 | 2,12 | 2,60 | 9,55 |
| Raíz | C | 0 a 20 | 1,76 | 6,46 | 7,93 | 29,09 |
| Raíz | C | 20 a 40 | 1,61 | 5,89 | 7,22 | 26,48 |
| Raíz | C | 40 a 60 | 0,20 | 0,74 | 0,91 | 3,34 |
| Raíz | D | 0 a 20 | 0,75 | 2,76 | 3,39 | 12,43 |
| Raíz | D | 20 a 40 | 0,38 | 1,38 | 1,70 | 6,23 |
| Raíz | D | 40 a 60 | 0,08 | 0,29 | 0,35 | 1,28 |
| Raíz | E | 0 a 20 | 0,82 | 3,01 | 3,70 | 13,56 |
| Raíz | E | 20 a 40 | 0,43 | 1,58 | 1,94 | 7,12 |
| Raíz | E | 40 a 60 | 0,20 | 0,73 | 0,89 | 3,26 |
| COS | A | 0 a 20 | 52,20 | 191,40 | 234,90 | 861,31 |
| COS | A | 20 a 40 | 30,80 | 112,93 | 138,59 | 508,17 |
| COS | A | 40 a 60 | 14,78 | 54,19 | 66,51 | 243,86 |
| COS | B | 0 a 20 | 23,45 | 85,99 | 105,53 | 386,96 |
| COS | B | 20 a 40 | 24,76 | 90,78 | 111,42 | 408,53 |
| COS | B | 40 a 60 | 13,05 | 47,84 | 58,71 | 215,29 |
| COS | C | 0 a 20 | 32,96 | 120,85 | 148,32 | 543,83 |
| COS | C | 20 a 40 | 35,91 | 131,68 | 161,61 | 592,58 |

| Componente | UE | Profundidad | Carbono (t/ha) | CO ₂ (t/ha) | Total (tC) | Total (tCO ₂) |
|------------|----|-------------|----------------|------------------------|------------|---------------------------|
| COS | C | 40 a 60 | 13,78 | 50,53 | 62,02 | 227,40 |
| COS | D | 0 a 20 | 44,79 | 164,21 | 201,53 | 738,96 |
| COS | D | 20 a 40 | 27,82 | 102,02 | 125,21 | 459,10 |
| COS | D | 40 a 60 | 13,96 | 51,19 | 62,82 | 230,35 |
| COS | E | 0 a 20 | 56,84 | 208,42 | 255,78 | 937,87 |
| COS | E | 20 a 40 | 46,21 | 169,45 | 207,96 | 762,54 |
| COS | E | 40 a 60 | 32,28 | 118,35 | 145,24 | 532,56 |

Área: 4,50 ha

Tabla10. Distribución por profundidad del carbono y CO₂ estimado del COS debajo del cuerpo de agua en la Laguna de los Milagros.

| Componente | UE | Profundidad | Carbono (t/ha) | CO ₂ (t/ha) | Total (tC) | Total (tCO ₂) |
|------------|----|-------------|----------------|------------------------|------------|---------------------------|
| COSCA | A1 | 0 a 20 | 19,00 | 69,67 | 107,54 | 394,33 |
| COSCA | A1 | 20 a 40 | 26,74 | 98,07 | 151,38 | 555,05 |
| COSCA | A1 | 40 a 60 | 16,42 | 60,21 | 92,95 | 340,82 |
| COSCA | B2 | 0 a 20 | 38,63 | 141,64 | 218,63 | 801,67 |
| COSCA | B2 | 20 a 40 | 38,31 | 140,46 | 216,82 | 795,02 |
| COSCA | B2 | 40 a 60 | 28,28 | 103,71 | 160,08 | 586,97 |
| COSCA | C3 | 0 a 20 | 8,58 | 31,47 | 48,59 | 178,15 |
| COSCA | C3 | 20 a 40 | 6,18 | 22,65 | 34,96 | 128,19 |
| COSCA | C3 | 40 a 60 | 14,72 | 53,98 | 83,32 | 305,50 |
| COSCA | D4 | 0 a 20 | 44,03 | 161,46 | 249,23 | 913,85 |
| COSCA | D4 | 20 a 40 | 21,08 | 77,28 | 119,30 | 437,43 |
| COSCA | D4 | 40 a 60 | 6,99 | 25,65 | 39,59 | 145,17 |
| COSCA | E5 | 0 a 20 | 17,54 | 64,31 | 99,27 | 364,00 |
| COSCA | E5 | 20 a 40 | 3,31 | 12,15 | 18,75 | 68,76 |
| COSCA | E5 | 40 a 60 | 2,75 | 10,07 | 15,55 | 57,01 |

COSCA: Carbono orgánico debajo del cuerpo de agua; Área: 5,66 ha

Tabla 11. Carbono y CO₂ almacenado sobre y bajo del suelo de la zona litoral de la Laguna de los Milagros.

| Componente | Variable | N | Mínimo | Máximo | Media | EE | DE | CV (%) |
|----------------|---------------------------|---|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| Herbáceo | Carbono (t/ha) | 5 | 0,99 | 5,94 | 3,06 | 1,12 | 2,51 | 82,08 |
| | CO ₂ (t/ha) | 5 | 3,63 | 21,78 | 11,23 | 4,12 | 9,22 | 82,08 |
| | Total (tC) | 5 | 4,46 | 26,73 | 13,78 | 5,06 | 11,31 | 82,08 |
| | Total (tCO ₂) | 5 | 16,36 | 98,01 | 50,54 | 18,55 | 41,49 | 82,08 |
| Hojarasca | Carbono (t/ha) | 5 | 3,76 | 17,85 | 8,73 | 2,87 | 6,43 | 73,65 |
| | CO ₂ (t/ha) | 5 | 13,79 | 65,45 | 32,00 | 10,54 | 23,57 | 73,65 |
| | Total (tC) | 5 | 16,93 | 80,33 | 39,28 | 12,94 | 28,93 | 73,65 |
| | Total (tCO ₂) | 5 | 62,07 | 294,53 | 144,01 | 47,44 | 106,07 | 73,65 |
| Sobre el suelo | Carbono (t/ha) | 5 | 4,75 | 23,51 | 11,79 | 3,96 | 8,85 | 75,03 |
| | CO ₂ (t/ha) | 5 | 17,43 | 86,19 | 43,23 | 14,51 | 32,44 | 75,03 |
| | Total (tC) | 5 | 21,39 | 105,77 | 53,06 | 17,80 | 39,81 | 75,03 |
| | Total (tCO ₂) | 5 | 78,43 | 387,84 | 194,55 | 65,28 | 145,97 | 75,03 |
| Raíces | Carbono (t/ha) | 5 | 1,21 | 9,80 | 4,80 | 1,74 | 3,90 | 81,17 |
| | CO ₂ (t/ha) | 5 | 4,43 | 35,95 | 17,62 | 6,40 | 14,30 | 81,17 |
| | Total (tC) | 5 | 5,44 | 44,12 | 21,62 | 7,85 | 17,55 | 81,17 |
| | Total (tCO ₂) | 5 | 19,94 | 161,76 | 79,28 | 28,78 | 64,35 | 81,17 |
| COS | Carbono (t/ha) | 5 | 85,81 | 154,69 | 102,41 | 13,15 | 29,40 | 28,71 |
| | CO ₂ (t/ha) | 5 | 314,63 | 567,20 | 375,50 | 48,22 | 107,81 | 28,71 |
| | Total (tC) | 5 | 386,13 | 696,11 | 460,83 | 59,17 | 132,32 | 28,71 |
| | Total (tCO ₂) | 5 | 1415,82 | 2552,42 | 1689,73 | 216,97 | 485,16 | 28,71 |
| Bajo del suelo | Carbono (t/ha) | 5 | 90,06 | 156,14 | 107,21 | 12,48 | 27,91 | 26,04 |
| | CO ₂ (t/ha) | 5 | 330,23 | 572,53 | 393,11 | 45,77 | 102,35 | 26,04 |
| | Total (tC) | 5 | 405,28 | 702,64 | 482,45 | 56,18 | 125,61 | 26,04 |
| | Total (tCO ₂) | 5 | 1486,05 | 2576,37 | 1769,01 | 205,98 | 460,59 | 26,04 |

N: número de repeticiones; EE: Error estándar de la media; DE: desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad de Recursos Naturales Renovables
Departamento Académico de Ciencias Ambientales
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
Cátedra de Ecología y Sistemática Vegetal

C-011-2024-JB-FRNR-UNAS

CERTIFICADO

El que suscribe, profesor de Ecología con línea de investigación en Sistemática Vegetal, de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, certifica que los especímenes botánicos colectados en la zona palustre de la Laguna Los milagros, distrito Pueblo Nuevo, provincia Leoncio Prado, departamento Huánuco, correspondientes al proyecto de tesis “Carbono y dióxido de carbono almacenado en la Laguna Los Milagros, distrito Pueblo Nuevo-Tingo María, Perú”, presentado por el Bach. Yordan Eudomilio ALVINO ROSAS, para su determinación pertenecen a las especies que se indican a continuación:

| Nº | Nombre Científico | Familia | Nombre Común |
|----|---|-----------------|-------------------|
| 1 | <i>Aciotis acuminifolia</i> (Mart. ex DC.) Triana | Melastomataceae | Chapara sachá |
| 2 | <i>Calopogonium mucunoides</i> Desv. | Fabaceae | Kudzu |
| 3 | <i>Eleocharis interstincta</i> (Vahl) Roem. & Schult. | Cyperaceae | Piri piri |
| 4 | <i>Homolepis aturensis</i> (Kunth) Chase | Poaceae | |
| 5 | <i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Nees | Poaceae | Camalote |
| 6 | <i>Ipomoea aquatica</i> Forssk. | Convolvulaceae | Espinaca acuática |
| 7 | <i>Isachne polygonoides</i> (Lam.) Döll | Poaceae | |
| 8 | <i>Ludvigia peruviana</i> (L.) H. Hara | Onagraceae | |
| 9 | <i>Miconia dependens</i> (Pav. ex D. Don) Judd & Majure | Melastomataceae | |
| 10 | <i>Neustanthus phaseoloides</i> (Roxb.) Benth. | Fabaceae | |
| 11 | <i>Paepalanthus fluviatilis</i> (Aubl.) Christenh. & Byng | Eriocaulaceae | |
| 12 | <i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius | Poaceae | Cambute |
| 13 | <i>Paspalum repens</i> P.J. Bergius | Poaceae | Gramalote |
| 14 | <i>Scleria microcarpa</i> Nees ex Kunth | Cyperaceae | Cortadera |
| 15 | <i>Sida cordifolia</i> L. | Malvaceae | |

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Tingo María, 16 de diciembre del 2024




Dr. Edilberto Chuquilín Bustamante
Profesor Principal
Jefe del Jardín Botánico-UNAS
Cátedra de Ecología y Sistemática Vegetal
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
Facultad de Recursos Naturales Renovables
Universidad Nacional Agraria de la Selva

Figura 20. Certificado de las especies vegetativas identificadas en el humedal.



ANÁLISIS DE SUELOS



| | | | |
|--------------|-------------------------------|-------------------|--------------|
| SOLICITANTE: | ALVINO ROSAS YORDAN EUDOMILIO | FECHA DE REPORTE: | 21/10/2024 |
| PROCEDENCIA: | LAGUNA LOS MILAGROS | REFERENCIA: | ZONA LITORAL |

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

| N° | DATOS | | RESULTADOS | | | |
|----|--------------------|-----------------|------------|-------------------------|---------------------|---------------|
| | | | Húmedad | Densidad Aparente | Materia Orgánica | C |
| | CODIGO DEL LAB. | REFERENCIA | H° % | Da g/cm ³ | M.O. % | Orgánico % |
| 1 | S24-1041A-1 | A1 - 0 a 20 cm | 64.24 | 1.20 | 3.75 | 2.175 |
| 2 | S24-1041A-2 | A1 - 20 a 40 cm | 66.90 | 0.90 | 2.95 | 1.711 |
| 3 | S24-1041A-3 | A1 - 40 a 60 cm | 69.08 | 0.93 | 1.37 | 0.795 |
| 4 | S24-1041A-4 | B2 - 0 a 20 cm | 90.92 | 0.23 | 8.79 | 5.099 |
| 5 | S24-1041A-5 | B2 - 20 a 40 cm | 88.00 | 0.32 | 6.67 | 3.869 |
| 6 | S24-1041A-6 | B2 - 40 a 60 cm | 74.76 | 0.76 | 1.48 | 0.858 |
| 7 | S24-1041A-7 | C3 - 0 a 20 cm | 73.75 | 0.77 | 3.69 | 2.140 |
| 8 | S24-1041A-8 | C3 - 20 a 40 cm | 74.43 | 0.86 | 3.60 | 2.088 |
| 9 | S24-1041A-9 | C3 - 40 a 60 cm | 65.76 | 1.09 | 1.09 | 0.632 |
| 10 | S24-1041A- | D4 - 0 a 20 cm | 60.49 | 1.27 | 3.04 | 1.763 |
| 11 | S24-1041A- | D4 - 20 a 40 cm | 62.66 | 1.34 | 1.79 | 1.038 |
| 12 | S24-1041A- | D4 - 40 a 60 cm | 56.01 | 1.45 | 0.83 | 0.481 |
| 13 | S24-1041A- | E5 - 0 a 20 cm | 71.83 | 0.98 | 5.00 | 2.900 |
| 14 | S24-1041A- | E5 - 20 a 40 cm | 59.80 | 1.60 | 2.49 | 1.444 |
| 15 | S24-1041A- | E5 - 40 a 60 cm | 54.50 | 1.88 | 1.48 | 0.858 |

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María

analisisdesuelosunas@hotmail.com
WhatsApp: 944407531

Figura 21. Resultado del análisis de MO y DAP de la zona litoral en los tres niveles de profundidad evaluados en el humedal Laguna de los Milagros.



ANÁLISIS DE SUELOS



| | | | |
|--------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------|
| SOLICITANTE: | ALVINO ROSAS YORDAN EUDOMILIO | FECHA DE REPORTE: | 4/10/2024 |
| PROCEDENCIA: | LAGUNA DE LOS MILAGROS | RECIBO O FACTURA ELECTRONICA N° | 21520410 |

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

| N° | DATOS | | RESULTADOS | | | |
|----|--------------------|-----------------|------------|----------------------|---------------------|----------|
| | | | Húmedad | Densidad Aparente | Materia Orgánica | C |
| | | | H° | Da | M.O. | Orgánico |
| | CODIGO DEL LAB. | REFERENCIA | % | g/cm ³ | % | % |
| 1 | S24-1041-1 | A1 - 0 a 20 cm | 73.16 | 0.39 | 4.20 | 2.436 |
| 2 | S24-1041-2 | A1 - 20 a 40 cm | 61.97 | 1.31 | 1.76 | 1.021 |
| 3 | S24-1041-3 | A1- 40 a 60 cm | 69.24 | 1.43 | 0.99 | 0.574 |
| 4 | S24-1041-4 | B2 - 0 a 20 cm | 64.00 | 0.74 | 4.50 | 2.610 |
| 5 | S24-1041-5 | B2 - 20 a 40 cm | 46.66 | 1.72 | 1.92 | 1.114 |
| 6 | S24-1041-6 | B2- 40 a 60 cm | 57.00 | 1.46 | 1.67 | 0.969 |
| 7 | S24-1041-7 | C3 - 0 a 20 cm | 86.02 | 0.20 | 3.70 | 2.146 |
| 8 | S24-1041-8 | C3 - 20 a 40 cm | 85.66 | 0.25 | 2.13 | 1.235 |
| 9 | S24-1041-9 | C3- 40 a 60 cm | 54.42 | 0.94 | 1.35 | 0.783 |
| 10 | S24-1041-10 | D4 - 0 a 20 cm | 78.03 | 1.04 | 3.65 | 2.117 |
| 11 | S24-1041-11 | D4 - 20 a 40 cm | 52.01 | 0.79 | 2.30 | 1.334 |
| 12 | S24-1041-12 | D4- 40 a 60 cm | 61.70 | 0.67 | 0.90 | 0.522 |
| 13 | S24-1041-13 | E5 - 0 a 20 cm | 63.03 | 0.54 | 2.80 | 1.624 |
| 14 | S24-1041-14 | E5- 20 a 40 cm | 84.06 | 0.21 | 1.36 | 0.789 |
| 15 | S24-1041-15 | E5- 40 a 60 cm | 76.25 | 0.32 | 0.74 | 0.429 |

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María

analisisdesuelosunas@hotmail.com
WhatsApp: 944407531

Figura 22. Resultado del análisis de MO y DAP de la zona cuerpo de agua en los tres niveles de profundidad evaluados en el humedal Laguna de los Milagros.

Anexo B. Panel fotográfico.

Figura 23. Delimitación y recolección de la biomasa herbácea en la unidad muestral D en la zona litoral.



Figura 24. Delimitación y recolección de la biomasa herbácea en la unidad muestral A en la zona litoral.



Figura 25. Delimitación y recolección de la biomasa hojarasca en la unidad muestral D en la zona litoral.



Figura 26. Pesaje de la biomasa hojarasca de la unidad muestral C de la zona litoral.



Figura 27. Recolección de la hojarasca para su pesaje en balanza de la unidad muestral C.



Figura 28. Pesaje de la biomasa herbácea de la unidad muestral D de la zona litoral.



Figura 29. Recolección de muestras de suelos en los tres niveles de profundidad de la unidad muestral B de la zona litoral.



Figura 30. Etiquetado de las muestras de suelo de los tres niveles de profundidad de la zona litoral para su correcto uso y análisis en laboratorio.



Figura 31. Recolección de muestras de suelos en los tres niveles de profundidad en la zona cuerpo de agua de humedal Laguna de los Milagros.



Figura 32. Equipo de investigación liderado por el Dr. Vagas Clemente Ytavclerh en la recolección de muestras de suelo de la zona cuerpo de agua.



Figura 33. Pesaje de la submuestra para la estimación de la biomasa herbácea en la zona litoral.



Figura 34. Pre secado de las raíces de cada unidad muestral en las diferentes profundidades de la zona litoral para la determinación de la biomasa herbácea.



Figura 35. Preparación y codificación de las raíces para el secado en la estufa en el laboratorio de certificación de semillas.



Figura 36. Preparación y codificación de la biomasa herbácea para el secado en la estufa en el laboratorio de certificación de semillas.



Figura 37. Recolección con el muestreador en las unidades muestrales debajo del cuerpo de agua en las diferentes profundidades del humedal.



Figura 38. Codificación de las especies vegetativas encontradas en las unidades muestrales en el humedal Laguna de los Milagros.



Figura 39. Identificación de las especies vegetativas en las unidades muestrales en el humedal Laguna de los Milagros.



Figura 40. Identificación de las especies vegetativas en la unidad muestral E en el humedal Laguna de los Milagros.

CONSTANCIA

**LA QUE SUSCRIBE Dra. LUZBEL AIDA CORDOVA MARTINEZ,
Licenciada en Educación Área Principal: Inglés y Área
Secundaria: Lengua**

HACE CONSTAR:

Que, se ha realizado la corrección ortográfica de la tesis titulada CARBONO Y DIÓXIDO DE CARBONO ALMACENADO EN LA LAGUNA DE LOS MILAGROS, DISTRITO DE PUEBLO NUEVO-TINGO MARÍA, PERÚ presentado por: YORDAN EUDOMILIO ALVINO ROSAS

Así mismo, se ha respetado los protocolos de Grados y Títulos de la Universidad.

Se expide la presente constancia a solicitud oral del interesado para los fines que estime conveniente.

Tingo María, 22 octubre de 2025.



Figura 41. Constancia de corrección ortográfica de la tesis por la Dr. Luzbel Aida Córdoba Martínez.