



UNAP



**FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN
AMBIENTAL**

TESIS

**“VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE
ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN CUATRO SUELOS
ESPODOSALES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA
ZUNGAROCOCHA, 2022”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:
GUILLERMO PAUL CHAVEZ SARMIENTO**

**ASESOR:
Ing. RANULFO SEGUNDO MELENDEZ CELIS, M.Sc.**

IQUITOS, PERÚ

2024



UNAP

**FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
GESTIÓN AMBIENTAL**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS No. 060-CGYT-FA-UNAP-2024.

En Iquitos, a los 10 días del mes de agosto del 2024, a horas 05:00pm, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: "VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN CUATRO SUELOS ESPODOSALES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA ZUNGAROCOCHA, 2022", aprobado con Resolución Decanal N°029-CGYT-FA-UNAP-2023, presentado por el Bachiller: GUILLERMO PAUL CHAVEZ SARMIENTO, para optar el Título Profesional de INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL, que otorga la Universidad de acuerdo a la Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal No.029-CGYT-FA-UNAP-2024, está integrado por:

- | | |
|---|------------|
| Ing. LIDIA DEL CARMEN BARDALES DE BARRERA, Dra. | Presidente |
| Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc. | Miembro |
| Ing. ANGELO FRANCISCO SAMANAMUD CURTO, M.Sc. | Miembro |

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas:

Satisfactoriamente

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la Tesis han sido: *Aprobada* con la calificación *Buena*

Estando el Bachiller *Apto* para obtener el Título Profesional de *Ingeniero en Gestión Ambiental*

Siendo las *06:40 pm* se dio por terminado el acto ACADÉMICO.

Lidia del Carmen Bardales de Barrera
Ing. LIDIA DEL CARMEN BARDALES DE BARRERA, Dra.
Presidente

Ronald Yalta Vega
Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.
Miembro

Angelo Francisco Samanamud Curto
Ing. ANGELO FRANCISCO SAMANAMUD CURTO, M.Sc.
Miembro

Ranulfo Segundo Melendez Celis
Ing. RANULFO SEGUNDO MELENDEZ CELIS, M.Sc.
Asesor

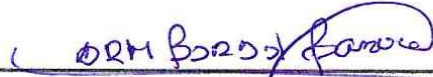
JURADO Y ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA
FACULTAD DE AGRONOMÍA


ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Tesis aprobada en sustentación pública el 10 de agosto del 2024, por el jurado Ad-Hoc nombrado por el Comité de Grados y Títulos de la Facultad de Agronomía, para optar el título profesional de

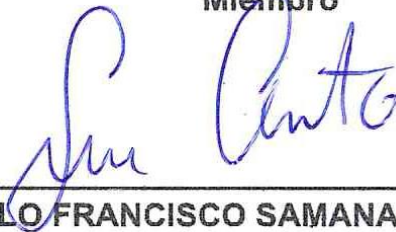
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL



Ing. LIDIA DEL CARMEN BARDALES DE BARRERA, Dra.
Presidente



Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.
Miembro



Ing. ANGELO FRANCISCO SAMANAMUD CURTO, M.Sc.
Miembro



Ing. RANULFO SEGUNDO MELENDEZ CELIS, MSc.
Asesor





Ing. FIDEL ASPAÑO VARELA, Dr.
Decano

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

FA_TESIS_CHAVEZ SARMIENTO.pdf

AUTOR

GUILLERMO PAUL CHAVEZ SARMIENTO

RECuento de palabras

6582 Words

RECuento de caracteres

33007 Characters

RECuento de páginas

34 Pages

Tamaño del archivo

330.6KB

Fecha de entrega

Apr 8, 2024 1:24 PM GMT-5

Fecha del informe

Apr 8, 2024 1:24 PM GMT-5

● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

Resumen

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a la ambición de investigadores que buscan con sus trabajos sumar verdadero conocimiento para construir un mejor futuro para la población de la región y el mundo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente al gran apoyo de mis padres, Marianela Sarmiento S. y Guillermo Chávez V., a mi hermana Sandra Chávez S. y demás familiares, también a la confianza depositada en mi persona por mi asesor, el Ing. Ranulfo Meléndez C. y a todas las personas que, con buen corazón e intención, aportaron en mi crecimiento profesional y personal.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| PORTADA..... | i |
| ACTA DE SUSTENTACIÓN..... | .ii |
| JURADO..... | iii |
| RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD..... | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| AGRADECIMIENTO..... | .vi |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | .ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | x |
| RESUMEN..... | .xi |
| ABSTRACT..... | .xii |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO..... | 3 |
| 1.1. Antecedentes..... | 3 |
| 1.2. Bases teóricas..... | 5 |
| 1.3. Definición de Términos Básicos..... | 10 |
| CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES..... | 13 |
| 2.1. Formulación de la hipótesis..... | 13 |
| 2.2. Variables y su operacionalización..... | 13 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA..... | 14 |
| 3.1. Diseño Metodológico | 14 |
| 3.2. Diseño Muestral..... | 14 |
| 3.3. Procedimientos de recolección de datos..... | 15 |
| 3.4. Procesamiento y análisis de datos..... | 16 |
| 3.4.1. Porcentaje de Carbono Orgánico..... | 17 |
| 3.4.2. Densidad Aparente del Suelo..... | 18 |
| 3.4.2.1. Método de cilindros metálicos | 18 |
| 3.4.2.2. Método de terrón parafinado | 18 |
| 3.4.3. Carbono Orgánico del Suelo..... | 19 |
| 3.4.4. Almacenamiento de CO ₂ e del perfil del suelo..... | 20 |

| | |
|--|----|
| 3.4.5. Valor Económico del Almacén de Carbono del Suelo..... | 21 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS..... | 22 |
| 4.1. Características Físico-Químicas del perfil del suelo..... | 22 |
| 4.2. Contenido de Carbono Orgánico Total del Suelo..... | 24 |
| 4.3. Contenido de Dióxido de Carbono equivalente..... | 26 |
| 4.4. Valor Económico del Servicio Ecosistémico del almacén de Carbono..... | 29 |
| CAPÍTULO V: DISCUSIÓN..... | 32 |
| CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES..... | 34 |
| CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES | 35 |
| CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN..... | 36 |
| ANEXOS..... | 38 |
| 1. Matriz de consistencia | 39 |
| 2. Resultados de Laboratorio de Investigación de Suelos – CIRNA – UNAP, Suelo 1..... | 40 |
| 3. Resultados de Laboratorio de Investigación de Suelos – CIRNA – UNAP, Suelo 2..... | 41 |
| 4. Resultados de Laboratorio de Investigación de Suelos – CIRNA – UNAP, Suelo 3..... | 42 |
| 5. Resultados de Laboratorio de Investigación de Suelos – CIRNA – UNAP, Suelo 4..... | 43 |
| 6. Instrumento de recolección de datos de campo elaborado por el Laboratorio de Suelos – CIRNA – UNAP..... | 44 |
| 7. Medición de horizontes de Perfil de Suelo Espodosol de la ciudad universitaria de Zungarococha..... | 45 |
| 8. Recolección de muestras de suelo espodosol de la ciudad universitaria de Zungarococha..... | 45 |
| 9. Enfriado de muestras procesadas para medición de densidad aparente en envase con óxido de silicio..... | 46 |
| 10. Pesado de cilindro con muestra de suelos procesadas para densidad aparente de suelos..... | 46 |
| 11. Perfil de suelo 2 de suelo espodosol de la ciudad universitaria de Zungarococha..... | 47 |
| 12. Horizonte espódico de suelo espodosol de la ciudad universitaria De Zungarococha..... | 47 |
| 13. Mapa de ubicación de los suelos de estudio..... | 48 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Características físico químicas del suelo 1 de la ciudad universitaria de Zungarococha, 2022..... | 22 |
| Tabla 2. Características físico químicas del suelo 2 de la ciudad universitaria de Zungarococha, 2022..... | 22 |
| Tabla 3. Características físico químicas del suelo 3 de la ciudad universitaria de Zungarococha, 2022..... | 23 |
| Tabla 4. Características físico químicas del suelo 4 de la ciudad universitaria de Zungarococha, 2022..... | 23 |
| Tabla 5. Resultados del Carbono Orgánico Total y el valor económico del servicio ecosistémico del suelo 1..... | 29 |
| Tabla 6. Resultados del Carbono Orgánico Total y el valor económico del servicio ecosistémico del suelo 2..... | 30 |
| Tabla 7. Resultados del Carbono Orgánico Total y el valor económico del servicio ecosistémico del suelo 3..... | 30 |
| Tabla 8. Resultados del Carbono Orgánico Total y el valor económico del servicio ecosistémico del suelo 4..... | 30 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Distribución del Carbono Orgánico del Suelo 1..... | 24 |
| Figura 2. Distribución del Carbono Orgánico del Suelo 2..... | 25 |
| Figura 3. Distribución del Carbono Orgánico del Suelo 3..... | 25 |
| Figura 4. Distribución del Carbono Orgánico del Suelo 4..... | 26 |
| Figura 5. Distribución de Dióxido de Carbono equivalente del Suelo 1..... | 27 |
| Figura 6. Distribución de Dióxido de Carbono equivalente del Suelo 2..... | 27 |
| Figura 7. Distribución de Dióxido de Carbono equivalente del Suelo 3..... | 28 |
| Figura 8. Distribución de Dióxido de Carbono equivalente del Suelo 4..... | 28 |

RESUMEN

El propósito principal de esta investigación es evaluar económicamente el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono proporcionado por los suelos de clasificación taxonómica espodosol en la ciudad universitaria de Zungarococha. Este trabajo se enmarca como un diseño de investigación cuantitativo descriptivo y observacional, con una medición transversal. Se seleccionaron cuatro puntos en el bosque de arena blanca de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana para realizar calicatas y llevar a cabo procesos de laboratorio. El objetivo es generar una estimación del carbono no liberado en los suelos y calcular la cantidad de toneladas almacenadas.

En la primera calicata, se encontró un depósito de carbono equivalente a 356.27 t/ha, valorado económicamente en 28,811.23 euros. La calicata 2 mostró un almacenamiento de carbono de 560.3 t/ha, con un valor de 45,311.05 euros. La calicata 3 almacenó 2,193.38 t/ha, valorizado en 177,385.73 euros. Finalmente, la calicata 4 registró 1,522.7 t/ha y 123,140.82 euros en su valor económico. En conclusión, los suelos espodosoles tiene una tendencia de acumulación de carbono en el horizonte espódico presentando un alto valor económico, mostrando así la importancia de estos suelos para su conservación.

Palabras clave: servicio ecosistémico, valorización económica, suelos espodosoles, almacén de carbono.

ABSTRACT

The main purpose of this research is to economically evaluate the carbon storage ecosystem service provided by the spodosol taxonomic classification soils in the university city of Zungarococha. This work is framed as a descriptive and observational quantitative research design, with a cross-sectional measurement. Four points were selected in the white sand forest of the National University of the Peruvian Amazon to make pits and carry out laboratory processes. The objective is to generate an estimate of the carbon not released in the soils and calculate the number of tons stored.

In the first pit, a carbon deposit equivalent to 356.27 t/ha was found, economically valued at 28,811.23 euros. Pit 2 showed a carbon storage of 560.3 t/ha, with a value of 45,311.05 euros. Pit 3 stored 2,193.38 t/ha, valued at 177,385.73 euros. Finally, pit 4 recorded 1,522.7 t/ha and 123,140.82 euros in its economic value. In conclusion, spodosol soils tend to accumulate carbon in the spodic horizon, presenting a high economic value, thus showing the importance of these soils for their conservation.

Keywords: ecosystem service, economic valorization, spodosol soils, carbon storage.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es de los principales problemas que en la actualidad adolecen a la humanidad, siendo su primer causante el incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) nocivos (1), actividades como transporte, empresas, y agropecuarias, generan estos gases que son compuestos de carbono como el Dióxido de Carbono (CO₂), el Monóxido de Carbono (CO) o el metano (CH₄) (2). Los suelos tienen un papel fundamental al proporcionar lo que se conoce como servicios ecosistémicos que regulan la emisión del carbono en forma de gases a la atmosfera. La importancia de los servicios ecosistémicos se ha visto evidenciados en el incremento de publicaciones y difusiones del tema dentro del nuevo milenio, además de la implementación del concepto en políticas y gestión de los ecosistemas en el mundo (3). La valoración de este servicio se ha convertido en una herramienta económica crucial que evaluar mediante costos económicos la pérdida de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. (4)

La evaluación de los servicios ecosistémicos de estos suelos se vuelve imperativa para comprender su contribución a la regulación del ambiente y con ello mejorar al bienestar humano en la región. Profundizar en estos servicios ecosistémicos es esencial para desarrollar estrategias de manejo que conserven la salud de los suelos y, por ende, la biodiversidad única de la Amazonia.

En este contexto, la valoración de los servicios ecosistémicos de suelos en la Amazonía se convierte en una herramienta fundamental para informar la toma de decisiones y promover prácticas sostenibles que salvaguarden la

integridad de estos ecosistemas. Este proceso no solo implica la evaluación de la productividad agrícola, sino también la comprensión de la capacidad de los suelos de almacenar carbono. Siendo así la valoración económica de los servicios ecosistémicos de suelos amazónicos, enfatizando a los esodosoles tropicales, esenciales para preservar los almacenes de carbono haciendo frente a crecientes concentraciones de emisión de carbono en la atmosfera, manteniendo el equilibrio del efecto invernadero.(5)

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En 2018, se desarrolló una investigación de tipo cuantitativa, y con diseño descriptivo, que incluyó como población de estudio a los suelos de sedimentos arenosos en el fundo de Zungarococha ubicado en Iquitos, Loreto; el trabajo determinó características físico – químicas de los horizontes de los suelos estudiados. La investigación identificó horizontes de diagnósticos como el horizonte subsuperficial Álbico, que es un horizonte eluvial y por lo general se encuentra debajo del horizonte A, y por debajo se encontró el segundo horizonte de diagnóstico Espódico, una capa iluvial que presenta una alta acumulación de materia orgánica mezclada con cuarzo y hierro en forma de hematita. Este estudio presentó características de un suelo espodosol, evidenciando un potencial de almacenamiento de carbono en su perfil (6).

En 2007, se desarrolló una investigación cuantitativa descriptiva con una planificación retrospectiva de años 1986, 1990, 1993, 1995, 1998 y 2000, incluyó como población los bosques nativos del distrito de Ñandubay, Entre Ríos, Argentina, para estimar la reserva de carbono en el suelo y en la biomasa del bosque en estudio. Se observó como problema la pérdida de carbono del suelo por un cambio de uso, debido a la deforestación y uso agrícola posterior, a pesar del reconocimiento de los beneficios generados por la conservación de los recursos naturales. La investigación determinó que el stock de carbono total de los suelos en la zona de estudio fue de 258455223 T/C, como mínimo; equivalente a un promedio de 97 TC/ha. Asimismo, se informó sobre el carbono que se

puede perder por la agricultura, y la gran diferencia del Valor Presente Neto que generan las actividades como agricultura y ganadería. Se concluyó que el notable avance de la agricultura en la zona, conllevó a un deterioro creciente de los recursos naturales, perdiendo grandes hectáreas de bosque hasta el año 2006, siendo además los resultados encontrados evidenciaron las dificultades que los tomadores de decisiones y de la sociedad para poder mantener los stocks de carbono en la zona, y evitar la pérdida del servicio (7).

En el año 1995, se realizó un estudio descriptivo con planificación retrospectiva, en suelos sin vegetación alterada en las cuencas del Amazonas en 1162 perfiles de suelo, en Brasil. El trabajo determinó el stock de carbono en el suelo en las cuencas del Amazonas en Brasil, asimismo, se observó que la diferencia de Densidad de Carbono está asociada en gran medida por la clase textural, siendo directamente proporcional con el contenido de arcilla, como es el caso de los Ultisoles y de los Alfisoles encontrados en la cuenca, y su textura con aproximadamente 70% de arcilla. En el caso de los Espodosoles, que solo cuentan con un 6% de arcilla, se encontró una muy alta densidad de carbono de entre 2.35 Kg/m² hasta 18.53 Kg/m² a un metro de profundidad, relacionado a las características de su horizonte espódico, más que la relación de su clase textural. La investigación concluyó que los resultados indican que el cambio de los sumideros de carbono de los suelos tropicales a consecuencia del Cambio de Uso de Suelo demostró ser importante en la pérdida de la vegetación, siendo responsable de empobrecer el suelo. Asimismo, el total del carbono Almacenado en la Cuenca de la Amazonia

brasileña representa el 3% del estimado de los sumideros del mundo y siendo los Suelos Espodosoles uno de los que presentan una mayor función debido a la alta densidad de Carbono. (8)

En 1993, se desarrolló un estudio que buscó estimar los contenidos de Carbono Orgánico en los suelos alrededor del mundo. En el mismo se enfrentaron a limitaciones por los valores de carbono adecuados y densidad aparente. Entre los resultados obtenidos, estimo valores de espodosoles 71 Pg de Carbono Orgánico en el Suelo en el ámbito global y 2 Pg de Carbono Orgánico en el Suelo en zonas tropicales, siendo un total de 150 toneladas de Carbono por hectárea de suelo espodosol. (9)

En la actualidad, año 2024, tiene un valor económico de 44 500 euros.

1.2. Bases Teóricas

a. Suelos Espodosoles y su formación

Los suelos espodosoles son un Orden Taxonómico del Suelo, que tiene las características de presentar una mezcla de materia orgánica y compuestos férricos, la etimología del término podzol proviene del vocablo ruso подзола /podzola/ formado por под (“debajo”) y зола (“ceniza”), debajo de las cenizas; y es que su descubrimiento se dio lugar en Rusia, donde se identificó el horizonte espódico debajo del horizonte E de color cenizo. Los espodosoles son suelos cuya principal característica es la existencia amorfa de materia orgánica y aluminio (con presencia o no de hierro). Estos suelos se presentan en regímenes de humedad údicos, indicando esto que se desarrollan en ambientes húmedos.

Para la formación de los espodosoles intervienen factores como el clima, por la concentración de los suelos en áreas húmedas, y con una pendiente variada. En cuestión del material parental, los materiales carbonosos, silíceos o lixiviados favorecen a su formación, siendo estos dos últimos los dominantes en las cuencas amazónicas. Un alto contenido de minerales influye en el horizonte espódico y en el grado de desarrollo del horizonte Eluvial. (3)

Los suelos espodosoles se forman a través del proceso de la podsolización inicia con la alteración del material parental, que libera aluminio y/o hierro y con la humificación de los materiales orgánicos, donde se presenta una lixiviación intensa de bases y una alta acidificación del medio que favorece la quelación del aluminio y hierro por los compuestos orgánicos y los procesos de eluviación – iluviación, siendo parte del subproceso de traslocación. (9)

La traslocación en los suelos es un proceso de intercambio de materiales entre horizontes dentro del perfil. El movimiento de materia orgánica disuelta de los espodosoles va desde el horizonte O al horizonte B, conformando su principal fuente de Carbono en el subsuelo, aportando el 95% del total almacenado, a diferencia de otros tipos de suelos en donde la materia orgánica disuelta del Horizonte O casi no llega al subsuelo, puesto que las propiedades del almacén de carbono son pobres en los horizontes subsuperficiales (10).

Los espodosoles encontrados en la amazonia presentan en su perfil los Horizontes A, AE, E y B, estos son los espodosoles tropicales, también

nombrados espodosoles de textura gruesa o arenosos, estos se ubican en las zonas húmedas del trópico, registrados en la amazonia de Sudamérica, comprende una textura dominante de arena, con hasta un 6% de contenido de arcilla, y una alta densidad de Carbono (8).

El horizonte A, se forma en la parte más superficial del perfil, este horizonte muestra la acumulación de materia orgánica en humus asociada con partículas minerales, tiene una coloración pardo oscura por el carbón orgánico presente, es de textura arenosa y consistencia granular, además de no registrar más de 15 centímetros de Espesor.

El Horizonte de transición AE, presenta un color pardo claro, que pone en evidencia una menor cantidad de material orgánico que del horizonte A, hasta ser imperceptible en el horizonte E. Además, tiene una mayor cantidad de arena, y una contrastante diferenciado de materia orgánica, a comparación del horizonte superior.

El horizonte de diagnóstico subsuperficial E, es un horizonte eluvial, también llamado horizonte álbico, y se identifica por la abundante presencia de arena blanca con alto contenido de cuarzo, este horizonte se encuentra por debajo del horizonte transicional AE, y presenta una acumulación mineral. Originalmente este horizonte proviene del material parental, pero por el proceso de eluviación, este se transloca con material iluviado de horizontes superiores.

El horizonte de diagnóstico subsuperficial B, es identificado por la presencia del horizonte espódico, el mismo por el cual lleva el nombre taxonómico el suelo (11).

b. Carbono Orgánico del Suelo (COS)

La formación del Carbono Orgánico en el Suelo se produce a través de los procesos del ciclo del carbono, que fluye entre la atmósfera y el suelo superficial y subsuperficial, esta importante emisión y secuestro de carbono da como resultado el almacén del COS, habiendo demostrado almacenar mayor cantidad que el Carbono distribuido entre la atmósfera y la vegetación juntos (12). Tras el proceso de mineralización del Carbono se realiza el secuestro, en donde se almacena en el suelo. En el caso del CO₂, se pasa por 3 etapas: extracción del CO₂ de la atmósfera, transferencia del CO₂ a la biomasa vegetal y por último de la biomasa vegetal a formarse como COS. (13)

c. Cambio Climático

El cambio climático al igual que el efecto invernadero y el calentamiento global, son términos que pueden llegar a ser usados indistintamente. En el caso del efecto invernadero, es un mecanismo que calienta la atmósfera, en donde la temperatura más alta es en la capa de mayor proximidad con la tierra y va bajando mientras en altura se ve ascendiendo hasta llegar a los 10 kilómetros, esto es debido a que los gases que componen la atmósfera retienen parte de la energía que emite el suelo de la radiación solar manteniendo una temperatura promedio adecuada para la vida, estos gases son los conocidos Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Desde el siglo XIX se llevó monitoreos de la variación de temperatura atmosférica, esto logró mostrar su incremento que experimento la tierra.

Entre los siglos XX y XXI la temperatura ha logrado ascender un 0,65% (14).

En el protocolo Kioto estableció al Dióxido de Carbono (CO₂), como el mayor responsable del efecto invernadero, con un 70% del total de GEI producido por consumo de combustibles fósiles (15). El calentamiento global se ha ido formando de la mano con el incremento del CO₂ atmosférico, lo que indica que la causa de esto es una intensificación del efecto invernadero, pudiendo ser que el incremento de CO₂ se dé por procesos naturales. El hecho que estos términos se usen indistintamente, se debe a la relación que tienen entre ellos.

Por otro lado, el cambio climático se registra desde los últimos 400 000 años, habiendo oscilado el clima entre etapas glaciales e interglaciares, de estas fluctuaciones se ha demostrado que estos ciclos están altamente relacionados con los cambios en el contenido de CO₂ en la atmosfera. En la actualidad los valores de temperatura y contenido de CO₂ atmosférico está alcanzando y hasta superando los límites máximos observados durante los ultimo 400 00 años, pudiendo relacionarse con los cambios relativamente bruscos que el experimento de un estado de equilibrio a otro, sin embargo, este cambio ambiental puede coincidir con la extinción y posterior evolución de nuevas especies (16).

d. Servicios ecosistémicos de los Espodosoles

Ya quedo evidenciado como el incremento de CO₂ atmosférico influye directamente con el aumento en la temperatura del planeta y es cuando entra el papel de los servicios ecosistémicos (16). Los suelos realizan la

fijación del carbono desde la atmosfera por medio de plantas y restos orgánicos depositados en el suelo, reduciendo así la liberación del gas de efecto invernadero CO₂, se estima que el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono del suelo logra contener más que el de la atmosfera y vegetación terrestre juntas.

La distribución de carbono en el suelo se encuentra usualmente en los primeros 0.3 metros, reduciéndose a medida que se profundiza en el perfil. En el caso de los suelos espodosoles, sin embargo, tienen un almacenamiento distinto de carbono. Su horizonte A es de una profundidad máxima de 0.15 metros registrada en la amazonia, con una materia orgánica promedio del 1.4%, y reduciéndose drásticamente en los horizontes AE y Horizonte E, para que finalmente este se eleve en el Horizonte espódico B, teniendo una mayor importancia en el almacén de carbono dentro de su perfil (17).

1.3. Definición de Términos Básicos

Suelos: Son cuerpos naturales sobre la superficie terrestre, que contiene material mineral, organismos vivos, aire y agua dentro de sus poros, para que estos componentes puedan ser considerados como parte del suelo y para ser clasificados en un orden Taxonómico, estos deben estar dentro de los dos metros de profundidad (18).

Suelos espodosoles: Son un orden Taxonómico del suelo que presenta un horizonte espódico, este horizonte de diagnóstico es una mezcla de materia orgánica con aluminio y/o hierro y se ubica dentro del perfil del suelo en el horizonte B, además de que el suelo tiene una textura de

tendencia entre arenosa y limosa. Los suelos de sedimentos arenosos se describen en la ciudad universitaria de se lograron identificar horizontes de diagnóstico álbicos y espódicos que es característico de suelos espodosol (6).

Servicios ecosistémicos: Son aquellas externalidades positivas que favorecen al ámbito económico, social y/o ambiental que benefician a las personas, y que provienen de la naturaleza, dentro de los servicios ecosistémicos se abarca la regulación de emisiones de Dióxido de Carbono; reduciendo así el costo de hacerlo de forma artificial.

Almacenamiento de carbono: Es un servicio ecosistémico que además de los árboles también lo realiza el suelo y es almacenado por el ciclo del carbono. Este proceso se da cuando la materia orgánica se deposita en la superficie, se humifica y se mezcla con el material mineral del suelo. Lefèvre (2017) plantea que el almacenamiento de Carbón Orgánico del Suelo en el primer metro, supone más carbono que el contenido en la atmósfera y la vegetación terrestre juntas (17).

Secuestro de Dióxido de Carbonos (CO_2): Es un servicio ecosistémico del suelo que se refiere a la capacidad de reducir la emisión de CO_2 a la atmósfera, y se calcula a partir del servicio de almacenamiento de carbono.

Gases de Efecto Invernadero (GEI): Los gases de efecto invernadero son gases que provocan que la radiación infrarroja se detenga en la atmósfera, por lo que se calientan la superficie de la Tierra y la parte inferior de la atmósfera (16).

Valoración económica: Se expresa en unidades monetarias, que muestra la importancia económica que un bien o servicio pueda tener. Es un concepto antropocéntrico que se basa en la utilidad que genera un bien o servicio al ser humano (19).

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

El valor económico del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en cuatro suelos espodosoles de la ciudad universitaria de Zungarococha, 2022, es mayor a 20 000 euros.

2.2. Variables y su operacionalización

| Variables | Definición | Tipo | Indicadores | Escala de Medición | Valores | Medios de Verificación |
|---|--|--------------|--|--------------------|-------------------|----------------------------------|
| Almacenamiento de carbono de suelos espodosoles | Servicio que brinda los ecosistemas en beneficio de la sociedad, flora, fauna y ambiente | Cuantitativo | Área de suelos espodosoles | Razón | ha | Mapas de la ciudad Universitaria |
| | | | Profundidad de horizontes | Razón | m | Fichas de características |
| | | | Carbón Orgánico | Razón | % | Fichas de características |
| | | | Densidad de horizontes | Razón | kg/m ³ | Fichas de características |
| | | | Almacén de Carbono | Razón | t/ha | Calculo por Excel |
| Valoración económica del servicio ecosistémico | Estimación en términos monetarios en función del almacenamiento de carbón. | Cuantitativo | Valor económico del almacén de carbono | Razón | Euros | Calculo por Excel |

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

En el presente estudio se utilizó el diseño de investigación **cuantitativo descriptivo**, porque implica la recolección y descripción de datos. La intervención del investigador es **observacional**, buscó investigar sin introducir algún elemento que pueda variar los resultados. La medición es **transversal**, porque buscó mostrar una evaluación simple de los datos, en un tiempo único determinado. Y en la toma de datos fue una planificación **prospectiva** puesto que los datos fueron obtenidos a partir de la presente investigación.

3.2. Diseño muestral

La población de estudio fueron cuatro suelos espodosoles identificados en la ciudad universitaria Zungarococha diferenciadas por “islas”, es decir que se encuentran separadas entre sí y con características fisiográficas distintas.

Para la selección muestral, se consultó el Decreto Supremo N° 013-2010-AG, que es el reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos; y que, por el tipo de investigación, se realizara un estudio a nivel exploratorio o de quinto orden. Para este nivel la norma sugiere realizar una (1) calicata por cada unidad fisiográfica identificada por vista aérea, lo que para este estudio son las islas de suelo espodosol.

Debido a que son cuatro, un numero accesible para realizar el estudio, se trabajaran en todos los suelos espodosoles, y para ubicar las calicatas de cada una se realizó un muestreo no probabilístico, identificando puntos

estratégicos que favorezcan su realización y posterior descripción del perfil, como son los claros del bosque, que tienen un ingreso de la luz del sol que ayudara a distinguir los horizontes del perfil, además de tener poca cobertura vegetal para facilitar la excavación de la calicata.

3.3. Procedimientos de recolección de datos

Se utilizó la ficha descriptiva de datos de suelos elaborada por el Laboratorio de Investigación de Suelos del CIRNA - UNAP como instrumento (ANEXO N° 2), para registrar características físicas y químicas de los suelos espodosoles requeridas para el presente estudio, como son los datos de los puntos de muestreo, la identificación de horizontes y sus profundidades, el porcentaje de carbono orgánico, densidad aparente del suelo, entre otros complementarios.

Para la recolección de datos se requirió realizar un levantamiento de suelos, para lo cual se vuelve a consultar el Decreto Supremo N° 013-2010-AG, reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos, en ella establece técnicas homogéneas considerando criterios técnicos utilizados por especialistas en el tema, para la toma de muestras.

Siguiendo con el reglamento, tras ingresar al bosque de suelo espodosol e identificar la ubicación de los puntos para el levantamiento de suelos se realiza una calicata de aproximadamente 1.5 metros de largo y 1 metro de ancho, con 1.5 a dos metros de profundidad, pudiendo variar esta última por la presencia del horizonte espódico.

Para la estimación del volumen del perfil de suelo se identificó los horizontes por sus características físicas, como el color, se toman las

medidas de las profundidades de cada horizonte y se anotan en la ficha descriptiva.

Para la recolección de muestra de suelos para determinar el porcentaje de materia orgánica, se recogió de forma manual una porción de suelo de aproximadamente un kilogramo de peso por cada horizonte del perfil.

Para determinar la densidad aparente, se usa el método de cilindros metálicos, este consiste en introducir un cilindro de medidas conocidas en cada horizonte del perfil, para posteriormente extraerlo con contenido de suelo en su interior y llevarlo al laboratorio, esto debe hacerse sin intervenir o rellenarlo manualmente, se guardan en bolsas de plástico previamente rotuladas, y con los cilindros limpios por el borde exterior. Para el caso del horizonte espódico, por tener características distintas que imposibilitan ese método, se hará uso del método de densidad por parafina, por lo que se romperá el horizonte espódico para obtener tres o cuatro agregados de entre dos y cuatro centímetros de diámetro.

3.4. Procesamiento y análisis de la información

El presente estudio calculó el valor económico del carbono almacenado en el suelo, para ello se estimó la relación de captura de CO₂ dentro del área de los suelos esodosoles, y valorarlo según el mercado internacional de bonos de carbono.

Para esto se debe procesar los datos antes recolectados, según se requiera para el estudio y cumpliendo la norma del Decreto Supremo N° 013-2010-AG, reglamento de reglamento para la ejecución de levantamiento de

suelos. Para este estudio se deben determinar los siguientes procedimientos:

3.4.1. Porcentaje de Carbono Orgánico

Para el porcentaje de carbono orgánico almacenado en el suelo, según la norma citada anteriormente, se aplica en el laboratorio el método de Walkley y Black. Motta et al (1990) indica el procedimiento:

Se pesa dos gramos (gr) de tierra fina seca al aire, colocándolo en un Matraz de Erlenmeyer de 250 mililitros (ml), se agrega cinco ml de dicromato de potasio 1N y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, se mezcla y deja reposar. Se prepara el blanco, que es la mezcla de los reactivos anteriores sin muestra de suelo.

Se titula la mezcla inicial y el blanco con una solución de sulfato ferroso 1N; hasta que la titulación presente un color verde. Se apunta la cantidad de sulfato ferroso usado. La ecuación para determinar el porcentaje de carbono es el siguiente:

$$\%CO = V (1-M/B) 0.003 / P_m$$

Donde:

%CO = Contenido de carbono orgánico en porcentaje

V = Volumen de dicromato de potasio empleado en la muestra y en el blanco (5 ml)

M = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra

B = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco

P_m = Peso de la muestra

3.4.2. Densidad Aparente del suelo

Para determinar la densidad aparente se hace uso de dos métodos, el método del cilindro metálico y del terrón parafinado, indicado por la normativa del reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos.

3.4.2.1. Método de cilindros metálicos

Para los primeros horizontes que tienen una estructura no cementada. Se hace de Indica el procedimiento:

Tras llevar al laboratorio la muestra de suelo en los cilindros metálicos, son puestos dentro de vasos precipitados e ingresados en la estufa, estos se calientan a 105 °C por 48 horas para perder humedad. Tras pasar el proceso, se lleva a una balanza de precisión para obtener la masa del suelo seco del interior del cilindro. La ecuación que determina la densidad aparente es la siguiente:

$$D_{ap} = m / \left(\frac{d^2}{4} \times \pi \times h \right)$$

Donde:

- D_{ap} = Densidad aparente del suelo por horizonte
- m = Masa del suelo seco
- d = Diámetro de la base del cilindro
- h = Altura del cilindro

3.4.2.2. Método de terrón parafinado

Por otra parte, el horizonte espódico, que presenta una estructura cementada que no se puede acoplar a los cilindros metálicos sin intervención, se determina su densidad aparente de agregados con el método del terrón parafinado. Se indica el procedimiento:

Se seca los agregados de suelo al aire, después un segundo secado en la estufa a 105 °C por 48 horas, y al finalizar dejar enfriar en un desecador, se escoge tres o cuatro agregados de dos a cuatro centímetros de diámetro, se atan a un hilo y se pesa cada agregado colgándolo del hilo sobre la balanza.

Se derrite la parafina hasta 100°C y luego se deja enfriar hasta 60 -70°C, se moja los agregados dentro de la cera, y permitir drenar el exceso, hasta que no salgan burbujas y esté totalmente cubierto, se vuelve a pesar y anotar los valores, una vez obtenidos los valores, sujetándolo de la cuerda se sumerge en una probeta con agua, con un volumen conocido, se anota el volumen total del agua con el agregado sumergido. La ecuación que determina la densidad aparente es la siguiente:

$$D_{ap} = \frac{0.92 \times m_a}{m_{total} - m_a - V_{\Delta} \times D_p}$$

Donde:

D_{ap} = Densidad aparente del suelo por horizonte

m_a = Masa del agregado

m_{total} = Masa del agregado mojado con cera de parafina

V_{Δ} = Diferencia entre el Volumen del agua con el agregado y el volumen conocido inicial

0.92 = Densidad de la Parafina

3.4.3. Carbono Orgánico del Suelo (COS)

Para calcular el valor de COS total en cada perfil, este se representa en toneladas por hectáreas, se hace el cálculo multiplicando la densidad

aparente del suelo con el porcentaje de carbón orgánico, con esto se obtiene la cantidad de gramos de carbón orgánico existe en un centímetro cubico, y multiplicando por el Espesor de los horizontes con el área de una hectárea, obteniendo finalmente el valor estimado de Carbono Orgánico del Suelo total por hectáreas. La ecuación que determina el valor estimado COS es el siguiente:

$$COS_{total} = \sum COS_{horizonte} = \sum (\%CO \times D_{ap} \times Gh \times 10000)_{horizonte}$$

Donde:

COS_{total} = Carbón Orgánico del Suelo total

$\%CO$ = Porcentaje de Carbono Orgánico

D_{ap} = Densidad aparente del suelo

Gh = Espesor del horizonte

3.4.4. Almacenamiento de CO₂e del perfil del suelo

Para valorar el servicio ecosistémico en los mercados internacionales, no se estiman a partir de solo el almacenamiento de Toneladas de Carbono, sino del Dióxido de Carbono que se evita emitir a la atmosfera, por ello para calcular el CO₂ se deriva de los pesos atómicos, el PA del Carbono es 12, y el PA del Dióxido de Carbono es 44, que es la suma de C con los átomos de Oxígeno, pesando cada uno 16. Lo que refiere que una Tonelada de Carbono equivale a 3.67 (44/12) Toneladas de Dióxido de Carbono. La ecuación que determina el almacenamiento de CO₂ equivalente es la siguiente:

$$CO_2e = COS_{total} \times 3.67$$

Donde:

CO₂e = Dióxido de Carbono Equivalente total

COS_{total} = Carbón Orgánico del Suelo total

3.67 = Constante de CO₂ equivalente

3.4.5. Valor económico del almacén de carbono del suelo

Para valorar el servicio ecosistémico de almacenamiento de Carbono que realiza los suelos espodosoles, se toman en cuenta el precio de CO₂ del mercado internacional de la página “SENDECO2” en el momento que se realiza el presente estudio. La ecuación que estima el valor económico es el siguiente:

$$VE_{CO_2} = CO_2e \times P_{CO_2}$$

Donde:

VE_{CO₂} = Valor económico de almacén de CO₂

CO₂e = Dióxido de Carbono Equivalente total

P_{CO₂} = Precio de CO₂ consultado en SENDECO2

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Características Físico-Químicas del perfil del suelo

Las características físico químicas obtenidas del campo y en el laboratorio de los espodosoles descritos para el estudio, se muestran en los siguientes cuadros:

Tabla 1: Características físico químicas del suelo 1 de la ciudad universitaria de Zungarococha, 2022.

| Suelo | Horizonte | Espesor (m) | Porcentaje de Carbono Orgánico | Densidad Aparente (gr/cm ³) |
|-------|-----------|-------------|--------------------------------|---|
| 1 | A | 0.11 | 1.04 | 1.43 |
| | AE | 0.11 | 0.35 | 1.50 |
| | E | 0.40 | 0.17 | 1.25 |
| | B | 0.58 | 0.93 | 1.73 |

Tabla 2: Características físico químicas del suelo 2 de la ciudad universitaria de Zungarococha, 2022.

| Suelo | Horizonte | Espesor (m) | Porcentaje de Carbono Orgánico | Densidad Aparente (gr/cm ³) |
|-------|-----------|-------------|--------------------------------|---|
| 2 | A | 0.22 | 0.21 | 1.13 |
| | AE | 0.29 | 0.12 | 1.41 |
| | E | 0.97 | 0.10 | 1.41 |
| | B | 0.39 | 1.72 | 1.72 |

Tabla 3: Características físico químicas del suelo 3 de la ciudad universitaria de Zungarococha, 2022.

| Suelo | Horizonte | Espesor (m) | Porcentaje de Carbono Orgánico | Densidad Aparente (gr/cm ³) |
|-------|-----------|-------------|--------------------------------|---|
| 3 | A | 0.10 | 0.93 | 1.15 |
| | AE | 0.50 | 0.06 | 1.35 |
| | B | 0.60 | 4.18 | 1.75 |

Tabla 4: Características físico químicas del suelo 4 de la ciudad universitaria de Zungarococha, 2022.

| Suelo | Horizonte | Espesor (m) | Porcentaje de Carbono Orgánico | Densidad Aparente (gr/cm ³) |
|-------|-----------|-------------|--------------------------------|---|
| 4 | A | 0.10 | 0.75 | 1.10 |
| | AE | 0.30 | 0.15 | 1.40 |
| | B | 0.90 | 2.56 | 1.74 |

Las características determinadas en los suelos estudiados que se presentan en las tablas 1, 2, 3 y 4, detallan el espesor, el contenido de Materia Orgánica y la densidad aparente de los horizontes identificados, estas características físicas y químicas fueron recogidas con la finalidad de determinar el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono que cumplen los suelos espodosoles en la ciudad universitaria de Zungarococha. Los horizontes A presentan un corto espesor debido a que el material particulado y poroso de los suelos arenosos drenan las capas superiores. El elevado valor de la densidad aparente, superior a 1.70 gr/cm³, encontrado en el horizonte B se debe a su consistencia cementada

característico de los horizontes espódico que se realiza al estar en contacto la materia orgánica con el material cuarcítico de los cuarzos de la arena blanca.

4.2. Contenido de Carbono Orgánico Total del Suelo.

Con los valores obtenidos de las características físico-químico, se calcularon los contenidos de Carbono Orgánico Total del Suelo (COS), se expresan en los siguientes gráficos:

Figura 1: Distribución del Carbono Orgánico del Suelo 1.

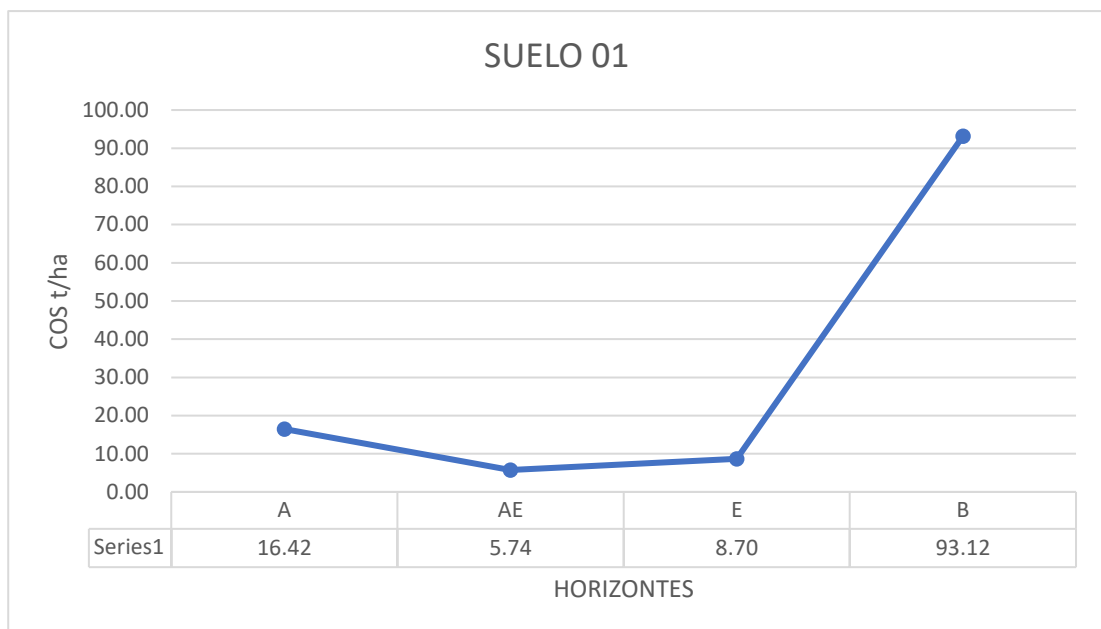


Figura 2: Distribución de Carbono Orgánico del Suelo 2.

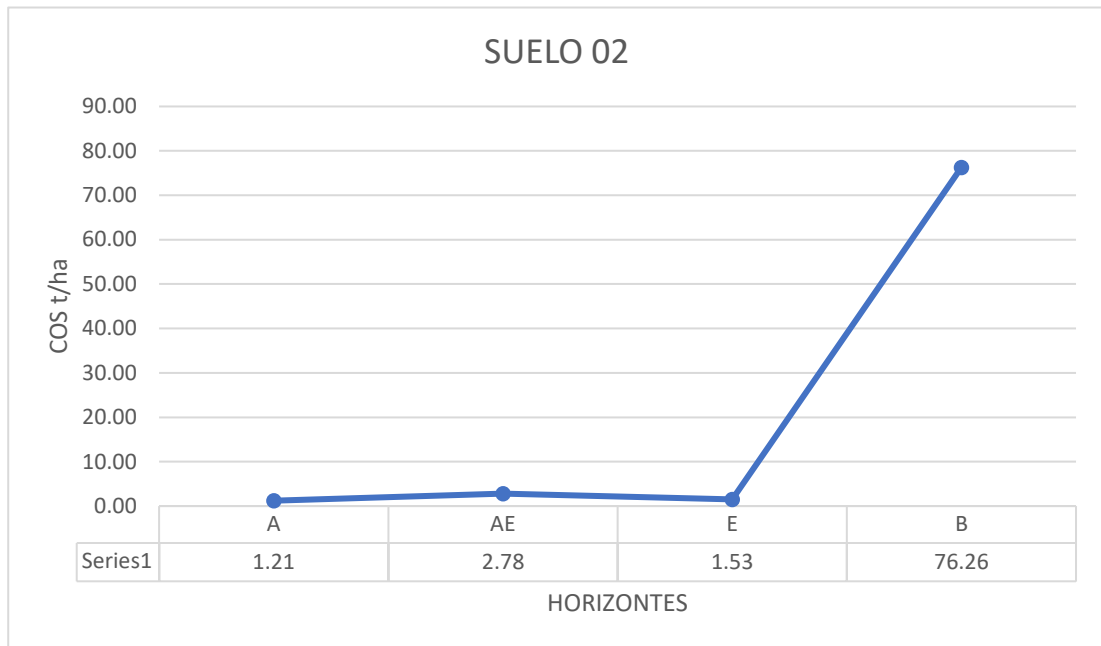


Figura 3: Distribución de Carbono Orgánico del Suelo 3.

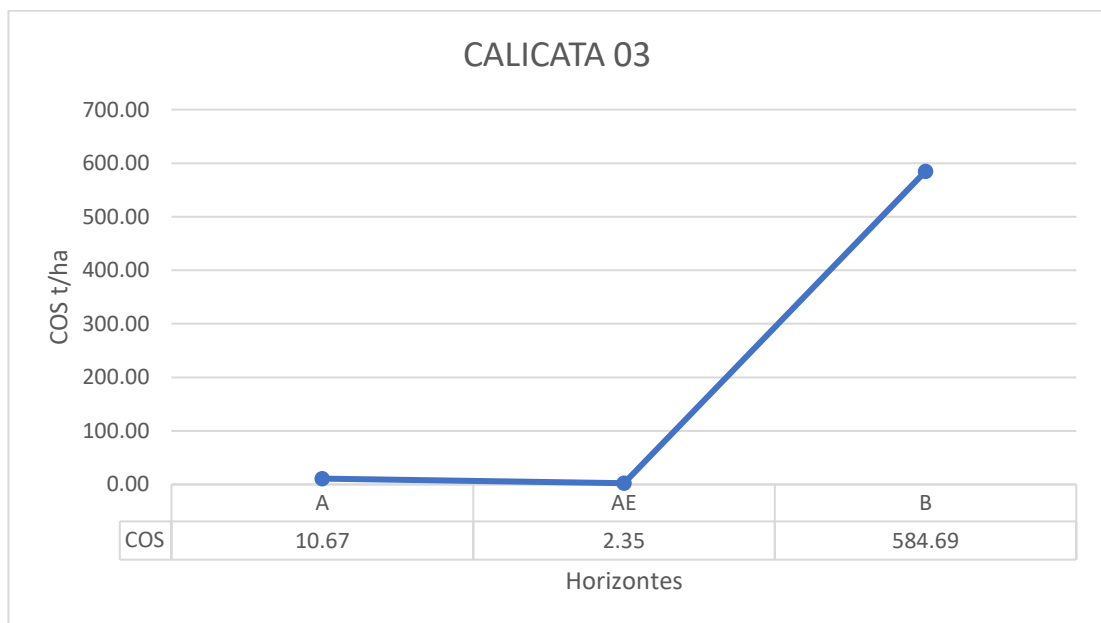
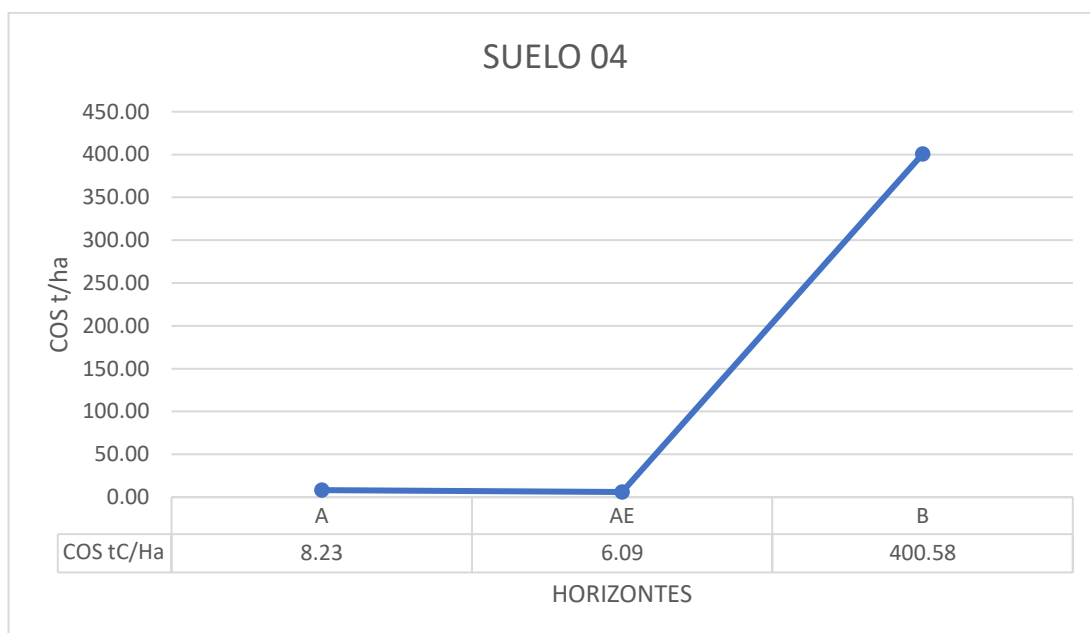


Figura 4: Distribución de Carbono Orgánico del Suelo 4.



Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran el contenido del Carbono Orgánico en toneladas almacenada por hectárea del suelo, distribuido en todo el perfil, en la dinámica del carbono en los suelos muestra cómo se genera una depresión del carbono y posterior incremento del COS de acuerdo a la profundidad del perfil.

4.3. Contenido de Dióxido de Carbono equivalente.

Los valores calculados del Dióxido de Carbono equivalente se expresan en los siguientes gráficos:

Figura 5: Distribución de Dióxido de Carbono equivalente del Suelo 1.

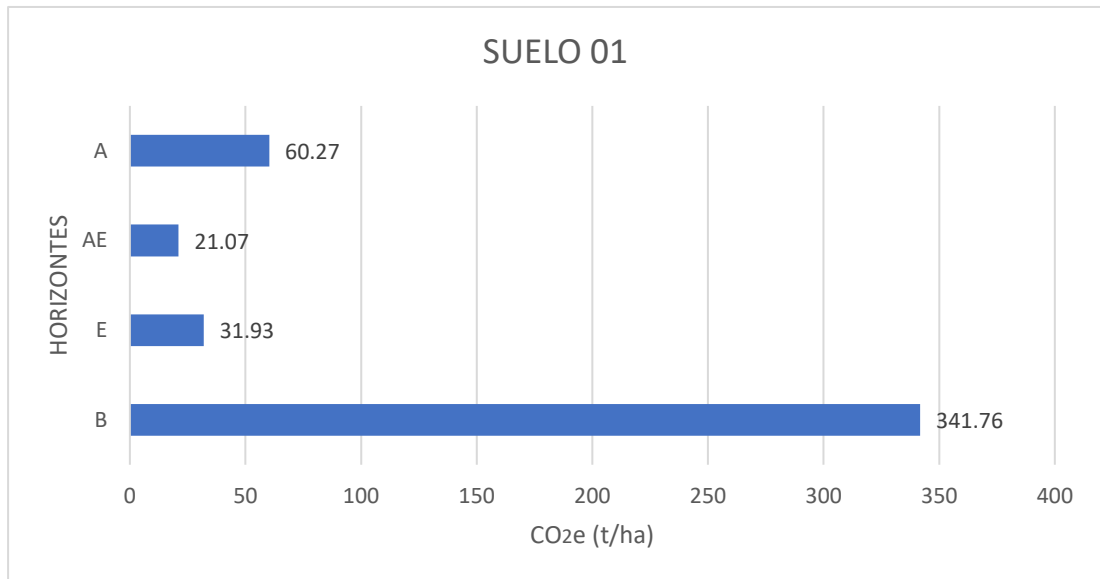


Figura 6: Distribución de Dióxido de Carbono equivalente del Suelo 2.

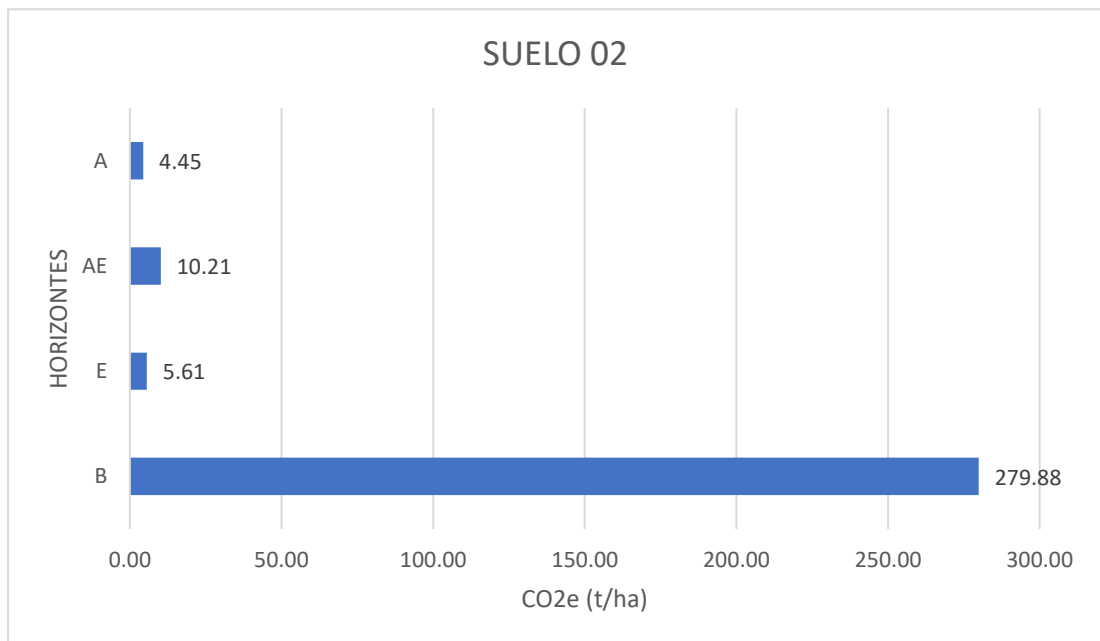


Figura 7: Distribución de Dióxido de Carbono equivalente del Suelo 3.

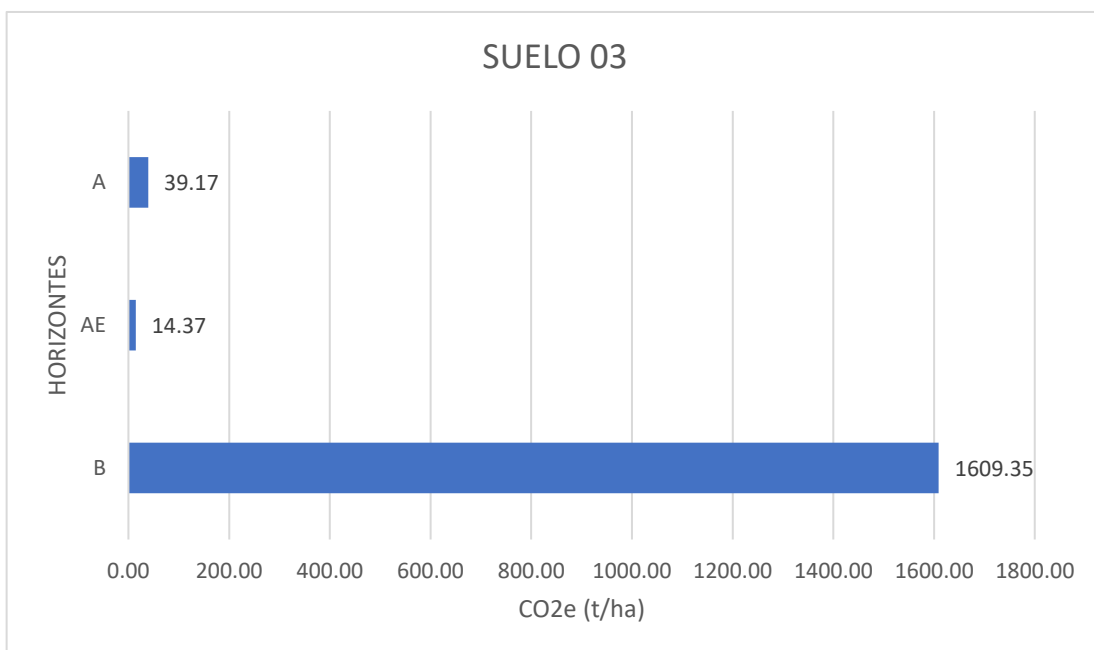
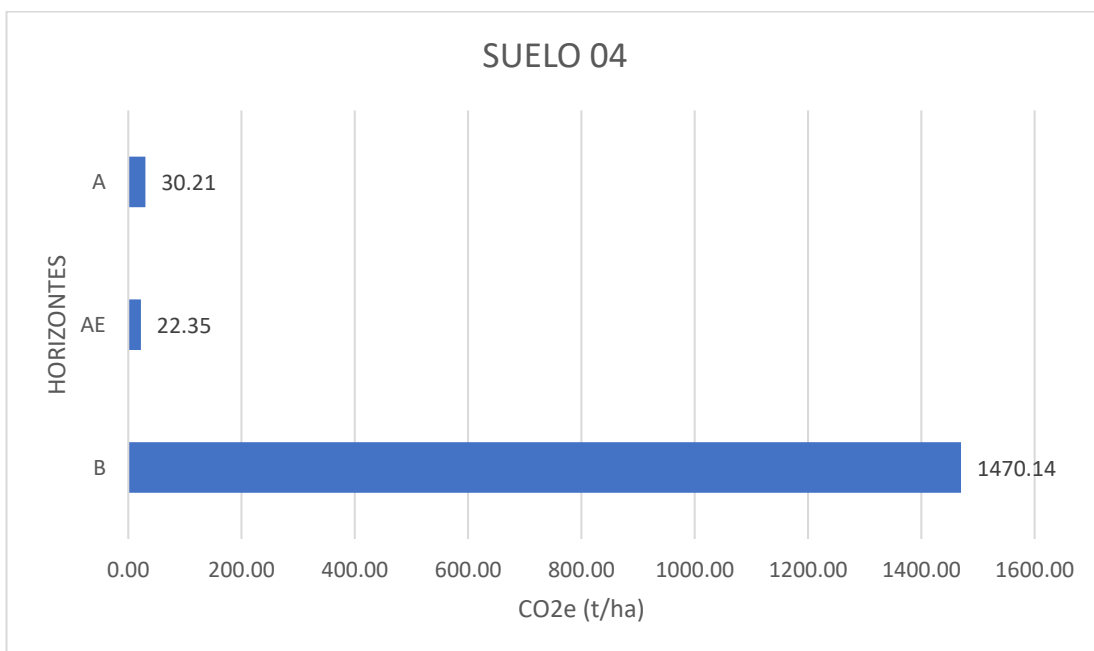


Figura 8: Distribución de Dióxido de Carbono equivalente del Suelo 4.



En las figuras 5, 6, 7 y 8, se muestra la cantidad de Dióxido de Carbono equivalente (CO₂e) del Carbono almacenado en los suelos, el valor es obtenido por la relación entre las masas atómicas de los átomos de

carbono y oxígeno. Este resultado representa en toneladas por hectárea del CO₂ que el suelo por medio de su servicio ecosistémico fija dentro de su perfil, evitando la emisión de este gas de efecto invernadero hacia la atmosfera.

4.4. Valor Económico del Servicio Ecosistémico del almacén de Carbono

El servicio ecosistémico de los suelos esodosoles del fundo de Zungarococha respecto a su almacén de carbono orgánico dentro de su perfil, se valoriza económicamente considerando el mercado internacional de bonos de carbono. Para realizar el objetivo del presente trabajo de investigación, se empleará la media anual de precios de CO₂ registradas durante el año 2022, el cual se determinó en 80.87 euros por tonelada de CO₂, este valor fue consultado en SENDECO2 por medio de su página web.

Tabla 5: Resultados del Carbono Orgánico Total y el valor económico del servicio ecosistémico del suelo 1.

| Suelo | Horizonte | COS (t/ha) | CO ₂ e (t/ha) | Valor Económico (euros) |
|--------------|-----------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| 01 | A | 16.42 | 60.27 | 4 874.36 |
| | AE | 5.74 | 21.07 | 1 704.32 |
| | E | 8.70 | 31.93 | 2 582.30 |
| | B | 93.12 | 341.76 | 27 638.24 |
| TOTAL | | 123.99 | 455.04 | 36 790.22 |

Tabla 6: Resultados del Carbono Orgánico Total y el valor económico del servicio ecosistémico del suelo 2.

| Suelo | Horizonte | COS (t/ha) | CO ₂ e (t/ha) | Valor Económico (euros) |
|--------------|-----------|--------------|--------------------------|-------------------------|
| 02 | A | 1.21 | 4.45 | 359.89 |
| | AE | 2.78 | 10.21 | 825.30 |
| | E | 1.53 | 5.61 | 453.92 |
| | B | 76.26 | 279.88 | 22 634.21 |
| TOTAL | | 81.79 | 300.15 | 24 273.32 |

Tabla 7: Resultados del Carbono Orgánico Total y el valor económico del servicio ecosistémico del suelo 3.

| Suelo | Horizonte | COS (t/ha) | CO ₂ e (t/ha) | Valor Económico (euros) |
|--------------|-----------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| 03 | A | 10.67 | 39.17 | 3 167.63 |
| | AE | 2.92 | 14.37 | 1 162.04 |
| | B | 438.52 | 1 609.35 | 130 148.163 |
| TOTAL | | 453.10 | 1 662.89 | 134 477.83 |

Tabla 8: Resultados del Carbono Orgánico Total y el valor económico del servicio ecosistémico del suelo 4.

| Suelo | Horizonte | COS (t/ha) | CO ₂ e (t/ha) | Valor Económico (euros) |
|--------------|-----------|--------------|--------------------------|-------------------------|
| 04 | A | 8.23 | 30.21 | 2 442.86 |
| | AE | 6.09 | 22.35 | 1 807.61 |
| | B | 400.58 | 1470.14 | 118 890.35 |
| TOTAL | | 414.9 | 1 522.7 | 123 140.82 |

Los valores presentados en las tablas 5, 6, 7 y 8, muestran los resultados del Carbono Orgánico Total del Suelo (COS), el valor de Dióxido de Carbono equivalente (CO_2e) y el valor económico del servicio ecosistémico que cumplen los suelos esodosoles de la ciudad universitaria de Zungarococha en euros. Se observa en los resultados la misma tendencia a incrementar los valores en el horizonte más profundo del perfil de los suelos esodosoles estudiados.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En el trabajo de investigación realizado por Meléndez R. en Zungarococha, Loreto, los suelos estudiados mostraron una tendencia a la acumulación de materia orgánica en el horizonte B espódico, mientras que en el horizonte E álbico es donde se presenta una pérdida. Así mismo, fue asertivo clasificar dichos suelos de sedimentos arenosos en un orden taxonómico de suelo espodosol, habiendo identificado sus horizontes de diagnóstico álbico y espódico (1). Este comportamiento de acumulación de materia orgánica en la profundidad del perfil de los espodosoles con texturas gruesas, suelos arenosos, por medio de traslocación se evidenció por la investigación realizada por Rothstein D. et al. trabajado en seis sitios de estudio en Michigan, concluyendo que esta distribución es característica de estos suelos. (5)

Los resultados del presente trabajo de investigación muestran una dinámica parecida en la distribución de la materia orgánica dentro del perfil de los suelos estudiados, donde el horizonte espódico de los suelos espodosoles de la ciudad universitaria de Zungarococha presenta la mayor acumulación y traslocado por el horizonte álbico demostrado por la mayor pérdida. Corroborando la existencia de orden taxonómico espodosol en los suelos de arena blanca de la ciudad universitaria de Zungarococha, y por ende en suelos de la amazonia del Perú.

Contrastando con la investigación realizada en Entre Ríos, Argentina, para estimar la reserva de carbono en el suelo y la biomasa del bosque, donde se determinó un promedio del valor conjunto de suelo y bosque de 97 toneladas de Carbono por hectárea estudiada siendo los resultados

obtenidos en el trabajo de investigación realizado en Zungarococha, mayores a estos. (2)

Así mismo, se realizaron trabajos de investigación para calcular el valor económico de los servicios ecosistémicos de la captura de carbono que se realiza en la ciudad de Iquitos, principalmente por la composición arbórea de la ciudad, Flores D. (2019) en esta se valorizó el servicio de captura de carbono por la biomasa de las dos hectáreas de bosque urbano del CIRNA con un valor estimado de 246.41 euros anuales habiendo usado igualmente de referencia el valor por hectárea de carbono del mercado internacional de SENDECO2; Ampuero P. (2015), valoró de igual manera el servicio ambiental del secuestro de CO₂, de los 172 árboles de castaña estudiados en el distrito de Punchana, resultando con un promedio de 1.49 dólares por unidad de árbol, siendo un total aproximado de 256.28 dólares. El servicio ecosistémico de los suelos espodosos genera en su mayor valor económico hasta 177 395.73 euros por hectárea, y superando los reportados por biomasa área local.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- a. El servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en los cuatro suelos esodosoles se midió en las Toneladas de Dióxido de Carbono que no son liberadas a la atmosfera, esta continúa con su acumulación a través del tiempo, por las propiedades físicas de los suelos esodosoles para acumular materia orgánica en su perfil.
- b. La estimación del valor económico del servicio ecosistémicos de almacén de Dióxido de Carbono que realiza los esodosoles estudiados de la ciudad universitaria de Zungarococha son los siguientes, en el punto de la calicata 1 se estimó 356.27 t/ha, en la calicata 2 se estimó 560.3 t/ha, en la calicata 3 se estimó 2 193.38 t/ha y en la calicata 4 se estimó 1 522.7 t/ha.
- c. A su vez se concluye que el valor económico del servicio ecosistémico (VE) de la calicata 1 es 36 790.22 euros, la calicata 2 es 24 273.32, la calicata 3 es 134 477.83 y la calicata 4 es 123 140.82 euros, siendo sus valores económicos de servicios ecosistémicos mayores a 20 000 euros.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

Para el siguiente trabajo de investigación se consideran las siguientes recomendaciones:

- a. Profundizar el tema de investigación, determinando el área de estudio, con el fin de obtener a una mejor exactitud del servicio ecosistémico de almacén de carbono que realiza los bosques espodosoles de la ciudad universitaria de Zungarococha, para una mejor estimación de su valor económico ambiental.
- b. Considerar los resultados de los datos de la valorización económica de los servicios ecosistémicos, como una herramienta y/o parte de la línea base para la planificación del manejo de recursos naturales en la ciudad universitaria de Zungarococha.
- c. Comparar en próximos estudios de valorización económica de servicios ecosistémicos, la normativa peruana para valorar los servicios de almacén de carbono y valores estipulados por mercados internacionales, para un mejor estudio y toma de decisión.

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Fernández - 2013 - EL CAMBIO CLIMÁTICO SUS CAUSAS Y EFECTOS MEDIOAMB.pdf [Internet]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es>
2. Santillán et al. - 2016 - EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SISTEM.pdf [Internet]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx>
3. Marañón T, Madejón E. FUNCIONES DEL SUELO Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS: IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA.
4. Ricón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P. y Zuluaga, P.A. 2014. Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C. Colombia, 151 pp.
5. Amorós JM, Micaló PR. El valor de la fijación de carbono en los programas de forestación.
6. Meléndez Celis RS. Identificación y caracterización de horizontes diagnóstico en suelos de sedimentos arenosos de Zungarococha, Iquitos, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina [Internet]. 2018; Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe>
7. Vicente GR, Engler PL. VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL CARBONO SECUESTRADO EN EL DISTRITO DEL ÑANDUBAY, ENTRE RÍOS, COMO HERRAMIENTA PARA UN ORDENAMIENTO TERRITORIAL.
8. Moraes JL, Cerri CC, Melillo JM, Kicklighter D, Neill C, Skole DL, et al. Soil Carbon Stocks of the Brazilian Amazon Basin. *Soil Sci Soc Am J.* 1995;59(1):244–7.
9. Jaramillo Jaramillo DF. Introducción a la ciencia del suelo. 2002; Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co>
10. Rothstein DE, Toosi ER, Schaetzl RJ, Grandy AS. Translocation of Carbon from Surface Organic Horizons to the Subsoil in Coarse-Textured Spodosols: Implications for Deep Soil C Dynamics. *Soil Sci Soc Am J.* 2018;82(4):969–82.
11. Gisbert Blanquer JM, Ibañez Asensio S, Moreno Ramón H. Horizontes de diagnóstico del suelo. el 7 de mayo de 2010; Disponible en: <https://riunet.upv.es>
12. Robert M. Soil carbon sequestration for improved land management. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2001. 57 p. (World soil resources reports).

13. Lefèvre C, Rekik F, Alcantara V, Wiese L. Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto.
14. Vargas P. El cambio climático y sus efectos en el Perú. 2009;59.
15. Trespalcios J, Blanquicett C. Gases y efecto invernadero.
16. Caballero M, Lozano S. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. Rev Digit Univ. 2007.
17. Lefèvre C, Rekik F, Alcantara V, Wiese L. Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto [Internet]. FAO; 2017. Disponible en: <http://www.fao.org>.
18. Decreto Supremo N° 013-2010-AG. Reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos. [Internet]. Disponible en: <https://www.midagri.gob.pe>.
19. Manual de Valoración Económica del Patrimonio Natural [Internet]. Disponible en: <https://www.gob.pe>.


ANEXOS

1. Matriz de Consistencia

| Título de la investigación | Pregunta de investigación | Objetivos de la investigación | Hipótesis | Tipo y Diseño de estudio | Población de estudio y procesamiento de datos | Instrumento de recolección |
|--|---|--|---|--|---|--|
| Valoración económica del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en cuatro suelos espodosoles de la ciudad universitaria Zungarococha, 2022 | ¿Cuánto será el valor económico del servicio ecosistémico del almacenamiento de carbono en cuatro suelos espodosoles en la Ciudad Universitaria de Zungarococha 2022? | Estimar el porcentaje de carbón orgánico en cuatros suelos espodosoles de la ciudad universitaria Zungarococha | El almacenamiento de materia orgánica de los suelos espodosoles de la ciudad universitaria Zungarococha, eleva su valor económico del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono a mayores profundidades. | Cuantitativo descriptivo, observacional, transversal y prospectiva | 150 ha de los cuatro suelos espodosoles del fundo Zungarococha. | Ficha descriptiva de datos de suelos, del Laboratorio de Investigación de Suelos – CIRNA – UNAP. |
| | | Estimar la captura de CO2 por carbono orgánico en cuatro suelos espodosoles de la ciudad universitaria de Zungarococha | | | | |
| | | Calcular el valor económico del carbono orgánico almacenado en cuatro suelos espodosoles de la ciudad universitaria de Zungarococha | | | | |
| | | Identificar las áreas de servicios ecosistémicos del almacenamiento de carbono en cuatro suelos espodosoles de la ciudad universitaria de Zungarococha | | | Los datos serán procesados a través del programa Excel, para el calculo de los datos y sistematización de los resultados. | |

2. Resultados del Laboratorio de Investigación de Suelos – CIRNA – UNAP Suelo 1.

CENTRO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES
CIRNA



REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL SUELO

MUESTRAS : 4
SOLICITANTE : BACH GUILLERMO PAUL CHAVEZ SARMIENTO
PROCEDENCIA : C.U. ZUNGAROCOCHA

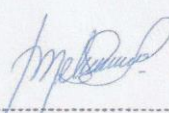

| N° MUESTRA | % A | % L | % Ar | Clase Textural | Densidad Aparente | pH | M.O |
|------------|-------|-----|------|----------------|-------------------|------|------|
| S01-A | 90.34 | 5.1 | 4.56 | A | 1.43 | 4.16 | 1.8% |
| S01-AE | 92.34 | 3.1 | 4.56 | A | 1.50 | 4.76 | 0.6% |
| S01-E | 88.04 | 7.4 | 4.56 | A | 1.25 | 5.37 | 0.3% |
| S01-B | 79.44 | 16 | 4.56 | AFr | 1.73 | 4.21 | 1.6% |

A= Arena AFr = Arena Franca

METODOLOGÍA :

TEXTURA : HIDRÓMETRO DE BOUYOCOS
pH : POTENCIÓMETRO
MATERIA ORGÁNICA : CALCINACIÓN
DENSIDAD APARENTE : CILINDRO METALICO
MATERIA ORGANICA : WALKEY AND BLACK

COORDINADOR LIS-CIRNA





Ing. Rapulfo Meléndez Celis
Coordinador LIS-CIRNA-UNAP
Laboratorio de Investigación de Suelos

Fuente: Laboratorio de Investigación de Suelos CIRNA - UNAP

3. Resultados del Laboratorio de Investigación de Suelos – CIRNA – UNAP
Suelo 2.

CENTRO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES
CIRNA


LIS-CIRNA
Laboratorio de Investigación de Suelos

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL SUELO

MUESTRAS : 4
 SOLICITANTE : BACH GUILLERMO PAUL CHAVEZ SARMIENTO
 PROCEDENCIA : C.U. ZUNGAROCOCHA

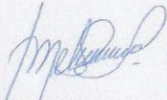
| N° MUESTRA | % A | % L | % Ar | Clase Textural | Densidad Aparente | pH | M.O |
|------------|-----|-----|------|----------------|-------------------|------|-------|
| S02-A | 93 | 6 | 1 | A | 1.13 | 3.75 | 0.37% |
| S02-AE | 94 | 6 | 0 | A | 1.41 | 4.44 | 0.2% |
| S02-E | 94 | 6 | 0 | A | 1.41 | 4.91 | 0.17% |
| S02-B | 91 | 6 | 3 | A | 1.73 | 4.49 | 1.96% |


A = Arena AFr = Arena Franca

METODOLOGÍA :

TEXTURA : HIDRÓMETRO DE BOUYOCOS
 pH : POTENCIÓMETRO
 MATERIA ORGÁNICA : CALCINACIÓN
 DENSIDAD APARENTE : CILINDRO METALICO
 MATERIA ORGANICA : WALKY AND BLACK

COORDINADOR LIS-CIRNA



 Ing. Raulito Meléndez Celis
 Coordinador LIS-CIRNA-UNAP
 Laboratorio de Investigación de Suelos



Fuente: Laboratorio de Investigación de Suelos CIRNA - UNAP

4. Resultados del Laboratorio de Investigación de Suelos – CIRNA – UNAP
Suelo 3.

CENTRO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES
CIRNA


LIS-CIRNA
Laboratorio de Investigación de Suelos

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL SUELO

MUESTRAS : 4

SOLICITANTE : BACH GUILLERMO PAUL CHAVEZ SARMIENTO

PROCEDENCIA : C.U. ZUNGAROCOCHA

| N° MUESTRA | % A | % L | % Ar | Clase Textural | Densidad Aparente | pH | M.O |
|------------|-------|-------|------|----------------|-------------------|------|-------|
| S03-A | 91.36 | 6.48 | 2.16 | A | 1.15 | 4.0 | 1.60% |
| S03-E | 82.30 | 15.54 | 2.16 | AFr | 1.35 | 4.70 | 0.10% |
| S03-B | 78.28 | 17.56 | 4.16 | AFr | 1.75 | 3.44 | 7.20% |

A = Arena AFr = Arena Franca

METODOLOGÍA :

TEXTURA : HIDRÓMETRO DE BOUYOCOS



pH : POTENCIÓMETRO

MATERIA ORGÁNICA : CALCINACIÓN

DENSIDAD APARENTE : CILINDRO METALICO

MATERIA ORGANICA : WALKEY AND BLACK

COORDINADOR LIS-CIRNA


Ing. Raulfo Meléndez Celis
 Coordinador LIS-CIRNA-UNAP
 Laboratorio de Investigación de Suelos

Fuente: Laboratorio de Investigación de Suelos CIRNA - UNAP

5. Resultados del Laboratorio de Investigación de Suelos – CIRNA – UNAP

Suelo 4.

CENTRO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES
CIRNA

 LIS-CIRNA
Laboratorio de Investigación de Suelos

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL SUELO

MUESTRAS : 4
SOLICITANTE : BACH GUILLERMO PAUL CHAVEZ SARMIENTO
PROCEDENCIA : C.U. ZUNGAROCOCHA


| Nº MUESTRA | % A | % L | % Ar | Clase Textural | Densidad Aparente | pH | M.O |
|------------|-------|-------|------|----------------|-------------------|------|-------|
| S04-A | 83.25 | 13.54 | 3.21 | AFr | 1.10 | 4.10 | 1.29% |
| S04-E | 68.3 | 26.94 | 4.56 | FrA | 1.40 | 4.30 | 0.25% |
| S04-B | 90.28 | 7.56 | 2.16 | A | 1.74 | 3.88 | 4.41% |


A = Arena AFr = Arena Franca FrA = Franco Arenoso

METODOLOGÍA :

TEXTURA : HIDRÓMETRO DE BOUYOCOS
pH : POTENCIÓMETRO
MATERIA ORGÁNICA : CALGINACIÓN
DENSIDAD APARENTE : CILINDRO METALICO
MATERIA ORGANICA : WALKY AND BLACK

COORDINADOR LIS-CIRNA


Ing. Raulfo Meléndez Celis
Coordinador LIS-CIRNA-UNAP
Laboratorio de Investigación de Suelos



Fuente: Laboratorio de Investigación de Suelos CIRNA - UNAP

6. Instrumento de recolección de datos de campo elaborado por el Laboratorio de Suelos – CIRNA – UNAP.

| | | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------|--------------|----------------|-------------------|--------------|-------------|
| UNAP-SUELOS DESCRIPCION DE PERFILES ING. | | PROYECTO | | FECHA Y HORA | | Coord. UTM | | CALICATA | | |
| LOCALIDAD | | VEGETACION | | PAISAJE | | ALTITUD msnm | | RELIEVE | | PENDIENTE % |
| MATERIAL PARENTAL | DRENAJE | | F. GEO / LITO | | EPIPEDON | | PP ANUAL mm | T° MEDIA ANUAL | REG. T° | REG. H° |
| PERMEABILIDAD | NAPA FREATICA | | EROSION (tipo, grado) | | ENDOPEDON | | NIVEL ESTUDIO | | CARAC. DIAG. | |
| SOIL TAXONOMY (2014) | | NOMBRE SUELO | | ZONA DE VIDA | | CUM (2021) | | USO ACTUAL | | MUESTRAS |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| CARACTERISTICAS FISICAS | PROFUNDIDAD (cm) | | | | | | | | | | | | |
| | HORIZONTE GENETICO | | | | | | | | | | | | |
| | COLOR (munsell) | Hum. | | | | | | | | | | | |
| | | NOMINACION | | | | | | | | | | | |
| | | Seco | | | | | | | | | | | |
| | | NOMINACION | | | | | | | | | | | |
| | MOTEADO | Color | | | | | | | | | | | |
| | | NOMINACION | | | | | | | | | | | |
| | | % | | | | | | | | | | | |
| | ARENA - LIMO - ARCILLA (%) | | | | | | | | | | | | |
| | CLASE TEXTURAL | Camp. | | | | | | | | | | | |
| | | Lab | | | | | | | | | | | |
| | ESTRUCTURA | | | | | | | | | | | | |
| | CONSISTENCIA | | | | | | | | | | | | |
| RAICES | | | | | | | | | | | | | |
| LIMITE | | | | | | | | | | | | | |
| OTRAS CARTACT. | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| CARACTERISTICAS QUIMICAS | pH | | | | | | | | | | | |
| | C.E. (ds/m) | | | | | | | | | | | |
| | CICE (cmol(+)/L) | | | | | | | | | | | |
| | MATERIA ORGANICA (%) | | | | | | | | | | | |
| | CARBON ORGANICO (%) | | | | | | | | | | | |
| | P (mg/Kg suelo) | | | | | | | | | | | |
| | K (mg/Kg suelo) | | | | | | | | | | | |
| | SARTURACION BASES (%) | Acetato | | | | | | | | | | |
| | | Suma cat. | | | | | | | | | | |
| | CIC ARCILLA (cmol(+)/Kg arcilla) | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
| T° (°C) | | | | | | | | | | | | |
| PP (mm) | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Laboratorio de Investigación de Suelos CIRNA - UNAP

7. Medición de horizontes de Perfil de Suelo Espodosol de la ciudad universitaria de Zungarococha.



8. Recolección de muestras de suelo Espodosol de la ciudad universitaria de Zungarococha



9. Enfriado de muestras procesadas para medición de densidad aparente en envase con óxido de silicio.



10. Pesado de cilindro con muestra de suelos procesadas para densidad aparente de suelos.



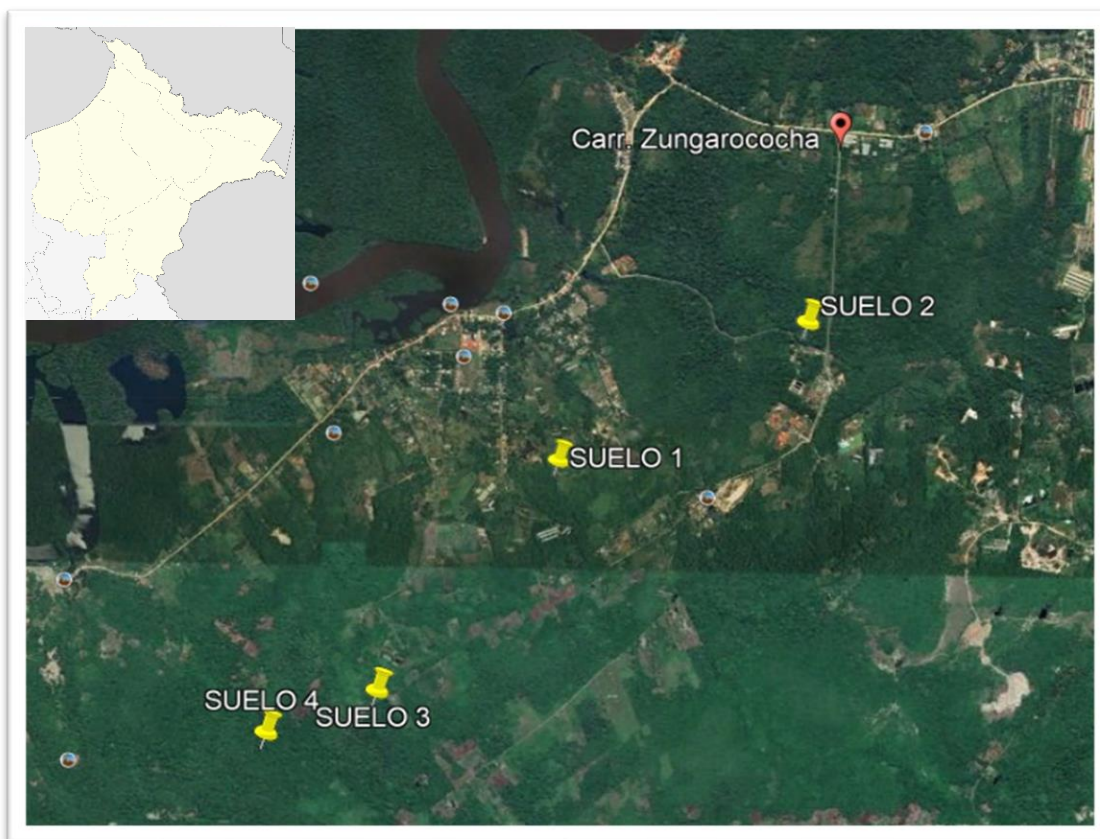
11. Perfil del suelo 2 del suelo espodosol de la ciudad universitaria de Zungarococha.



12. Horizonte espódico de suelo espodosol de la ciudad universitaria de Zungarococha.



13. Mapa de ubicación de los suelos de estudio.



| NÚMERO DE SUELO | COORDENADAS UTM (18M) | |
|-----------------|-----------------------|---------|
| | Este | Norte |
| SUELO 1 | 0679636 | 9574079 |
| SUELO 2 | 0681137 | 9574926 |
| SUELO 3 | 0678540 | 9572638 |
| SUELO 4 | 0677872 | 9572378 |